



FONDO PARA PREVENCIÓN Y ATENCION DE EMERGENCIAS - FOPAE

**ESTUDIO DE RIESGOS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS MEDIDAS RECOMENDADAS EN EL BARRIO EL CODITO, UBICADO EN LA LOCALIDAD DE USAQUEN, EN BOGOTA D.C.**

CONTRATO: NO. 266 DE 2006

**INFORME FINAL**

**CONSORCIO GIA-GEOCING**

(CONFORMADO POR GIA CONSULTORES LTDA Y GEOCING LTDA)

**BOGOTA D.C. NOVIEMBRE DE 2006**



**FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS**  
**FOPAE**

**TITULO:** Estudio de Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Medidas Recomendadas en el Barrio El Codito, ubicado en la Localidad de Usaquén, en Bogotá D.C.

**AUTOR (ES):** CONSORCIO GIA - GEOCING (Conformado por GIA Consultores Ltda. y Geocing Ltda.)

**RESUMEN:** El Codito descansa en una ladera Estructural, de pendiente media y escalonado; integrada por areniscas cuarzosas, de cimentación media y delgados paquetes de arcillositas, cubiertas por delgados cuerpos de depósitos; altamente rebajadas por la extracción desordenada y antitécnica de materiales y por prolongación de la frontera urbana. Esta confusión de elementos provocaron diversas manifestaciones morfodinámicas, dos en el año 1999 y una en el mes de mayo de 2006 que trajo consigo el reasentamiento temporal de 114 familias. Este documento indaga sobre las causas que provocaron los diversos deslizamientos, deduce los estados de amenaza y riesgo de las laderas y los habitantes hoy día y hacia futuro; y diseña las medidas de mitigación, estabilización y reducción de riesgo.

**PALABRAS CLAVE:** Amenaza, vulnerabilidad Física, Riesgo, Transgresiva, Retroanálisis, Fracturas, Dominio Estructural, Falla Planar, Brechas Tectónicas, Areniscas, Modelo, Envoltante, Estratificación, Mecanismo de Falla, Alternativa, Tierra Armada, El Codito, I Sector, Tercer Nivel

**TÉRMINOS PARA GLOSARIO E ÍNDICE:**

**Fenómenos de Remoción en Masa:** Deslizamientos de tierra, Caída de Rocas.

**Amenaza:** Probabilidad de excedencia de un fenómeno dado.

CLASIFICACIÓN DE SEGURIDAD:	CONTRATO:	IDIOMA:	NÚMERO DE PÁGINAS:	NÚMERO DE COPIAS:
Clasificado	No. 226 de 2006	Español	1094	3

**NOTAS / OBSERVACIONES:**

El informe está dividido en cuatro partes, a saber:

- Resumen ejecutivo.
- Volumen I – Informe Final (dos partes).
- Volumen II – Anexos (IV Tomos)
- Volumen III – Anexos

**LISTA DE DISTRIBUCIÓN**

<b>CLASE DE DOCUMENTO:</b>	<b>CODIGO:</b>	<b>FECHA:</b>
Informe Final	GIA-046	02/11/2006

**LISTA DE DESTINATARIOS**

<b>DESTINATARIO DEL INFORME</b>	<b>IDENTIFICACION</b>
FOPAE	ORIGINAL
FOPAE	COPIA 1
FOPAE	COPIA 2
GIA CONSULTORES LTDA	COPIA 3

**CONTROL DE MODIFICACIONES**

<b>INDICE REVISIÓN</b>	<b>CAPITULO MODIFICADO</b>	<b>FECHA DE MODIFICACION</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	<b>APROBADO</b>

## **GLOSARIO**

### **Amenaza**

Es la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso en un periodo de tiempo, en un sitio dado.

### **Antropico**

Se refieren a todas las actividades mediante las cuales el hombre transforma el medio natural., Obras civiles, Deforestación, Minería, Actividades Agrícolas, Sobrepastoreo, Uso del suelo.

### **Cuenca**

Unidad natural definida por la existencia de la divisoria de las aguas en un territorio dado. Las cuencas hidrográficas son unidades morfológicas superficiales. Sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones

### **Deslizamientos**

Son movimientos en masa que se producen al superarse la resistencia al corte del material y tienen lugar a lo largo de una o varias superficies de falla ó a través de una franja relativamente estrecha del material. Generalmente las superficies de deslizamiento son visibles o pueden deducirse razonablemente.

### **Deslizamientos Rotacionales**

Tienen lugar a lo largo de una superficie de deslizamiento interna, de forma aproximadamente circular y cóncava.

### **Deslizamientos Traslacionales**

En este tipo de deslizamientos la masa de terreno se desplaza hacia fuera y abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o suavemente ondulada, con pequeños movimientos de rotación.

### **Escarpe**

Corresponde a una superficie muy inclinada a lo largo de la periferia de área en movimiento, causado por el desplazamiento del material fuera del terreno original. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla

### **Geomorfología**

En pocas palabras, la geomorfología es la ciencia que estudia las formas del relieve terrestre; pues, según las partículas que componen el término, "geo" es tierra, "morfo" es forma y "logía" es tratado o estudio. Por lo tanto, esta ciencia se remite sólo al estudio de la topografía terrestre. En otras circunstancias, en el estudio de los paisajes de otros astros deberá omitirse el término "geo", y se podrá decir, por ejemplo, morfología de la luna, morfología de marte, etc. En esos casos, se supone, que habrá toda otra serie de factores muy diferentes a los de la tierra que han dado lugar a la fisonomía de los paisajes en dichos astros.

### **Riesgo**

Es el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un suceso particular y como una fusión de la amenaza y la vulnerabilidad.

### **Superficie De Falla**

Corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. El volumen de suelo debajo de la superficie de falla no se mueve.

### **Vulnerabilidad**

Es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultados de la probable ocurrencia de un suceso desastroso.

## CONTENIDO GENERAL

<b>1</b>	<b>GENERALIDADES</b>	<b>22</b>
<b>1.1</b>	<b>ANTECEDENTES</b>	<b>22</b>
<b>1.2</b>	<b>DELIMITACIÓN GEOMÉTRICA DEL ÁREA DE INTERÉS</b>	<b>24</b>
<b>1.3</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>24</b>
<b>1.4</b>	<b>ALCANCES DEL ESTUDIO</b>	<b>25</b>
<b>1.5</b>	<b>LIMITACIONES</b>	<b>25</b>
<b>1.6</b>	<b>METODOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES</b>	<b>26</b>
1.6.1	RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE	26
1.6.2	VISITA DE RECONOCIMIENTO	28
1.6.3	ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍAS BASE Y TEMÁTICA	28
1.6.3.1	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	28
1.6.3.2	ESTUDIOS GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO	28
1.6.4	ESTUDIO GEOTÉCNICO BÁSICO	29
1.6.4.1	INVENTARIO DE PROCESOS DE INESTABILIDAD	29
1.6.4.2	PROGRAMACIÓN DE EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO	29
1.6.5	INVENTARIO DE VIVIVENDAS	29
1.6.6	ANÁLISIS GEOTÉCNICO	30
1.6.6.1	MODELO GEOTÉCNICO	30
1.6.6.2	ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA	30
1.6.6.3	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	30
1.6.7	ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA	31
1.6.8	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO	31
1.6.9	EVALUACIÓN DE MITIGABILIDAD Y ANÁLISIS DE COSTO/BENEFICIO	32
1.6.10	ORGANIZACIÓN DEL INFORME	32
<b>2</b>	<b>TOPOGRAFÍA</b>	<b>35</b>

<b>2.1</b>	<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO</b>	<b>35</b>
2.1.1	TRABAJO DE CAMPO	35
2.1.1.1	LOCALIZACIÓN CARTOGRÁFICA	35
2.1.1.2	DESCRIPCIÓN DEL POLIGONAL DE AMARRE	36
2.1.1.3	DESCRIPCIÓN POLIGONAL DE CIERRE	36
2.1.1.4	AJUSTES DEL LEVANTAMIENTO	36
2.1.1.5	MOJONAMIENTO DE REFERENCIA	36
2.1.1.6	CONDENSACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE CAMPO	37
2.1.2	TRABAJO DE OFICINA	37
<b>2.2</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>40</b>
<b>3</b>	<b>GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA, HIDROGEOLOGÍA Y ASPECTOS SISMICOS</b>	<b>41</b>
<b>3.1</b>	<b>GEOLOGÍA</b>	<b>41</b>
3.1.1	ASPECTOS GEOLOGÍA REGIONAL	41
3.1.2	ESTRATIGRAFÍA	43
3.1.2.1	GRUPO GUADALUPE (KSG)	43
3.1.2.1.1	Características físicas de la roca en el área tipo	43
3.1.2.1.2	Características físicas de la roca en el área de estudio	44
3.1.2.1.3	Características geotécnicas y procesos morfodinámicos típicos	44
3.1.2.2	FORMACIÓN SABANA	45
3.1.2.2.1	Características físicas del suelo en el area tipo	45
3.1.2.2.2	Características geotécnicas y procesos morfodinámicos típicos	45
3.1.3	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	46
3.1.3.1	FALLAS	46
3.1.3.1.1	Falla de Soratama	46
3.1.3.1.2	Lineamiento de San Cristóbal	46
3.1.3.1.3	Lineamiento de Mirador y Serrezuela	46

3.1.3.1.4	Otras Estructuras	46
3.1.3.2	PLIEGUES	47
3.1.4	GEOLOGÍA LOCAL	47
3.1.4.1	LITOLOGÍA (MATERIALES)	47
3.1.4.1.1	Unidades rocosas de los Dominios superior e intermedio	48
3.1.4.1.2	Unidades rocosas del Dominio inferior	51
3.1.4.1.3	Unidades de Materiales Intermedios	54
3.1.4.1.4	Unidades de Suelos y Depositos	55
3.1.4.2	ESTRUCTURAL	60
3.1.4.2.1	Elementos Estructurales	61
3.1.4.3	CINEMÁTICA DEL ÁREA DE ESTUDIO	67
3.1.5	CONCLUSIONES	69
<b>3.2</b>	<b>ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS</b>	<b>70</b>
<b>3.3</b>	<b>GEOMORFOLOGÍA</b>	<b>71</b>
3.3.1	MORFOESTRUCTURAL (FORMAS)	71
3.3.1.1	UNIDAD DE LADERAS ESTRUCTURALES POCO AFECTADAS POR ACTIVIDADES EXTRACTIVAS (LPA)	72
3.3.1.2	UNIDAD DE LADERAS ESTRUCTURALES MODERADAMENTE AFECTADAS POR ACTIVIDADES EXTRACTIVAS (LMA)	72
3.3.1.3	UNIDAD DE LAS LADERAS INTERVENIDAS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA (LEA)	73
3.3.1.3.1	Sub Unidad de Taludes extractivos en Roca (LEAtr)	74
3.3.1.3.2	Sub Unidad de Taludes Extractivos en Brechas Tectónicas	74
3.3.1.3.3	Sub Unidad de Taludes Extractivos en Materiales Suelos	75
3.3.1.3.4	Sub Unidad de Taludes Extractivos con Botaderos de ladera	75
3.3.1.3.5	Sub Unidad de Explanaciones Antrópicas (Patios)	76
3.3.2	MORFODINÁMICA	76
3.3.2.1	METEORIZACIÓN	76



3.3.2.2	EROSIÓN HÍDRICA CONCENTRADA	77
3.3.2.3	PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA	77
3.3.2.3.1	Deslizamientos	77
3.3.2.3.2	Caídas y Desprendimientos	79
<b>3.4</b>	<b>ANTECEDENTES DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA PARA LA ZONA</b>	<b>80</b>
3.4.1	AÑO 1940 (VUELO C-61 FOTO 452)	81
3.4.2	AÑO 1951 (VUELO C-606, FOTO 385)	82
3.4.3	AÑO 1956 (VUELO C-770, FOTO 11)	82
3.4.4	AÑO 1973 (VUELO C-1439 FOTO 195)	83
3.4.5	AÑO 1990 (R-1131 FOTO 559)	84
3.4.6	AÑO 2000 (C-2612 FOTO 239)	85
3.4.7	2005 (IMAGEN DE SATÉLITE GRATUITA GOOGLE EARTH)	86
<b>3.5</b>	<b>ASPECTOS SÍSMICOS</b>	<b>87</b>
3.5.1	AMENAZA SÍSMICA	88
3.5.1.1	FUENTES SISMOGÉNICAS	88
3.5.1.2	CUALIFICACIÓN DE LA AMENAZA LOCAL	89
3.5.2	RESPUESTA DINÁMICA DEL SUBSUELO	89
<b>4</b>	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO</b>	<b>95</b>
<b>4.1</b>	<b>INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO</b>	<b>95</b>
4.1.1	METODOLOGÍA DE TRABAJO	95
4.1.2	EXPLORACIÓN SUBSUELO	96
4.1.2.1	MÉTODOS DIRECTOS	96
4.1.2.2	MÉTODOS INDIRECTOS	102
4.1.2.3	ENSAYOS DE CAMPO	106
4.1.2.4	ENSAYOS DE LABORATORIO	113
4.1.3	SUELOS	123

---

4.1.3.1	MATERIAL 1: SUELOS ORGÁNICOS (QSO)	123
4.1.3.2	MATERIAL 2: RELLENOS DE LADERA SUAVE Y PLANA (QRA)	123
4.1.3.3	MATERIAL 3: TALUS Y COLUVIONES (QT+C)	124
4.1.3.4	MATERIAL 4: BOTADEROS DE LADERA (QBL)	125
4.1.3.5	MATERIAL 5: SUELOS CON INFLUENCIA DE CENIZAS (QMO)	125
4.1.3.6	MATERIAL 6: SUELOS RESIDUALES DE LA FORMACIÓN ARENISCA TIERNA (KSGT-A2-SR)	126
4.1.4	MACIZOS ROCOSOS	127
4.1.4.1	MATERIAL 7: LODOLITAS DE LA FORMACIÓN TIERNA (KSGTL1, KSGTL1 Y KSGTL2)	127
4.1.4.2	MATERIAL 8: ARENISCAS DE LA FORMACIÓN TIERNA (KSGT <sub>A2</sub> , KSGT <sub>A3</sub> , KSGT <sub>A1</sub> , KSGT <sub>A2</sub> , KSGT <sub>A3</sub> ) – KSGT-A2	128
4.1.4.3	MATERIAL 5: ARENISCAS LODOSAS DE LA FORMACIÓN TIERNA (KSGT <sub>A2</sub> )	128
4.1.4.4	DISCONTINUIDADES	129
4.1.4.5	CLASIFICACIÓN DEL MACIZO	132
4.1.4.6	PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DEL MACIZO ROCOSO	135
<b>4.2</b>	<b>ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<b>135</b>
<b>5</b>	<b>HIDROLOGÍA, COBERTURA Y USOS DEL SUELO</b>	<b>140</b>
<b>5.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>140</b>
5.1.1	PROCEDIMIENTO DE REALIZACIÓN DEL ESTUDIO	140
5.1.2	MARCO HIDROLÓGICO GENERAL	140
5.1.3	CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA REGIONAL	141
5.1.4	PRECIPITACIÓN CRÍTICA–DURACIÓN	143
5.1.5	CONDICIONES ARTIFICIALES DE DRENAJE	146
5.1.5.1	SISTEMA DE ACUEDUCTO	146
5.1.5.2	SISTEMA DE AGUAS RESIDUALES	146
5.1.5.3	SISTEMA DE AGUAS LLUVIAS	146
5.1.5.4	RED MATRIZ	147

5.1.6	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	150
<b>5.2</b>	<b>COBERTURA Y USOS DEL SUELO</b>	<b>150</b>
<b>5.3</b>	<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO</b>	<b>150</b>
<b>5.4</b>	<b>CLASIFICACIÓN DEL USO Y COBERTURA DEL SUELO</b>	<b>151</b>
5.4.1	ZONA 1: PRIMER NIVEL	152
5.4.2	ZONA 2: SEGUNDO NIVEL	152
5.4.3	ZONA 3: TERCER NIVEL	152
<b>6</b>	<b>ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE AMENAZA</b>	<b>153</b>
<b>6.1</b>	<b>ANÁLISIS CINEMÁTICO</b>	<b>153</b>
<b>6.2</b>	<b>ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE ESTABILIDAD</b>	<b>169</b>
6.2.1	HIPÓTESIS DE TRABAJO	170
6.2.1.1	PARÁMETROS DE RESISTENCIA	170
6.2.1.2	MECANISMOS DE FALLA	176
6.2.1.3	EVENTOS DETONANTES	176
6.2.1.3.1	Agua	177
6.2.1.3.2	Sismo	178
6.2.1.4	MODELACIÓN DE ESTABILIDAD	179
6.2.1.5	CONSIDERACIONES	180
6.2.1.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS	181
6.2.2	ZONIFICACIÓN DE AMENAZA	195
<b>7</b>	<b>EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO</b>	<b>198</b>
<b>7.1</b>	<b>VULNERABILIDAD</b>	<b>198</b>
7.1.1	METODOLOGÍA	198
7.1.1.1	CRITERIOS APLICADOS	198
7.1.1.2	INFORMACIÓN PRIMARIA	202
7.1.2	VULNERABILIDAD SOCIAL	202

---

7.1.3	VULNERABILIDAD FÍSICA	209
7.1.4	ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD	213
<b>7.2</b>	<b>RIESGO</b>	<b>213</b>
<b>7.3</b>	<b>ZONIFICACIÓN DE RIESGO</b>	<b>214</b>
<b>8</b>	<b>PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS</b>	<b>216</b>
<b>8.1</b>	<b>ANÁLISIS Y CONSIDERACIONES ESPECIALES</b>	<b>216</b>
<b>8.2</b>	<b>PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS</b>	<b>216</b>
8.2.1	SECTOR 1	216
8.2.2	SECTOR 2	218
8.2.3	SECTOR 3	218
8.2.4	SECTOR 4	218
8.2.5	SECTOR 5	219
<b>8.3</b>	<b>AMENAZA FUTURA (AMENAZA CON OBRAS)</b>	<b>223</b>
<b>8.4</b>	<b>SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS</b>	<b>224</b>
<b>8.5</b>	<b>PLAN DE ACCIÓN RECOMENDADO</b>	<b>231</b>
<b>9</b>	<b>DISEÑO DE OBRAS</b>	<b>232</b>
<b>9.1</b>	<b>DISEÑO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA</b>	<b>232</b>
<b>9.2</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS</b>	<b>233</b>
9.2.1	SECTOR 1	233
9.2.2	SECTOR 2	235
9.2.3	SECTOR 3	235
9.2.4	SECTOR 4	236
9.2.5	SECTOR 5	236
9.2.6	OBRAS GENERALES	236
<b>9.3</b>	<b>PROCESOS CONSTRUCTIVOS Y LABORES DE MANTENIMIENTO</b>	<b>237</b>
9.3.1	SECTOR 1	237
9.3.2	SECTOR 2	241

9.3.3	SECTOR 3	242
9.3.4	SECTOR 4	242
9.3.5	SECTOR 5	242
<b>9.4</b>	<b>VIABILIDAD DE LAS OBRAS Y PREDIOS REQUERIDOS</b>	<b>243</b>
9.4.1	CANTIDADES DE OBRA, PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA	244
9.4.2	PARTICIPACIÓN COMUNITARIA	245
<b>10.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>256</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>258</b>

#### LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1	Temas de los Capítulos	33
Tabla 1.2	Contenido de los Anexos	33
Tabla 1.3	Contenidos de los Planos	34
Tabla 2.1	Mojones Materializados	37
Tabla 3.1	Datos de Fallas con Indicadores Cinemáticos en la Zona de Estudio	68
Tabla 3.2	Pendientes típicas en la zona de estudio	72
Tabla 3.3	Fuentes Sismogénicas para Amenaza Sísmica en Bogotá	88
Tabla 3.4	Factores de Amplificación para diferentes tipos de Suelo (Medvedev, 1965)	90
Tabla 3.5	Aceleraciones Máximas en Superficie y de Diseño – Barrio El Codito	92
Tabla 4.1	Localización de los puntos de exploración directa del subsuelo	98
Tabla 4.2	Descripción de los Niveles Estratigráficos	99
Tabla 4.3	Profundidades de niveles estratigráficos para cada punto de exploración	101
Tabla 4.4	Localización de los sondeos geoelectricos	103
Tabla 4.5	Sondeo Geoelectrico Vertical SEV-1	105
Tabla 4.6	Sondeo Geoelectrico Vertical SEV-2	105
Tabla 4.7	Expresiones para correlacionar el ángulo de fricción a partir del SPT	107
Tabla 4.8	Relación entre la densidad relativa y la resistencia a la penetración	107
Tabla 4.9	Relación entre la consistencia y la resistencia a la penetración	107
Tabla 4.10	Resumen de parámetros de resistencia en condición drenada a partir del SPT	108

---

Tabla 4.11 Normalización del SPT _____	109
Tabla 4.12 Relación de ensayos de laboratorio _____	113
Tabla 4.13 Resumen de Ensayos de Laboratorio _____	116
Tabla 4.14 Resumen de Ensayos de Laboratorio _____	117
Tabla 4.15 Resumen de Ensayos de Laboratorio _____	118
Tabla 4.16 Resumen de Ensayo de Carga Puntual _____	119
Tabla 4.17 Resumen de Ensayos de Laboratorio (Otros Consultores) _____	120
Tabla 4.18 Resumen de Ensayos de Laboratorio (Otros Consultores) _____	121
Tabla 4.19 Resumen de Ensayos de Laboratorio (Otros Consultores) _____	122
Tabla 4.20 Parámetros geotécnicos del material 1 _____	123
Tabla 4.21 Parámetros geotécnicos del material 2 _____	124
Tabla 4.22 Parámetros Geotécnicos del Material 3 _____	124
Tabla 4.23 Parámetros Geotécnicos del Material 4 _____	125
Tabla 4.24 Parámetros Geotécnicos del Material 5 _____	126
Tabla 4.25 Parámetros geotécnicos del material 6 _____	126
Tabla 4.26 Parámetros geotécnicos del material 7 _____	127
Tabla 4.27 Parámetros geotécnicos del material 8 _____	128
Tabla 4.28 Parámetros Geomecánicos Material 9 _____	129
Tabla 4.29 Regiones Estructurales _____	130
Tabla 4.30 Parámetros Geomecánicos de las discontinuidades _____	131
Tabla 4.31 Clasificación del Macizo Rocoso _____	134
Tabla 4.32 Envoltante de Resistencia del Macizo Rocoso (GSI = 50) _____	136
Tabla 4.33 Envoltante de Resistencia del Macizo Rocoso (GSI = 30) _____	137
Tabla 4.34 Zonificación Geotécnica _____	138
Tabla 4.35 Zonificación Geotécnica _____	139
Tabla 5.1 Leyenda y Clasificación de uso y Cobertura de la Tierra _____	151
Tabla 6.1 Características de los taludes estudiados _____	154
Tabla 6.2 Características de los Taludes Estudiados _____	156
Tabla 6.3 Características de los Taludes Mencionados _____	157
Tabla 6.4 Características de los Taludes Mencionados _____	159
Tabla 6.5 Resumen del Análisis Cinemático _____	162
Tabla 6.6 Resumen de Análisis Cinemático _____	163

Tabla 6.7 Resumen de Análisis Cinemático _____	164
Tabla 6.8 Resumen de Análisis Cinemático _____	165
Tabla 6.9 Resumen de Análisis Cinemático _____	166
Tabla 6.10 Resumen de Análisis Cinemático _____	167
Tabla 6.11 Resumen de Análisis Cinemático _____	168
Tabla 6.12 Parámetros estáticos y dinámicos de resistencia _____	175
Tabla 6.13 Resumen de los Factores de Seguridad-Probabilidades Condicionales Falla Planar con Grieta	183
Tabla 6.14 Resumen de los Factores de Seguridad-Probabilidades Condicionales Falla Planar con Grieta	184
Tabla 6.15 Resumen de los Factores de Seguridad-Probabilidades Condicionales Falla Planar con Grieta	185
Tabla 6.16 Resumen de los Factores de Seguridad-Probabilidades Condicionales Falla Planar con Grieta	186
Tabla 6.17 Resumen de los Factores de Seguridad-Probabilidades Condicionales Falla Planar con Grieta	187
Tabla 6.18 Resumen de los Factores de Seguridad-Probabilidades Condicionales Falla Planar con Grieta	188
Tabla 6.19 Resumen de los Factores de Seguridad-Probabilidades Condicionales Falla Planar con Grieta	189
Tabla 6.20 Resumen de los Factores de Seguridad-Probabilidades Condicionales Falla Planar con Grieta	190
Tabla 6.21 Resumen de los Factores de Seguridad-Probabilidades Condicionales Falla Planar con Grieta	191
Tabla 6.22 Resumen de los Factores de Seguridad-Probabilidades Condicionales Falla Rotacional y Traslacional _____	192
Tabla 6.23 Resumen de los Factores de Seguridad-Probabilidades Condicionales Falla Rotacional y Traslacional _____	193
Tabla 6.24 Resumen de los Factores de Seguridad-Probabilidades Condicionales Falla Rotacional y Traslacional _____	194
Tabla 6.25 Distancias de Viaje _____	196
Tabla 6.26 Distancias de Viaje según el CRSP _____	196
Tabla 6.27 Categorización de la Amenaza (adaptado de González y Millán, 1999) _____	197
Tabla 7.1 Evaluación de la capacidad de respuesta de la edificación _____	199
Tabla 7.2 Calificación para variable: Sistema estructural _____	199
Tabla 7.3 Calificación para variable: Daño en la construcción _____	199
Tabla 7.4 Calificación para variable: Calidad de la construcción _____	200
Tabla 7.5 Calificación para variable: Partes estructurales _____	200
Tabla 7.6 Calificación para variable: Sistema de cimentación _____	201
Tabla 7.7 Capacidad de endeudamiento _____	207
Tabla 7.8 Porcentaje de pérdidas _____	207
Tabla 7.9 Evaluación de Vulnerabilidad y Riesgo _____	210

Tabla 7.10 Matriz de Intensidad de daño _____	211
Tabla 7.11 Tabla de clasificación de daños propuesta por DRM _____	211
Tabla 7.12 Área de afectación según área de exposición _____	212
Tabla 7.13 Categorización de los niveles de vulnerabilidad _____	213
Tabla 7.14 Categorización del riesgo _____	214
Tabla 8.1 Presupuesto de obra por alternativa según sector _____	222
Tabla 8.2 Resumen de los factores de seguridad y de la probabilidad de falla condicional. Análisis de Estabilidad con obras - Condición Estática Sectores 1 a 4 _____	226
Tabla 8.3 Resumen de los Factores de Seguridad y de la probabilidad de falla condicional – Condición Estática Amenaza Futura con obras Barrio el Codito Sector 1 – Perfilado en Roca _____	227
Tabla 9.1 Predios requeridos para la construcción de las obras de mitigación _____	244
Tabla 9.2 Cantidades de obra y Presupuesto aproximado de obra _____	246
Tabla 9.3 Cantidades de obra y Presupuesto aproximado de obra por sector _____	247

#### LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Poligonal de Amarre _____	38
Figura 2.2 Poligonal de Cierre _____	39
Figura 3.1 Estereogramas correspondientes al Dominio estructural 1. Numero de datos = 494 _____	64
Figura 3.2 Estereogramas correspondientes al Dominio estructural 2. Numero de datos = 43 _____	64
Figura 3.3 Estereogramas correspondientes al Dominio estructural 3. Numero de datos = 412. _____	66
Figura 3.4 Estereogramas correspondientes al Dominio estructural 4. Numero de datos = 278 _____	66
Figura 3.5 Estereogramas correspondientes al Dominio estructural 5. Numero de datos = 28 _____	67
Figura 3.6 Estereograma correspondiente al sistema estructural identificado en el área de estudio. Los datos de las fallas con los respectivos indicadores cinemáticos de desplazamiento, se muestran en la tabla 1 ____	69
Figura 4.1 Configuración Geoeléctrica con el Dispositivo Schlumberger _____	103
Figura 4.2 Envolvente y parámetros de resistencia para el material Qso _____	110
Figura 4.3 Envolvente y parámetros de resistencia para el material Qra _____	110
Figura 4.4 Envolvente y parámetros de resistencia para el material Qt+c _____	111
Figura 4.5 Envolvente y parámetros de resistencia para el material Qbl _____	111
Figura 4.6 Envolvente y parámetros de resistencia para el material Qmo _____	112
Figura 4.7 Envolvente y parámetros de resistencia para el material Ksgt-A2-Sr _____	112
Figura 4.8 Envolvente y parámetros de resistencia para el material Ksgt-A2 _____	113



Figura 4.9	Envolvente de Resistencia para las Areniscas (Hipótesis 1)	132
Figura 4.10	Envolvente de Resistencia para las Areniscas (Hipótesis 2)	133
Figura 4.11	Envolvente de Resistencia para las Arcillolitas	133
Figura 5.1	Precipitación mensual Multianual Estación Esc Col Ingeniería	141
Figura 5.2	Curvas Generalizadas IDF Estación Escuela Colombiana de Ingeniería	142
Figura 5.3	Hietograma de Precipitación Total	145
Figura 5.4	Sistema de Acueducto Barrio el Codito	148
Figura 5.5	Sistema de Alcantarillado y Aguas Lluvias	149
Figura 6.1	Relación $c - \phi$ producto de la aplicación del retroanálisis	172
Figura 6.2	Relación $c - \phi$ producto de la aplicación del retroanálisis	172
Figura 6.3	Relación $c - \phi$ producto de la aplicación del retroanálisis	173
Figura 6.4	Curvas de Probabilidad de ocurrencia vs $a/g$	179
Figura 6.5	Curvas de Probabilidad vs $Z/Z_w$	181
Figura 7.1	Capacidad Económica	204
Figura 7.2	Cobertura de servicios públicos	204
Figura 7.3	Sistema estructural	205
Figura 7.4	Daños generales de la construcción	205
Figura 7.5	Valoración comercial de la vivienda por los propietarios	206
Figura 7.6	Percepción del peligro	206
Figura 7.7	Recuperación económica en años	209
Figura 8.1	Sectorización de las obras de mitigación	221
Figura 8.2	Árbol de decisión para mitigación (10 años) en el Sector 1	228
Figura 8.3	Árbol de decisión para mitigación (10 años) en el Sector 2	229
Figura 8.4	Árbol de decisión para mitigación (10 años) en el Sector 3	229
Figura 8.5	Árbol de decisión para mitigación (10 años) en el Sector 4	230
Figura 8.6	Árbol de decisión para mitigación (10 años) en el Sector 5	230
Figura 9.1	Ñ.I.Muro en suelo reforzado. Proceso constructivo	238
Figura 9.2	Cronograma de ejecución de obra	251

## LISTA DE FOTOS

Foto 3.1	Aspecto de la Unidad KsgtA1. Nótese el aspecto poco macizo de la unidad y las delgadas intercalaciones de lodolitas que conforman los escalones.	48
<b>Foto 3.2</b>	Panorámica de las unidades aflorantes en la zona de extracción superior. La Lodolita 1 que separa las areniscas 1 y 2 se ha destacado. Nótese lo macizo de la Arenisca 2 en comparación con la 1.	49
<b>Foto 3.3</b>	Laminación ondulosa en las intercalaciones de areniscas de grano fino con arcillolitas blancas de la Lodolita 2 (Ksgt L2). Estos paquetes con más del 20% de laminas y capas finogranulares se convierten en los planos que favorecen el deslizamiento de grandes porciones de macizo rocoso.	50
<b>Foto 3.4</b>	. Unidad de Lodolita 2 (Ksgt L2), en la corona del deslizamiento. La unidad presenta cambios laterales haciéndose más arenácea hacia el sur, lo cual dificulta la cartografía detallada a nivel de unidades geológicas de roca.	50
<b>Foto 3.5</b>	Arreglo de estratificación interna inclinada, en areniscas de grano grueso de la unidad Arenisca 3 (Ksgt A3). Esta unidad conformó la masa deslizada en la parte superior del deslizamiento de mayo de 2006.	51
<b>Foto 3.6</b>	Panorámica zona de extracción inferior. Muestra el nivel de referencia tomado para las columnas estratigráficas levantadas.	52
<b>Foto 3.7</b>	Iconofósiles verticales <i>Skolithos</i> en la unidad Ksgt A3	53
<b>Foto 3.8</b>	Areniscas de grano grueso a muy grueso de la unidad A3	54
<b>Foto 3.9</b>	Brechas tectónicas en la zona de extracción inferior	54
<b>Foto 3.10</b>	Suelos coluviales de la Fm. Mondoñedo	56
<b>Foto 3.11</b>	Niveles de suelo con concentración de cenizas, marcados por colores oscuros, con intercalación de capas gravillosas dentro de los horizontes de cenizas. Es posible que esas capas marquen periodos con influencia glacial leve.	57
<b>Foto 3.12</b>	Zonas antiguas de extracción cubiertas parcialmente por botaderos de ladera	58
<b>Foto 3.13</b>	Deslizamiento de masas coluviales y de talus que afectaron zonas pobladas del sector central del Barrio El Codito en mayo de 2006.	59
<b>Foto 3.14</b>	Materiales depositados por acción antrópica: grandes bloques no aprovechables como material de construcción, acumulaciones de arena, restos de suelos negros, basuras, etc.	60
<b>Foto 3.15</b>	Brecha de Zona de Falla Oriental N-S. Note tamaño de bloques y caras de talud	61
<b>Foto 3.16</b>	Zona de falla 324 – 144. Note ancho de la zona de falla y fracturas inclinadas hacia el noreste	62
<b>Foto 3.17</b>	Estratificaciones y fracturas en el bloque central, relacionadas con la Zona de Falla Central N-S. Note fracturas de cizalla las cuales tienen movimiento lateral derecho	62
<b>Foto 3.18</b>	Zona de falla occidental. Note fracturas subverticales muy persistentes	63
Foto 3.19	Brecha de falla al interior del Dominio estructural 2, en la estación 9A. Note el ancho de la zona de brecha y diaclasamiento asociado	65
<b>Foto 3.20</b>	Zona moderadamente intervenida, con taludes bajos, generalmente sin problemas de estabilidad	73

<b>Foto 3.21</b>	Panorámica de la parte media y alta de la zona de estudio, con laderas intervenidas por actividad extractiva con los denominados frentes de extracción superior e intermedio. Este último fue el afectado por el deslizamiento de mayor de 2006, que se observa en el centro de la imagen _____	73
<b>Foto 3.22</b>	Taludes de extracción en macizos rocosos moderadamente a bien cementados. Nótese la pendiente del talud y su altura, además de la susceptibilidad a presentar caída de bloques. Parte alta – central del frente superior _____	74
<b>Foto 3.23</b>	Taludes de extracción en zonas de brecha tectónica; en general estas formas son estables. Parte baja norte del frente superior. _____	75
Foto 3.24	Al fondo de la imagen se aprecian taludes de extracción en materiales sueltos, afectados por procesos de erosión hídrica concentrada (surcos). Parte baja central del frente superior _____	75
<b>Foto 3.25</b>	En primer plano, el patio correspondiente al frente de extracción superior _____	76
<b>Foto 3.26</b>	Imagen del deslizamiento ocurrido en mayo de 2006 _____	78
<b>Foto 3.27</b>	Talud con posibilidad cinemática de caída de bloques. Para idea de la escala, nótese el tamaño de la persona encerrada en el óvalo _____	79
Foto 4.1	Arenisca Lodosa sometida a saturación tiempo 0. _____	114
Foto 4.2	Arenisca Lodosa sometida a saturación tiempo 5 min. _____	115

#### LISTA DE ANEXOS

ANEXO A TOPOGRAFÍA _____	260
ANEXO A.1 CERTIFICADO IGAC _____	261
ANEXO A.2 CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO _____	263
ANEXO A.3 CARTERA ELECTRÓNICA _____	265
ANEXO A.4 SECCIONES TRANSVERSALES _____	455
ANEXO B GEOLOGÍA _____	462
ANEXO B.1 COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS _____	463
ANEXO B.2 INVENTARIO DE PROCESOS _____	470
ANEXO B.3 LEVANTAMIENTO ESTRUCTURAL _____	483
ANEXO B.4 FOTOINTERPRETACIÓN _____	559
ANEXO C GEOTÉCNIA _____	573
ANEXO C.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO _____	574
ANEXO C.1.1 REGISTROS DE PERFORACIONES _____	575
ANEXO C.1.2 REGISTROS DE APIQUES _____	611
ANEXO C.1.3 REGISTROS DE TRINCHERAS _____	617
ANEXO C.2 ENSAYOS DE LABORATORIO _____	624

---

ANEXO C.3 ENSAYOS DE LABORATORIO OTROS ESTUDIOS	759
ANEXO C.4 SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES	768
ANEXO D AMENAZA	772
ANEXO D.1 ANÁLISIS CINEMÁTICO	773
ANEXO D.2 ANÁLISIS DE FRECUENCIA	780
ANEXO D.3 ANÁLISIS PARAMÉTRICO	786
ANEXO D.4 RETROANÁLISIS	791
ANEXO D.5 ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE ESTABILIDAD	794
ANEXO D.5.1 SUPERFICIES CRÍTICAS STED	795
ANEXO D.5.2 SECCIONES ROCFALL	803
ANEXO D.6 DISTANCIAS DE VIAJE	810
ANEXO D.6.1 DISTANCIAS DE VIAJE – SUELO	811
ANEXO D.6.2 DISTANCIA DE VIAJE ROCFALL	813
ANEXO E VULNERABILIDAD Y RIESGO	817
ANEXO E.1 FICHAS DE INVENTARIO DE VIVIENDAS	818
ANEXO E.2 FORMATO DE CAMPO INSTRUCTIVO	838
ANEXO E.3 RESULTADOS DEL INVENTARIO	844
ANEXO F PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS	896
ANEXO F.1 ESQUEMAS, CANTIDADES DE OBRA, MEMORIAS DE OBRA Y PRESUPUESTO	847
ANEXO F.2 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	897
ANEXO G DISEÑO DE OBRAS Y PLAN DE GESTIÓN SOCIAL	941
ANEXO G.1 MEMORIAS DE DISEÑO	942
ANEXO G.2 CANTIDADES DE OBRA	955
ANEXO G.3 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	966
ANEXO G.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN	998
ANEXO G.5 PLAN DE GESTIÓN SOCIAL	1030

---

LISTA DE PLANOS

PLANO 1	LOCALIZACIÓN GENERAL
PLANO 2	MAPA BASE
PLANO 3	GEOLOGÍA REGIONAL
PLANO 4	GEOLOGÍA LOCAL
PLANO 5	GEOMORFOLOGÍA
PLANO 6	SECCIONES GEOLÓGICAS
PLANO 7	COBERTURA Y USOS DEL SUELO
PLANO 8	ZONAS HOMOGÉNEAS
PLANO 9	TALUDES PARA ANÁLISIS CINEMÁTICA
PLANO 10	ZONIFICACIÓN DE AMENAZA – ESCENARIO ACTUAL
PLANO 11	ZONIFICACIÓN DE AMENAZA FUTURA
PLANO 12	ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD – ESCENARIO ACTUAL
PLANO 13	ZONIFICACIÓN DE RIESGO – ESCENARIO ACTUAL
PLANO 14	LOCALIZACIÓN DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN Y/O REHABILITACIÓN
PLANO 15	AMENAZA DE OBRAS
PLANO 16	DETALLES DE OBRAS
PLANO 17	DETALLES DE OBRAS – SECCIONES
PLANO 18	DETALLES DE OBRAS – SECCIONES
PLANO 19	LOCALIZACIÓN DE OBRAS DE EMERGENCIA

# 1 GENERALIDADES

## 1.1 ANTECEDENTES

De acuerdo con las disposiciones del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C. –Decreto 619 del 28 Julio de 2000-, la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias – DPAE, asignó a través de la Invitación Pública para la Licitación FOPAE No 07 del-2006 y del Contrato de Consultoría No. 226 de 2006, al consorcio GIA-GEOCING, para elaborar el “Estudio de Riesgos por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de Medidas de Mitigación en el Barrio el Codito de la Localidad de Usaquén en Bogotá D.C.”

El Codito descansa en una ladera estructural, de pendiente media y escalonada. Las construcciones fueron desplantadas en la ladera, parte sobre areniscas y parte sobre rellenos antrópicos confinados con muros de contención para conformar terrazas o escalones; pertenece a la Zona 1, Cerros, según el Estudio de Microzonificación Sísmica de Santa fe de Bogotá (Ingeominas, Universidad de los Andes 1997), y de acuerdo con el “Estudio de inestabilidad del terreno para diferentes localidades de Santafé de Bogotá”, realizado por INGEOCIM LTDA (1998), a escala 1:10.000, conjuga estados de amenaza media y alta.

El estudio surge como respuesta a la necesidad de proteger la población puntual, estimada en 1500 personas, sometida desde la década de los noventa a recurrentes procesos de inestabilidad- caídas de bloques y deslizamientos traslacionales en suelo y roca- los más severos acaecidos al final de 1999 y en Mayo de 2006. Este último provocó el reasentamiento temporal de 67 predios. El conjunto completo de emergencias explicadas y descritas en diagnósticos se reseñan en adelante:

- Diagnóstico No. 809 (12 de noviembre de 1999): Quince (15) viviendas cimentadas en la parte superior de un escarpe rocoso sufrieron agrietamientos. La DPAE realizó el monitoreo de desplazamientos y de apertura de grietas y encontró que éstos seguían incrementándose (15 de noviembre de 1999), por lo que se recomendó su evacuación y demolición, y la realización de un estudio detallado de riesgos a fe de establecer obras de protección y mitigación.
- Diagnóstico No. 1736 (22 de abril de 2003): Contextualiza el desprendimiento de guijarros en el escarpe de explotación de 20m de altura circunscrito en la carrera 24 con calle 180C. Como agentes detonantes y contribuyentes se citan: la condición estructural, la intensa meteorización del macizo rocoso y el deficiente manejo de las aguas de escorrentía. Recomienda adelantar a la mayor brevedad el control de la escorrentía para evitar el deterioro del macizo; el monitoreo del mismo por parte de la comunidad y dar aviso a la DPAE en caso de nuevos desprendimientos que pudieran afectar las viviendas. Se solicitó presencia del acueducto de Bogotá para efectuar la limpieza de las estructuras del sistema de alcantarillado
- Diagnóstico No. 1786 (11 de agosto de 2003): En el predio de la Carrera 23 entre Calles 182 A y 182 B, y ubicado en la parte alta del talud constituido de tope a base por material de relleno y areniscas (formación arenisca tierna, grupo Guadalupe), se realizó la adecuación de un área con material de relleno heterogéneo en piedra pegada para la construcción de una zona recreativa. En este diagnóstico se recomendó anexar al estudio de suelos que se adelantó para la zona, un análisis detallado de amenaza y

FOPAE.	CONSORCIO GIA - GEOCING	<b>GIA -046-06</b>		Cap 1 - Pág. 22	
Versión:	1			Fecha	08/08/06
Elaboró:	GMT	Revisó:	JALG	Aprobó:	JALG

riesgo, que incluya el diseño de las medidas de mitigación necesarias para garantizar la estabilidad del predio y de su entorno.

- ☑ Diagnóstico Técnico No DI-2182 (29 de octubre de 2004): Demarca la caída de bloques, y el flujo de detritos subsecuente, este último como evento condicionante del primero, con influencia en el predio ubicado en la calle 180C No 23 A-58. El evento se asoció a filtraciones de aguas lluvias y servidas, promovidas por el taponamiento de una alcantarilla en la parte alta del escarpe. Se sugiere la evacuación temporal de la vivienda, el retiro de los bloques sueltos que quedaban en la parte alta del talud, la limpieza y el mantenimiento del alcantarillado de aguas negras y la implementación del alcantarillado de aguas lluvias. Adicionalmente se propone incluir este escenario en la Base de Datos de Sitios Críticos por Fenómenos de Remoción en Masa y adelantar estudios y diseños detallados para construir obras de mitigación.

- ☑ Diagnóstico Técnico No. DI-2401 (23 de mayo de 2005): Responde a problemas de inestabilidad en un escarpe rocoso entre las calles 181Bis y 181 B y las carreras 25 y 25 A. Se demarcan dos sectores críticos: el primero sometido a la caída de bloques con tamaños entre 0.3 y 2.0 m<sup>3</sup> con un volumen total movido que asciende a 50m<sup>3</sup>; produjo daño parcial a un predio en el que coexisten una vivienda y funciona un vivero.

El segundo sector, hace parte del mismo escarpe. Allí podría tener lugar la caída de bloques de gran tamaño. El macizo se exponía muy fracturado y las infiltraciones de agua podrían generar sobrepresiones en los bloques potencialmente inestables.

Se recomendó incluir el primer sector en la Base de Datos de Sitios Críticos de la DPAAE, para realizar intervención con obras de mitigación de riesgo y en el segundo sector restringir el paso sobre la Carrera 25 B e instar a la comunidad a la siembra de árboles con el fin de mitigar el impacto de la caída de los bloques.

- ☑ Diagnóstico Técnico No. DI-2438 (de junio de 2005): Diagrama y esquematiza muy globalmente los problemas de inestabilidad entre las calles 183 y 173 y entre la Finca La Matucana y la Carrera 24; los principales problemas se ciñen a la caída de rocas . En concordancia se recomiendan las siguientes medidas de mitigación:
  - Mantener en buen estado las obras de drenaje existentes en el barrio El Codito; facilitar el flujo de las aguas de escorrentía (lluvias) provenientes de la parte alta del barrio El Codito III Sector y que recorren las Calles 181 A Bis, 181 Bis, 180 C y 180 B, factor detonante principal responsable de los procesos de inestabilidad.
  - Requerir a la entidad encargada del manejo ambiental de las canteras, a fe de conceptuar, si las diferentes compañías o personas que realizan la extracción de materiales en el barrio El Codito tercer sector, están dentro de la reglamentación ambiental vigente.
  - Incluir el sector comprendido entre las Calles 183 a 173 entre la Finca La Matucana (Carrera 23) y la Carrera 24 del Barrio El Codito de la Localidad de Usaquén, en la Base de Datos de Sitios Críticos por Fenómenos de Remoción en Masa de la DPAAE. Su importancia, promover e impulsar la realización de un estudio de evaluación de la amenaza y riesgo por fenómenos de remoción en masa, que incluya el planteamiento de las alternativas para la mitigación del riesgo.

## 1.2 DELIMITACIÓN GEOMÉTRICA DEL ÁREA DE INTERÉS

El barrio El Codito enmarca en el flanco oeste de los Cerros Orientales, al norte tanto del Distrito Capital (Calle 180B a 183 aproximadamente, entre carreras 26 y 23), como de la Localidad de Usaquén. Limita al sur con la calle 180B, por el norte con el barrio la Estrella (calle 182B), por el oriente con los antiguos frentes de explotación de las canteras de los Cerros Orientales y por el occidente con la carretera al Guavio. Tiene un área de 11.8 Ha, comprendida en el cuadrángulo que tiene como coordenadas planas N: 117750 m E: 105825 m en el extremo suroccidental y N: 118200 m E: 106300 m en el extremo nororiental (origen Bogotá con coordenadas geográficas 04° 41' 00.00" de latitud norte y 74° 09' 00.00" de longitud oeste, al cual se le asignaron las coordenadas planas 109320.965 m Norte y 92334.879 m Este), con elevaciones entre 2596 y 2750 m.s.n.m. (véase **Plano 2**). Involucra en su interior unidades residenciales de 1 a 3 pisos, de Estrato 2, zonas verdes y vías secundarias pavimentadas. (Véase Plano 2).

## 1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El barrio El Codito Sector I, y el deslizamiento del mismo nombre, se encuentran ubicados sobre el flanco occidental del Anticlinal de Usaquén, estructura regional con eje orientado en dirección aproximada Norte-Sur. Dicha estructura define que el rumbo de las capas estratificadas de la Formación Arenisca Tierna, con predominio de areniscas cuarzosas de cementación media, sea aproximadamente N15W a N30W, y buzamiento entre 15 y 25° hacia el suroeste. También define un esfuerzo principal mayor orientado aproximadamente E-W que fractura el macizo con un sistema de diaclasas aproximadamente paralelas al rumbo de la estratificación, pero con buzamiento ladera adentro con inclinaciones mayores de 65°.

Las areniscas fueron intervenidas para la extracción de materiales de construcción, aproximadamente desde 1950, al punto de dejar taludes únicos con alturas considerables (variables entre 15 y 35 m). La extracción causó alivio en los esfuerzos, que se tradujo en la apertura del sistema de diaclasas con orientación cercana a la N-S, familia dominante en la mayor parte de los frentes de extracción. Trabajo acentuado por el empuje hidrostático del agua en ellas. Lo anterior unido a la existencia de niveles e interestratificaciones de arcillolitas y arenas lodosas reblandecidas por el humedecimiento, y que sirven de superficies preferenciales de movilización a lo largo de los planos de estratificación, patrocinaron la ocurrencia de los procesos de remoción en masa que afectaron el barrio en meses anteriores.

Pero la cadena de factores contribuyentes no sólo incluye la predisposición cinemática, componente indispensable y necesaria para la gestación del deslizamiento, el régimen hidrogeológico, el aporte continuo de efluentes en la plataforma superior de explotación (denominada por los habitantes como "Tercer nivel" o "Tercer Piso") y los vertimientos de agua provocaron la descomposición de los paquetes más arcillosos de arenisca, al punto de dar lugar a estados sucesionales entre la roca y el suelo residual (según se deduce de la baja resistencia de algunos fragmentos o bloques que se desintegraban con una leve presión de los dedos y de mantos delgados saturados de horizontes areno-arcillosos) y al reblandecimiento de las interestratificaciones arcillosas.

Esta combinación de efectos abre la puerta a la hipótesis de una falla progresiva y a la posibilidad de una falla general más profunda y más extensa. Presunción posiblemente concatenada con las grietas y el deterioro tanto de algunas viviendas, como de la superficie del terreno expuesto hoy día al norte del cuerpo principal y con repercusiones colaterales al sur. Su viabilidad depende de la continuidad de los paquetes arcillosos, de su coexistencia a otras profundidades y de la presencia de superficies libres que den lugar a la predisposición cinemática y mecánica, cómo efectivamente las hay lateralmente y aguas abajo. Uno ni otro corroborados en



la visita técnica pues el movimiento los enmascara y los paquetes expuestos en el frente de explotación del tercer nivel se pinchan lateralmente.

#### **1.4 ALCANCES DEL ESTUDIO**

Las siguientes son las actividades mínimas que precisa el estudio y que constituyen sus eslabones:

- Recopilación y análisis de información secundaria disponible: fotografías aéreas, cartografía oficial, planchas geológicas, estudios geotécnicos y de riesgo anteriores, plano catastral aprobado por DAPD, registros pluviométricos, y todo tipo de información que aporte al proyecto.
- Levantamiento topográfico detallado de la zona objeto: altimetría y planimetría a escala 1:500 amarrados a las placas IGAC, con curvas de nivel cada 0.50 m, que registren la morfometría de la ladera y los signos de inestabilidad, así como los elementos del componente urbanístico.
- Recopilación de información primaria: levantamiento geológico a nivel de unidad de roca, Inventario y caracterización de los procesos morfodinámicos, inventario de viviendas, investigación del subsuelo, y programa de ensayos de laboratorio.
- Agrupación y síntesis de la información hidrológica, hidrogeológica e hidráulica.
- Análisis geotécnico; identificación de sitios inestables; estimación de estabilidad global y local para condiciones estáticas y dinámicas, tanto en estado actual como con las obras recomendadas.
- Evaluación de amenaza para los escenarios actual y posterior a la implementación de las obras de mitigación.
- Análisis de vulnerabilidad y riesgo para cada una de las unidades residenciales.
- Evaluación de mitigabilidad en términos de riesgo con base en la evaluación económica y la eficiencia de las obras.
- Diseño de las obras requeridas para estabilizar la zona y las viviendas afectadas. Se incluyen las memorias de cálculo, las cantidades de obra y el presupuesto.

#### **1.5 LIMITACIONES**

Es importante reseñar que se asumirán características geotécnicas similares de acuerdo con los resultados de campo y laboratorio y condiciones de homogeneidad para los diferentes materiales presentes en el área de interés.

## 1.6 METODOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

El estudio se estructura con base en un procedimiento metodológico evolutivo que inicia con la consulta de la información secundaria y con la recopilación de la primaria. Éstas se examinan, procesan y evalúan, con el fin de establecer similitudes y discrepancias entre sí, de tal forma que faciliten el diagnóstico del problema y conduzcan a las definiciones y zonificaciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa, y el planteamiento y diseño de las medidas de mitigación óptimas dentro de los marcos técnico, social, ambiental y económico.

Para tal fin, el consorcio GIA-GEOCING, dispone de un equipo multidisciplinario de profesionales, que a lo largo del proyecto establecen coordinadamente con la interventoría los lineamientos metodológicos, conceptuales y técnicos para el cumplimiento de los objetivos y el logro de las metas propuestas de acuerdo con los términos de referencia exigidos por la DPAE. Bajo esta perspectiva, el contenido técnico, se estructura lógica y consecuentemente, y se enmarcan sus alcances dentro de las directrices de la institución y las políticas distritales. Los pasos que conciernen la realización del estudio se exponen a continuación:

### 1.6.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE

Se refiere a la obtención de información secundaria: fotografías aéreas y ortofotomapas, así como cartografía y estudios previos de topografía, geología, geomorfología, geotecnia, hidrología, climatología, usos del suelo, sismología etc, disponibles en entidades como el IGAC, el INGEOMINAS, el IDEAM, el ACUEDUCTO, el DAPD, la JUNTA DE ACCIÓN COMUNAL, la ALCALDÍA DE LA LOCALIDAD y la DPAE.

Esta etapa permitió en primer lugar, la asimilación de las características de la morfología del terreno, la disposición predial, la geología, y la geomorfología regional, y un acercamiento a la comprensión de los fenómenos existentes en el área. En segundo lugar, fue la base de la programación de las labores requeridas para la complementación y profundización de la información y del ajuste de las fases de desarrollo del proyecto. Involucró la revisión y contrastación de las siguientes referencias:

- GIA Consultores Ltda – (2004) “Estudio de Riesgo por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar El Escarpe del Barrio Mirador del Norte de la Localidad de Usaquén”.
- INGEOCIM LTDA. – UPES – FOPAE. (1998). “Zonificación por Inestabilidad del Terreno para Diferentes Localidades en la Ciudad de Santafé de Bogotá D. C.” Bogotá D.C.
- INDESA LTDA. – (2000). “Identificación y Evaluación de Riesgos por Remoción en Masa y Diseños Detallados para Estabilizar el Antiguo Escarpe de Explotación Barrio El Codito.”
- INGEMÉTRICA LTDA. – (1999) “Zonificación de Amenazas y Riesgos por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar El Antiguo Escarpe de Explotación Frente al Barrio Soratama, Localidad de Usaquén”.
- MOYA Y GARCÍA LTDA – (2002) “Estudio de Riesgo por Remoción en Masa y Diseños Detallados de las Obras de Control, Protección y Estabilización Barrios Cerro Norte y Villa Nidia, Localidad de Usaquén”.
- ROCAS Y MINERALES – (2000) “Estudio de Riesgo por Remoción en Masa y Diseños Detallados de las Obras de Control, Protección y Estabilización en el Barrio El Codito III Sector, Localidad de Usaquén”.

De los estudios consultados que incluyen zonas muy próximas a la de interés o la involucran, permiten entre otras realizar las siguientes apreciaciones sobre el componente geológico:

a) El plano geológico de INDESA LTDA (2000), escala 1: 5.000, destaca que parte del barrio se asienta sobre un depósito de origen antrópico constituido por residuos de explotación de las canteras aledañas y parte en rocas de la Formación Guadalupe – Arenisca Tierna –. La secuencia estratigráfica delinea una ladera estructural con rumbo N-S y buzamiento hacia el W, con gradientes, entre 10 y 25 grados.

b) La geología presentada en el informe de ROCAS Y MINERALES (2000), a escala 1: 10.000, emplaza al Barrio El Codito sobre rocas de la Formación Guadalupe – Arenisca de labor – y cuyo contacto con la Formación Guadalupe – Arenisca Tierna – (suprayacente), es de tipo fallado, y discurre en dirección N-S. Estas formaciones conforman una ladera estructural con rumbo N-S y buzamiento hacia el W, con gradientes, entre 10° y 25°. De igual manera, precisan la prevalencia de una serie de fallas normales de pequeño desplazamiento, que se caracterizan por poseer una orientación similar a la estratificación pero con azimut de buzamiento hacia el NE y gradientes entre 66° y 68°, el desplazamiento entre los bloques limitados por estas, varía entre 0.3 m y 0.6 m lo que dibuja un arreglo escalonado descendente hacia el oriente.

c) Aunque la cartografía levantada e ilustrada por MOYA Y GARCÍA LTDA (2000) esté fuera del polígono del presente estudio, fue baluarte importante para conocer la continuidad lateral de las unidades estratigráficas y el comportamiento estructural de la franja nororiental de la ciudad. Este trabajo al igual que los anteriores permite enmarcar la vertiente como una ladera estructural, pero a diferencia de ellos la entalla en rocas pertenecientes a la formación Arenisca de Labor apreciación que entra en clara divergencia con lo expuesto en los trabajos referidos en los párrafos anteriores. El modelo estructural, si bien es discontinuo, y devela la importancia de la tectónica en la respuesta de las laderas, no permite deducir si las trazas y fallas responden a una o más sistemáticas de influencia regional.

d) GIA (2004) frente a los trabajos arriba citados, modifica la extensión y continuidad de los depósitos cuaternarios; incorpora datos estructurales de estratificación y diaclasas; enfatiza en la coexistencia de las formaciones labor y tierna al punto de cartografiarlas independientemente; y replantea la disposición de los sistemas de falla, en especial del que discurre en sentido E-W.

De todo lo anterior es claro que las cartografías de GIA (2004), Rocas y Minerales (2000) e Indesa (2000) son consistentes entre sí pero difieren de la de Moya y García (2002) e Ingeocim (1998). Los principales contrastes radican en la asignación estratigráfica en la mayor ocupación espacial de los depósitos cuaternarios, tema en el que INDESA (2000), hace especial énfasis y da su mayor contribución, y en la sistemática de las fallas. Esta última descrita esencialmente por dos series de lineamientos con direcciones predominantes N-S para los primeros y E-W para los segundos, tanto unos como otros provocan una leve traslación de las estructuras y de los contactos litológicos de las formaciones Arenisca de Labor y Tierna, pero no así de los planos de estratificación de la misma ya que conservan rumbo NNE-SSW, con dirección de buzamiento hacia el W gracias a su proximidad al barrio Mirador del Norte y a que las características litológicas concuerdan con el conocimiento que tenemos de la Formación Arenisca Tierna.

En lo que respecta a tópicos como: exploración del subsuelo, ensayos de laboratorio y caracterización geomecánica, el conjunto de documentos técnicos integran propiedades de resistencia de los paquetes de arenisca y en un solo caso de las limonitas y en un particular escenario (pues sólo puede acopiarse la información de INDESA) levantamientos estructurales en el Codito “Tercer Nivel”. Los ensayos disponibles son: cortes directos por el plano de estratificación, cargas puntuales, pesos unitarios y compresiones inconfiadas.

A pesar de lo anterior es innegable enfatizar en la caracterización de: las interestratificaciones arcillosas, los paquetes limolíticos, y los niveles de arenisca lodosa, y en el contexto estructural. Todo con base en pruebas

de corte directo, levantamiento de columnas y toma de datos estructurales. Cabe destacar, sin embargo que el trabajo en las arenisca puede ser extenso e incluso no tener éxito, pues se requiere la obtención de un elemento alterado o su modificación en laboratorio mediante inmersión durante varios días y traslado a la cámara de corte, operación que puede acarrear la pérdida de la muestra.

### **1.6.2 VISITA DE RECONOCIMIENTO**

Una vez examinada la información disponible se efectuó una visita al sitio del estudio, que persiguió, como primera medida, corroborar las acepciones inferidas en la etapa inmediatamente anterior, formular apriori un modelo hipotético de los problemas de inestabilidad y de la secuencia estratigráfica, organizar el inventario de viviendas, proponer los puntos de exploración del subsuelo, identificar los agentes detonantes de los procesos morfodinámicos y plantear de forma preliminar alternativas de mitigación de la amenaza.

### **1.6.3 ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍAS BASE Y TEMÁTICA**

#### **1.6.3.1 Levantamiento Topográfico**

Con el objeto de conseguir el mapa base para las diferentes etapas del proyecto, contrastar el levantamiento catastral de que dispone el distrito; registrar la morfometría de la ladera, los signos de inestabilidad, las viviendas, las vías, y todo tipo de estructura física existente, como postes, pozos de inspección etc; se realizó el levantamiento topográfico del sector a escala 1:500 con curvas de nivel cada 0.5 metros. Éste fue amarrado a placas del IGAC que sirvieron de soporte para la definición de la poligonal de trabajo. El barrido altimétrico y planimétrico se ejecutó con la ayuda de una estación total, mediante un procedimiento mixto, que involucró tanto la toma de secciones transversales como la captura de una nube de puntos.

La interpretación cartográfica se efectuó con el empleo del software Autocad Land y Eagle point V14.1 bajo la aplicación de un modelo de interpretación dirigida. Es decir, se definieron y respetaron las barreras físicas actuales y se condicionó la interpretación a éstas, sin permitir el desempeño del Software a su libre esquema de triangulación.

#### **1.6.3.2 Estudios Geológico y Geomorfológico**

A partir de la información existente, de la interpretación de las fotografías aéreas de años anteriores, de los levantamientos topográficos, y de campo; se establecieron los niveles litológicos en términos de unidades de roca y suelo tanto locales como regionales con su ubicación espacial; se identificaron los principales rasgos tectónicos, en especial fallas y lineamientos fotogeológicos; se establecieron la red de drenaje existente, las formas estructurales, la morfodinámica, etc. De igual forma, se determinó la geología estructural del macizo rocoso (específicamente orientación de la estratificación o influencia de los planos de discontinuidad o falla), los espesores y grados de alteración de los materiales depositados, la presencia de suelos residuales, y la potencialidad de movimientos en masa. Como resultado de este trabajo, se presentan los planos geológico y geomorfológico, realizados 1:500 en escala de trabajo y a escala 1:750 en salida gráfica.

## **1.6.4 ESTUDIO GEOTÉCNICO BÁSICO**

### **1.6.4.1 Inventario De Procesos de Inestabilidad**

Se identificaron y delimitaron los diferentes procesos de inestabilidad, activos o potenciales. Cada proceso se registra en una ficha técnica y cartográfica, en la que se consigna 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 geomorfológico, constituyen el producto final del Inventario de procesos de inestabilidad y son la base para evaluar la amenaza a corto y mediano plazo y para calibrar el plano de zonificación.

### **1.6.4.2 Programación de Exploración del Subsuelo**

Este tópico se abordó en dos etapas: la primera mediante la ejecución de: Columnas estratigráficas (6), Apiques (5) y levantamientos estructurales (40 estaciones) del macizo; con los que se detallaron los contactos litológicos, se barrió longitudinal y transversalmente la zona, y se establecieron los espesores y características principales de las unidades de roca y suelo. La segunda correspondió a la ejecución de sondeos con métodos de avance percusión-lavado y rotación –catorce (14) en total-. La conjugación de todos los métodos permitió una buena aproximación al modelo geológico y geotécnico del área.

En cuanto al programa de ensayos de laboratorio, éste se dirigió a la estimación de la resistencia al corte de los horizontes comprometidos, tanto de los llenos, como de las discontinuidades del macizo (en especial los lentes de arcilla y el plano de estratificación) y de las unidades de roca. Las muestras se someten a pruebas índice como: humedad natural, peso unitario, límites de Atterberg, granulometría, entre otras; y de comportamiento esfuerzo deformación, acordes con el nivel de esfuerzos existente en campo, como corte directo.

## **1.6.5 INVENTARIO DE VIVENDAS**

Para dicha actividad se realizó una revisión inicial y posterior ajuste de la topografía, límites de los predios y nomenclatura. Se recopiló información secundaria a saber: Plano catastral DAPD, escala 1:1000, con curvas de nivel cada metro, de donde se obtuvo el número de manzana y lote de cada uno de los predios.

El estudio de la vulnerabilidad de los elementos expuestos, en este caso las viviendas, se realizó utilizando como instrumento de recolección el “Formulario para la evaluación de daños y estado en edificaciones por fenómenos de remoción en masa”. El formato está conformado por 4 secciones: La primera de ellas denominada: Datos Generales, comprende información concerniente al propietario, a la ubicación espacial y catastral de los predios y a las características orgánicas de las viviendas, se incluyó también un apartado sobre los usos del suelo. La segunda: Condición Estructural, indaga acerca de las características de fundación y de estructura de las construcciones así como de su calidad constructiva. La tercera titulada: Daños, se enfoca hacia la categorización de las averías o expresiones “patológicas” (a priori) en elementos estructurales y no estructurales, a la auscultación sobre filtraciones, y al planteamiento de alguna medida a priori de acuerdo con lo observado. Y la última condensa datos enmarcados en el contexto social. Finalmente, contiene un espacio para observaciones, en las que se plasman comentarios de los habitantes o apreciaciones del aforador que en alguna medida contribuyen al estudio.

## **1.6.6 ANÁLISIS GEOTÉCNICO**

### **1.6.6.1 Modelo Geotécnico**

Con base en la investigación de campo, en los ensayos de laboratorio y en algunos principios básicos de la geología estructural se elabora un modelo (aproximado) del subsuelo por cada zona homogénea, en el que destaca la secuencia estratigráfica, la disposición estructural del macizo y los parámetros geomecánicos obtenidos para cada horizonte de suelo o roca.

Se emplea durante la elaboración de este ejercicio la base cartográfica obtenida del levantamiento topográfico, escala 1:500. Las secciones estratigráfica (o geotécnicas) se levantan en la dirección probable de movilización de las unidades de ladera, que apriori concuerda con el azimut del buzamiento de la estratificación promedio por dominio estructural. Así se definirá los espesores de cada uno de los materiales, su disposición estructural, los parámetros geomecánicos y la posición probable de la superficie de falla. Este modelo será de gran importancia para el desarrollo del análisis paramétrico y de estabilidad.

### **1.6.6.2 Zonificación Geotécnica**

La definición de las zonas homogéneas contempla variables como: material (unidad de roca y tipo de suelo), condición estructural, propiedades físico-mecánicas, y drenaje. Esta tarea implica la convolución de los estudios básicos: geología –estratigráfica (en unidades de roca y suelo) y estructural-, geomorfología – unidades morfológicas, morfométricas y procesos-, la hidrogeología, la investigación del subsuelo y la caracterización geotécnica de los materiales. Para el desarrollo de este tema se da uso a técnicas heurísticas o de cruce cualitativo de mapas.

### **1.6.6.3 Análisis de Estabilidad**

En el análisis de estabilidad se estudia en primera instancia la influencia del patrón geométrico de los planos de debilidad que componen el macizo. De esta manera, se hace una revisión de la condición de estabilidad, la que se enfoca al análisis direccional de los modos probables de falla a lo largo de los planos de debilidad estructural como: falla planar, en cuña o por volcamiento. Todo este trabajo a partir de la aplicación del análisis cinemático propuesto por Hoek y Bray (1974) y Goodman (1981). La citada labor se acentuará en los cortes y frentes de explotación.

En segunda instancia se emplean para la evaluación local y general de estabilidad, métodos de análisis estático (equilibrio límite, Jambu o Bishop, y análisis paramétricos, Mora - 1992) de acuerdo con los mecanismos de falla probables o presentes en la zona de estudio, p.e. por reblandecimiento, por desconfinamiento, o progresivas. En este último caso, se modelan: a) en el macizo rocoso fallas de tipo traslacional: de bloque con o sin grieta de tracción y b) en las unidades de suelo: deslizamientos traslacionales o rotacionales por saturación, reblandecimiento, y presurización, entre otros.

Los análisis de estabilidad se efectuarán para las diferentes condiciones, 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.

### **1.6.7 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA**

La amenaza, entendida como la probabilidad de excedencia de un parámetro específico durante un tiempo de exposición determinado, se describe mediante la evaluación del Factor de Seguridad  $FS$  como parámetro específico de estabilidad (Sánchez, 2000). La relación existente entre estas dos variables ( $F.S.$  y  $Pf$ ) y la obtención de las mismas, se hace aquí con base en los lineamientos metodológicos de los Estimativos Puntuales, PEM (Rosenblueth, 1975 y Harr, 1987). Por lo tanto, la probabilidad de ocurrencia de un evento particular ( $FRM$ ) se evalúa en términos de sus eventos condicionantes a través de la ley de probabilidades totales.

Dicha probabilidad, es función de las probabilidades condicionales de que se presente el deslizamiento para todas las posibles combinaciones de lluvia y sismo. Bajo el marco teórico expuesto, la evaluación de amenaza requiere entonces como insumos: los mecanismos de falla; y las funciones de probabilidad de las variables involucradas cohesión y fricción. Estos elementos, coligados con los resultados del análisis de estabilidad para las distintas combinaciones permiten determinar las curvas de probabilidad de falla de los taludes en estudio. Si bien el análisis se efectúa para casos individuales, la probabilidad condicional de falla obtenida en cada uno de ellos es fundamental en la definición de la curva de probabilidad de falla de la zona de estudio, Esta gráfica constituirá el último eslabón en la elaboración del Mapa de Amenaza Actual (escala de trabajo 1:500).

### **1.6.8 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO**

A partir de los resultados del análisis de amenaza y de las observaciones de campo, se identifican y localizan los elementos en riesgo (tales como viviendas, vías, servicios, etc.). Una vez identificados los elementos en riesgo, se deduce 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 realiza teniendo como soporte la encuesta elaborada en cada vivienda para poder estudiar así tres componentes de la vulnerabilidad: la social, la funcional y la física. Para las vulnerabilidades social y funcional se toman en cuenta el nivel de ingresos, los daños sufridos por las viviendas, la cobertura de servicios básicos esenciales, la cobertura de centros de salud y educativos, elementos institucionales, y las recomendaciones para medidas urgentes, con el fin de cualificar la conciencia de los pobladores ante los eventos amenazantes, su capacidad para reconstruirse, y la atención del distrito a las necesidades de los pobladores. 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, son baluartes para estimar el índice de vulnerabilidad física.

La vulnerabilidad social se definirá en forma cualitativa con base en las apreciaciones del experto en riesgos; mientras que la evaluación del índice de vulnerabilidad física se basa en una modificación a la propuesta realizada por Léone (1996). En este sentido se determina con base en la composición orgánica y estructural de las residencias y de la longitud potencial de viaje de la masa inestable, las zonas de afectación directa o indirecta para cada mecanismo de inestabilidad, los índices de exposición (IE) y de resistencia (IR). Estos elementos serán el soporte para la determinación del índice de vulnerabilidad física.

Las zonas de afectación por vivienda son definidas para cada tipo de fenómenos, gracias a las evidencias de campo, y el índice de exposición (IE) se estima como la relación entre área afectada del predio (Aaf) y el área total del mismo (At). Por su parte el índice de resistencia se deduce a partir del grado de contribución a la resistencia de las diferentes componentes del sistema estructural de las viviendas como son: la cubierta, la estructura de techo, el tipo de sistema estructural y el tipo de material constitutivo de cada componente.

A las variables mencionadas se les asigna 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 calculará finalmente el índice de vulnerabilidad física (IVF), para lo cual se utiliza la ecuación propuesta por Leone (1996), reemplazando los parámetros de resistencia y exposición por los índices reseñados.

Finalmente, analizada tanto la amenaza como la vulnerabilidad, se llevará a cabo la convolución de estas dos variables para definir el riesgo. Para ello se determinan los costos probables de falla a partir de los escenarios de afectación, del índice de vulnerabilidad física y de 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 obtendrá entonces como el producto de la probabilidad de falla por el costo de falla que no es otra cosa que la sumatoria del índice de vulnerabilidad física por el costo inicial del elemento expuesto.

### **1.6.9 EVALUACIÓN DE MITIGABILIDAD Y ANÁLISIS DE COSTO/BENEFICIO**

La identificación y clasificación de las medidas de reducción del riesgo para cada zona homogénea, es un proceso evolutivo en el tiempo y que se perfeccionó en la medida que se alcancen los diferentes objetivos del estudio o se desarrollen las diferentes etapas del mismo. La selección de las mejores alternativas técnicas, sociales y económicas en cada zona se lleva a cabo con base en un análisis de costo/beneficio, elaborado mediante la metodología de árboles de decisión (Wu et. al., 1994), cuyo componente analítico se basa en: un análisis de probabilidad condicional y en el teorema de Bayes. Cada rama del árbol involucra la ejecución de un análisis probabilístico de la ladera con la incorporación de los elementos de contención o las medidas de mitigación (Amenaza Futura) y la estimación de las consecuencias económicas probables. La decisión óptima se obtendrá maximizando el valor esperado.

Las tareas reseñadas permitirán concluir sobre donde es conveniente reducir el nivel de amenaza, es decir llevar a cabo obras de contención o mitigación y cual es la mejor alternativa, y en donde se requiere evadir el problema o sea reducir el nivel de vulnerabilidad.

### **1.6.10 ORGANIZACIÓN DEL INFORME**

El documento que se constituye en la herramienta de implementación en el sector para mejorar la calidad de vida de los pobladores desde la perspectiva de la prevención de riesgos del sistema distrital, estará conformado por 10 Capítulos, 7 Anexos, conclusiones y recomendaciones, bibliografía y 19 Planos. En la **Tabla 1.1, Tabla 1.2 y Tabla 1.3** se desglosan los temas de los capítulos, los contenidos de los anexos y los planos, respectivamente. El informe se compone de un volumen que contiene el documento técnico junto con la cartografía y un apartado de anexos.



**Tabla 1.1 Temas de los Capítulos**

Capítulo 1	Generalidades
Capítulo 2	Topografía
Capítulo 3	Geología y Geomorfología
Capítulo 4	Estudio geotécnico
Capítulo 5	Hidrología , Cobertura y Usos del Suelo
Capítulo 6	Evaluación de amenaza
Capítulo 7	Evaluación de vulnerabilidad y riesgo
Capítulo 8	Planteamiento de alternativas
Capítulo 9	Diseño de obras
Capítulo 10	Conclusiones y recomendaciones

**Tabla 1.2 Contenido de los Anexos**

Anexo A	Topografía
Anexo B	Geología
Anexo C	Geotecnia
Anexo D	Amenaza
Anexo E	Vulnerabilidad y riesgo
Anexo F	Planteamiento de alternativas
Anexo G	Diseño de obras

**Tabla 1.3 Contenidos de los Planos**

Plano 1	Localización general
Plano 2	Mapa base
Plano 3	Geología Regional
Plano 4	Geología Local
Plano 5	Geomorfología
Plano 6	Secciones Geológicas
Plano 7	Cobertura y Usos del Suelo
Plano 8	Zonas Homogéneas
Plano 9	Taludes para Análisis Cinemático
Plano 10	Zonificación de amenaza – escenario actual
Plano 11	Zonificación de amenaza futura
Plano 12	Zonificación de vulnerabilidad – escenario actual
Plano 13	Zonificación de riesgo – escenario actual
Plano 14	Localización de obras de estabilización y/o rehabilitación
Plano 15	Amenaza de Obras
Plano 16	Detalles de Obras
Plano 17	Detalles de Obras – Secciones
Plano 18	Detalles de Obras – Secciones
Plano 19	Localización de Obras de Emergencia

## 2 TOPOGRAFÍA

Como insumo esencial dentro de la elaboración de las cartografías geológica, geomorfológica, geotécnica, de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, y de localización de obras de estabilización o rehabilitación, se realizó un levantamiento topográfico detallado, a escala 1:500 en el área designada para el estudio. Éste identificó y registró: la morfometría de las laderas, los rastros de inestabilidad, las viviendas, las vías, y todo tipo de estructura física, como postes, pasos peatonales, pozos de inspección y escaleras, entre otras. En este capítulo se describen las labores comprendidas para tal fin, y se presentan los resultados.

### 2.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Luego de realizar una inspección visual en campo del sitio de estudio y una vez evaluada la información secundaria disponible: Planchas IGAC, Plano DAPD y referencias externas tales como el mapa base del estudio realizado por INDESA (2000), y que cubre una parte de la zona en estudio actual, se procedió hacer el levantamiento topográfico a escala 1:500 con curvas de nivel cada 0.50 metros (véase **Plano 2**), mediante la aplicación de un procedimiento mixto que incluyó tanto la obtención de secciones transversales como la captura de una nube de puntos.

#### 2.1.1 TRABAJO DE CAMPO

El levantamiento topográfico involucró la captura de 9611 puntos (referidos en el **Anexo A3**) y tuvo una duración de 20 días. Se llevó a cabo en dos etapas la primera comprendió el espacio abierto; allí se tomó la información con secciones transversales; los prismas se dispusieron en los cambios de pendiente hasta obtener un cubrimiento total del área. Los intervalos entre las secciones oscilaron entre 1 m y 3 m de distancia, según las variaciones morfológicas del terreno. La segunda fase abarcó el registro de la infraestructura como es: paramentos, andenes, construcciones, postes, pozos, y cercas, entre otros, su barrido se llevó a cabo con una nube de puntos.

##### 2.1.1.1 Localización Cartográfica

El Barrio el Codito, localidad Usaquén de Bogotá D.C., forma parte del flanco noroeste de los cerros orientales. Colinda al sur por la calle 180B, al norte por la calle 182B, al occidente con la carrera 26 hasta la calle 182 y al oriente por los antiguos frentes de explotación, pertenecientes a la Hacienda la Matucana, en los cerros orientales. Se enmarca en el cuadrángulo que tiene como coordenadas planas, N: 117750 m E: 105825 m en el extremo suroccidental y N: 118200 m E: 106300 m en el extremo nororiental, con elevaciones entre 2596 y 2750 m.s.n.m, y un área aproximada de 11.80 Ha.

Los datos están referenciados a las coordenadas cartesianas con origen en el punto de coordenadas geográficas 04° 41' 00.00" de Latitud Norte y 74° 09' 00.00" de Longitud Oeste de Greenwich al cual se le asignaron las coordenadas planas 109320.965 metros al Norte y 92334.879 metros al Este, respectivamente. Datum Observatorio Astronómico de Bogotá con el plano de proyección de 2550.000 m.s.n.m, (Véase **Plano 2**).

FOPAE.	CONSORCIO GIA - GEOCING	<b>GIA -046-06</b>		Cap 2 - Pág. 35	
Versión:	1			Fecha	08/08/06
Elaboró:	GMT	Revisó:	JALG	Aprobó:	JALG

### 2.1.1.2 Descripción del Poligonal de Amarre

El levantamiento fue amarrado al sistema de posicionamiento del IGAC con punto de partida en las placas de éste instituto **CD323A y CD325A**. Para realizar el traslado de coordenadas del levantamiento topográfico se empleó la información del punto CD-325-A, con azimut al punto CD-323-A, con el fin de amarrar dos vértices amojonados a coordenadas reales. Mediante una poligonal se trasladaron las coordenadas y la elevación a diferentes puntos fáciles de acceder para la toma de la información relevante. La placa topográfica **CD323A** se encuentra en el costado sur-occidental de la calle 170 con carrera 9, a 90cm del semáforo, sus coordenadas planas son N: 116793m y E: 115292 m, y su elevación geométrica calculada por el IGAC es de 2584 m.s.n.m. sobre el plano de referencia 2550.00 m.s.n.m, con un azimut plano del norte al este desde el CD325A de  $276^{\circ}58'01.299''$ , y distancia de 1027.03m. Y la placa **CD325A** está dispuesta en el separador sur de la Carrera Séptima con calle 170, frente del Restaurante El Cordero Dorado, con un azimut de  $320^{\circ}$ ; sus coordenadas planas son N: 116669.369m y E: 106098.54 m, y su elevación geométrica calculada por el IGAC es de 2.584.9. La **Figura 2.1** exhibe la poligonal y el **Anexo A1** contiene copia de la certificación IGAC.

### 2.1.1.3 Descripción Poligonal de Cierre

Una vez georeferenciada el área a través de la poligonal de amarre, se procedió al cierre y ajuste de la poligonal linterna constituida, por 11 estaciones de referencia o deltas, fijadas a lo largo de las carreras 23, mojones 6, 7 y 8; 24, estaciones 1 a 3 y 26 ,deltas 10 a 12; desde las que se establecen visuales a los sitios radiados para la obtención de la nube de puntos, Para la radiación de los detalles, se desarrolla una red interna de auxiliares consistente en 61 puntos verificada de forma directa y en tiempo real empleando el mismo software de la estación total, la **Figura 2.2** enseña un esquema de la poligonal levantada.

### 2.1.1.4 Ajustes del Levantamiento

Una vez surtidas las etapas anteriores, se efectuó el trabajo de ajuste y cierre del levantamiento topográfico, que arrojó los siguientes resultados:

- Error de cierre en coordenadas Norte = -0.006m.
- Error de cierre en coordenadas E = - 0.007 m.
- Error de cierre en ángulo =  $3''$
- Error Vertical = 0.039 m

Precisión = 1:63000

### 2.1.1.5 Mojonamiento de Referencia

Se materializaron con tres placas fijadas y marcadas como: Codito 1, sobre el andén al costado oriental de la carrera 24 frente a la boca calle de la carrera 181; Codito 2, sobre el andén al costado occidental de la carrera 24 frente al predio 180B-07 y .Codito 3, sobre el andén al costado norte de la calle 182 frente al predio 23-90. Existe vista entre ellas, sus coordenadas y elevación se relacionan en la **Tabla 2.1** y se representan en el **Plano 2** “Mapa Topográfico”.

**Tabla 2.1 Mojones Materializados**

No.	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	117907.295	106065.0560	2647.830	CODITO 1
2	117813.447	106058.319	2626.605	CODITO 2
3	117994.849	106060.871	2657.405	CODITO 3

### 2.1.1.6 Condensación de la Información de Campo

La información tomada en la estación total se consignó, a través de un colector de datos interno de la estación total y el uso del programa de computadora Transit Vrs No. 2.11 propio de los fabricantes de la estación total. **TOPCON GTS-235W**, mediante el programa de computadora CRC.

### 2.1.2 TRABAJO DE OFICINA

Residió en georeferenciar los puntos topográficos tomados en campo con el uso del programa Transit versión No. 2.11. El procesamiento cartográfico del levantamiento se ejecutó con el módulo surface modeling del programa de computadora Eaglepoint versión no.14.1, bajo un modelo de interpolación dirigida en tres dimensiones, lo que conllevó a definir y respetar las barreras físicas actuales, en especial los frentes rocosos, los taludes y los escarpes (de roca y deslizamiento), y a condicionar la interpretación a éstas, sin permitir el desempeño del programa a su libre esquema de triangulación; en este sentido jugaron un papel importante las secciones transversales.

El proceso así desarrollado puede entenderse como una conceptualización de un submodelo para un SIG, pues primero se elaboraron las diferentes capas de información y posteriormente se hizo la interpolación. De esta manera entonces, se seleccionaron los postes de alumbrado, los pozos de inspección y demás elementos del amoblamiento urbano, se delinearon las vías y se delimitaron los taludes. Para una mejor aplicación del programa se procesaron parcialmente en tres dimensiones los diferentes elementos topográficos levantados, lo que dio como resultado una mayor precisión y calibración de los límites y contornos. Finalmente para terminar la generación del mapa base, se realizó la integración e interpretación final de todo el conjunto. Como resultado de la actividad anterior, se definió la salida gráfica del plano topográfico, Plano 2, escala 1: 750 con curvas de nivel cada 0.5 metro, y la cartera electrónica (**Anexo A3**).

Figura 2.1 Poligonal de Amarre

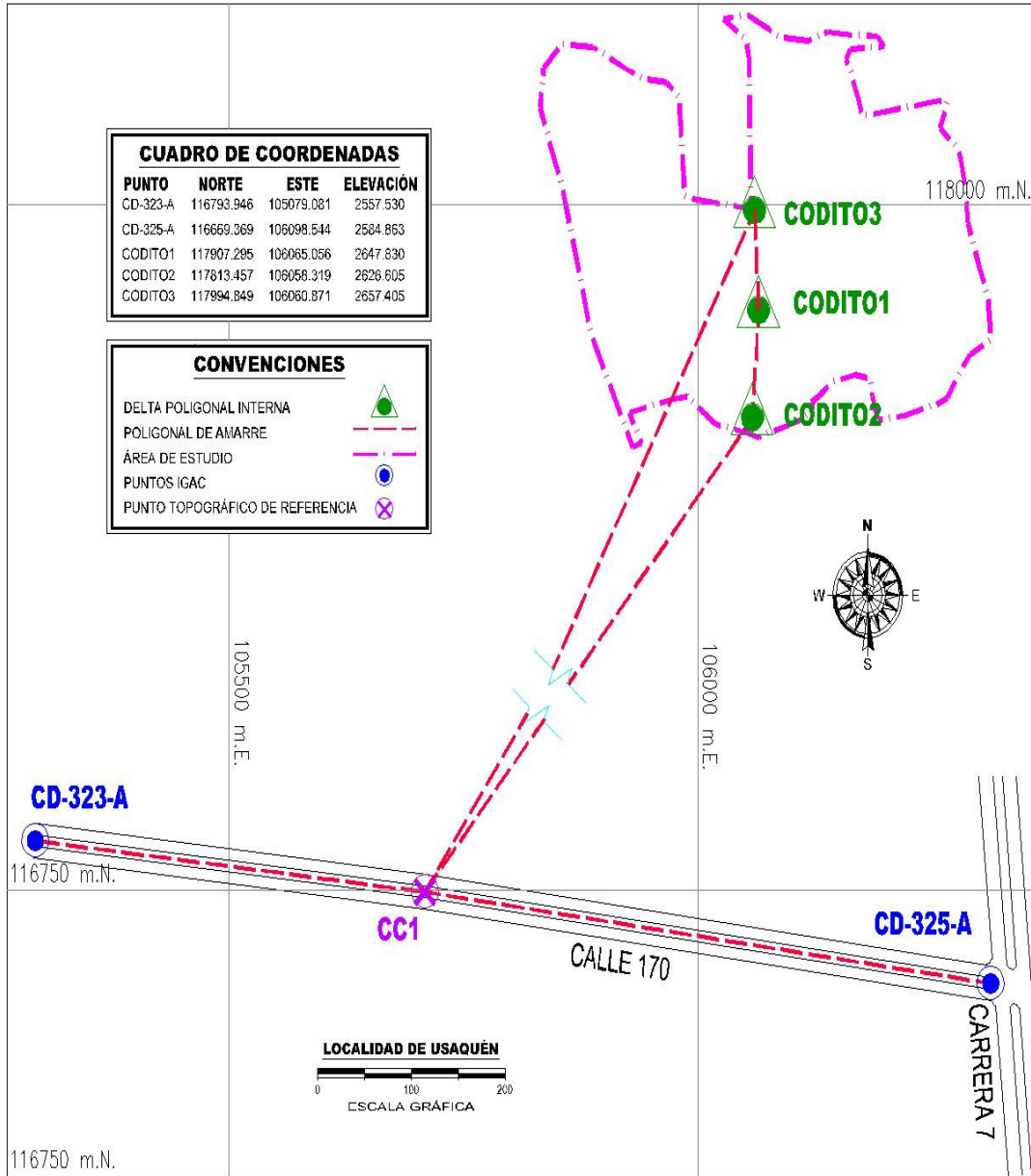
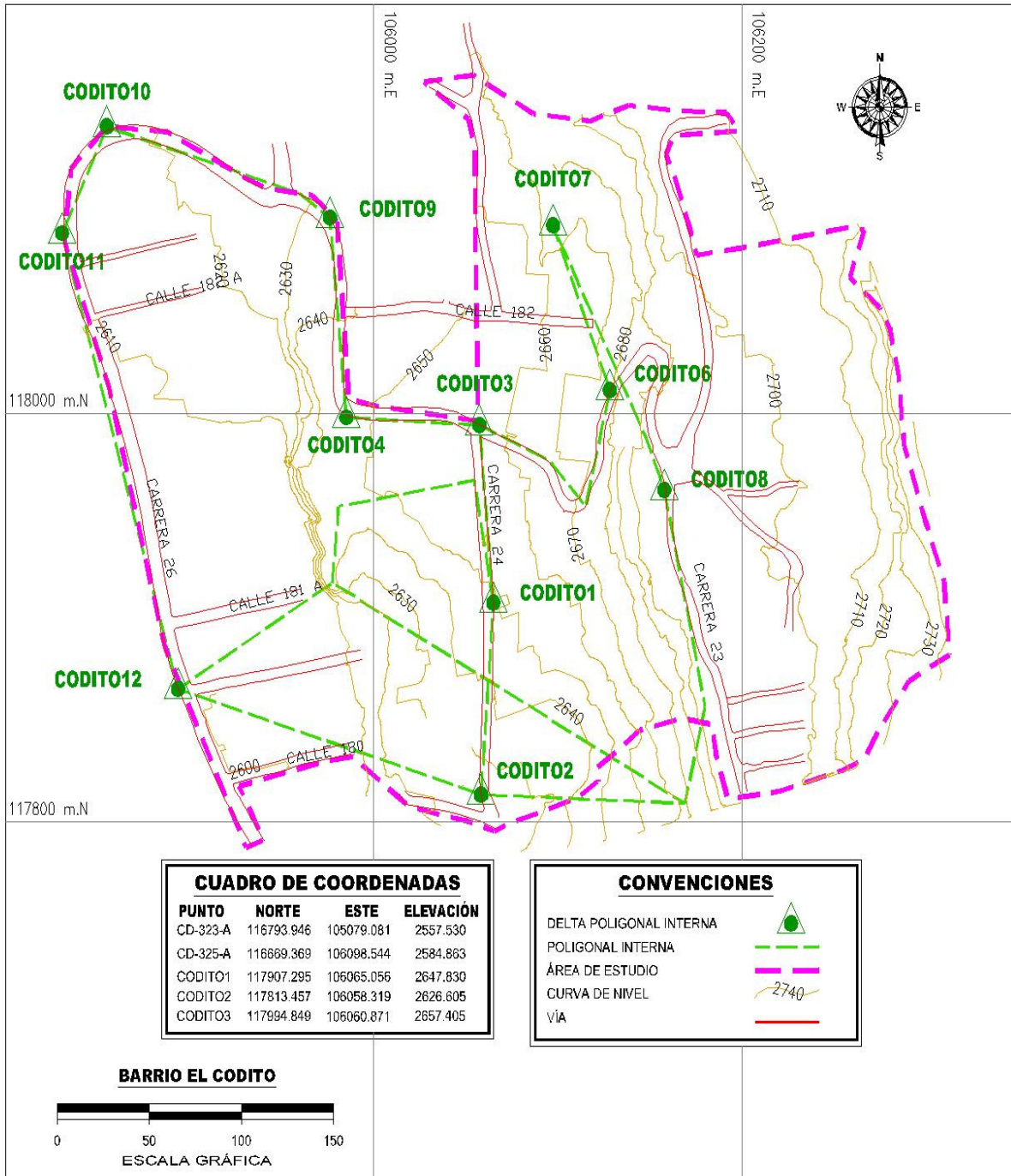


Figura 2.2 Poligonal de Cierre



## 2.2 EQUIPO

El equipo utilizado fue una Estación Total TOPCON GTS-235W de precisión angular a los 01 segundos y alcances de lectura con prisma sencillo de 3000m de distancia, capacidad para almacenar hasta 8000 puntos topográficos y lectura vertical cenital ,y aunado a tres prismas para la lectura de los puntos.



### 3 GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA, HIDROGEOLOGIA Y ASPECTOS SISMICOS

La evaluación geológica está orientada principalmente hacia la obtención de un modelo geológico y estratigráfico que permita optimizar la exploración geotécnica e interpretar las condiciones de estabilidad, y facilitar las evaluaciones de amenaza y riesgo, tiene como insumos los resultados obtenidos durante la exploración geotécnica. Es importante mencionar que los modelos geológicos deben ser estratigráficos y estructurales, con el fin de diferenciar el comportamiento entre y de unidades sometidas a esfuerzos tectónicos, que definen materiales intensamente fracturados o triturados con comportamientos geotécnicos diferentes, al de la roca poco fracturada.

#### 3.1 GEOLOGÍA

##### 3.1.1 ASPECTOS GEOLOGÍA REGIONAL

La Sabana de Bogotá forma parte de una cuenca sedimentaria plegada y tectonizada, constituida por varios ejes anticlinales donde afloran formaciones constituidas, principalmente, por areniscas y arcillolitas, de edades Cretácicas tardías hasta Neógenas, depositadas en medios marinos (Grupo Guadalupe), transicionales (Formación Guaduas), hasta continentales (Formación Bogotá, Regadera, etc.). Esas formaciones antiguas se erodaron en parte durante fases de plegamiento y de manera fuerte durante y después del levantamiento de la Cordillera Oriental a partir del Mioceno. Los materiales erodados y transportados fueron redepositados en las depresiones y dentro de la cuenca durante el (Mio-)Plioceno y el Cuaternario y dieron lugar a gran variedad de depósitos no litificados de composición heterogénea, que recubren, en algunos casos parcial o totalmente, las formaciones antiguas. De estos depósitos, los más viejos fueron sometidos a intemperismo en condiciones tropicales durante el Plioceno, y en condiciones de montaña tropical de altitud a partir del Pleistoceno. Por otro lado, en el transcurso del Plioceno y del Cuaternario se ha puesto en evidencia la existencia de niveles de cenizas, provenientes de los centros volcánicos de la Cordillera Central que hicieron erupción durante ese lapso de tiempo (Ingeominas, 2003).

La zona trabajada hace parte de la porción nororiental de los Cerros Orientales, en particular de la Sierra de Usaquén. Se circunscribe en el cuadrángulo: (115.000N, 105.000E), (115.000N, 108.000E), (119.000N, 105.000E) y (119.000N, 108.000E). Su morfología es de pendiente (o ladera) estructural con gradientes que varían entre 10 y 30°. Las laderas se encuentran en el flanco occidental del Anticlinal de Bogotá-Usaquén; la estructura está limitada al occidente por la Falla de Bogotá, que separa los Cerros de la zona de Sabana. Además de la falla principal, trasiegan numerosas fallas con dirección NW-SE y lineamientos con dirección aproximada E-W. (Véase **Plano 3**).

El flanco occidental del Anticlinal de Bogotá – Usaquén se expone generalmente inclinado hacia el occidente, razón por la que el buzamiento de los estratos es desfavorable a la estabilidad en los cortes de cantera (en particular donde ellos son paralelos o sub-paralelos al rumbo de las capas).

Desde el punto de vista litológico, en la mayor parte de la vertiente afloran areniscas de la Formación Arenisca Tierna del Grupo Guadalupe (finales del Cretácico) dispuestas en capas gruesas con delgadas intercalaciones de lodolitas grises claras generalmente onduladas; sin embargo, en el extremo sur (sector de Villa Nidia) afloran areniscas de grano fino, bien cementadas intercaladas con lodolitas grises oscuras

FOPAE:	CONSORCIO GIA - GEOCING	<b>GIA -046-06</b>		Cap 3 - Pág. 41	
Versión:	1			Fecha	08/08/06
Elaboró:	JFM	Revisó:	JAL	Aprobó:	JAL

generalmente dispuestas en geometrías plano-paralelas propias de la Formación Arenisca de Labor del Grupo Guadalupe. Las secuencias rocosas están parcialmente cubiertas por: suelos residuales, transportados (gestados por procesos gravitatorios, aluviales y fluvio-glaciales) y negros (provenientes de la meteorización de cenizas volcánicas junto con limos y arenas finas probablemente transportadas por el viento y granos de arena provenientes de la meteorización de las capas de arenisca) de carácter limo-arenoso; y por depósitos antrópicos relacionados con la extracción de materiales y la adecuación de terrenos con fines urbanísticos .

En este estudio se presenta una compilación a partir del análisis de la información existente, de la fotointerpretación (Véase **Anexo B4**) y del conocimiento de los consultores en la geología de la zona y sus alrededores. Se revisaron los estudios reseñados a continuación:

- Civiles Ltda. 2003. Estudio de riesgo por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar el escarpe del barrio Soratama en la Localidad de Usaquén, Bogotá. Informe interno FOPAE.
- Consorcio Geotec. 2006. Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas recomendadas en el barrio Arauquita segundo sector, ubicado en la Localidad de Usaquén, Bogotá. Informe interno FOPAE.
- Fierro Morales, J. 2005. Geología y geomorfología detallada de la Aula ambiental de Soratama (Localidad de Usaquén, Bogotá). Informe interno DAMA.
- Geocing Ltda. 1998. Evaluación y zonificación del riesgo del barrio Arauquita. Localidad de Usaquén, Bogotá. Informe interno Fondo de desarrollo local de Usaquén.
- GIA Consultores Ltda. 2005. Estudio de riesgos por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar el escarpe del barrio Mirador del Norte de la Localidad de Usaquén, Bogotá. Informe interno DPAE.
- Hidrotec Ltda. 1998. Estudios y diseños de estabilidad de taludes, control de erosión y manejo de aguas para la estabilización de diferentes sitios en la ciudad de Santa Fe de Bogotá – Grupo 3. Informe interno FOPAE.
- Indesa Ltda. 2000. 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 interno DPAE.
- Ingemetrica Ltda. 1999. Zonificación de amenazas y riesgos por remoción en masas, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras para estabilizar el antiguo escarpe de extracción frente al barrio Soratama. Localidad de Usaquén. Informe interno FOPAE.
- Ingeocim Ltda. 1998. Zonificación por inestabilidad del terreno para diferentes localidades de la ciudad de Santa Fe de Bogotá D.C. Informe interno FOPAE.
- Moya y García Ltda. 2002. Estudio de riesgo por remoción en masa para los barrios Cerro Norte y Villa Nidia de la localidad de Usaquén y Diseño de obras de control, protección y estabilización. Informe interno DPAE.
- Rocas y Minerales Ltda. 2000. Estudio de riesgos por remoción en masa y diseños detallados de las obras de control, protección y estabilización en el barrio El Codito III Sector, Localidad de Usaquén, Bogotá. Informe interno DPAE
- Universidad Nacional de Colombia. 2000. Diseños detallados para la reconfiguración geotécnica y ambiental de la antigua cantera Soratama. Informe interno DAMA

### 3.1.2 **ESTRATIGRAFÍA**

En los estudios regionales y locales consultados para producir el Mapa geológico regional (Plano 3), existen divergencias sobre los límites de las unidades litológicas. Upes-Ingeocim, op. cit. muestra que la parte de pie de ladera está constituida por la Arenisca de Labor (Ksgl); sin embargo, los levantamientos detallados llevados a cabo en el marco de diferentes estudios locales, entre los que se cita éste, fijan a partir de la Calle 166 y hacia el norte (al menos hasta el extremo norte del perímetro urbano de Bogotá en el Piedemonte) el pie de ladera labrado en su totalidad por la Fm. Arenisca Tierna.

Las diferencias entre estos dos grupos: son fundamentalmente: a). Texturales; Labor es predominantemente una arenisca de grano fino a medio mientras que Tierna es una arenisca de grano grueso e incluso guijosa; b). De cementación, Labor es bien cementada mientras que Tierna es friable y con un porcentaje mayor de matriz; y c). De estructuras sedimentarias, labor presenta láminas de menos de 2 mm con contenido de lodos generalmente bioperturbados y en Tierna son comunes estructuras sedimentarias mayores como estratificación interna inclinada.

Hecha esta aclaración y bajo la premisa anterior, se fija el contexto estratigráfico basado en Julivert (1968) y Van der Hammen (1995); el primero para Guadalupe y el segundo en lo que respecta a la Formación Sabana.

#### 3.1.2.1 **Grupo Guadalupe (Ksg)**

**Nombre:** Propuesto por Hettner (1892) y redefinido por Hubach (1957) y Renzoni (1968) que lo subdividieron en Arenisca Dura (Ksgd), Plaeners (Ksgp) y Labor y Tierna (Ksglt). El nombre de esta unidad procede del Cerro de Guadalupe: Sierra de Bogotá, en la parte central – sur de los Cerros Orientales (Julivert, 1968).

**Edad:** Cretácico Tardío (Campaniano - Maastrichtiano Superior: 70 a 65 Ma antes del presente).

**Lugares donde aflora:** La Formación Arenisca Tierna conforma el sustrato rocoso de los polígonos de El Codito y Mirador del Norte y la Formación Areniscas de Labor entalla el de Villa Nidia.

**Uso como material de construcción:** El Grupo Guadalupe ha sido explotado para obtener arenas, rajones, postes para cerca, placas para mampostería, etc. En particular, la Formación Arenisca Tierna fue explotada en El Codito, como fuente de “arena de peña”, usada especialmente para mezclas de morteros (pañetes).

##### 3.1.2.1.1 Características físicas de la roca en el área tipo

Este aparte se base en el trabajo de Pérez y Salazar (1978) que estudiaron de manera detallada el Grupo Guadalupe en los Cerros Orientales de Bogotá.

#### **Formación Arenisca de Labor**

Encierra hacia la base areniscas arcillosas, grisáceas a blancas de grano muy fino a fino, bien seleccionadas. Yacen en bancos gruesos separados por capas finas de arcillolitas, frecuentes y de mayor espesor en la base. Muestran fracturamiento prismático, laminación y estratificación gradada.

En la parte superior se expone en intercalaciones de areniscas con horizontes de lodolitas dispuestas en paquetes con espesores similares. Las areniscas son arcillosas con granulometría variable de muy fina a fina, con porciones de grano grueso. Son comunes: la ocurrencia de ondulitas, la estratificación ondulosa, ondulosa lenticular y esporádicamente la laminación plano-paralela. Los icnofósiles son escasos.

El espesor de la Formación en Usaquén es de aproximadamente 75 metros (según datos expuestos en el Léxico Estratigráfico Internacional, Julivert, 1968) y de 177 metros de acuerdo con las secciones levantadas por Pérez y Salazar (op. cit.) en los afloramientos ubicados en las quebradas El Higuierón y La Vieja.

### **Formación Arenisca Tierna**

Está constituida hacia la base por una intercalación de bancos gruesos de areniscas con bancos menos gruesos de lodolitas finamente interestratificadas. Estas últimas desaparecen hacia el techo y se reducen a delgadas capas de arcillolitas. Las areniscas son arcillosas, esporádicamente sin matriz, de color pardo amarillento a blanco, de grano grueso a muy grueso, con porciones conglomeráticas frecuentes y porciones de grano medio a fino esporádicas. La selección es regular a mala. Es característica la alternancia de bancos de arenisca con estratificación inclinada en cuñas y estratificación ondulosa lenticular en el tope de la formación. Las lodolitas reposan como interlaminaciones paralelas onduladas o lenticulares de limo o arena muy fina o arcilla. Los icnofósiles entallan principalmente los planos de estratificación y las capas de arcillolitas que separan los bancos de arenisca.

El espesor de la Formación en Usaquén es de 50 a 100 metros (datos expuestos en el Léxico Estratigráfico Internacional, Julivert, 1968) y de 40 metros acorde con las secciones levantadas por Pérez y Salazar (op. cit.) en los afloramientos ubicados de la carretera a Choachí.

#### 3.1.2.1.2 Características físicas de la roca en el área de estudio

Formación Arenisca de Labor (Ksgl): Aflora en el barrio Villa Nidia. Conjuga cuarzo arenitas muy bien cementadas con predominio de grano fino a muy fino (en general bien seleccionadas), con algunos horizontes de grano medio, muy silíceo, de tonos blancos, grises claro y amarillentos; dispuestas en capas plano-paralelas, de más de 50 cm de espesor, muy macizas. Las intercalaciones arcillosas y limosas son muy delgadas (menores 1 m).

Formación Arenisca Tierna: Aflora en los barrios El Codito y Mirador del Norte. Está definida por areniscas blancas a grises claras (que alteran a colores amarillentos), de composición cuarzosa y en algunos niveles levemente feldespáticas (con estos minerales alterados a arcillas blancas) de grano medio a grueso (incluso conglomerático), con estratificación gruesa a muy gruesa con presencia de estratificación interna inclinada e icnofósiles en las capas de techo. La cementación es variable, de friables a moderadamente cementadas. Las intercalaciones corresponden a capas de menos de 50 cm de lodolitas (arcillolitas limosas) de colores grises claros, generalmente dispuestas en capas delgadas con estratificación ondulosa paralela y laminación plano paralela.

#### 3.1.2.1.3 Características geotécnicas y procesos morfodinámicos típicos

Los macizos rocosos variables en composición conjugan el trabajo de cuatro familias principales de diaclasas, incluida la estratificación, rugosas y ligeramente meteorizadas y algunas posiblemente de origen tectónico, su estructura oscila entre masas parcialmente alteradas con bloques angulares multicaradas y masas de bloques cúbicos. Esta representación es más evidente donde predominan las areniscas de regular a buena cementación, con intensidad de fracturamiento variable. Sin embargo, los macizos explotados tienen intercalaciones de lodolitas, que conforman planos a lo largo de los deslizamientos planares de grandes magnitudes, ejemplos tienen lugar en frentes de explotación contiguos o cercanos como: Cerro e Ibiza y El Cedro en Usaquén y la cantera Industrial y Minera La Quebrada y Santa Helena en Ciudad Bolívar y que tuvieron influencia en el deslizamiento de la zona central del barrio El Codito.

La medición de las propiedades geomecánicas de las lodolitas en los estudios de amenaza llevados a cabo por la DPAAE, han dado como resultado ángulos de fricción interna de 16 a 18° (que gobiernan las condiciones de estabilidad del macizo), en función de las condiciones de humedad reinantes (Moya y García, 2002). Los deslizamientos ocurren toda vez que se quita el soporte basal a flancos monoclinales con cortes aproximadamente paralelos al rumbo de las estructuras o por pérdida gradual de la resistencia (reblandecimiento). Un proceso con mayor probabilidad de ocurrencia que el anterior pero de menor gravedad en sus consecuencias es la caída de bloques, generada por las discontinuidades en los taludes sub-verticales dejados por la explotación de materiales.

### 3.1.2.2 Formación Sabana

**Nombre:** Propuesto por Hubach (1957). Su nombre procede de la Sabana de Bogotá (Cundinamarca).

**Edad:** Pleistoceno medio y tardío (1 a 0,2 millones de años, edades basadas en huellas de fisión)

**Área tipo y límites:** Generalmente suprayace la Formación Subachoque. Su sección tipo es la parte central de la Sabana de Bogotá.

#### 3.1.2.2.1 Características físicas del suelo en el área tipo

Aunque está constituida principalmente por arcillas, hacia los márgenes de la cuenca de Bogotá existe un incremento en las intercalaciones de arcilla orgánica, turba/lignita, arcillas arenosas y arenas arcillosas. En el centro de la cuenca reposan aproximadamente los 320 metros superiores de los 586 de espesor total de relleno sedimentario; allí la Formación está constituida por arcillas y en la parte media se encuentran pequeñas intercalaciones de arenas. Los 2 metros superiores presentan un complejo de suelos constituidos por cenizas volcánicas. La secuencia en las perforaciones de la Ciudad Universitaria es de arcillas y arenas arcillosas con intercalaciones de arenas, turba/lignita y algunas gravas. El cambio lateral de facies que se observa en las secciones tipo también es notorio en otras perforaciones, es decir hay un incremento en las arenas e intercalaciones locales de turba, corriente arriba a lo largo de los ríos Bogotá y Tunjuelito.

#### 3.1.2.2.2 Características geotécnicas y procesos morfodinámicos típicos

Las dataciones con <sup>14</sup>C indican que el marcado descenso del nivel del agua que condujo a la desaparición del gran lago de la sabana tuvo lugar al final del periodo glacial. El nivel del lago descendió en las franjas marginales hace aproximadamente 40.000 años y en el centro de la cuenca hace 28.000 años, y su origen en la erosión fuerte del punto de salida del agua de la Sabana.

Los niveles freáticos, sin embargo, se encuentran cerca de la superficie (1 a 2 metros), con pequeñas variaciones estacionales que marcan espacios con mayores capacidades portantes en la época seca (dado que la succión aumenta los esfuerzos efectivos también aumentan, que son los que definen la resistencia de los suelos). La zona sometida permanentemente a la presencia de niveles freáticos es menos resistente; los parámetros de resistencia que gobiernan las arcillas, tales como el ángulo de fricción interna y la cohesión disminuyen en condiciones de humedecimiento y por consiguiente los cortes de excavaciones y las capacidades portantes son menores.

### **3.1.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

Las rocas de la zona de estudio conforman el flanco occidental del Anticlinal de Usaquén, la que representa la principal estructura del área. Este pliegue amplio presenta un rumbo general norte-sur y sobre sus flancos son comunes las fallas de rumbo con componente normal, que afectan las rocas cretácicas del Grupo Guadalupe.

Para la mayor parte de la zona de estudio, las fallas medidas, alineamientos de brechas tectónicas y la mayor parte de lineamientos fotogeológicos, lomos estructurales, cursos de quebradas no consecuentes, etc. corresponden a direcciones entre N20W y N40W. Hacia El Codito - Mirador del Norte, los alineamientos vuelven a tener direcciones predominantes cercanas a la Norte - Sur. Es importante mencionar que las fallas con dirección NW muestran desplazamientos predominantes de rumbo sinistral y componente menor en la vertical de tipo normal (Fierro Morales J., 2005) que están desplazando las unidades litológicas y ejercen un control estructural muy evidente sobre el drenaje. Además, existen fallas muy localizadas relacionadas con deslizamientos flexurales, probablemente dadas por estructuras gravitacionales donde el pellejo de la estructura se desliza ladera abajo, con dirección NE-SW.

El mapa geológico regional (Plano 3) muestra las tendencias de fracturamiento, graficadas a partir de los datos tomados por diversos estudios locales, todos coinciden con los lineamientos NW y N-S. La tendencia cercana a la E-W establecida en el estudio de Ingeocim (1999) no es predominante, apreciación deducida de los datos de discontinuidades medidas por los estudios revisados.

#### **3.1.3.1 Fallas**

##### **3.1.3.1.1 Falla de Soratama**

Su trazo fue definido por Tchomodanova, V. (Universidad Nacional, 2000). En el estudio de Fierro, J. (2005) se la denomina como una falla transtensiva, i.e. de rumbo con un componente menor en la vertical de tipo normal, probablemente sinistral con dirección aproximada N25W, cercana a la vertical. Tiene un patrón anastomosado en planta, con lentes de brechas tectónicas (zonas de daño) hasta de 15 metros de espesor.

##### **3.1.3.1.2 Lineamiento de San Cristóbal**

Trazada en la cartografía geológica del estudio UPES - Ingeocim (1999). El trazo identificado en dicho estudio atraviesa la zona central del sector de Villa Nidia; sin embargo, no existen evidencias de esta estructura en la geología local levantada (véase Consorcio GIA-Geocing, 2006). Se propone como lineamiento geomorfológico, probablemente debido a la adaptación de los cursos de agua a las pendientes estructurales. La evidencia es la forma casi rectilínea del cauce de la quebrada Santa Cecilia.

##### **3.1.3.1.3 Lineamiento de Mirador y Serrezuela**

Se abstraen y fijan en la cartografía geológica de la UPES - Ingeocim (1999). El lineamiento de Mirador tiene una orientación de N18E y discurre de norte a sur; el lineamiento Serrezuela exhibe un trazo de 74NE, sobre un alineamiento Este-Oeste.

##### **3.1.3.1.4 Otras Estructuras**

Además de los indicadores cinemáticos de campo, existe una tendencia fuerte de lineamientos fotogeológicos entre N20W y N40W, los principales exhiben una extensión mínima de 3 kilómetros, concordantes con el patrón de fracturamiento medido en diversos estudios.

También prevalecen lineamientos de dirección E – W no relacionados con sistemas de fracturamiento y que pueden responder al entallamiento de cauces consecuentes con las pendientes estructurales del flanco occidental del Anticlinal de Usaqué.

### **3.1.3.2 Pliegues**

#### Anticlinal de Usaqué

El anticlinal de Usaqué es una estructura asimétrica, cuyo eje lleva dirección aproximada norte-sur y corresponde con la parte alta del cerro de Usaqué. Los buzamientos de las capas del flanco occidental del anticlinal son más fuertes que los del flanco oriental. Este anticlinal se suspende en el sur por la falla denominada como Falla de Usaqué. Los tres polígonos estudiados en este contrato se ubican en el flanco oriental.

### **3.1.4 GEOLOGÍA LOCAL**

#### **3.1.4.1 Litología (Materiales)**

La cartografía geológica, básica para el entendimiento de la disposición de las diferentes unidades de roca (Resol. 364 de 2000) fue llevada a cabo en escala 1:250 pero con presentación en escala 1:750. Para su definición se levantaron seis (6) columnas estratigráficas detalladas, en escala 1:100 que suman un levantamiento total de 139 metros; quince (15) perforaciones; dos (2) trincheras y cinco (5) apiques.

A continuación se describen las unidades de roca y de suelos y depósitos residentes en el área. En cuanto a las rocas, la secuencia es casi totalmente arenosa, sin embargo, dada la importancia de las intercalaciones lodosas, tanto para su uso como capas guía (al separar capas gruesas de areniscas) como para las evaluaciones de estabilidad y amenaza, son descritas por separado, y cartografiadas como tal. Además, la acción de los procesos tectónicos sobre ellas causó su molienda en bandas de daño cartografiables, denominadas brechas tectónicas.

Debido a la complejidad tectónica, se dividió la zona de estudio en tres dominios estructurales (véase numeral 1.4.2), los que coinciden de manera gruesa con los espacios sometidos a extracción de materiales de construcción. Los dominios superior e intermedio poseen gran cantidad de afloramientos que permiten la correlación de las unidades de roca que los constituyen. Las unidades de roca del dominio inferior no fue posible correlacionarlas con las de los dominios intermedio y superior debido a la escasez de afloramientos. Por tal razón, las unidades se exponen divididas también por dominios.

Además de lo anterior, es importante destacar que las descripciones se toman con base en los levantamientos de columnas estratigráficas y en las perforaciones; sin embargo, las unidades presentan variaciones laterales, no solamente inherentes a los procesos sedimentológicos (cambios de espesor, cambios laterales de facies, acuñaamiento de unidades, etc.) sino también a la respuesta ante esfuerzos tectónicos (intensidades variables de fracturamiento) que hace más o menos susceptible la roca ante los procesos de intemperismo y relacionado con ello, la posición en la cual se encontraba el macizo rocoso previo a la extracción (las zonas más próximas a superficie debieron tener mayores intensidades de meteorización). Los factores mencionados hacen que las variaciones laterales de las unidades sean evidentes y que los perfiles geológicos que se constituyen en el fundamento de los análisis geotécnicos sean un modelo

coherente basado en la medición sistemática en superficie y en un análisis juicioso de la información obtenida de subsuelo pero con un alto grado de incertidumbre y no una representación verídica de la realidad.

### 3.1.4.1.1 Unidades rocosas de los Dominios superior e intermedio

La totalidad de las unidades de roca en El Codito pertenecen a la Formación Arenisca Tierna. Su espesor mínimo, de acuerdo con estudios geológicos detallados es de 40 metros (Fuente: estudios geológicos detallados) y la columna estratigráfica más larga levantada en el marco de este estudio registró un espesor cercano a los 30 metros, razón por la cual no es de esperar tener contactos con las unidades arenosas subyacentes (Fm. Labor); en el caso de la formación geológica suprayacente (Fm. Guaduas) no se encuentran las arcillolitas grises en paquetes espesos, típicas de la parte inferior de Guaduas.

#### **Fm. Arenisca Tierna - Unidad Arenisca 1 Ksgt<sub>A1</sub>**

Esta definida por areniscas cuarzosas, en ocasiones lodosas, con matriz de arcillas blancuzcas, con predominio de capas friables, no macizas. Contiene delgadas capas de lodolitas que varían lateralmente a areniscas lodosas. Su espesor total es de 9 m y aflora únicamente en el extremo oriental de la porción de la vertiente, en la parte alta del tercer nivel.

Está compuesta de base a tope por (véanse la **Foto 3.1** y el **Anexo B1**):

- 2 m de arenisca maciza de grano medio, lodosa, bien cementada
- 0.50 m de arenisca de grano muy fino, lodosa, de color blanco, friable.
- 1,3 m de arenisca de grano fino con laminaciones entre 3 y 10 cm.
- 0.50 m de arenisca de grano muy fino, lodosa, de color blanco, friable, con oquedades y microfósiles.
- 0.70 m de arenisca de grano medio friable.
- 2,5 m arenisca de grano medio maciza.
- 0.30 m de arcillolita con alta plasticidad y humedad.
- 1,3 m de arenisca de grano fino con laminación planoparalela, con poca matriz.

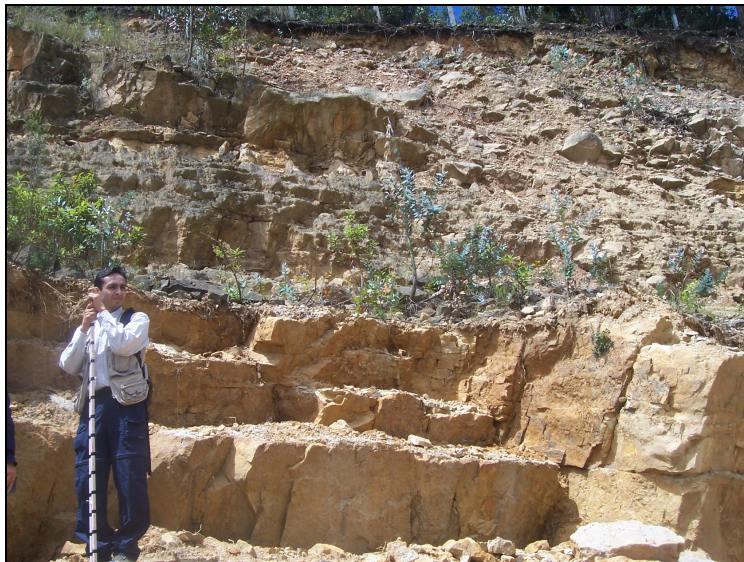


FOTO 3.1 ASPECTO DE LA UNIDAD KSGTA1. NÓTESE EL ASPECTO POCO MACIZO DE LA UNIDAD Y LAS DELGADAS INTERCALACIONES DE LODOLITAS QUE CONFORMAN LOS ESCALONES.



### Fm. Arenisca Tierna - Unidad Lodolita 1 Ksgt<sub>L1</sub>

Esta unidad guía tiene un aspecto particular apreciable a gran distancia (**Foto 3.2**). Aflora en el tope del escarpe de extracción superior y presenta una ondulosidad marcada por capas delgadas a manera de bandas paralelas. Su espesor total es de 2,3 m y aflora únicamente en el extremo oriental del área de estudio, en la parte alta del talud superior.

Está compuesta por:

- 0.30 m de arcillolita gris clara, con textura moteada, presenta alta plasticidad y humedad.
- 2 m de interestratificaciones de capas de 0.20 m de areniscas de grano fino lodosas con láminas de arcillolitas violáceas con laminación ondulosa e icnofósiles (*Planolites*).

### Fm. Arenisca Tierna – Unidad Arenisca 2 Ksgt<sub>A2</sub>

A continuación se expone la descripción de la Arenisca 2. Su descripción se toma del levantamiento de columna estratigráfica en el escarpe extractivo superior, donde se encuentran bien cementada, pero los procesos de tectonismo y de meteorización superpuestos en el cuerpo del deslizamiento de mayo de 2006, la hacen muy friable e incluso dan lugar a la formación de suelos residuales arenosos que engloban fragmentos bien cementados.

Agrupación areniscas con predominio de gruesas capas macizas, cuarzosas, moderadamente a bien cementadas (**Foto 3.2**). Su espesor total es de 21.30 m, y encierra de base a techo. Está compuesta de base a techo por (**Anexo B1**):

- 10,3 m de arenisca de grano grueso, bien cementada, maciza, con estratificación interna inclinada, con algunas intercalaciones hacia el tope de areniscas lodosas en capas de 0.03 a 0.10 m; y
- 6 m de arenisca de grano fino a medio, mal seleccionada, bien cementada.
- 5 m de arenisca de grano medio maciza, con estratificación interna inclinada



**Foto 3.2** PANORÁMICA DE LAS UNIDADES AFLORANTES EN LA ZONA DE EXTRACCIÓN SUPERIOR. LA LODOLITA 1 QUE SEPARA LAS ARENISCAS 1 Y 2 SE HA DESTACADO. NÓTESE LO MACIZO DE LA ARENISCA 2 EN COMPARACIÓN CON LA 1.

### Fm. Arenisca Tierna - Unidad Lodolita 2 Ksgt<sub>L2</sub>

Agrupación lodolitas (arcillolitas limosas) con espesor de 1,6 m. Incluye intercalaciones de capas de 3 mm a 10 cm de arenisca de grano fino y grueso bien calibradas (mal gradadas), subredondeadas con matriz arcillosa, laminación ondulosa no paralela, con capas de 1 mm a 5 cm de arcillolitas limosas blancas con laminación ondulosa (véanse la **Foto 3.3** y **Foto 3.4**). Contiene icnofósiles (*Planolites*). Sus cambios texturales y faciales laterales, la hacen la más arenosa hacia el sur.



**Foto 3.3** LAMINACIÓN ONDULOSA EN LAS INTERCALACIONES DE ARENISCAS DE GRANO FINO CON ARCILLOLITAS BLANCAS DE LA LODOLITA 2 (KSGT L2). ESTOS PAQUETES CON MÁS DEL 20% DE LAMINAS Y CAPAS FINOGRANULARES SE CONVIERTEN EN LOS PLANOS QUE FAVORECEN EL DESLIZAMIENTO DE GRANDES PORCIONES DE MACIZO ROCOSO.



**Foto 3.4** . UNIDAD DE LODOLITA 2 (KSGT L2), EN LA CORONA DEL DESLIZAMIENTO. LA UNIDAD PRESENTA CAMBIOS LATERALES HACIÉNDOSE MÁS ARENÁCEA HACIA EL SUR, LO CUAL DIFICULTA LA CARTOGRAFÍA DETALLADA A NIVEL DE UNIDADES GEOLÓGICAS DE ROCA.

### Fm. Arenisca Tierna - Unidad Arenisca 3 Ksg t<sub>A3</sub>

Engloba predominantemente, de areniscas cuarzosas macizas, con estructuras sedimentarias diversas (estratificación interna inclinada, geometrías lenticulares, etc.- véase **Foto 3.5**). Su espesor total es de 13,7 m, y lo componen de base a tope:

- 1,1m de arenisca de grano medio con lentes de lodo
- 3,8 m de arenisca de grano grueso, subangulares, mal seleccionadas, en arreglo de estratificaciones internas inclinadas, e intercalaciones de 15 cm de areniscas de grano muy fino con lentes de lodo
- 3,2 m de arenisca de grano medio, mal seleccionada, bien cementada, con cemento ferruginoso y estructura lenticular
- 1,2 m de arcillolita arenosa blanca, con laminación planoparalela y bioperturbación media
- 2,6 m de arenisca de grano fino, con estratificación planoparalela , bioperturbación media
- 1,8 m de arenisca de grano medio, con estructura lenticular.



**FOTO 3.5** ARREGLO DE ESTRATIFICACIÓN INTERNA INCLINADA, EN ARENISCAS DE GRANO GRUESO DE LA UNIDAD ARENISCA 3 (KSGT A3). ESTA UNIDAD CONFORMÓ LA MASA DESLIZADA EN LA PARTE SUPERIOR DEL DESLIZAMIENTO DE MAYO DE 2006.

#### 3.1.4.1.2 Unidades rocosas del Dominio inferior

A continuación se transcriben, de tope a base, las unidades de roca del dominio inferior. (**Foto 3.6**)

### Fm. Arenisca Tierna - Unidad Arenisca inferior 1 Ksg t<sub>A11</sub>

Tiene predominio de capas macizas de areniscas con buena cementación. Son en general granodecipientes hacia el tope, e incluye de techo a base (véase **Anexo B1**):

- 0.40 m de arenisca maciza de grano medio
- 0.50 m de capas delgadas de 5 a 15 cm de areniscas y láminas de areniscas lodosas con laminación ondulosa. Las areniscas son de grano fino con laminación en artesa, alto contenido fosilífero, moldes e icnofósiles (*Planolites*).
- 1,4 m de arenisca maciza de grano medio a fino con laminación interna, en lentes de más de 5 cm

- 7,8 m de arenisca maciza de grano medio a grueso con granodecrecimiento y laminación interna planoparalela, a la base lámina de arcillolita lodosa de menos de 3 cm
- 1m de areniscas lodosas de grano fino a medio, de color blanco hueso con mayor contenido de lodo hacia el tope y estructura *flaser* en la parte media, hacia la base presenta una capa de lodolita de 1cm de espesor
- 2,8 m de arenisca maciza de grano medio a grueso con intercalaciones delgadas de menos de 3cm de arcillolitas blancas que gradan hacia la base a areniscas lodosas. Posee niveles conglomeráticos.
- 0.30 m de lodolitas arenosas con replegamientos internos aparentemente tectónicos,  $\lambda= 50$  y 80cm,  $A= 5-10$ cm, estratificación ondulosa e intercalaciones de areniscas lodosas.
- 2,1m Intercalaciones de capas de 20 a 60 cm de areniscas de grano fino y grueso, con guijos, mal seleccionadas y matriz arcillosa, con láminas de lodolitas con laminación ondulosa
- 1,9 m de arenisca maciza de grano medio a grueso mal seleccionada, hacia la base laminación ondulosa, presenta alta bioperturbación y microfósiles
- 2,2 m de arenisca de grano fino a medio, intercalada con capas de 10 a 20 cm de areniscas lodosas y lodolitas.
- 4 m de arenisca de grano fino bien cementada con laminación ondulosa hacia la parte media,  $\lambda= 30$ cm y  $A= 5$ cm.

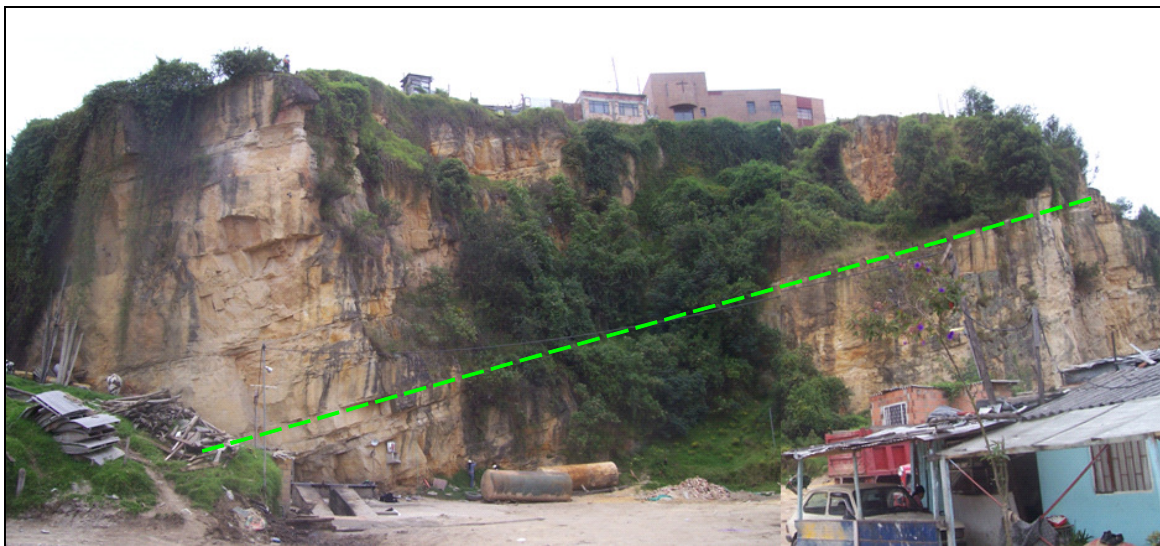


Foto 3.6 PANORÁMICA ZONA DE EXTRACCIÓN INFERIOR. MUESTRA EL NIVEL DE REFERENCIA TOMADO PARA LAS COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS LEVANTADAS.

### Fm. Arenisca Tierna - Unidad Lodolita inferior 1 Ksg $t_{L1}$

Unidad guía de carácter lodoso, compuesta por 4,6 m de intercalaciones de arenisca de grano fino a medio con matriz lodosa, laminación ondulosa y estructura *flaser*, con láminas de 2 a 8 cm de capas ondulosas de lodolitas; hacia la base se fija una capa de 25 cm de lodolita con laminación ondulosa e icnofósiles (*Planolites*).

### Fm. Arenisca Tierna - Unidad Arenisca inferior 2 Ksg t<sub>A12</sub>

Integra areniscas macizas con predominio de tamaño de grano medio, cuarzosas, bien cementadas. Su espesor es de 6m, contiene estructuras sedimentarias tales como estratificación inclinada en conjuntos gruesos (mas de 1 m) e icnofósiles hacia el tope.

### Fm. Arenisca Tierna - Unidad Lodolita inferior 2 Ksg t<sub>L12</sub>

Unidad guía de areniscas lodosas y lodolitas intercaladas. Consta de 4m de intercalaciones de capas de 20 a 30 cm de areniscas lodosas con laminación ondulosa y granodecrecimiento hacia la base con capas de lodolitas de 5 a 10 cm y laminación ondulosa; hacia la base las intercalaciones son más finas, las capas son de 4 a 10 cm de areniscas, conservan la laminación ondulosa, y aumenta la intensidad de fracturamiento.

### Fm. Arenisca Tierna - Unidad Arenisca inferior 3 Ksg t<sub>A13</sub>

Está definida por areniscas cuarzosas macizas, con predominio de grano grueso (hasta guijosas). Su espesor total es de 7,1 m, y consta, de techo a base de:

- 2,6 m de areniscas de grano grueso a medio granodecreciente, con guijos, mal seleccionadas, bien cementadas, su estratificación interna es inclinada, son de color parduzco por la presencia de óxidos de hierro, son altamente bioperturbada, con icnofósiles verticales (**Foto 3.7**), y poseen algunas intercalaciones de láminas de 5 mm de lodolitas con laminación paralela ondulosa con  $\lambda = 5\text{cm}$  y  $A = 1\text{cm}$ .
- 4,5 m de areniscas de grano grueso con guijos, mal seleccionadas, con estratificación interna inclinada, y de color pardo (**Foto 3.8**). Hacia el tope el tamaño de grano disminuye, trasiega de medio a grueso, y son bien cementadas.

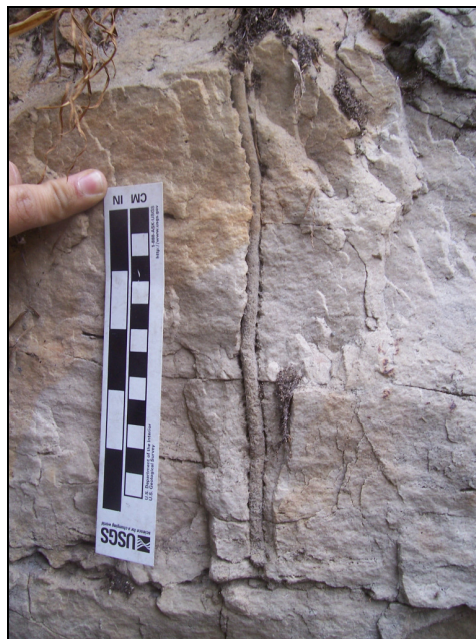


Foto 3.7 ICNOFÓSILES VERTICALES SKOLITHOS EN LA UNIDAD KSGT A3



Foto 3.8 ARENISCAS DE GRANO GRUESO A MUY GRUESO DE LA UNIDAD A3

#### 3.1.4.1.3 Unidades de Materiales Intermedios

##### **Brechas tectónicas (Ksgt<sub>BT</sub>)**

Son cartografiadas como una unidad independiente dado el tamaño de los afloramientos de extracción inferior y superior (véase **Foto 3.9**). Consisten de suelos arenosos que engloban fragmentos angulares a subangulares de areniscas friables donde son comunes los fragmentos métricos (el bloque más grande es de 3x3x3 m). Son de color amarillo, de alta permeabilidad y alta susceptibilidad a la erosión una vez expuestas.



Foto 3.9 BRECHAS TECTÓNICAS EN LA ZONA DE EXTRACCIÓN INFERIOR

#### 3.1.4.1.4 Unidades de Suelos y Depósitos

##### **Unidad Formación Mondoñedo (Qmo)**

Se propone que algunos depósitos transportados de colores amarillentos que se ubican en algunas depresiones sobre el macizo rocoso e infrayacen los suelos negros corresponden a la Fm. Mondoñedo (esta propuesta puede ser validada mediante la dataciones de los materiales). Lo anterior basado en las descripciones de esta unidad dadas por Van der Hammen (1995) e Ingeominas (2003), y que se encuentra dentro de los grupos litológicos correspondientes a “sedimentos relacionados con ambientes de montaña”.

Nombre: Propuesto por Stirton (1953) para designar los suelos limosos de colores rojizos, marrones y negros que a menudo contienen clastos angulares de areniscas (Van der Hammen, 1995).

Edad: Cuaternario tardío (Menos de 500.000 años).

Lugares donde aflora: Aflora en zonas correspondientes a los antiguos valles aluviales, es decir, zonas originalmente deprimidas (como el hueco ubicado al sur del jardín infantil del barrio El Codito)

##### Características físicas del suelo en el área tipo

Constituida por limos y arenas, a menudo con fragmentos de rocas subangulares... Los sedimentos arenosos y limosos de la Fm. Mondoñedo cubren grandes áreas en la parte inferior de las pendientes y los fondos de los valles. Generalmente están por encima de (o encajonados en) las arcillas de la Fm. Balsillas o reposan directamente sobre el substrato rocoso. La formación presenta una marcada variación lateral... Al tope de una capa ferralítica yacen arenas limosas con fragmentos de rocas pequeñas y subangulares que están intercaladas con paleosuelos blanco/grises... Los colores rojizos son atribuidos a condiciones de relativa humedad durante la parte intermedia del último periodo glacial... (Van der Hammen, 1995)

##### Características físicas de los suelos en el área de estudio

Constituyen depósitos coluviales amarillentos, con predominio de la fracción arena. Contienen fragmentos angulares de areniscas y guijos de areniscas y gránulos formados por concentración de óxidos e hidróxidos de hierro. Reposan directamente sobre el macizo rocoso. Su espesor máximo es de 4 metros, con fuertes variaciones laterales.

Bajo los suelos negros se encuentran suelos arenosos mal seleccionados, matriz-soportados. Contienen: guijos y gravillas, algunos fragmentos escasos con tamaño menor de 5cm de areniscas con cemento ferruginoso, y son mal seleccionados. Su color es amarillo fuerte, similar al residual de las areniscas, su permeabilidad es muy alta y la plasticidad de la matriz parece ser alta, su compacidad es densa.

Gradan lateralmente a suelos arcillosos, matriz soportados, matriz con alta permeabilidad y plasticidad, consistencia firme.

Bajo ellos, aflora parcialmente un coluvión arenoso de color amarillo fuerte, matriz-soportado, con fragmentos muy angulares de areniscas (tamaño máximo de 30 cm.), denso y de permeabilidad alta (**Foto 3.10**). Algunos horizontes dibujan estratificación burda marcada por niveles de guijos de areniscas de grano medio con cemento ferruginoso.



Foto 3.10 SUELOS COLUVIALES DE LA FM. MONDOÑEDO

### Características geotécnicas y procesos morfodinámicos típicos

Estos suelos son muy susceptibles a la erosión hídrica superficial concentrada y eventualmente se pueden presentar caída de fragmentos pétreos (de menos de 30 cm) por lavado de matriz. También se observaron taludes cortados en estos materiales con fisuras que pueden patrocinar el volteo de bloques tabulares de suelo (hacia la Cr. 24 No. 182 A – 60).

### **Suelos con influencia de cenizas volcánicas**

Fueron cartografiados en conjunto con los depósitos transportados de la Fm. Mondoñedo, pues la definición del área tipo de esta formación incluye los denominados “suelos negros”; así:

Edad: Holoceno (depositadas en el ultimo interglacial)

Lugares donde aflora: Son el horizonte superior de la cobertura de suelos original de la ladera. Aflora en zonas no intervenidas por la actividad extractiva.

Características físicas de los suelos en el área tipo (Tomado de Ingeominas 2002):

En el Pleistoceno y el Plioceno existió un aporte de materiales volcánicos llegados en forma de lluvias de ceniza, como consecuencia de eventos eruptivos en la Cordillera Central. Debido a la distancia entre los focos eruptivos y la Sabana de Bogotá, estos materiales fueron depositados en forma de lluvia de cenizas finas, que se preservaron en capas no alteradas en el fondo de los lagos o sufrieron transformaciones cuando cayeron sobre los relieves expuestos.

Los estudios más recientes en los depósitos de cenizas indican que los suelos volcánicos en la Sabana de Bogotá se han desarrollado sobre materiales caídos en varias lluvias de ceniza desde hace treinta mil años o



más (Fölster & Hetsch, 1978; Fölster, 1981; van Geel & van der Hammen, 1973). En las zonas de Bosque Alto Andino, las temperaturas más elevadas, en condiciones de clima húmedo, hacen que una fracción importante de las cenizas sufran procesos de alteración que generan productos amorfos de tipo alofana, por descomposición de los vidrios. Estos materiales confieren a los suelos características especiales, debido a sus propiedades coloidales y a su alta superficie de reacción, entre las que se destaca su comportamiento tixotrópico; las alofanas son hidróxidos de sílice y aluminio hidratados, sus cargas de superficie elevada crean asociaciones muy fuertes y estables con los productos orgánicos, por atracciones químicas y electrostáticas. Tales procesos traen como consecuencia un bloqueo tanto físico como químico en la evolución de las dos fracciones, que impide que las alofanas cristalicen para dar lugar a productos arcillosos y que la materia orgánica se mineralice y desaparezca del perfil del suelo. Todo lo anterior produce la acumulación de materia orgánica con el tiempo, y da lugar a la formación de suelos volcánicos con horizonte A1 y AB negros de gran espesor.



**Foto 3.11** NIVELES DE SUELO CON CONCENTRACIÓN DE CENIZAS, MARCADOS POR COLORES OSCUROS, CON INTERCALACIÓN DE CAPAS GRAVILLOSAS DENTRO DE LOS HORIZONTES DE CENIZAS. ES POSIBLE QUE ESAS CAPAS MARQUEN PERIODOS CON INFLUENCIA GLACIAL LEVE.

Los suelos producidos se constituyen en excelentes marcadores ambientales; aportan información valiosa sobre las condiciones climáticas y ecológicas prevalecientes durante su formación. Por otro lado, los paleosuelos derivados de cenizas volcánicas, enterrados debajo de los suelos actuales y de otros depósitos más antiguos, dan indicaciones sobre la evolución en el tiempo, bajo la influencia de los cambios climáticos, lo que permite, al igual que los suelos actuales, utilizarlos como marcadores paleoambientales durante diferentes tiempos del Cuaternario. En general, en los compartimentos con balance hídrico global positivo, la cobertura pedológica está dominada por suelos de carácter ándico. Estos suelos poseen buena estructuración, lo que los hace poco susceptibles a desestabilización geomecánica, dan lugar a paisajes muy verdes (bosques o pastos) y protegen las laderas contra la erosión. Los suelos, en este caso, son medios conservativos.

### Características físicas de los suelos en el área de estudio:

Son suelos negros limo-arenosos, poco plásticos, muy permeables, provenientes de cenizas, ricos en cuarzo tamaño arena (que constituye los suelos derivados del material parental de arenisca), con fracción limosa posiblemente transportada por el viento a partir de las erupciones volcánicas. Se disponen en capas con espesor entre 20 y 50 cm; algunas veces las intercalaciones de suelos más claros desaparecen y dan lugar a secuencias espesas de suelos negros, con espesores cercanos 1 metro. Intercaladas reposan capas de menos de 3 cm con guijos angulares, con tinción superficial de óxidos de hierro y horizontes de suelos pardos arenosos muy permeables, con guijos dispersos de gravas angulares (tamaño de 1 a 10 cm). El espesor de estas intercalaciones oscila entre 5 y 50 cm.

### **Materiales antrópicos o relacionados con actividad extractiva**

#### a. Botaderos de ladera (Qbl)

Son arenosos a areno-arcillosos, con fragmentos angulares de areniscas de tamaños variados. Por espacios se entremezclan con: suelos negros provenientes de las cenizas volcánicas, residuos de materiales de construcción, basura, restos vegetales, etc. En general son de alta permeabilidad y conforman coluviones de pie de ladera (**Foto 3.12**). Su espesor suele ser inferior a 1 m.



**Foto 3.12** ZONAS ANTIGUAS DE EXTRACCIÓN CUBIERTAS PARCIALMENTE POR BOTADEROS DE LADERA

#### b. Talus y coluviones relacionados con inestabilidad de taludes de extracción (Qt+c)

Se agrupan bajo esta definición los materiales traslocados de media y de pie de ladera relacionados con procesos de inestabilidad, estabilizados o activos en frentes de extracción de materiales de construcción (**Foto 3.13**). En ellos predominan los fragmentos de areniscas de tamaños variados (desde pocos centímetros hasta megalitos de más de 5 metros de lado). En ocasiones los depósitos son matriz – soportados (coluviones), arenosos, permeables, de compacidad baja a media; o engloban clasto – soportados (talus) con fragmentos con predominio de tamaño entre 10 y 30 cm. La edad de estos materiales es menor de 60 años y su redepositación inicio al unísono con la actividad extractiva.



**Foto 3.13** DESLIZAMIENTO DE MASAS COLUVIALES Y DE TALUS QUE AFECTARON ZONAS POBLADAS DEL SECTOR CENTRAL DEL BARRIO EL CODITO EN MAYO DE 2006.

#### c. Depósitos antrópicos mixtos de patio (Qap)

En esta unidad se agrupan materiales antrópicos con espesores menores de 2 metros, ubicados sobre espacios planos o poco inclinados (antiguos patios de extracción). Son predominantemente arenosos, en ocasiones con fragmentos pétreos de gran tamaño, aunque en ciertos puntos engloban residuos de construcción y basuras. Hacia los bordes externos de los patios, suelen contener mezcla con suelos negros y con suelos amarillentos de la cobertura original de la ladera.

#### d. Rellenos antrópicos de zonas planas (Qra)

Bajo esta denominación se designa a un relleno de espesor considerable (aproximadamente 4 metros en promedio), ubicado en el patio inferior y hacia la calle 182 A. Posee predominio de restos y escombros de materiales de construcción, mezclado con suelos negros, se cartografió de manera separada de los depósitos mixtos de patio.



**Foto 3.14** MATERIALES DEPOSITADOS POR ACCIÓN ANTRÓPICA: GRANDES BLOQUES NO APROVECHABLES COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN, ACUMULACIONES DE ARENA, RESTOS DE SUELOS NEGROS, BASURAS, ETC.

#### 3.1.4.2 Estructural

La zona de estudio, dada su posición geológica regional, cuenta elementos estructurales claramente observables y susceptibles de medida principalmente en el margen oriental (antigua zona de explotación superior), en la franja centro-oriental (zona de deslizamiento reciente – antigua zona de explotación intermedia) y en el margen occidental (zona de antigua explotación inferior).

La información geológico-estructural registrada en el formato acimut de buzamiento – buzamiento, se condensa en figuras y anexos (todos los datos consignados en el informe y en los anexos corresponden a esta notación). Así pues, se elaboró una base de datos para luego agruparlos según su ubicación geológica y espacial con el objeto de identificar conjuntos y sistemas estructurales. Se generaron diagramas de frecuencia y de rosa y estereogramas con red equiareal, los dos primeros a fe de definir los rumbos de las fallas y diaclasas y en el tercero para ilustrar las fallas y diaclasas, en rojo, y la estratificación en verde.

Se aunaron en los afloramientos más de 1200 registros estructurales, entre estratificaciones, diaclasas y fallas (véase **Anexo B3**). De estas últimas se registraron además de las características geotécnicas, datos de indicadores cinemáticos de movimiento tectónico, al igual que el ancho y tipo de material constituyente de la zona de falla. Los datos fueron analizados estadísticamente mediante técnicas estereográficas, para cada estación de control, tanto para la estratificación como para los datos de fracturas y otras discontinuidades. Los promedios aritméticos aparecen en el **Plano 4** (Geología Local) de esta manera cada registro que aparece en el mapa, responde al producto del análisis de muchos otros tomados en el terreno en ese mismo espacio

físico (en la base de datos anexa se presentan los rangos de variación en la inclinación de las estratificaciones). El análisis cinemático de fallas se forjó con el objeto de obtener la orientación de los ejes principales de esfuerzo. Se elaboró un estereograma representativo para el barrio, en la red equiareal y en el hemisferio inferior. Este muestra además de las fallas con sus respectivos indicadores cinemáticos de deslizamiento, los planos de falla teóricos para esa condición de esfuerzo y los ejes de esfuerzo principal. En ellos la parte en gris representa a la extensión y la parte sin colorear a la contracción. Los ejes están marcados como  $\sigma_1$  para el esfuerzo principal mayor,  $\sigma_2$  para el esfuerzo principal intermedio y  $\sigma_3$  para el esfuerzo principal menor. Esto con el fin de establecer la posibilidad cinemática de movimientos de las fallas cartografiadas ante un eventual sismo.

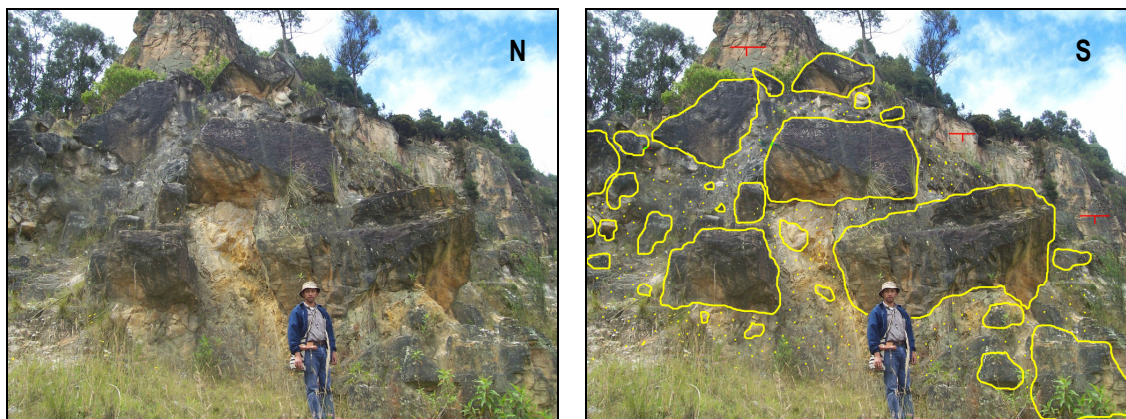
#### 3.1.4.2.1 Elementos Estructurales

Regionalmente El Codito hace parte del flanco occidental del Anticlinal de Usaquén-Bogotá, los planos de estratificación descansan con direcciones de buzamiento general de 240 e inclinaciones de 18 grados pero, con variaciones locales que van desde subhorizontales hasta 40 grados. A partir de la Calle 180 y hacia el norte, el flanco occidental del Anticlinal de Usaquén – Bogotá deja de ser un monoclinial orientado hacia el occidente para convertirse en una estructura compleja, con diversos dominios estructurales, limitados por fallas con direcciones predominantes NW-SE y N-S, dominios explícitos en la vertiente de El Codito. Unos y otros se describen a continuación.

#### Zonas de Falla

- **Zona de falla oriental N-S (ZFOr N-S)**

Surca de norte a sur la parte oriental del complejo, con un rumbo general también N-S. Su ancho máximo es de 20 m. Las fracturas en el bloque oriental y occidental exponen rumbos principales N40E y marcan las caras del talud principal del tercer nivel. La zona de brecha se compone de bloques de más de 1,5 m de diámetro, embebidos en matriz limo-arcillosa y arenosa, blanca a habano-amarillenta (**Foto 3.15**). Las fallas con indicadores cinemáticos muestran deslizamientos principalmente de rumbo N-S con componente vertical normal, en el que el bloque oriental cae con respecto al occidental.



**Foto 3.15** BRECHA DE ZONA DE FALLA ORIENTAL N-S. NOTE TAMAÑO DE BLOQUES Y CARAS DE TALUD

### Zona de falla de orientación NW (ZFC NW)

Tiene una dirección 324 - 144 discurre desde la corona del talud oriental hasta la carrera 24 en la parte norte. Su ancho máximo es de 10 m y su carácter es principalmente de rumbo, con deslizamiento lateral izquierdo. Las fracturas representativas registradas muestran orientaciones de 54 / 73 y 26 / 73 en arreglos anastomosados ondulados (Foto 3.16).

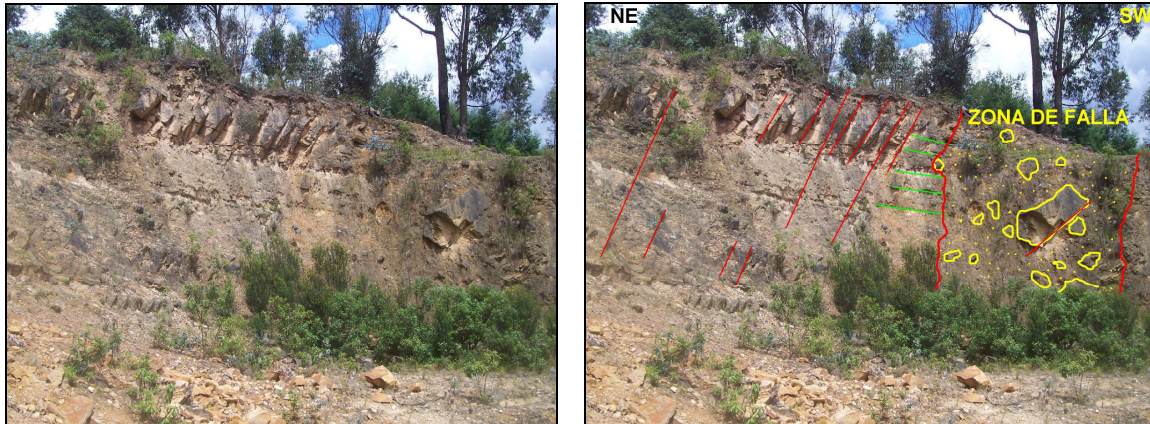


FOTO 3.16 ZONA DE FALLA 324 – 144. NOTE ANCHO DE LA ZONA DE FALLA Y FRACTURAS INCLINADAS HACIA EL NORESTE

### Zona de falla central N-S (ZFC N-S)

Ocupa la parte central del área de estudio; su orientación es N-S, y posiblemente favorece los fenómenos de remoción en masa actuales. A esta zona de falla se asocian cambios fuertes en la inclinación de la estratificación, los gradientes pasan de 18 grados en el bloque oriental a 57 grados en el bloque occidental (Foto 3.17). El ancho máximo estimado es de 6 m y las fracturas esbozan indicadores cinemáticos de deslizamiento lateral derecho.



FOTO 3.17 ESTRATIFICACIONES Y FRACTURAS EN EL BLOQUE CENTRAL, RELACIONADAS CON LA ZONA DE FALLA CENTRAL N-S. NOTE FRACTURAS DE CIZALLA LAS CUALES TIENEN MOVIMIENTO LATERAL DERECHO

### Conjunto de fallas occidental N12W (ZFOc<sub>1</sub> y ZFOc<sub>2</sub> N12W)

Está compuesto por dos fallas paralelas de orientación N12E, que entallan el talud occidental, de 45 m de alto, en el frente de extracción inferior, y propio del bloque inmerso entre ellas. Este bloque dibuja buzamientos 325 / 18, anómalos respecto del común local y regional. A él se asocian fallas 118 / 83 y fracturas conjugadas subverticales muy persistentes que dan caras al talud principal (**Foto 3.18**).

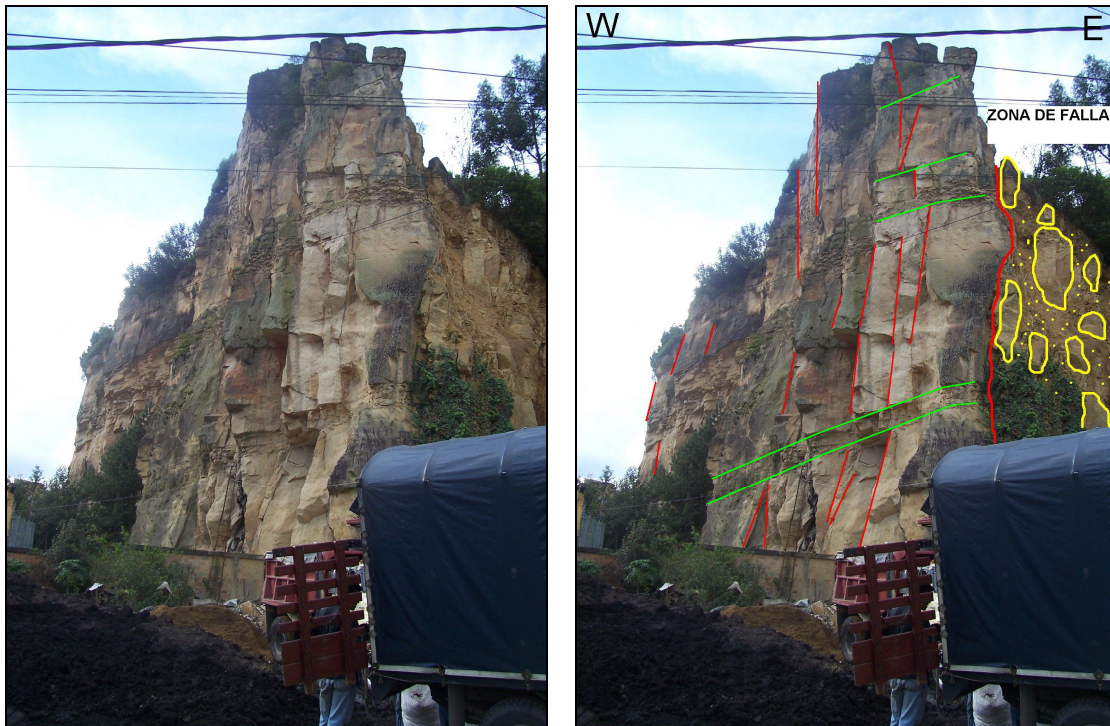


FOTO 3.18 ZONA DE FALLA OCCIDENTAL. NOTE FRACTURAS SUBVERTICALES MUY PERSISTENTES

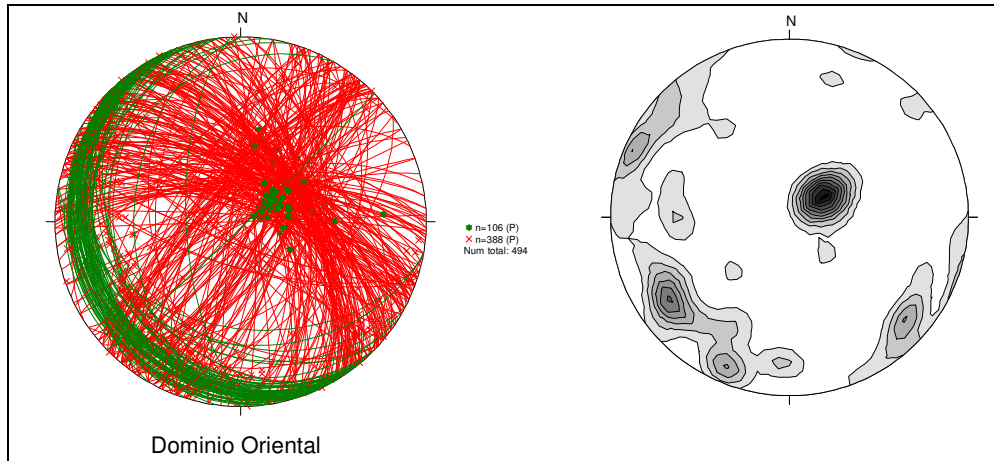
**Dominios estructurales:** Los cambios en la polaridad de los planos de discontinuidad, y en especial de la estratificación, unido a las zonas de falla permitieron definir cinco dominios estructurales, identificados con números arábigos de uno a cinco. De oriente a occidente ellos son:

#### Dominio estructural 1

Engloba el frente de explotación al oriente de la zona de falla Or N-S (Véase **Plano 4**). Las estratificaciones exhiben orientación media de 240 / 20, pero su inclinación oscila entre 6 y 20 grados (**Figura 3.1**). Las familias de discontinuidad son continuas, moderadamente abiertas, con relleno de roca triturada o sin él, y onduladas rugosas; su disposición geométrica promedio es:

Estratificación		D1		D2		D3		D4	
240	20	56	70	22	80	110	85	311	75

**Figura 3.1 Estereogramas correspondientes al Dominio estructural 1. Numero de datos = 494**

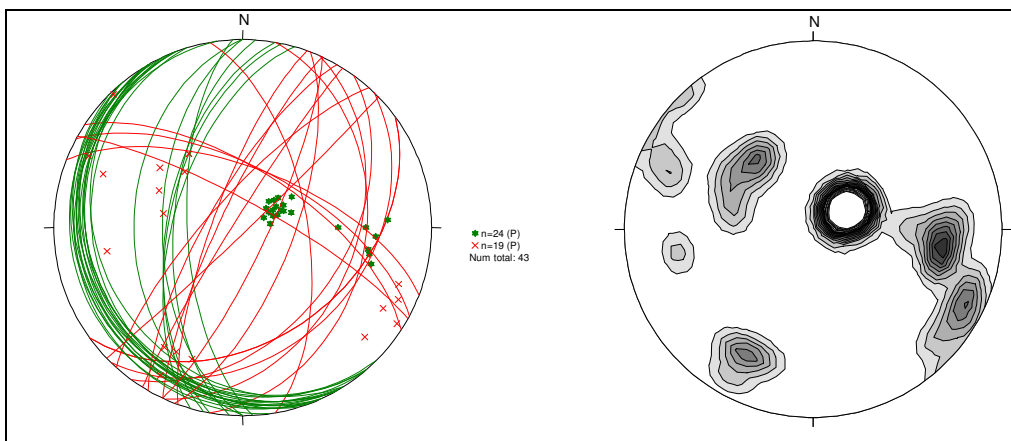


**Dominio estructural 2**

Está enmarcado entre la ZFOr N-S y la carrera 23; el plano de estratificación posee como dominio (240 / 25 y 278 / 58), el extremo superior influenciado por la Zona de Falla Oriental (**Figura 3.2**). Los planos de diaclasas son poco continuos bastante próximos a separados, ondulados rugosos a escalonados suaves; su relleno es arenoso o de roca triturada y su orientación media es:

Estratificación 1		Estratificación 2		D1		D2		D3	
240	25	278	58	140	40	296	80	28	75

**Figura 3.2 Estereogramas correspondientes al Dominio estructural 2. Numero de datos = 43**





Dentro de este dominio las brechas de falla condicionan la disposición de la familia D2 , y a escala mesoscópica ejercen cambios en la inclinación de las capas a ambos lados de las fallas. (Foto 3.19).

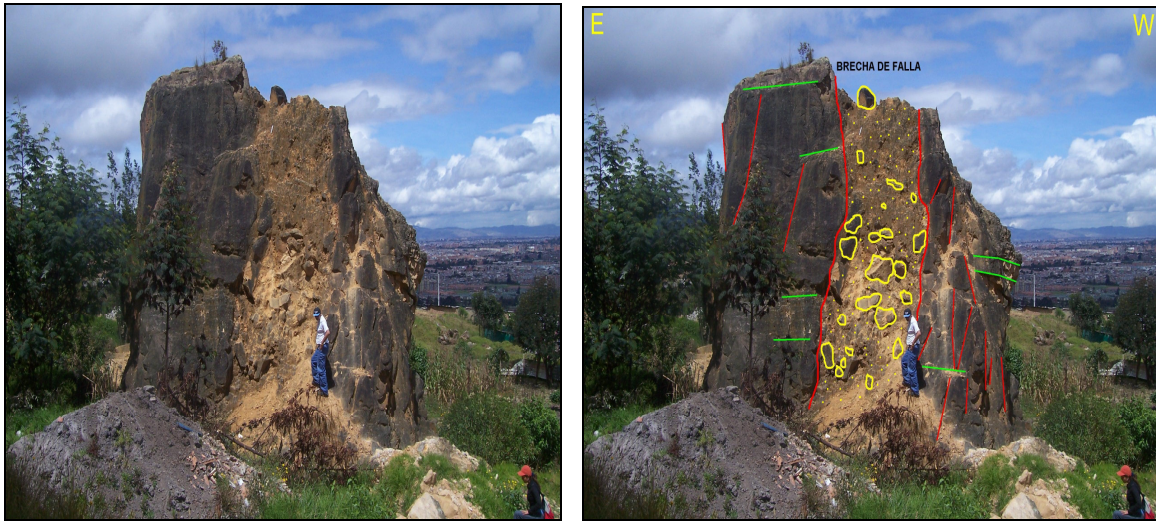


FOTO 3.19 BRECHA DE FALLA AL INTERIOR DEL DOMINIO ESTRUCTURAL 2, EN LA ESTACIÓN 9A. NOTE EL ANCHO DE LA ZONA DE BRECHA Y DIACLASAMIENTO ASOCIADO

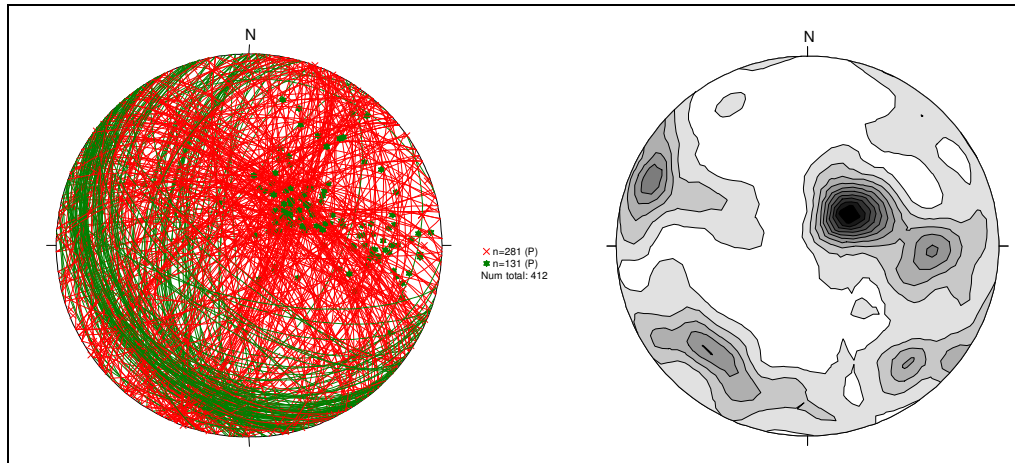
### Dominio estructural 3

Definida entre las carreras 23 y 25, está regida por polaridades modales del plano de estratificación 236/30, en especial en el cuerpo del deslizamiento, pero con variaciones locales en el buzamiento entre 15 y 66 grados, posiblemente debido a la influencia de la Zona de falla central N-S. (Figura 3.3). Las fracturas principales son:

Estratificación 1		Estratificación 2		D1		D2		D3	
228	25	273	55	112	77	43	65	319	70

Su persistencia modal es poco continua, su espaciamiento trasiega de bastante próximas a separadas; su relleno es arenoso o de roca triturada, y su rugosidad se remarca entre ondulada rugosa a escalonada suave.

**Figura 3.3 Estereogramas correspondientes al Dominio estructural 3. Numero de datos = 412.**

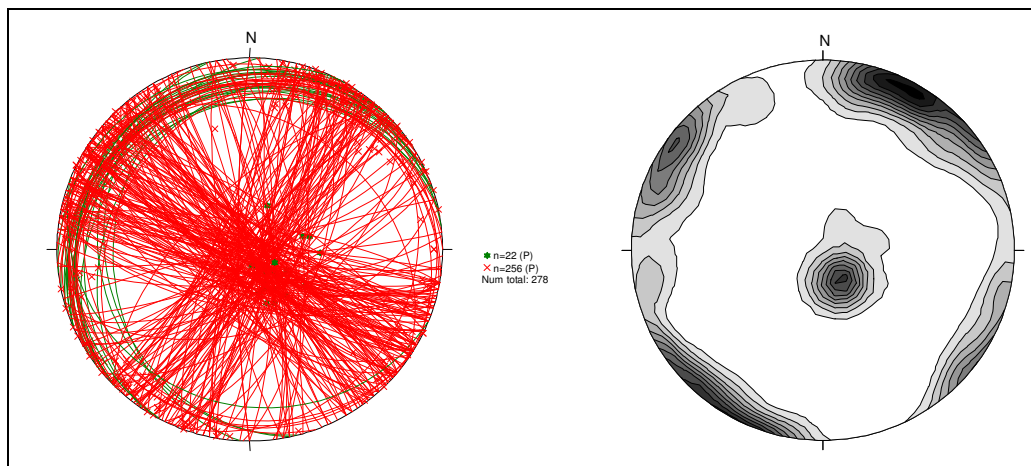


**Dominio estructural 4**

Discurre entre la carrera 25 y el frente de la extracción inferior (al occidente). Es una franja estrecha de 15 – 20 m de ancho, cuyo rasgo característico es el conjunto de cortes contiguos a la carrera 26 (Figura 3.4). La estratificación dibuja orientaciones de 320/15 y 343/21, consideradas como anómalas respecto de las comunes locales y regionales. . Las familias de discontinuidad se clasifican como: continuas a poco continuas, de próximas a bastante próximas; su relleno es arenoso o de roca triturada; la rugosidad de las paredes, en términos descriptivos, es escalonada rugosa y su tendencia promedio es:

Estratificación 1		D1		D2	
327	25	208	85	125	85

**Figura 3.4 Estereogramas correspondientes al Dominio estructural 4. Numero de datos = 278**



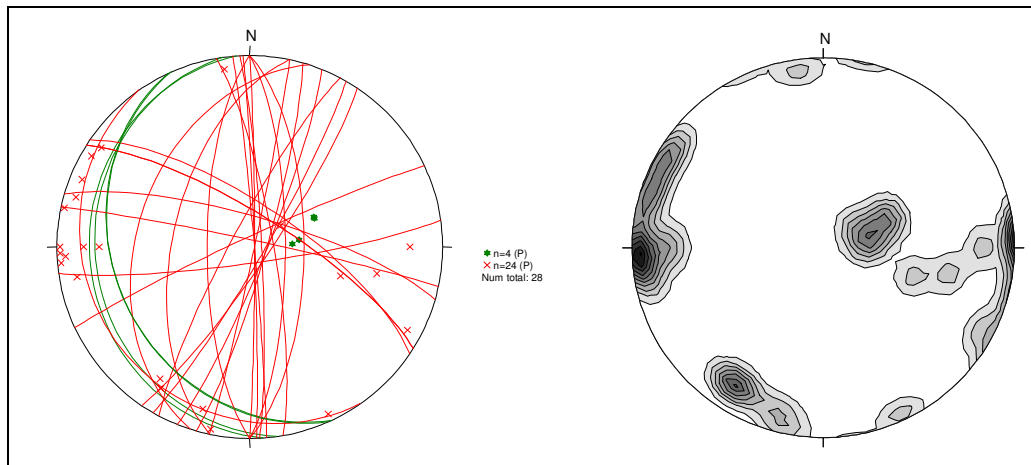
### Dominio Estructural 5

Es el cinturón marcado entre el frente minero inferior y la carrera 26. Limita al oriente por el conjunto de fallas occidental N12W. La polaridad de los planos de estratificación tiene como dominio (266/21 y 246/30) (Figura 3.5). Las fracturas principales son:

Estratificación 1		Estratificación 2		D1		D2		D3	
266	21	246	30	88	85	22	75	172	85

Pero sus características son inciertas, pues se carece de exposiciones apropiadas.

Figura 3.5 Estereogramas correspondientes al Dominio estructural 5. Numero de datos = 28



#### 3.1.4.3 Cinemática del Área de Estudio

##### Análisis de fallas con indicadores cinemáticos

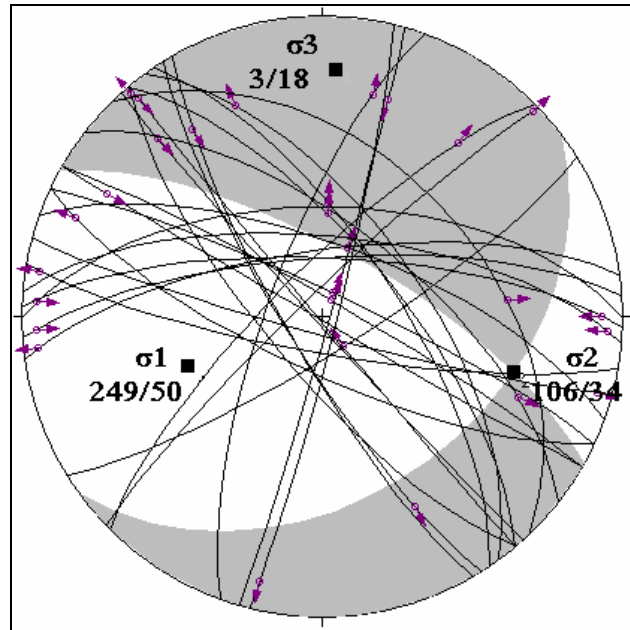
Los diferentes sistemas estructurales muestran en términos generales direcciones de esfuerzo principal mayor  $\sigma_1$  comunes E-W, con cabeceos que indican un componente de fallamiento normal actual (Tabla 3.1). Los ejes de esfuerzo principal son  $\sigma_1 = 249/50$ ;  $\sigma_2 = 106/34$  y  $\sigma_3 = 3/18$  y los planos de falla teóricos PN1 = 143/40 componente de rumbo lateral derecho (dextral) y PN2 = 30/71 con componente de rumbo lateral izquierdo (sinistral) (Figura 3.1).

Los resultados son acordes (y por que no consistentes) tanto con la geometría como con la cinemática de la vertiente, máxime la similitud entre la Zona de falla NW y el plano de falla teórico 30 / 71. Dicho plano es muy similar a las discontinuidades D1 y D2 del Dominio estructural 1 y D3 del dominio estructural 2.

**Tabla 3.1 Datos de Fallas con Indicadores Cinemáticos en la Zona de Estudio**

ESTACION	PLANO DE FALLA		INDICADOR CINEMATICO		SENTIDO	CARÁCTER	ZONA DE DAÑO	CARACTERÍSTICAS
	AZIMUT	BUZAMIENTO	AZIMUT	BUZAMIENTO				
1A	313	76	223	6		sinestral		fracturas tipo riedel
5A	50	75				Dextral		estria horizontal
	345	80				Dextral		estria horizontal
	18	82				sinestral		estria horizontal
	18	79						estria horizontal
	20	75					15 cm, apertura llena de material arenoso	
	315	77				Dextral		fracturas tipo riedel
	287	88			Descendente	Normal		
	200	80			Descendente	Normal		
10A	136	88			SW	Dextral		estria horizontal, superficie escalonada
1B	38	65	120	30	Descendente	Normal		
2B	352	72				sinestral		estria horizontal, superficie escalonada
	26	63			Descendente	Normal	20 cm, zona de brecha con fragmentos de 5 cm en una matriz de arena media	
	56	70			Descendente	Normal		salto vertical de 10 cm
3B	50	70			Descendente	Normal		salto vertical de 4 cm
4B	228	80	248	62	Descendente	Normal		estria
5B	59	65			Descendente	Normal		salto vertical de 15 cm, fracturas asociadas con espaciamiento de 5 a 10 cm
	88	84			Ascendente	Inversa		puntas de flecha
7B	46	36					8 m, brecha con matriz areno arcillosa con fragmentos de 15 cm de arenisca	
8-9B	57	63	319	11		sinestral		
	51	61	314	4		sinestral	Zona de brecha con alto fracturamiento de la roca	
	56	60	55	60				
	310	80						
	312	75						
	312	80	319	70	Descendente	Normal		
	6	73						
	2	71						
	356	72	82 - 262			sinestral		marcan la cara del talud, con caras de 4m x 3m
	5	68						
50	60					Zona de falla		
356	74			E	Descendente	Normal		
10B	25	83			Descendente	Normal		superficie escalonada de 50 cm x 1 m
	106	88	220	25		Dextral		superficie escalonada de 3x 12 m
11B	50	85			Descendente	Normal		superficie escalonada y rugosa de 5 mm-50mm
8C	93	39	116	37	Descendente	Normal		estria
9C	344	89	253	18		sinestral		estria
	10	58	278	17	Descendente	Normal		estria
	113	52	125	45	Descendente	Normal		superficies escalonadas
15C	92	75				Dextral		estria horizontal
3-4D	305	87	228	55	Descendente	Normal		estria
	293	89			Descendente	Normal		salto vertical de 15 cm
3E	190	80	286	12		Dextral		estria
	195	85				Dextral		estria horizontal
	205	75	280	15		Dextral		estria
	205	70	230	90		Dextral		fracturas tipo riedel
	228	88	290	20				estria
	238	80	146	30		Dextral		estria
2F	220	10				sinestral		estria horizontal, superficie escalonada
	116	90					40 cm, brecha	
	104	86	192	18				
	290	75				Dextral		superficie escalonada
	230	89				sinestral		superficie escalonada
	297	84					brecha	
	118	83					23 cm, brecha con material areno arcilloso	
	316	84				sinestral		fracturas tipo riedel
	30	14					brecha	
	323	89					brecha	
	345	88	132	11		Dextral		
	126	85					brecha	
	38	87	306	10		Dextral		estria
	311	82	222	12		Sinestral		estria

**Figura 3.6 Estereograma correspondiente al sistema estructural identificado en el área de estudio. Los datos de las fallas con los respectivos indicadores cinemáticos de desplazamiento, se muestran en la tabla 1**



### 3.1.5 CONCLUSIONES

- El modelo geológico planteado es de alta complejidad, con litologías con predominio de areniscas macizas, separadas por capas delgadas de lodolitas; tanto las areniscas como las lodolitas presentan variaciones laterales y verticales. Las lodolitas son las litologías definidoras de los mecanismos de inestabilidad de gran magnitud (deslizamientos).
- En el Codito se tienen cinco dominios estructurales particulares, limitados por fallas con orientación general N-S, que ilustran variaciones locales en la orientación de la estratificación y de fracturas. Sin embargo, existen más variaciones de buzamiento que de rumbo, causadas al parecer por la existencia de fallas geológicas.
- Las franjas de debilidad asociadas con las fallas geológicas fueron definitivas en la configuración y avance de la explotación; cuando las zonas trituradas más fáciles de extraer eran explotadas y se llegaba a macizos rocosos menos fracturados, se concluía la labor minera. De esta manera, se tienen taludes en ocasiones muy altos y sub-verticales que pueden evidenciar brechas de rocas muy fracturadas pre-existentes.
- Las zonas de brecha y de harina de falla se constituyen en espacios de muy alta permeabilidad, ellas facilitan la llegada de aguas freáticas a estratos relativamente profundos (las brechas de falla suelen ser sub-verticales en el área de estudio), y especialmente a las capas arcillosas. Las interfases de areniscas que suprayacen a lodolitas son también de gran concentración de humedad por diferencias de permeabilidad. Estas situaciones hacen que las capas de arcillolita muestren alta humedad, se reblandezcan y faciliten la gestación de fallas progresivas.
- Cuando las capas de lodolita, se humedecen puede tener deslizamientos de grandes masas de roca a lo largo de dichas capas (si la situación cinemática de cortes extractivos son sub-paralelos al rumbo y

si la inclinación del corte es mayor que el ángulo de buzamiento de la estratificación). Estos procesos son complejos, así: si las capas de areniscas que se deslizan sobre la lodolita se encuentran brechadas, se desencadenan flujos de detritos; o si las areniscas se encuentran fracturadas sin llegar al brechamiento, prevalece un efecto similar al de la caída de fichas de domino, las que pueden deslizarse de manera sucesiva con mayor desplazamiento de la parte baja del bloque, y giro parcial de los planos en el tope (como en el caso del deslizamiento de mayo de 2006, en donde los topes de los bloques deslizados quedaron basculados de manera anómala) y con la aparición de escarpes remanentes susceptibles a la caída de bloques por mecanismos planares, de volteo y de cuñas.

- Las discontinuidades principales de la vertiente son estratificación = 240 / 18; D1= 115 / 80 relacionada con las fallas de rumbo de carácter dextral; D2= 54 / 73 reflejo de fallas de rumbo de carácter sinestral; D3= 26 / 73 fracturas tipo Riedel anastomosadas vinculadas a D2; D4= 150 / 77 en consonancia con fallas de rumbo de carácter dextral y D5= 273 / 55 asociadas a las fallas de rumbo de carácter dextral. Todas estas fallas aunque de rumbo muestran un componente de falla normal, importante para la escala de trabajo y los objetivos del estudio.
- Los ejes de esfuerzo principal son  $\sigma_1 = 249/50$ ;  $\sigma_2 = 106/34$  y  $\sigma_3 = 3/18$  y los planos de falla teóricos **PN1 = 143/40** de componente de rumbo lateral derecho (dextral) y **PN2 = 30/71** con componente de rumbo lateral izquierdo (sinestral).
- Dada la complejidad planteada por los factores expuestos y en especial por la existencia de gran cantidad de fallas locales y zonales y por la gran variación lateral de las litologías, **el modelo geológico es de alta incertidumbre**, y plantea gran dificultad en la interrelación y la extrapolación de la información de levantamiento de columnas, registros de perforaciones, ejecución de apiques y trincheras.

### 3.2 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

El término “agua subterránea” incluye a toda el agua que, proveniente de la lluvia, se ha infiltrado en la superficie del terreno y ha alcanzado los poros y fracturas ubicadas dentro de las unidades geológicas permeables del subsuelo, en las que se almacena y se mueve. Los sitios donde se almacena, es decir, sus yacimientos, se denominan acuíferos y están controlados en su forma y extensión por las condiciones geológicas del subsuelo; en otras palabras, los volúmenes de agua subterránea almacenados en dichos acuíferos dependen estrechamente de su geometría, la cual a su vez deriva de los tipos de estructuras geológicas que los afecten (cambios de facies, pliegues, fallas, zonas de fracturamiento, entre otros).

Las características hidrogeológicas generales que se dan para cada uno de ellos están vinculadas a su comportamiento como almacenadores y transmisores de agua subterránea a escala regional, lo que depende, a su vez, de la relativa predominancia en ellos de rocas o sedimentos de carácter impermeable (composición arcillosa y espesor) o, a la inversa, de rocas o sedimentos permeables. Bajo ese esquema, el complejo acuífero más importante desde el punto de vista del abastecimiento, a escala de la Sabana, es el denominado Guadalupe. La totalidad de las formaciones geológicas que lo conforman tienen el carácter de acuíferos, con porosidad secundaria y también primaria; además, tienen continuidad y extensión regional. También debe destacarse de este Complejo Acuífero Guadalupe el hecho de que constituye, en principio, la principal fuente de recarga para las aguas que se infiltran hacia el subsuelo de la sabana; las zonas de recarga se encuentran a lo largo de diferentes frentes montañosos que rodean y se entrecruzan con el altiplano propiamente dicho de esta región, donde sale a superficie este complejo (Ingeominas, 2003).

El Codito descansa sobre rocas sedimentarias del Grupo Guadalupe, formadas a partir de sedimentos marinos depositados en el Cretácico Tardío. Desde el punto de vista hidrogeológico, el área de influencia es

la Sierra de Usaquén que hace parte de la recarga para los acuíferos de la Sabana de Bogotá. El área se encuentra dentro de los rangos de precipitación de 703 mm anuales, en la estación de La Escuela Colombiana de Ingeniería, hasta 721 mm anuales en la estación de la Planta Wiesner (Ingetec, 1998). La Formación Arenisca Tierna está compuesta principalmente por areniscas de grano grueso, cuarzosas, de cementación moderada a baja, con intercalaciones delgadas de lodolitas grises. Por espacios los macizos rocosos encierran sectores blandos por intenso fracturamiento tectónico. La formación es considerada como unidad almacenadora de agua con porosidad primaria alta y permeabilidad secundaria media a alta adquirida por fracturamiento.

La ladera demarca frentes húmedos ligados con los escenarios de más intensa intervención por extracción de materiales, es decir, en los frentes de antiguas canteras, en particular afloramientos de la interfase de las capas de arenisca en contacto con lodolitas. Lo anterior se debe a que las excavaciones llevadas a cabo cortaron los niveles freáticos y la diferencia de permeabilidad de los tipos litológicos lleva a la concentración en la interfase donde se circunscribe el cambio de porosidad y permeabilidad, de niveles muy altos a niveles bajos.

La situación descrita anteriormente se traduce en el gran humedecimiento de las capas de lodolitas intercaladas, con lo cual dichas capas disminuyen de manera dramática sus características de resistencia geomecánica. La mayor parte de deslizamientos planares en antiguas canteras se ha dado con las capas de rocas finas (arcillolitas, limolitas, lodolitas y areniscas lodosas) como plano preferencial de deslizamiento.

### **3.3 GEOMORFOLOGÍA**

El paisaje de la porción de vertiente (i.e. El Codito) zona de estudio es el producto, principalmente, de la combinación de procesos tectónicos relacionados con el levantamiento de la Cordillera Oriental y la conjugación de fallas que forjaron, conformando una vertiente montañosa con laderas desde suavemente empinadas hasta escarpadas (dependiendo del tipo de roca sobre la que se desarrolla), y limitada por la planicie propia de la Sabana de Bogotá.

#### **3.3.1 MORFOESTRUCTURAL (FORMAS)**

El Codito se encuentra en la parte media - baja de una ladera estructural adosada al flanco occidental de una estructura anticlinal. En comparación con las geoformas estructurales que dominan el paisaje de los cerros de Usaquén aproximadamente desde la Calle 170 hacia el sur, está formado por laderas irregulares, en escalones labrados en macizos rocosos que compartían características estructurales (dominios estructurales). Además, existía entallamiento de cursos consecuentes (que siguen la inclinación de la pendiente estructural) y subsecuentes (aproximadamente paralelos al rumbo) que fueron totalmente intervenidos, no solo en su pérdida en manos de las actividades extractivas, sino probablemente por rellenos para su adecuación en su uso urbanístico.

El análisis regional de fotografías aéreas evidencia una gran cantidad de cursos de agua parte de ellos con dirección aproximada N30W a N60W. Estos patrones no responden a condiciones de disposición estructural sino a la influencia del tectonismo: son paralelos a sistemas de fracturamiento y a disposición de brechas tectónicas que pueden alcanzar espesores mayores a los 20 m (Fierro, J. 2005). Este sistema de deformación frágil de los macizos rocosos no solamente está expresado en alineamientos de cauces sin también en microlineamientos de los mismos macizos, apreciación detectable mediante fotointerpretación.

La ladera tiene pendientes naturales entre 15 y 30° (abrupta) con un modal de 20°. Como ha sido ya anotado, la ladera antes de la extracción delineaba formas escalonadas, con gradientes que podían sobrepasar los 30° (escarpes) y segmentos subverticales (mayores de 45°) en los valles de entallamiento de las quebradas (véase **Tabla 3.2**). Desde mediados del siglo XX (las primeras fotografías aéreas son de 1940 y ya muestran frentes de extracción en la parte baja) la vertiente ha sido sometida a una extracción antitécnica de areniscas, que dejó múltiples expresiones, entre ellas frentes de más de 40m de altura e inclinaciones superiores a 60° y patios relativamente planos con inestabilidad típica de caída de bloques y eventualmente deslizamientos rápidos como el que afectó el barrio en mayo de 2006. El conjunto de expresiones morfoestructurales gestadas por eventos naturales o antrópicos se describe en adelante.

**Tabla 3.2 Pendientes típicas en la zona de estudio**

PARÁMETRO	UNIDAD CARTOGRÁFICA DE PARÁMETRO	INCLINACIÓN
Inclinación de la pendiente natural	Plana	Menor de 1
	<b>Suavemente inclinada (Zonas de antiguos patios de cantera)</b>	<b>1 - 5</b>
	Moderadamente inclinada	5 - 10
	Inclinada	10 - 15
	<b>Abrupta (Laderas naturales)</b>	<b>15 - 30</b>
	Escarpada	30 - 45
	<b>Muy escarpada (Taludes de extracción)</b>	<b>&gt; 45</b>

### 3.3.1.1 Unidad de Laderas estructurales poco afectadas por actividades extractivas (Lpa)

Se ubica en la parte alta y central del barrio, en los escenarios no intervenidos por la actividad extractiva; sin embargo recibe el trabajo de actividades antrópicas menos fuertes tales como la construcción de viviendas y de vías de acceso, con los pequeños cortes y rellenos (en comparación con la actividad extractiva) que unas y otras implican.

Se desarrolla sobre areniscas, cubiertas por suelos coluviales delgados y suelos oscuros que enmascaran la litología (**Foto 3.19**). Carece de procesos de remoción en masa antiguos o recientes y sus rangos típicos de pendiente oscilan entre 15 y 30°.

### 3.3.1.2 Unidad de Laderas Estructurales Moderadamente Afectadas por Actividades Extractivas (Lma)

Incluye sectores que tuvieron actividades extractivas someras, detectadas mediante fotointerpretación. Es posible que únicamente se hayan retirado suelos residuales arenosos y coluviales arenosos antiguos, y cuando se llegó al macizo rocoso la actividad hubiera cesado. De esta manera, el resultado fue escarpes

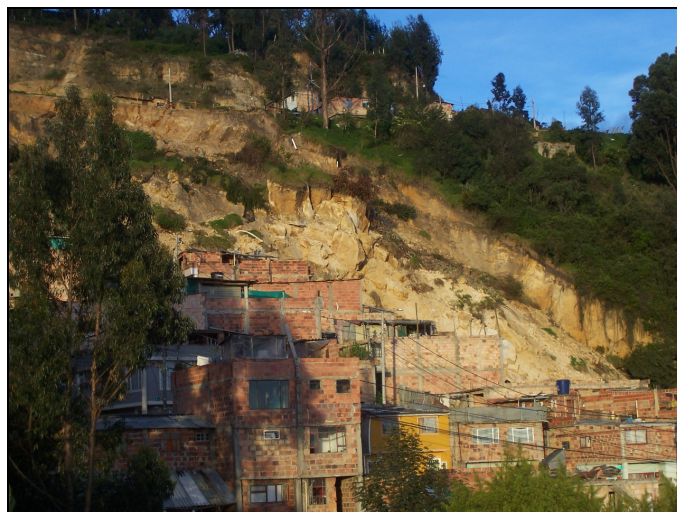


menores de 3 metros, sin evidencias de procesos de remoción en masa (véase **Foto 3.19**) y laderas no intervenidas con inclinaciones entre 15 y 30°.



**Foto 3.20** ZONA MODERADAMENTE INTERVENIDA, CON TALUDES BAJOS, GENERALMENTE SIN PROBLEMAS DE ESTABILIDAD

### 3.3.1.3 Unidad de las Laderas Intervenidas por la Actividad Extractiva (Lea)



**Foto 3.21** PANORÁMICA DE LA PARTE MEDIA Y ALTA DE LA ZONA DE ESTUDIO, CON LADERAS INTERVENIDAS POR ACTIVIDAD EXTRACTIVA CON LOS DENOMINADOS FRENTE DE EXTRACCIÓN SUPERIOR E INTERMEDIO. ESTE ÚLTIMO FUE EL AFECTADO POR EL DESLIZAMIENTO DE MAYOR DE 2006, QUE SE OBSERVA EN EL CENTRO DE LA IMAGEN

La explotación de las areniscas destapó horizontes infrayacentes, que fueron dejados por espacios sin intervenir, probablemente por la dificultad para su laboreo. Por otra parte, los cinturones con brechamiento tectónico destapados por la actividad minera, hace que haya materiales susceptibles a carcavamiento

(también pueden servir de zona de infiltración de aguas de escorrentía). Aquí se Incluyen las sub-unidades de escarpes mecanizados y explanaciones antrópicas.

#### 3.3.1.3.1 Sub Unidad de Taludes extractivos en Roca (LEAtr)

Se define así al conjunto de escarpes producidos por la actividad extractiva o por el retroceso gestado por los eventos de remoción en masa (**Foto 3.20**). Sus pendientes son sub-verticales, con segmentos en voladizo. Están sujetos a la caída de bloques, favorecida por el fracturamiento y la disminución de resistencia en los planos de discontinuidad, esta última explicada por los esfuerzos a los que fueron sometidos durante su laboreo como yacimiento minero.

La ocurrencia de caída de bloques es latente para la totalidad de los antiguos escarpes de extracción (**Foto 3.21**). Y los deslizamientos planares de roca son factibles, indiferentemente, gracias a la configuración estructural del macizo rocoso: diaclasas subverticales con rumbo paralelo a la estratificación; planos de estratificación con inclinación mayor de 20°, intercalaciones de capas lodosas y consonancia geométrica de los taludes con los planos estructurales, i.e. Paralelos o sub-paralelos al rumbo.



**Foto 3.22** TALUDES DE EXTRACCIÓN EN MACIZOS ROCOSOS MODERADAMENTE A BIEN CEMENTADOS. NÓTENSE LA PENDIENTE DEL TALUD Y SU ALTURA, ADEMÁS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A PRESENTAR CAÍDA DE BLOQUES. PARTE ALTA – CENTRAL DEL FRENTE SUPERIOR

#### 3.3.1.3.2 Sub Unidad de Taludes Extractivos en Brechas Tectónicas

Agrupar los taludes sometidos a extracción desarrollada en materiales que no son clasificados como macizo rocoso, pero que tampoco hacen parte de los suelos (**Foto 3.22**). Estos materiales, denominados intermedios producen formas abruptas ubicadas generalmente en el pie de los cortes y conforman parches (es probable que dada su mayor facilidad para el laboreo de estos materiales con respecto a los macizos rocosos bien cementados hayan quedado únicamente pequeños remanentes de estos materiales). El dominio de la pendiente de esta subunidad es de 35 a 45°.

Dado el origen, de sus materiales es susceptible a procesos de erosión hídrica concentrada, la que puede detonar caída de bloques (por lavado de la matriz), aunque su recurrencia es baja dado que comúnmente tienen cobertura de vegetación herbácea.



**Foto 3.23** . TALUDES DE EXTRACCIÓN EN ZONAS DE BRECHA TECTÓNICA; EN GENERAL ESTAS FORMAS SON ESTABLES. PARTE BAJA NORTE DEL FRENTE SUPERIOR.

#### 3.3.1.3.3 Sub Unidad de Taludes Extractivos en Materiales Suelos

Las franjas media y baja de los cortes de extracción han sido formadas por la caída de detritos (objeto mismo del proceso extractivo) o por procesos de remoción en masa ocurridos una vez abandonada la extracción, sin ninguna medida de reconfiguración geomorfológica o paisajística (Véase **Foto 3.23**). Estos taludes están conformados por coluviones matriz-soportados con matriz arenosa, coluviones clasto-soportados o talus. Los procesos típicos son flujos de detritos, deslizamiento y carcavamiento.



**Foto 3.24** AL FONDO DE LA IMAGEN SE APRECIAN TALUDES DE EXTRACCIÓN EN MATERIALES SUELTOS, AFECTADOS POR PROCESOS DE EROSIÓN HÍDRICA CONCENTRADA (SURCOS). PARTE BAJA CENTRAL DEL FRENTE SUPERIOR

#### 3.3.1.3.4 Sub Unidad de Taludes Extractivos con Botaderos de ladera

Como la extracción de materiales se dio por frentes independientes, se formó un paisaje escalonado, en el que las zonas planas o de baja pendiente estaban representadas por los patios de explotación. Y las escarpadas eran los cortes de extracción. Si los patios estaban limitados por otro escarpe extractivo, éste era usado (una vez abandonado) como botadero.

Dada la génesis de estas formas, son susceptibles a deslizamientos, detonados por cortes en la base, sobrepeso por saturación, inducción de presiones de poros excesivas por saturación, sobrepeso por cargas estáticas (viviendas en el hombro del talud), etc. o por la combinación de ellos.

### 3.3.1.3.5 Sub Unidad de Explanaciones Antrópicas (Patios)

Está compuesta por formas suaves de los patios de cantera de los derechos de corredores viales (**Foto 3.24**). Los gradientes suelen ser menores de  $10^\circ$ . Se ubican adyacentes a los taludes de la antigua explotación minera y dadas sus bajas pendientes y al hecho de tener macizo rocoso cercano, sin rellenos se presumen estables (a excepción de los bordes que limitan los escarpes extractivos).



**FOTO 3.25** EN PRIMER PLANO, EL PATIO CORRESPONDIENTE AL FRENTE DE EXTRACCIÓN SUPERIOR

## **3.3.2 MORFODINÁMICA**

### **3.3.2.1 Meteorización**

La meteorización es el conjunto de procesos externos (físico-químicos) que causan la alteración y desintegración de las rocas y los suelos. En el Codito su agente relevante es el agua; el lavado de ciertos minerales, y la concentración de otros, lleva al cambio de los suelos originales en suelos tipo residual.

La meteorización se muestra en estadios avanzados donde se han removido las cenizas volcánicas, sin llegar al macizo rocoso. Allí afloran suelos transportados antiguos, generalmente de textura arenosa, de colores amarillentos y en pocas ocasiones rojizos. Estos colores, concordantes con altos contenidos de óxidos e hidróxidos de hierro se relacionan con ambientes mucho más húmedos que los que actualmente existen en los Cerros Orientales de Bogotá. Todo lo anterior permite inferir que la porción de la vertiente tuvo una larga estabilidad en el tiempo, pero que dicha situación fue modificada por la intervención antrópica (extracción de materiales).

### 3.3.2.2 Erosión Hídrica Concentrada

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

Para la zona de estudio se encuentran surcos desarrollados sobre las caras desnudas de los escarpes entallados en materiales sueltos.

### 3.3.2.3 Procesos de Remoción en Masa

Consiste en deformaciones por corte y desplazamientos, a lo largo de una o varias superficies que son visibles o que pueden inferirse razonablemente, o dentro de un espacio mas o menos estrecho. La rotura del talud no siempre es simultánea en todos los puntos de la superficie de deslizamiento, en ocasiones puede propagarse desde una zona de falla local. La masa afectada puede deslizarse mas allá de la superficie original de rotura sobre el terreno natural (Invias, 1998).

Los procesos identificados en campo se localizan en planta en el **Plano 5** (Geomorfología). A continuación se describen estos procesos.

#### 3.3.2.3.1 Deslizamientos

Se clasifican, de acuerdo con su forma de ruptura, como rotacionales o traslacionales. A continuación se describen los últimos, pues son los eventos recurrentes y a priori los únicos cinemáticamente viables en el área de trabajo:

Se relacionan con movimientos en los que la superficie de ruptura coincide con una superficie estructural, como un plano de buzamiento de una falla geológica, un plano de estratificación, un plano de diaclasa, etc. El movimiento, de la masa se efectúa por traslación sobre el plano de deslizamiento. A diferencia de los rotacionales, en los traslacionales es inherente la heterogeneidad de los materiales involucrados.

Una de las primeras manifestaciones de actividad data de 1990. (Véase Numeral 4.3.5), hipótesis remarcada de la fotointerpretación; El segundo evento, precedente al de mayo del 2006, pues ocupa el tope de la superficie libre, se fija en el segundo semestre de 1999, si bien el movimiento sólo cobijo los mantos superiores de suelo y depósito (con una profundidad cerca de 3m) provocó la reubicación de dos viviendas. Finalmente, el de mayor trascendencia procede del primer semestre de 2006, por su connotación. A continuación se trata en algún detalle.

#### **Deslizamiento de mayo de 2006**

El día 8 de mayo de 2006 en las horas de la madrugada tuvo lugar deslizamiento traslacional con grieta de tracción entre las carreras 23 y 24 y las calles 180B y 181BIS A. El cuerpo del deslizamiento alcanzo un ancho máximo de 85m, y una longitud próxima a la decena de metros, y una profundidad media de 15m (Véase **Anexo B2** – Proceso DT-AA002). La superficie de despegue emplea los planos de estratificación de una sucesión de arenas lodosas y delgados niveles de arcillolita y el material movido consistió de bloques de areniscas fracturadas moderadamente a bien cementadas, suelos residuales, restos de brechas tectónicas, coluviones y talus relacionados con la actividad extractiva, suelos negros y escombros, basuras y desechos botados ladera abajo.

Pero la incubación de la emergencia procede de tiempo atrás. La ladera deslizada había sido objeto de extracción de materiales desde finales de los años 50 en el siglo XX, pero con mayor entallamiento de la actividad extractiva hacia el costado sur del frente. Lo anterior dejó cortes inestables, con probable diferencial en las presiones de poros relacionadas con el nivel freático (las zonas del frente extractivo que fueron más profundizadas deben presentar niveles freáticos cercanos a la superficie o aflorantes).

Los cortes y superficies libres tienen dirección preferencial N-S, con eventuales variaciones hacia el NW, y están configuradas en intercalaciones de diferente espesor de lodolitas que son alteradas por el humedecimiento. Si estas zonas de intercalación afloran o se encuentran próximas a la superficie, las condiciones cinemáticas para fallas de tipo planares (a lo largo de los planos de estratificación relacionadas con las lodolitas) están dadas:

- Cortes extractivos sub-verticales (con ángulo de inclinación mucho mayor que el de los planos de estratificación)
- Dirección del corte sub-paralelo al rumbo de las capas
- Diaclasas sub-verticales paralelas a la estratificación que generan grietas de tracción
- Ángulo de fricción interno de lodolitas y areniscas lodosas muy bajo por el humedecimiento producido por la existencia de niveles freáticos superficiales y por la gran diferencia de permeabilidad entre areniscas y lodolitas, que crean zonas de presión de poros y de humedecimiento permanente de éstas últimas.

Por lo anterior, es probable que se haya dado el humedecimiento de las capas de lodolita y por ende el desplazamiento del macizo rocoso y de los depósitos naturales y antrópicos suprayacentes a la arenisca. La detonación se facilitó por la pre-existencia del escarpe extractivo, el arrastre de los botaderos los coluviones y los talús que habían cubierto parcialmente el escarpe, permitiendo además procesos de flujo de detritos y de caída de bloques y megalitos son eventos subsecuentes ligados con la falla frágil del macizo rocoso.

Finalmente, es de aclarar que existen evidencias de inestabilidad anterior: flujos de detritos detectados en la fotografía aérea de 1998 (aunque la escala de dichas fotos no es detallada), y diaclasas en la corona del deslizamiento con aperturas cercanas a 20 cm rellenas con basuras y suelos negros que evidencian previa relajación de esfuerzos.



FOTO 3.26 IMAGEN DEL DESLIZAMIENTO OCURRIDO EN MAYO DE 2006

### 3.3.2.3.2 Caídas y Desprendimientos

Representan la disgregación rápida de un volumen de lítico a lo largo de una superficie sobre la cual ocurre muy poco desplazamiento cortante. Ocurren sobre taludes verticales, sub-verticales o en voladizos, donde la gravedad constituye el principal agente motor. Las caídas, desprendimientos o desplomes son generados por procesos similares; se distinguen solamente por la magnitud del fenómeno.

Las caídas son generalmente movimientos intermitentes en caída libre, asociados a escarpes de macizos rocosos resistente y con fracturamiento moderado a intenso; Los bloques móviles son decimétricos y métricos y excepcionalmente megalitos (i.e decimétritos). En los desprendimientos se produce una disgregación de la masa, ya sea de suelo o de roca fracturada, y el descenso súbito con fragmentación del material a lo largo de una ladera de fuerte pendiente. Y en los desplomes la masa lítica, generalmente rocosa, de volumen considerable se desintegra y forma en la base o pie un depósito caótico de material grueso.

En el Codito el proceso, en esencia de actividad y desarrollo potencial – incipiente o potencial – avanzado, se da a partir de las areniscas dispuestas en capas muy gruesas: unidades Ksgt<sub>ARE1</sub>, Ksgt<sub>ARE2</sub> y Ksgt<sub>ARE3</sub>, con desprendimiento y caída en fragmentos mayores de 30 cm. El bloque móvil máximo alcanza los 50 m<sup>3</sup> y es importante anotar que la masa del fragmento se relaciona directamente con la energía cinética que alcance el bloque en su caída y por lo tanto en el potencial de daño que pueda causar.

Los escenarios preponderantes de expresión del fenómeno son: el frente de explotación oriental; el cuerpo del deslizamiento principal (entre las calles 23 y 24) y los cortes contiguos a las calles 181 A y 181 B (al extremo occidental); estos últimos bordeados por una malla escalonada de aislamiento, en virtud de la ocurrencia de los eventos (Véase **Anexo B2** – Procesos CB-PI003 y CB-PI004).



**Foto 3.27** TALUD CON POSIBILIDAD CINEMÁTICA DE CAÍDA DE BLOQUES. PARA IDEA DE LA ESCALA, NÓTESE EL TAMAÑO DE LA PERSONA ENCERRADA EN EL ÓVALO

### 3.4 ANTECEDENTES DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA PARA LA ZONA

La morfodinámica en el Barrio se relaciona fundamentalmente con la extracción desordenada y antitécnica de materiales pétreos. Las fotografías aéreas previas a la intervención minera exponen laderas estables, sin evidencias problemas de remoción en masa. La explotación de materiales de construcción en la Sabana de Bogotá comienza en firme a finales del siglo XIX y principios XX, muy vinculada con el crecimiento de la capital. El primer alcantarillado subterráneo, cubierto con bóveda de ladrillo, se construyó en Bogotá hacia el año 1872, pero hasta los años 1920 se construyó con las técnicas mestizas de la albañilería española y la cultura indígena, por que, la mayoría de casas eran de tapia pisada con techos de paja. Luego hicieron su aparición el cemento, el hierro y el vidrio, con lo que el paisaje de la región cambió sustancialmente (Ingeominas, 2002).

En la Sabana de Bogotá y sus alrededores se explotan diversos materiales de construcción de los cuales se puede mencionar, agregados pétreos (gravas y arenas), recebos, arcillas y rocas ornamentales. Para la obtención de agregados pétreos (gravas y arenas naturales) se explotan principalmente los conos aluviales del río Tunjuelo (Fm. Río Tunjuelo), pero también se pueden obtener por trituración de la Formación Arenisca Dura. Las Formaciones Arenisca Tierna y Labor son las más empleadas para la extracción de arenas y rocas ornamentales (en todo Usaquén, y anteriormente en Chapinero alto y en los Rosales). Los recebos, se extraen en especial de la Formación Plaeners y las arcillas de las formaciones Bogotá (en San Cristóbal y Mochuelo), Usme (en Santa Librada y Rafael Uribe) y aun de suelos arcillosos (Fm. Tilatá).

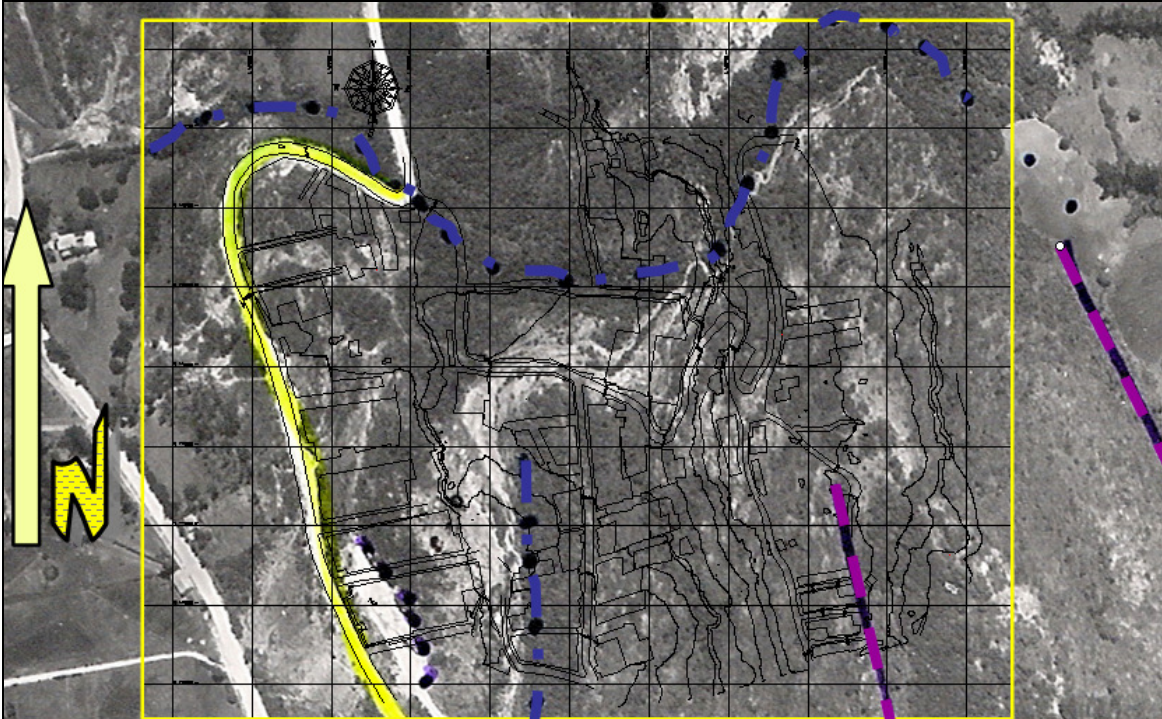
Con el fin de realizar la descripción de los antecedentes históricos de los procesos denudacionales en El Codito, se recurrió a la consulta e interpretación de fotografías aéreas.

Esta tarea se centró en la ubicación de procesos erosivos y de remoción en masa actuales en fotografías aéreas recientes y evidencias de procesos antiguos. También se hizo hincapié en los lineamientos y en la acción humana sobre la ladera: cultivos, uso pecuario, extracción de materiales, cortes de taludes para construcción de viviendas, etc.

A fe de contextualizar el análisis multitemporal, se plantea a hoy día una división gruesa de intervención. La porción de la vertiente tiene tres escarpes principales que fueron objeto de extracción de materiales: uno ubicado en el tercer nivel, que será denominado el “escarpe superior”, uno intermedio retrabajado por el proceso de remoción en masa de mayo de 2006, que será denominado el “escarpe intermedio” y uno en la parte baja, en el talud rocoso más alto, paralelo a la vía de acceso principal de El Codito, bautizado “escarpe inferior”.



### 3.4.1 AÑO 1940 (VUELO C-61 FOTO 452)



FOTOGRAFÍA AÉREA DE 1940. NÓTENSE LOS LINEAMIENTOS CON DIRECCIÓN N30W A N40W QUE SON COMUNES EN LA ZONA Y QUE SE RELACIONAN CON EL SISTEMA PRINCIPAL DE FALLAMIENTO DE LA REGIÓN Y LOS CURSOS DE AGUA PRE-EXISTENTES. EL PREDIO DE ESTUDIO SE MUESTRA EN RECUADRO AMARILLO

El antiguo Camino al Norte (actual Carrera 7ª) se encuentra rodeado por canteras en su costado oriental. Los frentes de extracción activos se centran en las canteras Kadas y La Esperanza, La Laja y El Milagro y la parte baja de las actuales canteras Bocacolina y Cerro Ibiza. El acceso principal a El Codito ya existe (como carretable que lleva a la zona de El Guavio)

En esta parte del flanco occidental del Anticlinal de Bogotá – Usaquén, la morfología es muy irregular (en contraste con el flanco de la calle 170 hacia el sur, donde es clara la pendiente estructural que conforma un monoclin) con depresiones (marcadas por cañadas) y lomos en sentido NW-SE. En los predios de las canteras La Roca y La Laja se aprecian evidencias de deformación frágil con dirección aproximada N30W a N60W.

La representación morfológica es la de una ladera estructural con un patrón de drenaje subparalelo a subdendrítico. Las corrientes principales son de tipo antecedente, adaptadas a la línea de mayor pendiente, en este caso a las del buzamiento. Otros cursos de agua corren con dirección coincidente con un sistema claro de lineamientos (N40E)

La cobertura vegetal es de rastrojo bajo y herbáceas, y además de las áreas afectadas por erosión hídrica concentrada, se aprecian unidades de ladera con erosión difusa, probablemente ligadas a afloramiento de macizo rocoso.

En el Codito en las quebradas (probablemente intermitentes) exhiben direcciones cercanas a la N-S, en general no adaptadas a la configuración estructural regional. Se infiere un depósito probablemente torrencial a lo largo de una cañada paralela (hacia el oriente) a la vía de acceso al Barrio. La intervención extractiva ya ha iniciado; sobre la vía de acceso, entre las calles 180 y 181ª aparece un frente elongado, de aproximadamente 100 metros de largo, del escarpe inferior). No existe evidencia alguna de actividad urbanística.

### **3.4.2 Año 1951 (Vuelo C-606, foto 385)**

La actividad extractiva continua su avance desordenado, se trabaja ladera arriba de las explotaciones pre-existentes y se crean nuevos frentes de extracción. Las canteras de la Carrera 7ª progresan ladera arriba y Santa Cecilia – Komauko continúa siendo la actividad extractiva de mayor extensión.

La cobertura vegetal es predominantemente de matorral bajo, con matorral alto en las rondas de los cursos de agua. Las evidencias de deformación frágil en los macizos rocosos ubicados al sur de El Codito son también claros, con predominio de direcciones N40W.

En el Codito se ha creado el frente de extracción intermedio y retrocede de manera rápida el escarpe inferior. No existe evidencia alguna de actividad urbanística. (Véase Anexo B4)

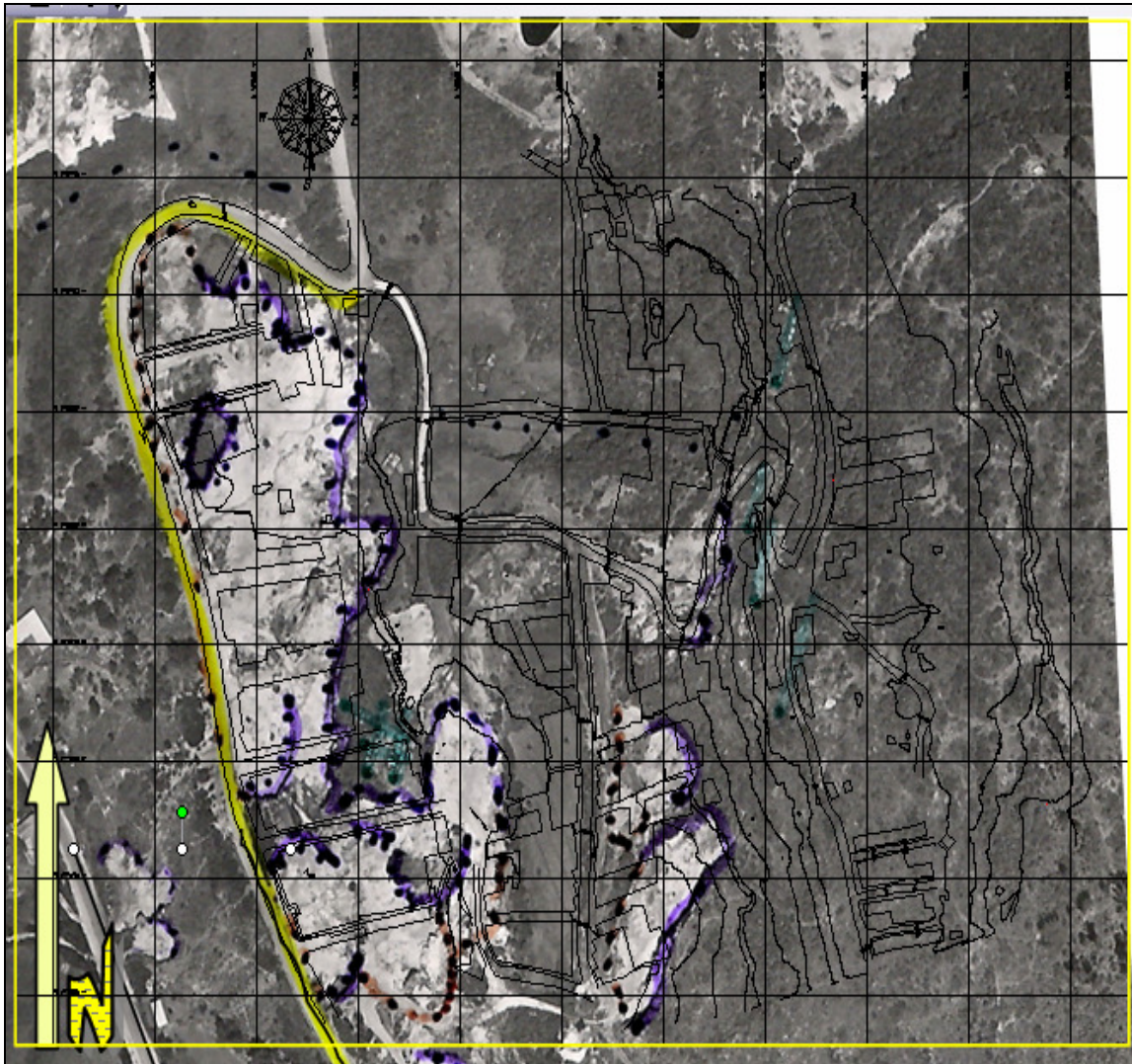
### **3.4.3 Año 1956 (Vuelo C-770, Foto 11)**

Las canteras de la Carrera 7ª continúan su avance y de las actuales canteras la única que no ha iniciado su actividad es la de Servitá. Santa Cecilia persiste como la de mayor área. A esta fecha es reciente el inicio de actividades de explotación alejadas de la Séptima.

Las zonas con evidencias de deformación frágil que ya han sido explotadas muestran un intenso grado de fracturamiento en los frentes de extracción, lo que soporta la observación respecto a la deformación que es evidente en planta.

En el Codito se intensifica el avance del frente inferior y continua la apertura de frentes en el intermedio. Además de la vía de acceso principal, existe el corredor de ingreso a la zona de estudio. Es importante anotar que el frente inferior ya se ha configurado en una situación muy similar a la del 2006.

En los frentes alto y medio se observan evidencias de deformación frágil (microlineamientos) con dirección N20E; al igual que en la parte alta del escarpe inferior, donde conforman juegos ortogonales con dirección N15E y N60W. La actividad urbanística a ocupar (a manera de viviendas aisladas) las adyacencias a la Séptima.



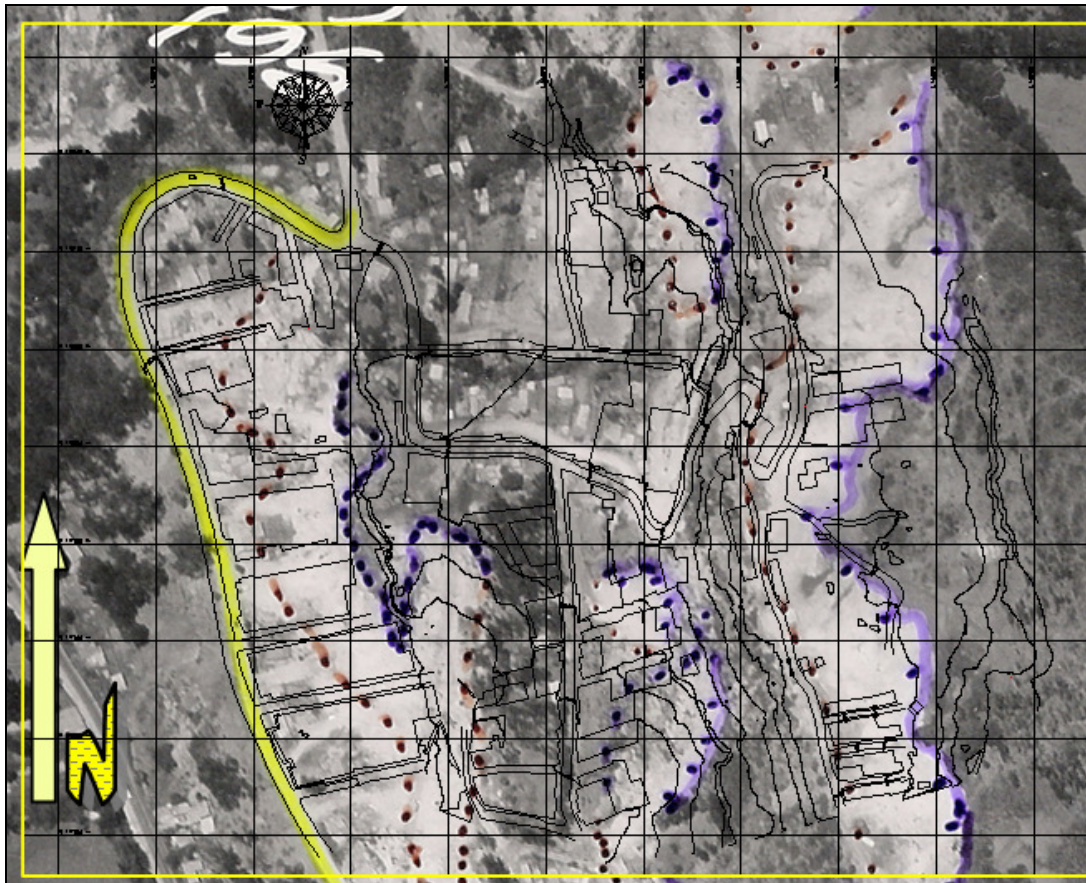
FOTOGRAFÍA AÉREA DE 1956. LAS LÍNEAS PÚRPURAS MUESTRAN LOS TALUDES DE EXTRACCIÓN. NÓTESE EL AVANCE LADERA ARRIBA DE LA EXPLOTACIÓN DE MATERIALES

### 3.4.4 **Año 1973 (Vuelo C-1439 Foto 195)**

La deformación con dirección N40W es muy clara traducida en el alineamiento de tramos cortos de cursos de agua, fracturamiento de los macizos rocosos sin cobertura vegetal (y probablemente sin coberturas de suelos), expresado por alineamiento de lomos y de depresiones. Las canteras Silical y Calicanto y Kadas muestran gran avance ladera arriba.

La configuración de la actividad extractiva en el escarpe inferior culmina, es decir ya se encuentra en la situación actual (se cree que cesó entre 1956 y 1973). Los taludes intermedios también muestran una configuración similar a la del año 2005, con diferencia de la incisión sobre la ladera (el frente sur, que fue el que falló en mayo de 2006) es mucho más fuerte que el frente norte. El frente superior apenas ha iniciado su

actividad, con tendencia de dirección predominante norte – sur. Y la colonización urbanística de El Codito da sus primeros pasos.

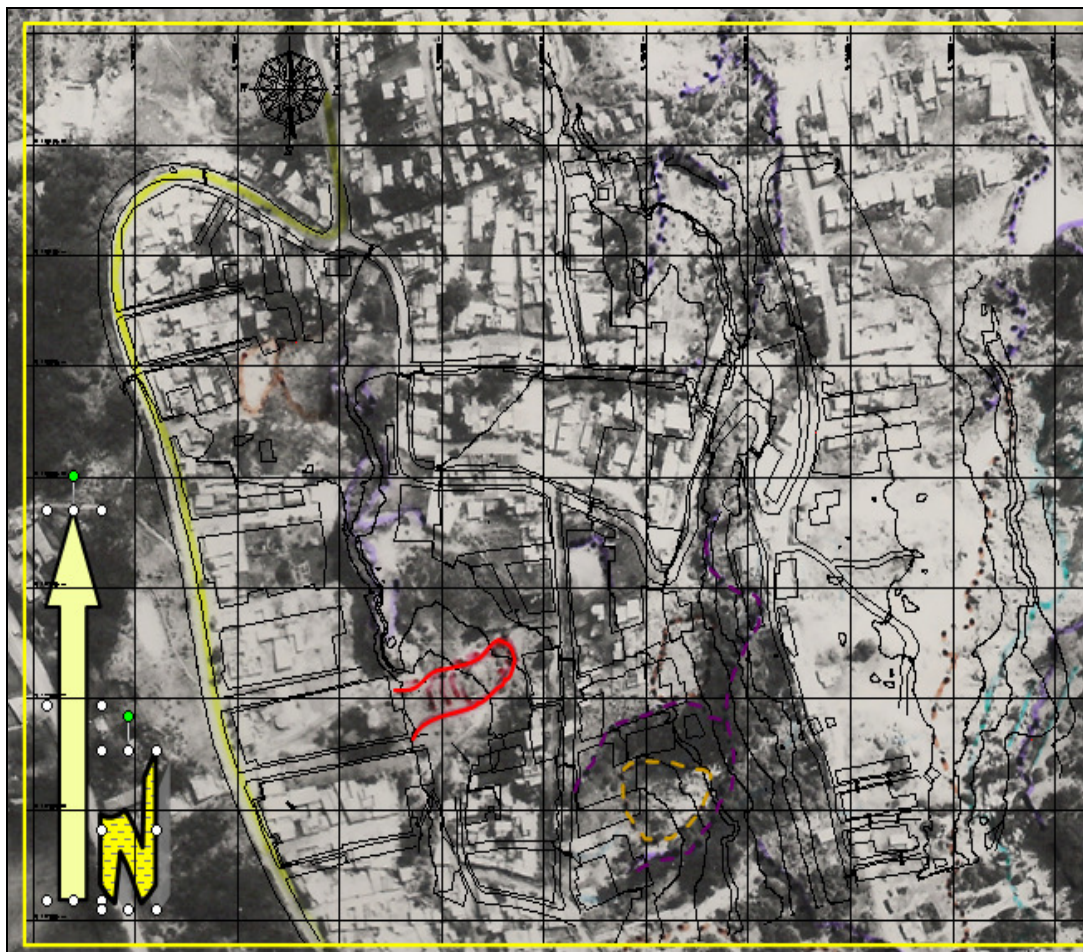


FOTOGRAFÍA AÉREA DE 1973. LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA HA AVANZADO HASTA EL DENOMINADO EN ESTE TRABAJO ZONA DE EXTRACCIÓN SUPERIOR

### 3.4.5 **AÑO 1990 (R-1131 FOTO 559)**

La expresión morfológica es similar a la del año 2005, con el avance de la actividad urbanística y extractiva, una adyacente a la otra o en el peor de los casos, con actividad urbanística llevada a cabo dentro de predios que no han sido recuperados morfológicamente, Lo anterior crea o potencia la aparición de escenarios de riesgo por remoción en masa.

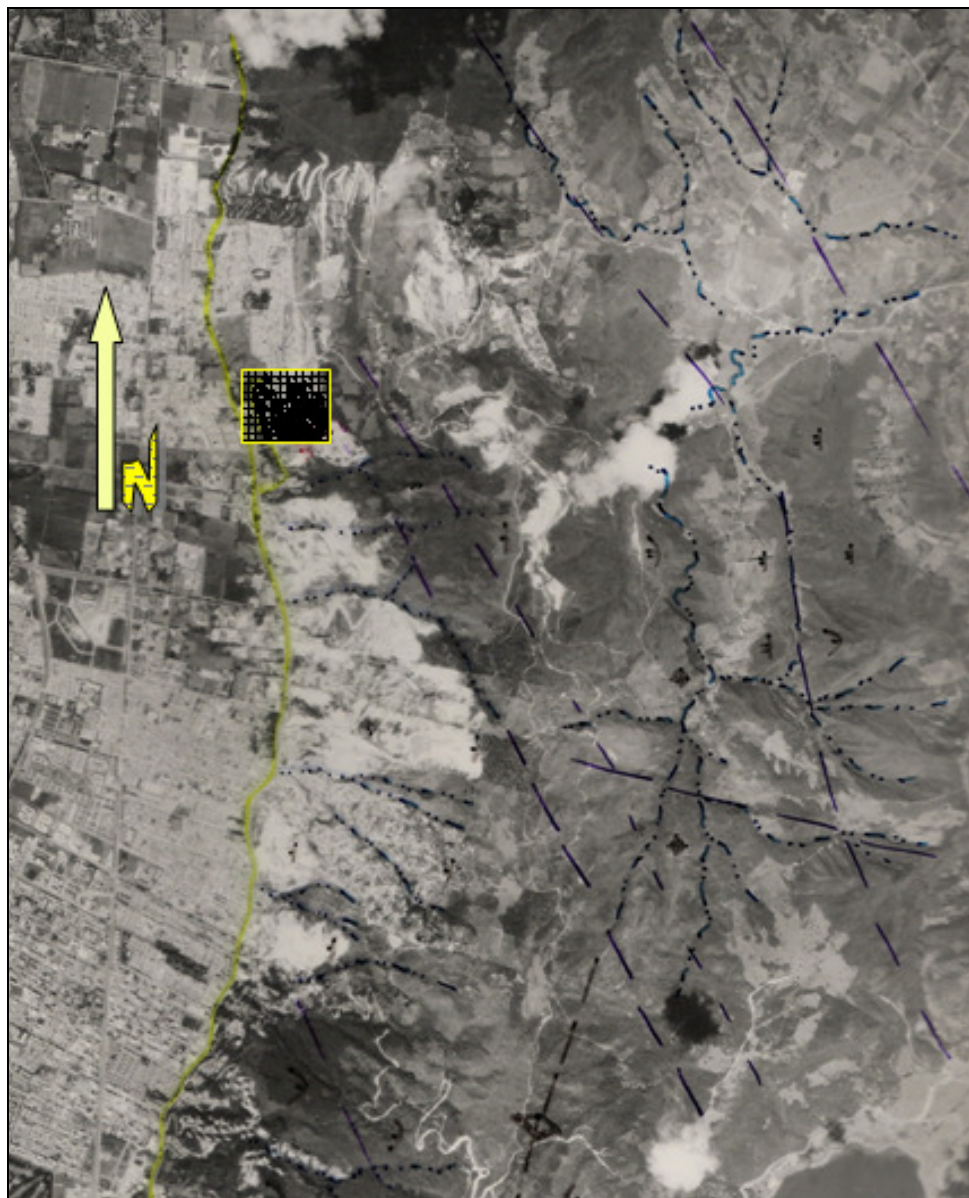
Se descubren: botaderos de ladera en la zona intermedia (hacia el sector afectado por el proceso de remoción en masa de mayo de 2006); flujos de detritus activos hacia el limite sur del Barrio (pero por fuera del área de estudio); y un deslizamiento traslacional en la zona verde ubicada entre las carreras 24 y 25.



FOTOGRAFÍA AÉREA DE 1990. SE DESTACA UN DESLIZAMIENTO HACIA LA ZONA BAJA SUROCCIDENTAL (EN LÍNEA CONTINUA ROJA) Y UN DEPÓSITO (PROBABLEMENTE BOTADERO O COLUVIÓN ) EN LA ZONA QUE FUE AFECTADA POR EL DESLIZAMIENTO DE MAYO DE 2006 (EN LÍNEA A TRAZOS CAFÉ)

### 3.4.6 Año 2000 (C-2612 FOTO 239)

Esta fotografía, de escala de trabajo regional, muestra también los alineamientos con dirección NW y permite establecer que las zonas de falla de la plataforma superior, estudiadas y medidas en el marco del presente trabajo responden a la misma estructura regional cartografiada por Tchomodanova (2000) y redefinida por Fierro (2005) como Falla de Soratama. Es notorio un proceso activo en la misma ladera re trabajada por el deslizamiento en masa de mayo de 2006.



FOTOGRAFÍA AÉREA DE 2000. ASPECTOS REGIONALES, CON LA ZONA DE ESTUDIO EN EL RECUADRO AMARILLO.

### 3.4.7 2005 (IMAGEN DE SATÉLITE GRATUITA GOOGLE EARTH)

La imagen de satélite muestra la situación hoy día, con excepción del deslizamiento ocurrido en mayo de 2006, las canteras no exhiben diferencias, es decir no han sido recuperadas y la retícula urbana es muy nítida dentro o adyacente a los escenarios de extracción.

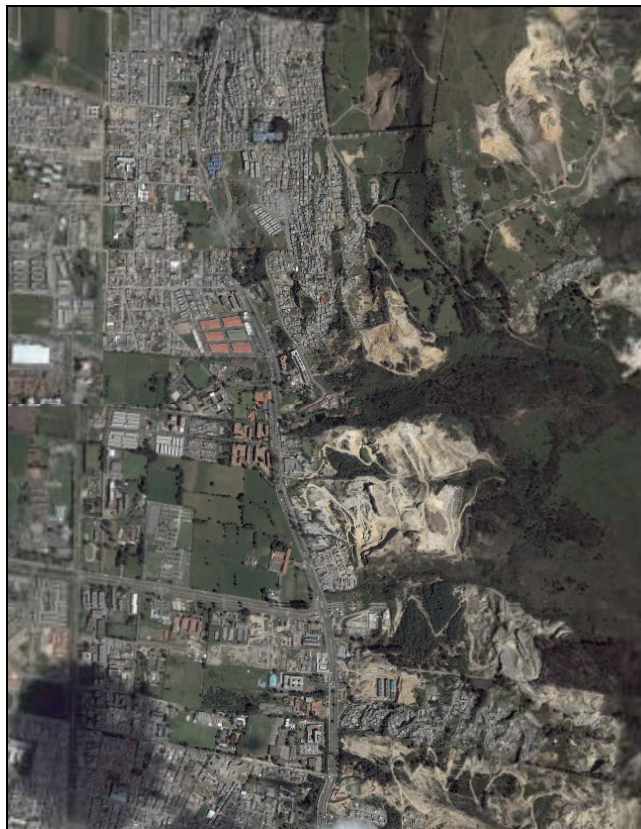


IMAGEN DE SATÉLITE 2005

### 3.5 ASPECTOS SÍSMICOS

La microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá, demarca zonas de comportamiento geomecánico similar, que permiten dar recomendaciones específicas de diseño y construcción para edificaciones de cualquier tipo; también se utiliza como base de posibles escenarios de daños, durante sismos futuros. El mapa de micro zonificación sísmica delimita a la localidad de Usaquén y su vez al Barrio El Codito, dentro de la zona I Cerros.

Dicha división se caracteriza por la presencia de formaciones rocosas. Puede presentar amplificaciones locales de aceleración por efectos topográficos y existen zonas de inestabilidad por efecto de las pendientes, las lluvias, fuentes de aguas locales y sismos. Según el estudio de microzonificación sísmica, se requiere de estudios especiales de amplificación y estabilidad para la ejecución de obras. Adicionalmente se recomienda consultar en forma complementaria el mapa de susceptibilidad al deslizamiento. La zona I, posee un coeficiente de aceleración máxima  $A_m$  de 0.24 y un coeficiente de aceleración nominal  $A_n$  de 0.30, aquellos coeficientes se emplean para determinar los espectros de diseño.

Como parte de las actividades del estudio y a fe de diagramar la participación de uno de los eventos detonantes o condicionantes más relevantes: el sismo, se plantea en adelante bajo principios exclusivamente heurísticos y cualitativos, la respuesta dinámica de los suelos. Para dar cumplimiento a este cometido, se estructura un breve tratamiento de dos subcapítulos relevantes: la amenaza sísmica y la respuesta dinámica

del subsuelo. Aunque la deducción de la respuesta local de sitio involucra el desarrollo de un mayor espectro de variables, se requiere la conjunción de insumos no disponibles o que están por fuera del alcance de este proyecto.

### 3.5.1 **AMENAZA SÍSMICA**

#### 3.5.1.1 **Fuentes Sismogénicas**

El desarrollo de este tópico y la cuantificación de la amenaza sísmica se fundan, exclusivamente, en información secundaria, es decir en estudios regionales y locales que involucren el distrito capital. Información consolidada a continuación:

#### Estudio General de Amenaza Sísmica (AIS – Ingenominas – Uniandes, 1996)

Este documento, incorporado a la normas NSR-98, califica la amenaza sísmica de Bogotá, idealizándola como un punto. Enmarca a la ciudad capital en la región 5, catalogada como de Amenaza Sísmica Intermedia, y le fija como aceleración máxima horizontal a nivel de roca, **A<sub>a</sub>**, 0.20g, para eventos con periodos de retorno de 475 años. La **Tabla 3.3** condensa y discrimina las fuentes sismogénicas relevantes consideradas por la AIS (1996), su tipo del evento y su aporte a la amenaza así:

**Tabla 3.3 Fuentes Sismogénicas para Amenaza Sísmica en Bogotá**

<b>NOMBRE DE FUENTE ACTIVA</b>	<b>CARÁCTER DEL EVENTO</b>	<b>APORTE A LA AMENAZA</b>
Frontal Cordillera Oriental	Intraplaca	67.60%
Salinas	Intraplaca	27.70%
Otras Fallas	Intraplaca e Interplaca	4.70%

#### Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá (Ingenominas – Uniandes, 1997)

Define cinco zonas de comportamiento homogéneo en el Distrito capital, caracterizadas por parámetros sísmicos y espectros de respuesta, es decir se define las aceleraciones pico efectiva  $A_g$  y la mínima  $A_d$ , con sus períodos de retorno y recurrencia, útiles para el diseño y construcción de líneas vitales. Tales zonas y sus parámetros hacen parte de la Norma de Construcciones Sismorresistentes de la Ciudad.

Acorde con el estudio universo espacial al que pertenece el barrio El Codito hace es la Zona 1 – Cerros, y su aceleración pico es 0.24g para un período de retorno de 475 años. De las secciones de análisis se abstraen por similitud morfológica, que la aceleración máxima en roca utilizada en los análisis pseudos estáticos es equivalente a la aceleración pico



### 3.5.1.2 Cualificación de la Amenaza Local

Con base en los estudios mencionados para El Codito se tienen tres sistemas sismogénicos principales:

#### Fuente Local:

Responde a un evento en el dominio del Campo Cercano proveniente de alguna de las fallas que trasiegan al nororiente de la ciudad como son las Fallas de: Torca, Boquerón de Carbón, Usaquén-Sabana, Alto El Cabo, circunscritas en un radio de acción de 15 Km alrededor de El Codito, con foco de poca profundidad y Magnitud máxima probable, Ms, entre 6.0 y 6.5. La aceleración máxima horizontal a nivel de roca es de 0.24g. Los acelerogramas típicos esperados son de corta duración y su periodo fundamental pequeño:  $T < 0.30$  seg.

#### Fuente Intermedia:

Involucra eventos sísmicos generados por el Sistema de la Falla Frontal de la Cordillera Oriental, también denominado sistema de Guaicaramo, a una distancia de 60 Km. Su profundidad oscila entre los 15 Km y los 60 Km. Esta fuente contribuye con el 67.6% de la amenaza sísmica para el campo intermedio y sus eventos tienen una magnitud máxima probable, Ms, de 7.5; la aceleración máxima horizontal esperada en roca es de 0.20g.

#### Fuente Lejana:

Designa a los eventos producidos en la Zona de Subducción del Pacífico, a una distancia entre 350 Km y 400 Km del barrio y con una aceleración horizontal en roca de 0.04g.

### 3.5.2 RESPUESTA DINÁMICA DEL SUBSUELO

Si bien la definición de los modelos de respuesta de sitio que se esboza en adelante es a todas luces una simplificación gruesa, pues implica exclusivamente la mayoración (cualitativa) del coeficiente de aceleración horizontal en roca en función del tipo de material, de su espesor, y del escenario de aceleración máxima horizontal, i.e de la fuente sismogénica. No se ignora que el desarrollo riguroso del tema implica: a) la definición de los acelerogramas típicos para cada fuente sismogénica, b) la determinación de los parámetros estáticos y dinámicos de las unidades de suelo y roca, i.e. relación de poisson, velocidad de corte y Módulo de corte máximo,  $G_{max}$ , y las curvas de amortiguamiento por material, entre otros, y c) la modelación; pero tal procedimiento está fuera de los alcances del estudio.

Bajo este panorama, los factores de amplificación,  $F_v$  y  $F_a$ , son tomados de fuentes secundarias: bien de Medvedev, 1965, o bien del NSR, 1998. En el primer caso  $F_v$  se asume igual a la unidad y  $F_a$  es una constante que toma valores entre 0.10 y 3.90, según el perfil lo domine rocas duras o depósitos antrópicos, respectivamente. La discriminación del conjunto de coeficientes se ilustra en la **Tabla 3.4**.

**Tabla 3.4 Factores de Amplificación para diferentes tipos de Suelo (Medvedev, 1965)**

No	GRUPO DE ROCAS	SUELO TIPO NSR-98	FACTOR DE AMPLIFICACIÓN, FA
1	Rocas Duras	A	0.1 - 0.8
2	Rocas Alteradas	B	0.7 - 1.1
3	Depósitos Granulares no cohesivos: bloques, gravas, arenas.	C	0.9 - 1.5
			1.2 - 1.8
4	Depósitos Blandos Cohesivos: Arcillas, Limos.	D	1.2 - 1.6
			1.3 - 1.8
5	Antrópicos: Escombreras, Suelos Orgánicos.	E	2.3 - 2.6
			2.6 - 3.0
6	Depósitos Saturados: Bloques, Gravas, Arenosos, Arcillosos Antrópicos.	F	1.6 - 2.0
			2.0 - 2.4
			2.4 - 2.8
			3.3 - 3.9

Si la herramienta técnica recae en el NSR, es pertinente el tratamiento de los siguientes elementos básicos: a) el periodo fundamental de la fuente sismogénica; b) el perfil típico en el barrio; c) los coeficientes de amplificación: Fa y Fv según sea el periodo de análisis, y d) el espectro de diseño, así:

**Fuente Sismogénica:** si es local el periodo de vibración fundamental es inferior a 0.30 seg, registro extraído del acelerograma de Loma Prieta – Corralitos (1989); y si es frontal o lejana el periodo oscila entre 0.90 seg y 1.0 seg, el primero tomado del sismo de Mexico (1985 – Fuente lejana) y el segundo del de Riviera.

**Perfil Típico:** Está constituido casi en escencia por un módulos rocosos, sobre los que descansan, espacialmente, depósitos antrópicos, talús, coluviones, botaderos de ladera o suelos provenientes de cenizas, en caso alguno con espesor superior a los cinco metros, lo que indefectiblemente los clasifica dentro de perfiles Tipo B o D (véase la Tabla H-1-1 de la NSR,1998). La secuencia indiferenciada se describe a continuación:

- Depósitos antrópicos (Qmp): Agrupan suelos arenosos, en ocasiones con fragmentos pétreos de gran tamaño, con espesores menores de 2 metros, ubicados sobre zonas planas o poco inclinadas.

- Talus y coluviones (Qt+c): Son depósitos arenosos matriz – soportados (coluviones), permeables, o depósitos clasto – soportados (talus) con fragmentos con predominio de tamaño entre 10 y 30 cm, que desacansan a media ladera. Su espesor en caso alguno supera los cinco (5) metros. Expresión sustraída del cuerpo de deslizamiento.
- Botaderos de ladera (Qbl): Agrupa suelos arenosos a areno-arcillosos, con fragmentos angulares de areniscas de tamaños variados. Especialmente se entremezcla con los suelos negros provenientes de cenizas volcánicas residuos de materiales de construcción, basura, restos vegetales, etc. En general su espesor es inferior a 1 m y descansan a media ladera.
- Suelos con influencia de Cenizas (Qmo): Involucra limo-arenosos negros, poco plásticos, muy permeables, provenientes de cenizas, ricos en cuarzo tamaño arena. Se disponen en capas con espesor variable entre 0.20 m y 0.50 m y alcanzan bancos hasta de 1 m de potencia.
- Brechas Tectónicas (Ksgt-Bt): Consisten de suelos arenosos que engloban fragmentos angulares a subangulares de areniscas friables donde son comunes los fragmentos métricos. Encierran perfiles de más de 10 m de espesor.
- Grupo Guadalupe – Fm. Arenisca Tierna - Unidades de areniscas (Ksgt-A) y lodolitas (Ksgt-L): Integra secuencias de areniscas cuarzosas, con matriz de arcillas blancuzcas, con presencia de capas friables, de capas con cementación moderada y lodolitas. Están dispuestas en capas gruesas y muy gruesas (de 6 a 20 metros de espesor, de acuerdo con las columnas estratigráficas levantadas) y configuran bancos hasta de 50 m (extraído de la secuencia en el primer nivel).

Los Coeficientes de Amplificación, Fa y Fv: Hacen referencia a los valores fijados en las figuras H-1-3 y H-1-4 de la NSR (1998). Acorde con los perfiles referidos atrás los coeficientes son:

- ✓  $F_a = F_v = 1.0$ , si se trata del perfil tipo B, y
- ✓  $F_a = 1.20$  o  $1.70$  y  $F_v = 1.80$  o  $2.0$ , en lo que atañe al Perfil Tipo D, según el coeficiente de aceleración máximo sea de  $0.24g$  o  $0.20g$ , respectivamente.

Espectro de Diseño: Como el periodo fundamental de los sismos de referencia es próximo al segundo, se adopta como espectro fundamental:

$$S_a = 1.20 * A_a * F_v * I / T$$

Donde:

A<sub>a</sub>: es la aceleración máxima horizontal en roca

F<sub>v</sub>: Coeficiente de amplificación tomado de la Tabla H-1-4 (NSR, 1998)

I: Coeficiente de importancia, equivalente a uno.

T: periodo del sismo, en este caso 1 segundo.

De la conjunción de las variables anteriores, para una u otro procedimiento (o fuente técnica), las aceleraciones a nivel de superficie oscilan entre 0.24g y 0.50g. El primer coeficiente toda vez que la secuencia sea exclusivamente rocosa, y el segundo cuando los parches de suelo alcanzan espesores de 5 m, es decir en los escenarios de talús y coluviones, Qt+c. La **Tabla 3.5** agrupa las aceleraciones máximas en superficie y las aceleraciones para diseño que se adoptan al amparo de este proyecto. Este tema será retomado en el capítulo 7 “Análisis de Estabilidad y Evaluación de Amenaza”.

**Tabla 3.5 Aceleraciones Máximas en Superficie y de Diseño – Barrio El Codito**

MATERIAL	TIPO DE SUELO NSR-98	FACTORES DE AMPLIFICACIÓN			ACELERACIÓN EN SUPERFICIES SA		ACELERACIÓN DE DISEÑO  2/3 *SA
		MEDVEDEV	NSR - 1998		MEDVEDEV (1965)	NSR (1998)	
		FA	FA	Fv			
Qmp	D	1.20 a 1.80 (se adopta 1.80)	1.2	1.8	0.432 g	0.518 g	0.288 g
Qt+c							
Qbl							
Qmo							
Ksqt Bt	C	0.9 - 1.5 (Se adopta 1.2)	1.1	1.6	0.288 g	0.460 g	0.249 g
Ksqt - A	B	0.7 - 1.10 (Se adopta 1.0)	1	1	0.240 g	0.240 g	0.240 g
Ksqt - L							

## Referencias Citadas

Civiles Ltda. 2003. Estudio de riesgo por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar el escarpe del barrio Soratama en la Localidad de Usaquén, Bogotá. Informe interno FOPAE.

Consortio Geotec. 2006. Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas recomendadas en el barrio Arauquita segundo sector, ubicado en la Localidad de Usaquén, Bogotá. Informe interno FOPAE.

Fierro Morales, J. 2005. Geología y geomorfología detallada de la Aula ambiental de Soratama (Localidad de Usaquén, Bogotá). Informe interno DAMA.

Geocing Ltda. 1998. Evaluación y zonificación del riesgos del barrio Arauquita. Localidad de Usaquén, Bogotá. Informe interno Fondo de desarrollo local de Usaquén.

GIA Consultores Ltda. 2005. Estudio de riesgos por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar el escarpe del barrio Mirador del Norte de la Localidad de Usaquén, Bogotá. Informe interno DPAE.

Hidrotec Ltda.. 1998. Estudios y diseños de estabilidad de taludes, control de erosión y manejo de aguas para la estabilización de diferentes sitios en la ciudad de Santa Fe de Bogotá – Grupo 3. Informe interno FOPAE.

Indesa Ltda. 2000. 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 interno DPAE.

Ingemetrica Ltda. 1999. Zonificación de amenazas y riesgos por remoción en masas, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras para estabilizar el antiguo escarpe de extracción frente al barrio Soratama. Localidad de Usaquén. Informe interno FOPAE.

Ingeominas, 2003. Aspectos geoambientales de la Sabana de Bogotá. Publicación Ingeominas. Bogotá.

Ingeocim Ltda. 1998. Zonificación por inestabilidad del terreno para diferentes localidades de la ciudad de Santa Fe de Bogotá D.C. Informe interno FOPAE.

Ingeominas, 1999. Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá. Bogotá.

Ingetec, 1998. Estudios y diseños para la construcción del Túnel de Santa Ana, Usaquén. Informe interno Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Bogotá.

Invias, 1998. Manual de Deslizamientos. Publicación Instituto Nacional de Vías. Bogotá.

Julivert, M. 1968. Lexique Stratigraphique Internationale. Vol. V Fasc. 4ª. Paris.

Moya y García Ltda. 2002. Estudio de riesgo por remoción en masa para los barrios Cerro Norte y Villa Nidia de la localidad de Usaquén y Diseño de obras de control, protección y estabilización. Informe interno DPAE.

Pérez, V. & A. Salazar. 1978. Estratigrafía del Grupo Guadalupe. Geología Colombiana No. 10.

Riveros, A. 1999. Génesis y caracterización petrográfica de los depósitos Plio-Pleistocénicos del sector de Mondoñedo “Zabrinsky”, Mosquera, Cundinamarca. Trabajo de grado del Departamento de Geociencias. Universidad Nacional de Colombia.

Rocas y Minerales Ltda. 2000. Estudio de riesgos por remoción en masa y diseños detallados de las obras de control, protección y estabilización en el barrio El Codito III Sector, Localidad de Usaquén, Bogotá. Informe interno DPAE.

Universidad Nacional de Colombia. 2000. Diseños detallados para la reconfiguración geotécnica y ambiental de la antigua cantera Soratama. Informe interno DAMA.

Van der Hammen, T. 1995. Plioceno y Pleistoceno del Altiplano de Bogotá y alrededores. Análisis geográficos No. 24. Publicación IGAC. Bogotá.

## 4 ESTUDIO GEOTÉCNICO

En este capítulo se muestran los resultados de las actividades de campo, laboratorio y oficina conducentes a la caracterización geomecánica de los materiales térreos, naturales y antrópicos, existentes en el barrio objeto de estudio. Todas las actividades se retroalimentaron para obtener un modelo geotécnico representativo del subsuelo útil para la evaluación de estabilidad.

### 4.1 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

#### 4.1.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO

A partir de los primeros trabajos de geología, se requirió resolver tres cuestionamientos básicos: los contactos litológicos, los espesores y tipos de material constitutivos de los depósitos cuaternarios y su influencia en el comportamiento de las laderas, y la divergencia en el patrón de respuesta de las franjas noroccidental y suroriental. Una vez evaluadas las bondades, la relación beneficio-costos y las limitaciones de los diferentes métodos de exploración, se concluyó que la mejor alternativa del programa de exploración inicial consistía en la ejecución de columnas estratigráficas, levantamientos estructurales y una perforación (con avance de rotación).

Este esquema de trabajo buscó aprovechar la amplia exposición de la secuencia estratigráfica a lo largo y ancho del barrio, traducida en el número y extensión de los cortes o frentes expuestos; y se soportó en la hipótesis de que morfoestructuralmente El Codito descansa en una ladera estructural, sin traslocaciones o cambios de polaridad relevantes.

La secuencia identificada a partir del programa inicial; el irreductible paradigma del complejo tectónico, expresado no sólo en las zonas de falla sino en los cambios de polaridad de los estratos y de algunos planos de diaclasas, invariablemente diagramados en cinco regiones o dominios estructurales; y la excesiva separación entre escenarios estratigráficamente controlados (lo que se convierte en una limitante geométrica en la aplicación de los principios de la geología estructural) hizo ineludible definir un plan complementario de exploración. Plan en el que tomaron relevancia los sondeos mecánicos de muestreo continuo, con avance bien de rotación o bien de percusión y lavado, los apiques y las trincheras, con el fin de: a) disminuir la incertidumbre en la extrapolación litoestratigráfica; de refinar el modelo estructural en los escenarios de mayor propensión cinemática; y de investigar los cuaternarios, labor realizada hasta alcanzar el nivel de roca u horizontes de mayor resistencia.

Los métodos indirectos como la refracción sísmica se descartaron como herramienta de apoyo, pues si bien podrían arrojar información valiosa acerca de los espesores de depósitos y alineamientos geoelectrónicos (si se trata de evidencias tectónicas), presenta limitaciones en la deducción del modelo litoestratigráfico, impuestas por las expresiones morfométricas; la especial influencia tectónica; la homogénea composición de las unidades de roca y de las brechas de falla y los reducidos espesores de los paquetes arcillosos, a priori las superficies preferenciales de despegue.

FOPAE:	CONSORCIO GIA - GEOCING	GIA -046-06		CAP. 4 – PAG. 95	
Versión:	1			Fecha	08/08/06
Elaboró:	GMT	Revisó:	JALG	Aprobó:	JALG

Sin embargo, contrario a las limitaciones se dio factibilidad al empleo de los sondeos geoelectrónicos verticales (SEV), en el cuerpo del deslizamiento, una vez concluida la descarga de la masa movilizada y reconformada la ladera (eventos acaecidos entre los meses de Junio y Julio de 2006); a fe de diagramar el contacto suelo-roca y discernir el espesor de los depósitos y la posición de la tabla de agua.

La síntesis del conjunto de información se consolidó en resúmenes gráficos que facilitaron la caracterización, por zona geotécnica, de los materiales y su comprensión mediante secciones de análisis geológico-geotécnicas.

#### **4.1.2 EXPLORACIÓN SUBSUELO**

##### **4.1.2.1 Métodos Directos**

El programa de investigación del subsuelo se definió con base en las facilidades y limitaciones otorgadas por la zona de estudio. En este sentido, los sitios para la realización de las labores de exploración se seleccionaron cuidadosamente, y buscaron la mayor calidad en la información. El panorama descrito reveló la necesidad de emplear casi exclusivamente los métodos directos.

La exploración se abordó en dos etapas: la primera de ellas se dirigió a la identificación, y descripción de la secuencia estratigráfica y por ende a la ubicación y a la detección de la continuidad lateral y longitudinal de los horizontes de roca, y a la deducción de flujos locales de agua que puedan incidir en la actividad de masas potenciales. Está solventada mediante la elaboración de columnas estratigráficas, seis (6) en total, la toma de datos estructurales (gracias a cuarenta y ocho estaciones); un sondeo en el trasdos del escarpe principal del deslizamiento, e inventario de procesos.

Los levantamientos estructurales se concentraron en la toma de los datos representativos para las familias de discontinuidades en las exposiciones del macizo rocoso – es decir en los escarpes occidental (Codito Tercer nivel), centro (cuerpo del deslizamiento) y occidental (próximo al límite occidental del bloque de estudio). Tales datos incluirán entre otros tópicos, información sobre las tendencias generales de orientación: rumbo y buzamiento y características físicas como abertura, espaciamiento, rugosidad y persistencia.

La segunda fase, basada en veinte y cuatro (24) sondeos mecánicos bien con avances de percusión y lavado (21 en total) o bien con rotación ( 5 en total), cinco (5) apiques, y cinco (5) trincheras, tuvo como objetivos principales: a) corroborar la prevalencia y continuidad de las intercalaciones arcillosas que pudiesen servir de planos preferenciales de movilización o favorecer la activación de bloques potenciales; b) dilucidar variaciones laterales o traslocaciones (irregularidades en profundidad) de la secuencia litoestratigráfica; es decir, la detección de bancos o paquetes débiles o incluso colapsibles, p.e areniscas lodosas o friables, distintos a las lodosas con repercusión o participación en el deslizamiento de la carrera 23 y en futuros eventos; c) deducir o contrastar el patrón estructural; d) abstraer (y en el mejor de los casos reconocer) signos (más allá de los interpretados en la prospección geológica) que expliquen tanto la cinemática como los mecanismos de deslizamiento de las laderas; e) dilucidar los principales patrones geométricos de los depósitos recientes (espesor y variación), en especial de la interfase depósito-roca; f) conocer el estado y composición de los materiales del subsuelo involucrados; g) inferir la probable posición de las superficies de deslizamiento y de la tabla de agua; y h) obtener muestras para su caracterización física y mecánica.

De este conjunto adquieren especial relevancia las perforaciones por rotación, cuatro (4) en total; ellas permitieron relacionar las capas guías, es decir concluir sobre la continuidad longitudinal (E-W) de la



secuencia litoestratigráfica, deducir los cambios en la polaridad de los planos de estratificación y dilucidar la continuidad de las tendencias de falla (en especial las de rumbo). Su ubicación planimétrica y altimétrica se abstraigo de un análisis de sensibilidad en el que se tomó como variable relevante el buzamiento de los planos de estratificación y se fijó como puntos de partida los niveles estratigráficos base de los cortes expuestos en el primer y tercer nivel (entendidos éstos como condiciones y elementos de borde). Aunque este análisis, en principio, desprecia los saltos que gestan las fallas de rumbo y asume que el plano de estratificación es homogéneo y constante (premisas no completamente ciertas), intenta su corrección al fijar franjas de traslapo entre los extremos de las perforaciones o de las perforaciones y las columnas.

Durante estos trabajos se describieron los materiales encontrados; en cada caso se consignaron: tipo de material, tamaño de grano, distribución granulométrica, color, contenido de humedad, presencia de oxidaciones y fisuras; meteorización y compacidad o consistencia. Además se realizaron pruebas in-situ de penetración estándar SPT. Finalmente, el programa de ensayos de laboratorio se enfocó hacia la investigación de los ambientes geotécnicos que involucran los problemas de estabilidad; es decir, a la caracterización del material rocoso y del depósito superior, y a la estimación de sus resistencias al corte (en especial en las discontinuidades, con pruebas de corte directo). Todas las muestras se identificaron visualmente en campo, se etiquetaron o almacenaron de acuerdo con las normas de la ASTM, para ser enviadas al laboratorio.

Así las cosas, las dos etapas de exploración dejaron entrever que la secuencia estratigráfica es normal, heterogénea; discontinua, pues enmarca variaciones laterales asociadas al ambiente de depositación; con alternancia en el crecimiento y decrecimiento del grano y del grado de litificación; dislocada, i.e. interrumpida por fallas de rumbo con desplazamiento vertical y brechas de falla irregulares métricas y mesométricas posiblemente profundas; de complejo control, espacialmente se hilvanan horizontes delgados (de menos de 3 cm) de arcillas que se acuñan; pero con disposiciones multicapa configuradas en bancos de areniscas blandas y friables (condición expresada en la baja recuperación en los primeros diez metros de las perforaciones P1 – de 7.40 m a 9.20 m y de 13.50 m a 14.30 m-, P3 y P2 –de 5.17 m a 7.00 m y de 10 m a 11.50 m -), areniscas de grado medio a grueso moderada a bien cementadas y delgados niveles de lodolitas y arcillas, irregularmente cubiertos por rellenos antrópicos y suelos residuales.

Los paquetes arcillosos, con espesores de 0.02 a 0.60 m, recorren la secuencia a profundidades variables y pueden actuar como superficies potenciales de despegue de deslizamientos planares. Ejemplos patentes se fijan en las paredes de los flancos y del escarpe principal del deslizamiento de la carrera 23. No obstante, el nivel más espeso de estas arcillas (de hasta 5 m) y que aflora en el primer nivel (escarpe inferior), parece no tener ingerencia en la generación de tales deslizamientos, debido a la configuración geométrica del patrón estructural y al estado de esfuerzos presente. Cabe reseñar, que sólo en uno de los sondeos, el P2, se detectó el nivel freático –a 12 m-, lo que indica bien una errática respuestas del patrón hidrogeológico, ligada a la variación estacional pero matizada por una posición profunda de la tabla de agua, o la posibilidad de una fuente de recarga por fuera del barrio pero direccionada con el cuerpo del deslizamiento de la carrera 23.

En el **Plano 4** se muestra la distribución en planta de las columnas, los sondeos, y los afloramientos superpuesta a la geología de superficie y, en los **Anexos C 1.1, C 1.2 y C 1.3** se disponen los registros obtenidos representados en forma gráfica. De igual forma, en la **Tabla 4.1** se referencian las coordenadas, cotas y profundidades de los sondeos directos, en la **Tabla 4.2** se describen los niveles estratigráficos identificados, y en la **Tabla 4.3** las profundidades a las que se encontraron los niveles para los diferentes sondeos.

**Tabla 4.1 Localización de los puntos de exploración directa del subsuelo**

PUNTO DE EXPLORACIÓN	COORDENADAS		COTA (MSNM)	PROFUNDIDAD (M)	NIVEL FREÁTICO (M)
	NORTE (M)	ESTE (M)			
Perforación 1	117900	106196	2697.7	17.0	No Encontrado
Perforación 2	117860	106129	2657.5	17.75	12.25 m
Perforación 3	118040	106188	2700	25.0	No Encontrado
Perforación 4	117919	105951	2606	15.10	No Encontrado
Perforación 5	117938	106139	2689	0.90	No Encontrado
Perforación 6	117966	106134	2686.5	0.60	No Encontrado
Perforación 7	118072	106181	2702	4.27	No Encontrado
Perforación 8	118132	106152	2706.5	1.50	No Encontrado
Perforación 9	117925	106005	2634	4.95	No Encontrado
Perforación 10	117804	106017	2618	5.00	No Encontrado
Perforación 11	118075	105930	2624	4.25	No Encontrado
Perforación 12	117884	106116	2660	3.70	No Encontrado
Perforación 13	117878	106002	2618	7.22	No Encontrado
Perforación 14	117984	106061	2657.5	2.57	No Encontrado
Perforación 15	117965	106090	2664	0.90	No Encontrado
Perforación 16	118033	105974	2643	6.80	No Encontrado
Perforación 17	118019	105970	2646	2.00	No Encontrado
Perforación 18	117856	106174	2690	1.25	No Encontrado
Perforación 18A	117827	106188	2694	3.50	No Encontrado
Perforación 19	117844	106094	2633.5	4.90	No Encontrado
Perforación 20	118068	106125	2668	1.60	No Encontrado
Perforación 20A	118062	106111	2664.5	3.00	No Encontrado
Perforación 21	118098	106153	2699.5	4.50	No Encontrado
Perforación 22	117854	106107	2641	2.00	No Encontrado
Perforación 23	117875	106147	2679	3.75	No Encontrado
Apique 1	117908	106242	2703	1.50	No Encontrado
Apique 2	117875	106030	2628	2.00	No Encontrado
Apique 3	117890	106040	2630	2.00	No Encontrado
Apique 4	117860	106020	2628	2.00	No Encontrado
Apique 5	117925	106030	2640	2.00	No Encontrado

PUNTO DE EXPLORACIÓN	COORDENADAS		COTA (MSNM)	PROFUNDIDAD (M)	NIVEL FREÁTICO (M)
	NORTE (M)	ESTE (M)			
Trinchera 1	117853	106001	2625-2614	11.00	No Encontrado
Trinchera 2	117873	106004	2622-2610	12.00	No Encontrado
Trinchera 3	117862	106140	2685-2670	35.7	No Encontrado
Trinchera 4	118087	106142	2704-2696	8	No Encontrado
Trinchera 5	118081	106127	2696-2688	8	No Encontrado
Columna 1	118039	105947	-	26.00	No Encontrado
Columna 2	117917	105972	-	31.80	No Encontrado
Columna 3	118048	106145	-	6.00	No Encontrado
Columna 4	118022	106281	-	28.90	No Encontrado
Columna 5	117848	106147	-	23.10	No Encontrado
Columna 6	117891	106308	-	23.40	No Encontrado

**Tabla 4.2 Descripción de los Niveles Estratigráficos**

NIVEL	CONVENCIÓN	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	Qso	Suelo orgánico limoso	Suelo limoso - arenoso café claro amarillento, con restos de materia vegetal y puntos orgánicos negruzcos.
2	Qra	Depósitos antrópicos: Rellenos de zona plana	Restos y escombros de materiales de construcción, mezclado con suelos negros.
3	Qmp	Depósitos antrópicos: Mixtos de patio	Son suelos arenosos, en ocasiones con fragmentos pétreos de gran tamaño, aunque en ciertos puntos se encuentran algunos residuos de materiales de construcción y basuras.
4	Qt+c	Depósitos antrópicos: Talus y coluviones relacionados con inestabilidad de taludes de extracción	Se agrupan bajo esta definición los depósitos coluviales arenosos matriz – soportados (coluviones), permeables, de compacidad baja a media.
5	Qbl	Depósitos antrópicos: Botaderos de ladera	Son suelos arenosos a areno-arcillosos, con fragmentos angulares de areniscas de tamaños variados, espacialmente mezclados con suelos negros provenientes de cenizas volcánicas residuos de materiales de construcción, basura, restos vegetales, etc.
6	Qmo	Suelos con influencia de cenizas volcánicas.	Son limo-arenosos, poco plásticos, muy permeables, provenientes de cenizas, ricos en cuarzo tamaño arena, con fracción limosa.
7		Fm. Mondoñedo	Suelos arenosos mal seleccionados, matriz-soportados de color amarillo fuerte con permeabilidad alta.

NIVEL	CONVENCIÓN	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
8	Ksqt <sub>A Sr</sub>	Suelo Residual	Consiste en arenas finas de color amarillo, algo limosas con restos de arcilla de color amarillo rojizo.
9	Ksqt <sub>BT</sub>	Brechas tectónicas	Consiste de suelos arenosos que engloban fragmentos angulares a subangulares de areniscas friables donde son comunes los fragmentos métricos (el fragmento más grande observado es de 3x3x3 m).
10	Ksqt <sub>A</sub>	Grupo Guadalupe – Fm. Arenisca Tierna. Unidades de areniscas	Secuencia de areniscas cuarzosas, con matriz de arcillas blancuzcas, con presencia de capas friables y cementación moderada; la granulometría más común es grano grueso a muy grueso, en general granodecreciente hacia el tope. Son típicas las estructuras sedimentarias diversas (estratificación interna inclinada, geometrías lenticulares, etc.). Contienen delgadas capas de lodolitas (menos de 5 cm) que varían lateralmente a areniscas lodosas. Agrupa las unidades: Ksqt-A1 a Ksqt-A4; y Ksqt-Ai1 a Ksqt Ai-5.
11	Ksqt <sub>L</sub>	Grupo Guadalupe – Fm. Arenisca Tierna. Unidades de lodolitas	Bajo ésta designación se incluyen las unidades Ksqt-L1 a Ksqt L3; y Ksqt-Li1 a Ksqt-Li5. Son secuencias de lodolitas (arcillolitas limosas) con colores claros, variando de blanco a pardo claro (con algunos horizontes levemente violáceos por oxidación). Es típica la laminación ondulosa, asociada con el contenido de icnofósiles ( <i>Planolites</i> )

**Tabla 4.3 Profundidades de niveles estratigráficos para cada punto de exploración**

	Nivel										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Sondeos</b>											
1		0-3.0m								3.0-9.05m 9.15-16.75m	9.05-9.15m 16.75-17.0m
2				0-4.2m						4.32-9.0m 9.04-13.5m 13.6-17.75m	4.2-4.32m 9.0-9.04m 13.5-13.6m
3		0-1.25m								1.25-7.45m 7.93-17.75m 19.10-25.0m	7.45-7.93m 17.75-19.10m
4		0-1.50m								1.5-7.20m 7.60-15.10m	7.20-7.60m
5	0-0.90m									0.90-1.0m	
6	0-0.45m									0.45-0.70m	
7	0-1.0m	1.0-2.0m								2.0-4.27m	
8	0-10m									1.0-1.5m	
9		0-0.65m								0.65-4.95m	
10		0-1.5m								1.50-5.0m	
11		0.60-3.60m	3.60-4.05m							4.05-4.25m	
12					0-1.0m					1.0-3.70m	
13	2.80-4.60m				0-2.80m 4.60-7.0m					7.0-7.22m	
14		0-0.75m								0.75-0.90m	
15		0-2.50m								2.50-2.57m	
16						0-3.5m		3.55-6.50m		6.50-6.80m	
17		0-0.45m				0.4-1.80m				1.80-2.00m	
18		0-0.95m							0.95-1.25m		
18A	2.00-3.00m	0-2.00m								3.00-3.50m	
19		0-0.50m		0.50-4.50m						4.50-4.90m	
20		0-0.50m			0.5-1.60m						
20A	0-0.50m	0.50-3.00m									
21		0-2.55m						2.55-4.00m		4.00-4.50m	
22		0-0.50m			0.5-2.00m						
23					0-3.05m			3.05-3.50m		3.50-3.75m	

#### 4.1.2.2 Métodos indirectos

Con base en el primer plan de exploración del subsuelo y de los trabajos de geología, se consideró oportuno el empleo de métodos geoelectrónicos con el doble propósito de deducir el espesor del material deslizado o reconformado (por medio de la correlación geoelectrónica de los SEV con la exploración directa) y deducir la posición relativa de la tabla de agua. En este numeral se condensan los datos de campo y los resultados de esta investigación, que sumados al trabajo geológico, servirán de soporte para las conclusiones geotécnicas del proyecto.

Para extraer tal información se planteó la puesta en marcha de dos (2) Sondeos Eléctricos Verticales (S.E.V.) distribuidos en el eje principal del cuerpo del deslizamiento (véase **Plano 4**). Los sondeos además, proveyeron una idea de la composición dominante, en su matriz, de cada horizonte; las variaciones litológicas verticales (con la ayuda de los parámetros geofísicos y valores de resistividad) y de las características hidrogeológicas de las capas permeables.

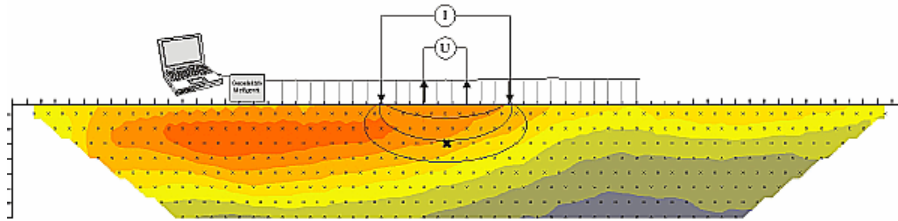
En la práctica de campo, se utilizó un equipo **EARTH RESISTIVITY INSTRUMENT ERI-DX 94**, el cual consta de amperímetro, voltímetro digital y unidad generadora de fuerza electromotriz que introduce corriente en el subsuelo. En cada sondeo geoelectrónico se mide la diferencia de potencial ( $\Delta V$ ) y la intensidad de la corriente ( $I$ ); para ello se utilizan dos (2) electrodos que inducen corrientes eléctricas en el subsuelo, y otros dos (2) que permiten la recepción de la onda de potencial, a diversas profundidades de exploración, todo en función de la configuración o arreglo de electrodos utilizado.

Como resultados se obtienen una serie de datos de las características eléctricas y los parámetros geoelectrónicos (resistividades aparentes) de los horizontes del subsuelo, hasta una profundidad máxima, de 15 m. Tales resultados son analizados por un profesional con experiencia en geofísica, el que se encarga de estructurar un modelo interpretativo de los mismos, claro está contrastado y complementado con la exploración directa.

##### a) Configuración de electrodos

En la Investigación Geoelectrónica del subsuelo se pueden emplear diferentes arreglos o configuraciones de los electrodos, según sea el tipo de exploración o material del subsuelo a investigar. Las más comunes son las Configuraciones Schlumberger y Wenner. Debido a la irregular morfología de la ladera, matizada en cambios altimétricos bruscos (provenientes de la acción antrópica) en el sentido preferencial de depositación, i.e. E-W, se optó por el primer tipo de arreglo (véase **Figura 4.1**). En éste, los dos electrodos de corriente (electrodos externos) se mueven alejándose del centro de medida o estación, hasta alcanzar cada vez una mayor profundidad de investigación; por su parte los electrodos de potencial (o internos) permanecen fijos cerca del centro de medida. Con el dispositivo referido, se emplearon variaciones de distancia electródica de potencial MN/2 de 0.5, 2, 5, y 10 metros, hasta una distancia AB/2 de cincuenta (50) metros.

**Figura 4.1 Configuración Geoeléctrica con el Dispositivo Schlumberger**



**b) Localización**

En la **Tabla 4.4** se lista la ubicación de los sondeos geoeléctricos realizados.

**Tabla 4.4 Localización de los sondeos geoeléctricos**

SEV NO.	COORDENADA NORTE	COORDENADA ESTE	ALTITUD M.S.N.M.	RUMBO	Ab/2 M.	SITIO
1	106116	117847	2643.5	NW	50	Cuerpo del Deslizamiento berma intermedia No. 3
2	106137	117870	2666	NW	50	Cuerpo del Deslizamiento Parte Alta

**c) Interpretación**

La interpretación matemática y física de los sondeos geoeléctricos Schlumberger se planteó con la ayuda del programa de computador denominado "Zohdy", SCHLUMBERGER SOUNDING DATA PROCESSING AND INTERPRETATION PROGRAM, by Adel A.R. Zohdy & Robert J. Bisdorf - U.S. GEOLOGICAL SURVEY, DENVER, CO., 1989, versión 1.82. Con este software se ajustan las curvas de campo con las curvas matemáticas. En el **Anexo C4** se incluyen las curvas de los sondeos geoeléctricos, con su interpretación matemática y los datos medidos en campo. En la interpretación geohidrológica de los sondeos se tiene en cuenta el valor de la Resistividad Verdadera de las capas ( $\rho$ ) en función de la textura del material, expresada como Factor de Formación (F).

En la **Tabla 4.5** y la **Tabla 4.6** se relaciona la profundidad, la resistividad, el espesor de los materiales y las litologías abstraídas para cada uno de los Sondeos Eléctricos Verticales SEV (en la parte inferior de la tabla se relaciona la profundidad del nivel freático). Es importante recalcar que la interpretación para cada SEV, se contrastó y ajustó con los perfiles estratigráficos fijados en los sondeos S-2, S-19 y S-23. Así, entonces se obtienen como registros básicos los siguientes:

**SEV 1:** Conjuga en el tope un depósito coluvial con un espesor aproximado de 2,90 metros, seguido por una capa gruesa de arenisca, en la que el primer metro y fracción (1,34 m), son areniscas lodosas y los 9,05 m siguientes están integrados por areniscas de grano grueso. La base de la columna la remarca una arenisca de grano fino a medio. El nivel freático se posiciona en un amplio intervalo entre 9.02 y 13.24 m, por tanto, se promedió y se posicionó a 11 m.

**SEV 2:** Encierra una sucesión de areniscas así: De grano grueso hasta una profundidad de 6.15 m, de grano fino, bien cementada, hasta los 13.2 m, con un espesor total de 7.09 m. Al igual que en el anterior sondeo la

tabla de agua se remarca en un amplio intervalo, que divaga desde los 9.02m hasta los 13.2m con promedio en los 11m (véase **Tabla 4.5**). Para determinar esta posición se tuvo en cuenta la interrelación con la exploración directa del subsuelo.



**Tabla 4.5 Sondeo Geoelectrico Vertical SEV-1**

NIVEL	PROFUNDIDAD M.	RESISTIVIDAD OHM-M.	ESPESOR M.	ESPESOR NIVEL M.	LITOLOGIA Y OBSERVACIONES
1	0.90	202.30	0.90	2.85	Depósito coluvial matriz soportado matriz arenosa
1	1.32	64.14	0.42		Depósito coluvial matriz soportado matriz arcillosa
1	1.94	105	0.62		Depósito coluvial matriz soportado matriz lodosa
1	<u>2.85</u>	267.63	0.91		Depósito coluvial matriz soportado matriz arenosa
2	<u>4.19</u>	563.39	1.34	1.34	Arenisca lodosa
3	6.15	1045.56	1.96	9.05	Arenisca de grano grueso
3	9.02	1510.67	2.87		Arenisca de grano grueso
	<u>11.00</u>				NIVEL FREATICO
3	<u>13.24</u>	1366.40	4.22		Arenisca de grano grueso saturada
4	99999.00	666.15	Indeterminado	Indeterminado	Arenisca de grano fino a medio saturada

**Tabla 4.6 Sondeo Geoelectrico Vertical SEV-2**

NIVEL	PROFUNDIDAD M.	RESISTIVIDAD OHM-M.	ESPESOR M.	ESPESOR NIVEL M.	LITOLOGIA Y OBSERVACIONES
1	0.90	779.19	0.90	6.15	Arenisca de grano grueso
1	1.32	716.07	0.42		Arenisca de grano grueso
1	1.94	973.73	0.62		Arenisca de grano grueso
1	2.85	1619.26	0.91		Arenisca de grano grueso
1	4.19	2196.29	1.34		Arenisca de grano grueso
1	6.15	1591.6	1.96		Arenisca de grano grueso
2	9.02	618.01	2.87		Arenisca de grano fino
	<u>11.00</u>				NIVEL FREATICO
2	<u>13.24</u>	407.11	4.22	7.09	Arenisca de grano fino saturada
3	99999.00	1434.51	Indeterminado	Indeterminado	Arenisca de grano medio saturada

### 4.1.2.3 Ensayos de Campo

El avance en los sondeos en los horizontes dominantes de suelo se llevó a cabo mediante el ensayo de penetración estándar, SPT, éste se consideró adecuado dado el carácter heterogéneo de los suelos encontrados, predominantemente arenosos, y la premisa de que el muestreo inalterado en este tipo de suelos se dificulta. Asimismo, con el desarrollo del ensayo se consigue al unísono, muestras alteradas para clasificación, y para la deducción de la resistencia del material a fe de constatar los contactos litológicos. Los registros para cada uno de los sondeos aparece graficado en los registros de perforación dispuestos en el **Anexo C1**.

El ensayo se practicó con equipo mecánico y pesa de 140 lb, el número de golpes registrado en campo ( $N_{45}$ ) fue normalizado con el objeto de tener en cuenta el confinamiento del material y la relación de energía promedio aplicada, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$N'_i = C_N * N * \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * \eta_4 \quad \text{Ec. 4.1}$$

En donde:

$N'_i$  : Número de golpes corregido para un determinado nivel de transmisión de energía  $i$

$C_N$  : Factor de ajuste para tener en cuenta el esfuerzo geostático,  $\sigma'_v$ . Se evaluó con base en las propuestas de Peck, Seed, Meyerhoff-Ishihara, Liao-Whitman, Skempton, Sedd-Isdriss, Schmertmann y González, cuidando siempre que este factor no resultara mayor que 2. Estos valores posteriormente se promediaron

$\eta_1$  : Factor de corrección por eficiencia de energía transmitida del martillo al varillaje y al tomar muestras. Se obtiene como la relación entre las eficiencias medias de cada país así, para Japón la eficiencia es del 72%, para USA del 60% y para Colombia del orden de 45%.

$\eta_2$  : Factor de corrección por longitud del varillaje.

$\eta_3$  : Factor de corrección por presencia de revestimiento. Debido a que no se utilizó revestimiento, el factor de corrección es 1.0.

$\eta_4$  : Factor de corrección por diámetro de la perforación. Los diámetros de las perforaciones fueron inferiores a 12 cm, por lo cual el factor de corrección es 1.0

Con el fin de estimar los valores del ángulo de fricción equivalente,  $\phi_{eq}$ , se promediaron los resultados obtenidos de las siguientes expresiones (véase la **Tabla 4.7**)

**Tabla 4.7 Expresiones para correlacionar el ángulo de fricción a partir del SPT**

Kishida	$\phi = 15 + \sqrt{20 \cdot N_{72}}$	Ec. 4.2
JRB	$\phi = 15 + \sqrt{15 \cdot N_{72}}$	Ec. 4.3
Shiou & Fukui	$\phi = 27 + 0.36 \cdot N_{72}$	Ec. 4.4
JNR	$\phi = 27 + 0.30 \cdot N_{72}$	Ec. 4.5

Adicionalmente, y con el ánimo de evaluar cualitativamente los resultados del ensayo de penetración, en la Tabla 4.8 y en Tabla 4.9 se reseñan algunos criterios de Terzaghi y Peck, que relacionan la resistencia a la penetración con la compacidad relativa en arenas y con la consistencia en suelos finos, respectivamente. La valoración de estas propiedades en los materiales encontrados también se relaciona en la **Tabla 4.7**.

**Tabla 4.8 Relación entre la densidad relativa y la resistencia a la penetración**

RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN, N (GOLPES/PIE)	COMPACIDAD RELATIVA
0 – 4	Muy suelta
4 – 10	Suelta
10 – 30	Media
30 – 50	Compacta
>50	Muy compacta

**Tabla 4.9 Relación entre la consistencia y la resistencia a la penetración**

Resistencia a la penetración, N (golpes/pie)	Resistencia a la compresión simple (Kg/cm <sup>2</sup> )	Consistencia
<2	<0.25	Muy blanda
2 – 4	0.25 – 0.50	Blanda
4 – 8	0.50 – 1.00	Media
8 – 15	1.00 – 2.00	Firme
15 – 30	2.00 – 4.00	Muy firme
>30	>4.00	Dura

Nótese que el relleno antrópico de media ladera (Qra) recorre la escala de compacidad desde muy suelta hasta media, pero con predominio de suelta; los talus y coluviones (Qt+c) poseen compacidades entre suelta y media pero residen especialmente en esta última; los botaderos de ladera (Qbl), los suelos orgánicos (Qso) y las cenizas (Qmo) son esencialmente de compacidad media; y los suelos residuales de la Formación Arenisca Tierna (Ksg-sr-atss1) transitan la escala para valores desde media a compacta, y la arenisca del Guadalupe (Ksg-atss1) en la gradación compacta.

Para terminar, se estiman los parámetros  $c'$  y  $\phi'$  por tipo de material a partir de la propuesta de González, A.J. (1999) que consiste en graficar puntos ( $\sigma_v'$ ,  $\tau$ ) en planos Mohr-Coulomb donde los coeficientes de una regresión lineal representan los parámetros geomecánicos efectivos buscados. El esfuerzo efectivo vertical se calcula como la diferencia entre el esfuerzo geostático total y la presión de poros y, el esfuerzo cortante a la profundidad del ensayo, se obtiene como el producto del esfuerzo efectivo vertical por la tangente del ángulo de fricción equivalente estimado antes.

Así la ecuación de la envolvente de cada material se muestra de la **Figura 4.2** a la **Figura 4.8** junto con los respectivos parámetros de resistencia, los que se resumen en la **Tabla 4.10**. Los grupos de materiales aparecen diferenciados por colores en ella y fueron obtenidos mediante la interpretación simultánea y retroalimentada de la información geológica (plano y secciones), los registros de exploración del subsuelo y las propiedades físicas y geomecánicas resultantes de este mismo proceso. Adicionalmente, el procedimiento descrito con anterioridad se puede constatar en la **Tabla 4.11**, que incluye la normalización del ensayo (SPT).

**Tabla 4.10 Resumen de parámetros de resistencia en condición drenada a partir del SPT**

NO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	$\gamma$ (TON/M <sup>3</sup> )	COHESIÓN (TON/M <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
1	Qso	Suelos Orgánicos	1.769	0.70	21.40
2	Qra	Relleno Antrópico de Media Ladera	1.972	0.02	27
3	Qt+c	Talus y Coluviones	2.151	0.01	26.60
				0.66	24.80
4	Qbl	Botaderos de Ladera	1.713	0.13	25.20
5	Qmo	Suelos con influencia de Cenizas Volcánicas	1.998	0.16	25.10
6	Ksgt-A-Sr	Suelo Residual de la Formación Tierna	1.985	3.38	8.90
7	Ksg-A2	Formación Arenisca Tierna – Nivel Arenoso 2	1.985	1.80	26.20

ESTUDIO DE RIESGOS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO EL CODITO

Tabla 4.11 Normalización del SPT

Punt.	Muestra	Profundidad (m)			N <sub>60</sub>	N <sub>60</sub>	Tipo	P (Ton/m²)	σ <sub>v</sub> (Ton/m²)	σ <sub>v'</sub> (Ton/m²)	K <sub>c</sub>	Meyerhoff				Luzon				Shannon				Schnorr				C <sub>u</sub>				C <sub>u</sub>				C <sub>u</sub>				Sancos	Corte	σ <sub>v</sub> (Ton/m²)	σ <sub>v'</sub> (Ton/m²)
		a	b	Media								Peck	Seed	Skempton	Chapman	Skempton	Skempton	Skempton	Skempton	Skempton	Skempton	Skempton	Skempton	Skempton	Skempton	Skempton	Skempton	Skempton	Skempton	Skempton	Skempton	Skempton	Skempton	Skempton	Skempton	Skempton	Skempton	Skempton	Skempton				
S2	1	0,05	0,50	0,275	3	7	9	16	16	16	2,15	<b>0,11</b>	<b>0,11</b>	0,06	1,944	2,000	2,000	2,000	1,898	2,000	2,000	1,970	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	17	14	31,73	38,74	29,40	32,04	31,20	31	S2 M1	2	<b>1,90</b>	<b>0,36</b>				
S2	2	1,05	1,00	0,775	5	5	5	10	10	10	2,15	1,67	1,67	0,07	1,598	1,970	1,981	2,000	1,774	2,000	2,000	1,878	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	10	6	27,65	33,82	29,95	30,88	29,90	28	S2 M2	2	<b>1,57</b>	<b>0,89</b>				
S2	3	1,55	1,50	1,225	3	4	4	8	8	8	2,15	2,74	2,74	0,07	1,461	1,740	1,757	1,894	1,588	1,848	2,000	1,754	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	4	4	23,94	28,13	25,78	28,44	28,50	28	S2 M3	2	<b>2,51</b>	<b>1,44</b>				
S2	4	1,55	1,50	1,225	4	4	4	8	8	8	2,15	3,82	3,82	0,38	1,321	1,523	1,571	1,818	1,447	1,590	1,811	1,527	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	7	6	25,95	30,08	28,40	29,16	28,80	27	S2 M4	2	<b>3,82</b>	<b>1,56</b>				
S2	5	2,05	2,00	1,725	10	10	10	20	20	20	2,15	4,90	4,90	0,90	1,057	1,259	1,307	1,554	1,183	1,326	1,547	1,160	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	10	10	31,80	35,93	34,26	35,02	35,00	31	S2 M5	2	<b>4,90</b>	<b>2,57</b>				
S2	6	2,55	2,50	2,225	10	10	10	20	20	20	2,15	5,97	5,97	0,90	1,172	1,370	1,311	1,554	1,282	1,316	1,490	1,337	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	10	10	40,62	44,18	42,50	43,26	43,00	30	S2 M6	2	<b>5,97</b>	<b>5,76</b>				
S2	7	3,25	3,20	2,925	10	10	10	20	20	20	2,15	7,07	7,07	0,75	1,007	1,205	1,174	1,427	1,143	1,178	1,391	1,265	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	6	5	27,65	32,67	30,95	30,88	29,40	27	S2 M7	2	<b>7,07</b>	<b>4,50</b>				
S2	8	3,75	3,50	3,225	10	7	3	10	10	10	2,15	8,55	8,55	0,86	1,052	1,250	1,033	1,381	1,078	1,058	1,170	1,032	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	6	5	25,00	29,38	27,66	28,40	28,50	28	S2 M8	2	<b>8,55</b>	<b>4,38</b>				
S2	9	4,25	4,20	3,925	10	6	6	12	12	12	2,15	9,63	9,63	0,65	1,013	1,211	1,053	1,401	1,010	1,053	1,165	1,028	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	7	6	25,00	29,38	27,66	28,40	28,50	27	S2 M9	2	<b>9,63</b>	<b>4,50</b>				
S2	10	4,75	4,75	4,450	9	16	30	48	48	48	2,15	10,70	10,70	1,07	0,976	1,165	0,982	1,336	0,988	0,988	1,094	1,052	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	20	24	36,91	43,89	43,07	44,30	44,30	35	S2 M10	2	<b>10,70</b>	<b>7,92</b>				
S3	1	0,15	1,10	0,625	4	6	15	21	18	18	1,57	<b>1,53</b>	<b>1,53</b>	0,12	1,680	2,000	2,000	2,000	1,781	2,000	2,000	1,824	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	22	18	33,97	41,21	31,43	33,48	32,40	33	S3 M1	1	<b>1,53</b>	<b>0,39</b>				
S7	1	0,15	0,60	0,375	1	2	2	4	4	4	1,57	0,74	0,74	0,07	1,869	2,000	2,000	2,000	1,862	2,000	2,000	1,998	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	4	3	22,75	26,13	21,71	23,08	22,90	25	S7 M1	1	<b>0,74</b>	<b>0,38</b>				
S7	2	1,05	1,50	1,225	1	2	3	6	6	6	1,57	2,51	2,51	0,26	1,461	1,740	1,757	1,894	1,588	1,848	2,000	1,754	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	4	4	23,94	28,13	25,78	28,44	28,50	28	S7 M2	1	<b>2,51</b>	<b>1,50</b>				
S7	3	1,55	2,00	1,775	5	4	4	8	8	8	1,57	<b>3,50</b>	<b>3,50</b>	0,35	1,350	1,570	1,619	1,860	1,481	1,643	1,878	1,596	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	6	6	25,95	31,04	24,40	25,16	24,80	27	S7 M3	1	<b>3,50</b>	<b>1,59</b>				
S9	1	0,15	0,60	0,375	4	8	9	17	14	14	1,57	<b>0,74</b>	<b>0,74</b>	0,07	1,869	2,000	2,000	2,000	1,862	2,000	2,000	1,998	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	18	15	32,32	39,28	30,00	32,40	32,40	32	S9 M1	1	<b>0,74</b>	<b>0,45</b>				
S11	1	0,65	1,00	0,775	3	6	8	14	14	14	1,57	1,53	1,53	0,15	1,627	2,000	1,980	2,000	1,726	2,000	2,000	1,908	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	15	12	30,40	37,25	28,40	31,52	30,60	30	S11 M1	1	<b>1,53</b>	<b>0,60</b>				
S11	2	1,05	1,50	1,225	3	4	4	8	8	8	1,57	2,51	2,51	0,25	1,461	1,740	1,757	1,894	1,588	1,848	2,000	1,754	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	7	6	25,95	30,95	25,16	28,44	28,50	28	S11 M2	1	<b>2,51</b>	<b>1,50</b>				
S11	3	1,55	2,00	1,775	4	4	4	8	8	8	1,57	<b>3,50</b>	<b>3,50</b>	0,35	1,350	1,570	1,619	1,860	1,481	1,643	1,878	1,605	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	7	6	25,95	32,67	25,25	28,44	28,50	28	S11 M3	1	<b>3,50</b>	<b>1,94</b>				
S12	1	0,10	0,55	0,325	2	2	5	7	7	7	1,57	<b>0,74</b>	<b>0,74</b>	0,07	1,869	2,000	2,000	2,000	1,862	2,000	2,000	1,998	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	6	5	25,00	29,38	27,66	28,40	28,50	28	S12 M1	2	<b>0,70</b>	<b>0,35</b>				
S12	2	0,10	1,05	0,525	2	5	7	14	14	14	1,57	<b>1,53</b>	<b>1,53</b>	0,18	1,777	1,939	1,937	2,000	1,680	2,000	2,000	1,870	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	42	35	41,45	47,40	37,91	38,60	37,50	38	S12 M2	2	<b>1,77</b>	<b>1,44</b>				
S13	1	0,05	0,50	0,275	2	2	3	5	5	5	1,71	0,47	0,47	0,05	2,000	2,000	2,000	2,000	1,910	2,000	2,000	1,882	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	5	4	23,94	27,67	22,75	24,44	24,20	28	S13 M1	3	<b>0,47</b>	<b>0,33</b>				
S13	2	0,55	1,00	0,775	3	4	4	8	8	8	1,71	1,33	1,33	0,13	1,674	2,000	2,000	2,000	1,786	2,000	2,000	1,815	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	9	8	27,65	32,67	25,88	28,40	28,50	28	S13 M2	3	<b>1,33</b>	<b>0,71</b>				
S13	3	1,05	1,50	1,225	4	4	4	8	8	8	1,71	2,18	2,18	0,28	1,598	1,838	1,881	2,000	1,641	1,838	2,000	1,822	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	9	7	26,83	32,67	25,25	28,44	28,50	28	S13 M3	3	<b>2,18</b>	<b>1,15</b>				
S13	4	1,55	2,00	1,775	4	4	4	8	8	8	1,71	3,04	3,04	0,30	1,367	1,646	1,663	1,814	1,334	1,524	1,750	1,664	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	9	7	26,83	32,67	25,25	28,44	28,50	28	S13 M4	3	<b>3,04</b>	<b>1,59</b>				
S13	5	2,55	3,00	2,775	3	5	5	10	10	10	1,71	4,75	4,75	0,48	1,348	1,484	1,446	1,600	1,396	1,465	1,627	1,415	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	7	6	25,95	30,08	24,40	25,16	24,80	27	S13 M5	3	<b>4,75</b>	<b>2,43</b>				
S13	6	3,55	4,00	3,775	4	4	4	8	8	8	1,71	5,63	5,63	0,56	1,182	1,312	1,246	1,400	1,252	1,282	1,431	1,221	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	7	6	25,95	30,08	24,40	25,16	24,80	27	S13 M6	3	<b>5,63</b>	<b>2,85</b>				
S13	7	3,55	4,00	3,775	4	4	4	8	8	8	1,71	6,51	6,51	0,65	1,143	1,233	1,228	1,378	1,211	1,233	1,380	1,240	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	5	4	23,94	27,67	22,75	24,44	24,20	28	S13 M7	3	<b>6,51</b>	<b>3,15</b>				
S13	8	4,55	4,50	4,225	4	4	4	8	8	8	1,71	7,39	7,39	0,74	1,101	1,194	1,181	1,329	1,170	1,174	1,319	1,170	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	6	5	25,95	31,04	24,40	25,16	24,80	27	S13 M8	3	<b>7,39</b>	<b>3,78</b>				
S13	9	4,55	5,00	4,775	4	4	4	8	8	8	1,71	8,26	8,26	0,83	1,054	1,154	1,114	1,262	1,095	1,117	1,265	1,110	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	6	5	25,00	29,38	27,66	28,40	28									

Figura 4.2 Envoltente y parámetros de resistencia para el material Qso

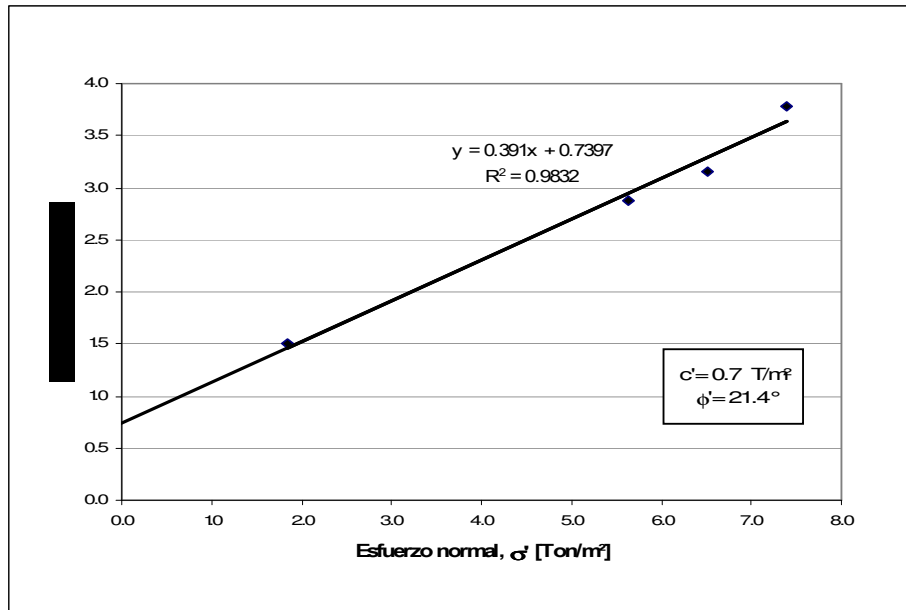


Figura 4.3 Envoltente y parámetros de resistencia para el material Qra

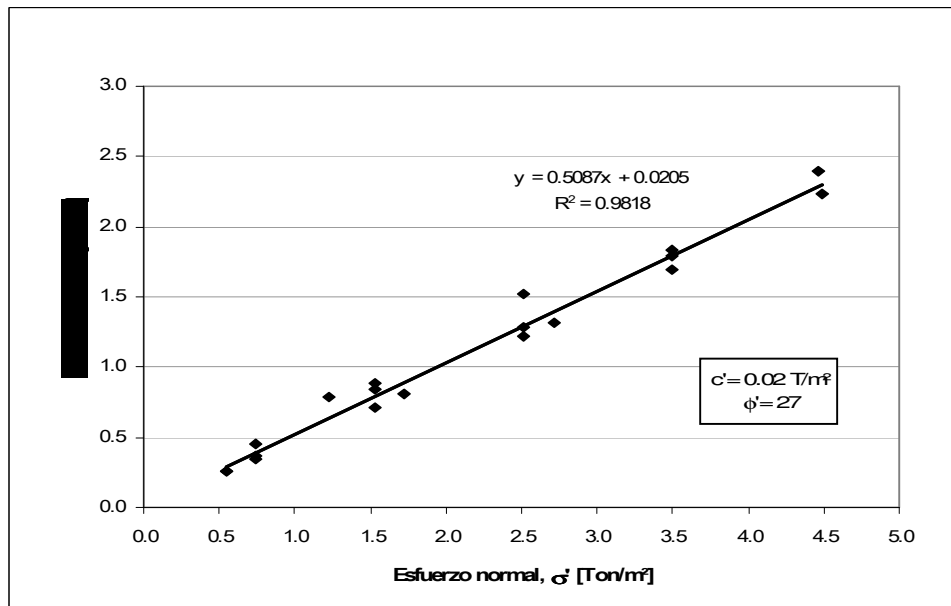


Figura 4.4 Envoltente y parámetros de resistencia para el material Qt+c

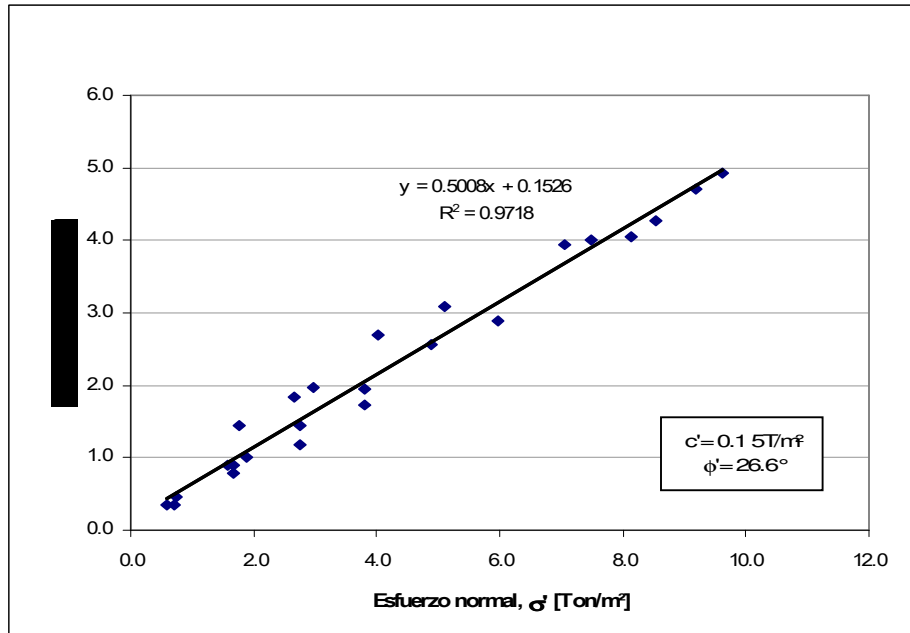


Figura 4.5 Envoltente y parámetros de resistencia para el material Qbl

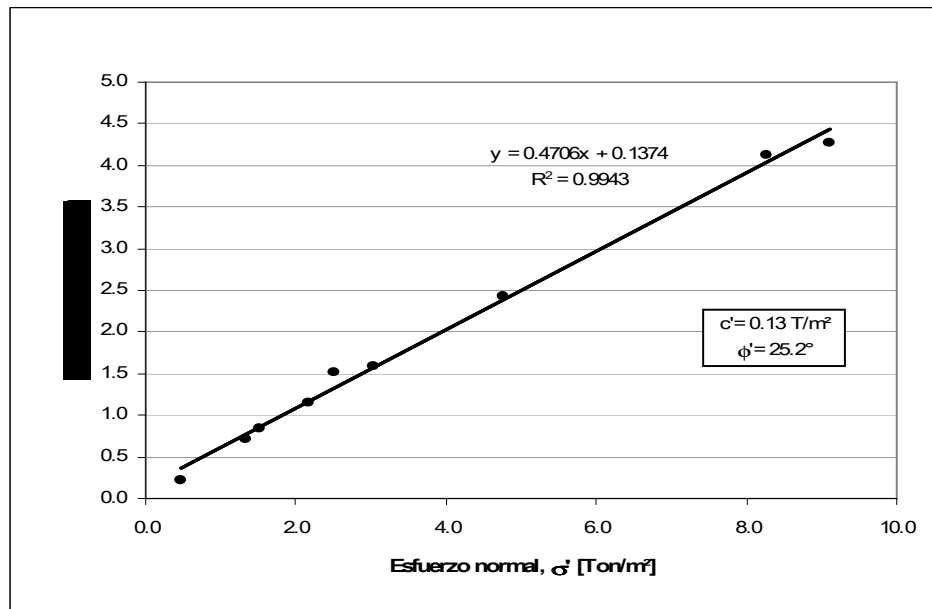


Figura 4.6 Envoltente y parámetros de resistencia para el material Qmo

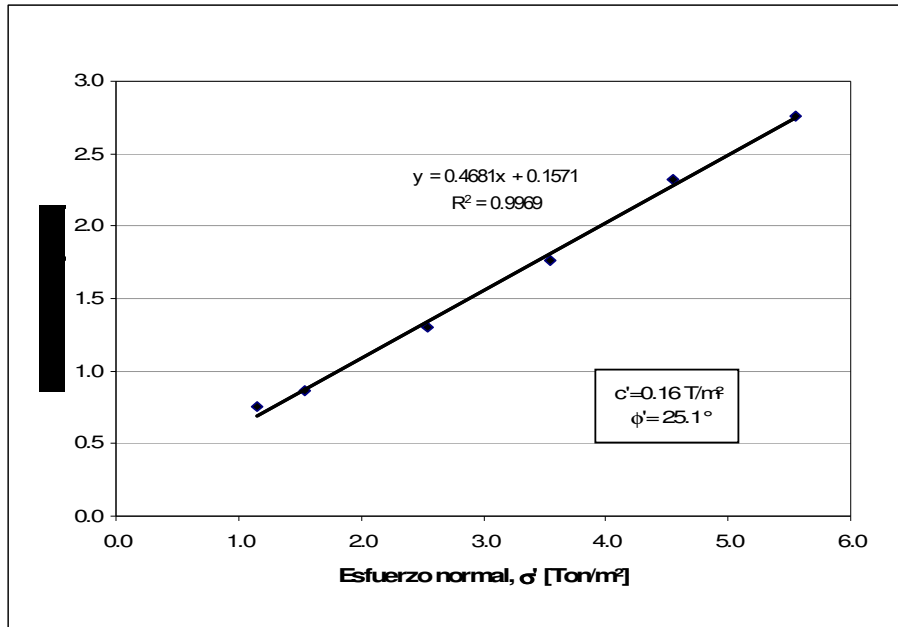
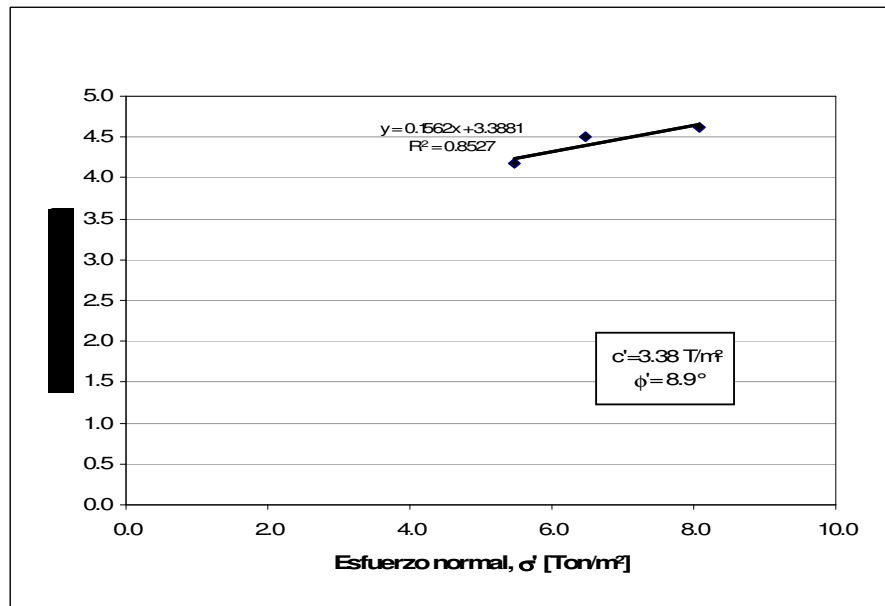
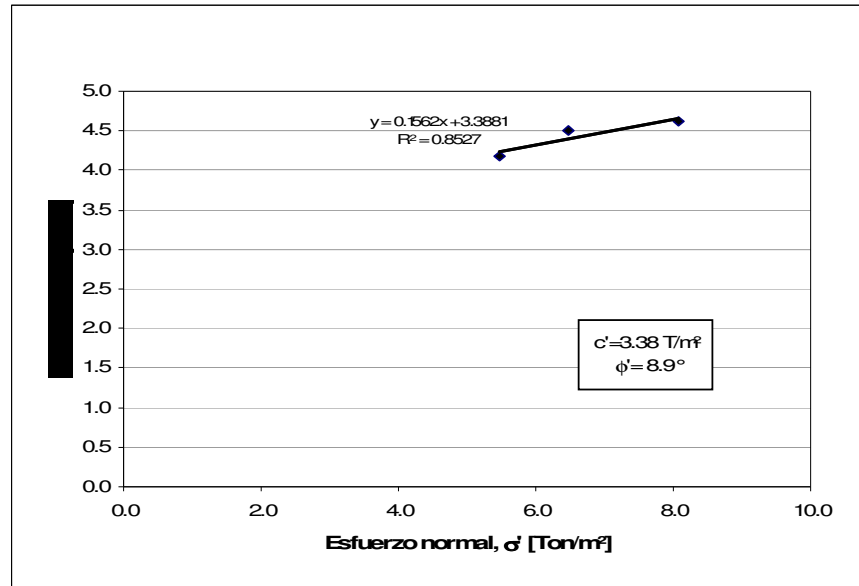


Figura 4.7 Envoltente y parámetros de resistencia para el material Ksgt-A2-Sr





**Figura 4.8** Envolvente y parámetros de resistencia para el material Ksgt-A2



#### 4.1.2.4 Ensayos de Laboratorio

Para la obtención de las propiedades físicas y mecánicas de: la roca sana, los rellenos antrópicos y especialmente de las discontinuidades (en los planos de estratificación rellenos de arcilla o interestratificaciones arcillosas), se llevó a cabo el muestreo representativo, de ser posible continuo, para la posterior caracterización en laboratorio de los especímenes extraídos: inalterados (tipos shelby y bloque) y alterados (split spoon), y en la **Tabla 4.12** se discriminan la cantidad y tipo de ensayos de clasificación y resistencia ejecutados.

**Tabla 4.12** Relación de ensayos de laboratorio

ENSAYO			CANTIDAD
$w_n$	:	Contenido de humedad natural	24
Lím.	:	Límites de consistencia	24
$G_s$	:	Peso específico de sólidos	2
$\gamma_t$	:	Peso unitario total	24
$\gamma_d$	:	Peso unitario seco	20
CD	:	Corte directo	8

Se hizo especial hincapié en la toma de muestras en los paquetes arcillolíticos y de arenisca, tanto del material como del plano preferencial de movilización: la estratificación. El trabajo en las areniscas busco cotejar (o corroborar) la premisa sustancial de la prevalencia de dos paquetes claramente diferenciables, una lodosa, friable y blanda, y la otra de grano medio, cuarzosa pero mejor litificada. Hipótesis que alcanzo especial relevancia al develar (con los recorridos de campo y el examen visual) que el escenario de dominio de las arenisca lodosas se circunscribe en el tope de los cortes entre las carreras 23 y 24 y las calles 180 B y 181 Bis, el cuerpo del deslizamiento.

Los cortes directos se llevaron a cabo en condición inundada o a humedad natural, y a los niveles de esfuerzo a los que estaban sometidas las unidades de suelo o roca en campo y a muy baja velocidad a fe de simular estados drenados, es decir de manera tal que los coeficientes de resistencia se aproximaran lo más posible a los efectivos.

Las muestras de roca por excelencia fueron de bloque; la M1 y la M2, fueron talladas a lo largo del plano de estratificación (datado en el sitio como E1=240/30), una vez adelantada la descarga del primer escalón del terraceo post-deslizamiento. Respondían al horizonte preferencial de falla en el movimiento principal –Ksgt-L1-, las dos se ensayaron inundadas pero la primera a carga y descarga repetidas de manera tal que se pudiesen deducir tanto los parámetros residuales ( $c_r' = 0.1 \text{ Ton/m}^2$ ,  $\phi_r' = 17.70^\circ$ ) como los operativos durante la detonación del proceso.

Los testigos B2, B3, B5 y B6, propios de la arenisca lodosa, ya sea que se trate del material: B1 y B2 o de la discontinuidad –estratificación- B5 y B6, recibieron procedimientos de saturación diferentes a los convencionales, pero suficientes para garantizar la disipación de presiones de poros, tal decisión se tomo gracias al potencial de colapso del material rocoso, deducido de pruebas rudimentarias en oficina, en las que se registro el tiempo necesario para que las unidades líticas dispuestas en recipientes con agua limpia se desintegraran (véanse las **Fotos 4.1 y 4.2**). El tiempo máximo de residencia de los bloques previo a la destrucción de su estructura –libre de carga- oscilo entre 15 y 20 minutos; en este sentido el tiempo de saturación para los cortes se fijó unidireccionalmente entre 5 y 10 minutos.

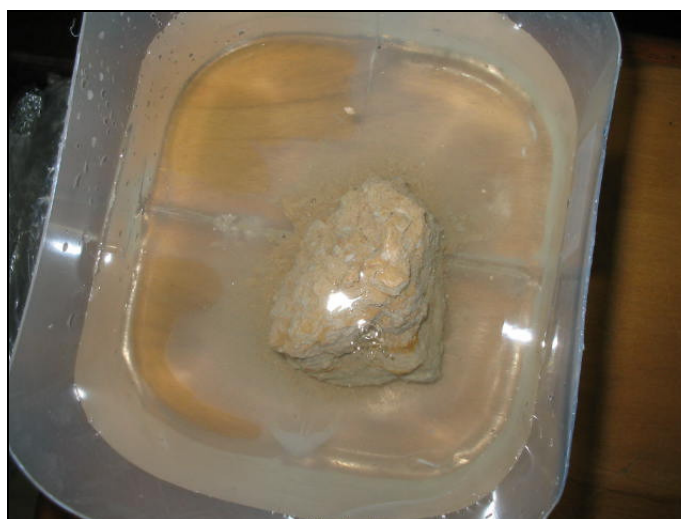


FOTO 4.1 ARENISCA LODOSA SOMETIDA A SATURACIÓN TIEMPO 0.



FOTO 4.2 ARENISCA LODOSA SOMETIDA A SATURACIÓN TIEMPO 5 MIN.

El menor tiempo de inmersión se fija para el bloque 2 (con cinco minutos) y los más prolongados para los restantes. De la aplicación del referido procedimiento se deduce que la pérdida de resistencia en la arenisca lodosa es próxima al 20 %; la fricción pasa de 28 grados en el estado menos severo a 23 grados si la permanencia de la muestra en agua alcanza los diez minutos. Ahora bien, como los parámetros pico,  $c_p' = 0.20 \text{ Ton/m}^2$ ,  $\phi_p' = 28^\circ$ , y residuales  $c_r' = 0.50 \text{ Ton/m}^2$ ,  $\phi_r' = 14^\circ$ , de este material poseen dominio similar al de la arcillolita, se abre el compás de tratar en la evaluación de estabilidad este par de unidades líticas como una sola.

Ante la dificultad de descifrar cabalmente las funciones de distribución, y por ende el promedio y la desviación estándar, de los parámetros de resistencia para cada material, elementos trascendentes para la evaluación de amenaza, se acopiaron los resultados de laboratorio de áreas circunvecinas. Su importancia mejorar la información estadística. En este sentido se recurre a los trabajos de Indesa (2000), GIA (2005), IGL (2003) y GIA-Geocing (2006) en los barrios El Codito Tercer Nivel, Mirador del Norte, Cerro Norte y Villa Nidia, respectivamente.

El **Anexo C2** contiene las memorias de cálculo de los ensayos ordenados por GIA Consultores Ltda., el **Anexo C3**, los resultados de ensayos de laboratorio de otros estudios, y la **Tabla 4.13**, la **Tabla 4.14**, la **Tabla 4.15**, la **Tabla 4.16**, la **Tabla 4.17**, **Tabla 4.18** y **Tabla 4.19** sintetiza los resultados de las pruebas de contenidos de humedad natural, límites de consistencia, pesos unitarios totales, y cortes directos, entre otros.

**Tabla 4.13 Resumen de Ensayos de Laboratorio**

Sondeo	Muestra	Tipo de muestra	Tipo de material	Profundidad (m)			USCS	w <sub>n</sub> (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	%G	%A	%F	γ <sub>t</sub> (Ton/m <sup>3</sup> )	γ <sub>a</sub> (Ton/m <sup>3</sup> )	Gs	q <sub>u</sub> suelo (Kg/cm <sup>2</sup> )	q <sub>u</sub> roca (Kg/cm <sup>2</sup> )	Is	c' (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ' (°)	c'residual (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ'residual (°)
				de	a	media															(Kg/cm <sup>2</sup> )				
S2	1	SS	Qt+c	0.05	0.50	0.28	SM	8.2																	
	3	SS	Qt+c	1.05	1.50	1.28		8.9								2.20	2.021								
	6	SS	Qt+c	2.55	3.00	2.78		5.3								2.121	2.013								
	9	SS	Ksgt-L2	4.25	4.70	4.48		6.9								1.988	1.859								
	12	SS	Ksgt-A3	7.05	7.50	7.28	SM	10.4					0.0	86.3	13.7	2.056	1.862								
S3	1	SS	Qra	0.60	1.10	0.85		12.0								2.073	1.851								
	4	SS	Ksgt-A2	8.00	8.40	8.20		16.7								2.071	1.774								
	2	SS	Ksgt-A4	0.60	0.65	0.63		15.8								1.756	1.516								
	4	SS	Ksgt-A4	1.80	1.92	1.86		7.2								2.130	1.987								
S5	1	SS	Qso	0.25	0.50	0.38	ML	9.6	NL	NP	NP														
S6	1	SS	Qso	0.10	0.20	0.15	ML	18.5	NL	NP	NP														
	2	SS	Ksgt-A2	0.40	0.50	0.45		22.2								1.713	1.402								
S7	2	SS	Qra	1.05	1.50	1.28	CL	26.5	35.1	17.9	17.2	0.503													
	4	SS	Ksgt-A2	2.05	2.50	2.28		24.4								1.916	1.540								
	6	SS	Ksgt-A2	4.05	4.27	4.16		17.6								2.028	1.724								
S8	3	SS	Ksgt-A2	1.05	1.50	1.28		11.9																	
S9	2	SS	Ksgt-A2	0.65	1.10	0.88		4.6								2.074	1.983								
	5	SS	Ksgt-A2	2.15	2.60	2.38		14.5								1.974	1.724								
	9	SS	Ksgt-A2	4.75	4.95	4.85		11.7								1.923	1.722								
S10	1	SS	Qra	1.00	1.50	1.25	CL	21.8	46.5	21.0	25.5	0.034													
	2	SS	Ksgt-A2	1.80	2.00	1.90		14.8								2.076	1.808								
S11	2	SS	Qra	1.05	1.50	1.28	ML	16.7	NL	NP	NP														
	4	SS	Qra	2.25	2.7	2.48	ML	14.1	NL	NP	NP					1.761	1.543								
	5	SS	Qso	3.55	4	3.78	CL	20.5	24.8	15.4	9.4	0.54													
S12	2	SS	Qt+c	0.6	1.05	0.83	GM	6	NL	NP	NP					2.322	2.191								

Tabla 4.14 Resumen de Ensayos de Laboratorio

Sondeo	Muestra	Tipo de muestra	Tipo de material	Profundidad (m)			USCS	w <sub>n</sub> (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	%G	%A	%F	γ <sub>t</sub> (Ton/m <sup>3</sup> )	γ <sub>d</sub> (Ton/m <sup>3</sup> )	G <sub>s</sub>	q <sub>u</sub> suelo (Kg/cm <sup>2</sup> )	q <sub>u</sub> roca (Kg/cm <sup>2</sup> )	I <sub>s</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	c' (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ (°)	c' <sub>residual</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ' <sub>residual</sub> (°)
				de	a	media																			
S13	2	SS	Qbl	0.55	1	0.78	CL	15.7	32.2	17.4	14.8	-0.12				1.857	1.605								
	4	SS	Qbl	1.55	2	1.78	CL	22.9	44.1	23.7	20.4	-0.04				1.977	1.609								
	6	SS	Qso	3.05	3.5	3.28	MH	34.6	55.2	31.6	23.6	0.128				1.769	1.314								
	9	SS	Qbl	4.55	5	4.78	CL	27.9	46	26.3	19.7	0.083				1.933	1.511								
	11	SS	Qbl	6.55	7	6.78	CL	28.7	45.6	24.8	20.8	0.185													
	12	SS	Qbl	7.05	7.22	7.14		8.6									2.038	1.877							
S15	2	SS	Qra	0.65	1.1	0.88	CL	18.8	26.4	14.8	11.6	0.345				2.068	1.74								
	4	SS	Qra	2.05	2.5	2.28	ML	16	NL	NP	NP					2.046	1.764								
	5	SS	Ksgt-A2										2.5	87	10.7										
S16	2	SS	Qmo	1.05	1.5		SM	15.7					0.9	61	38.4	1.926	1.664								
	4	SS	Qmo	2.05	2.5			21								1.882	1.556								
	8	SS	Ksgt Al1	4.55	5		SM	39					0	52	48.2	1.809	1.301								
S17	2	SS	Qmo	0.85	1.3		CL	18.3	42.8	20.3	22.5	-0.09	0	65	35.3	2.091	1.768								
S18A	2	SS	Qso	2.55	3	2.78	SM	10.3					11.3	71	17.8										
S19	2	SS	Qt+c	1.05	1.5			18								1.921	1.628								
	4	SS	Qt+c	2.55	3			24.4								1.879	1.51								
	7	SS	Qt+c	4.05	4.5		SM	12.2					0.8	77	21.8	2.115	1.886								
S20	2	SS	Qbl	1.05	1.55	1.30		12.7								1.801	1.598								
S20A	2	SS	Qra	1.05	1.5	1.28		12.1								2.007	1.79								
S20A	4	SS	Qra	2.05	2.5	2.28	SM	13.7					2.8	77	20.6	2.115	1.86								
S21	2	SS	Qra	0.55	1	0.78		20.1								1.931	1.607								
S21	4	SS	Qra	2.05	2.5	2.28	SM	11.7					3.2	79	17.9	1.871	1.675								
S21	7	SS	Ksgt- A2 -Sr	3.4	4	3.70		33.5								1.907	1.429								
S22	1	SS	Qt+c	0.05	0.5	0.28	SM	6.9					41.3	57	1.6	2.079	1.945								
S23	4	SS	Qt+c	1.65	2.1	1.88	SC - SP	8.7					24.1	64	11.8										
S23	6	SS	Ksgt- A2 -Sr	3.05	3.5	3.28	SM	13.1					27.8	57	15.7	2.063	1.823								

Tabla 4.15 Resumen de Ensayos de Laboratorio

Sondeo	Muestra	Tipo de muestra	Tipo de material	Profundidad (m)			USCS	w <sub>n</sub> (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	%G	%A	%F	γ <sub>t</sub> (Ton/m <sup>3</sup> )	γ <sub>d</sub> (Ton/m <sup>3</sup> )	G <sub>s</sub>	q <sub>u</sub> suelo (Kg/cm <sup>2</sup> )	q <sub>u</sub> roca (Kg/cm <sup>2</sup> )	I <sub>s</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	c' (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ' (°)	c' <sub>residual</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ' <sub>residual</sub> (°)	
				de	a	media																				
AP2	2	BL	Qbl				CL	23.7	38.5	19	19.5	0.241				1.645	1.33	2.615				0.2	27.7			
																1.651	1.341									
AP3	1	BL	Qbl				CH	34.6	51	27.1	23.9	0.317				1.732	1.286									
AP4	4	BL	Qbl	0.15	0.35	0.25	CH	28.5	72.1	23	49.1	0.111				1.901	1.479					0.1	22.8			
																1.901	1.473									
AP5	1	BL	Qbl				CL	11.9	28.1	17.2	10.9	-0.48				1.725	1.541									
M1	1	BL														2.01	1.745					0.01	17.7			
																2.018	1.755									
																2.006	1.74									
M2	1	BL														2.022	1.692					0.1	21			
																2.03	1.7									
																2.026	1.682									
B1	1	BL		10	15	12.50							1	13	86.4	2.054	—					0.01	23.8			
B2	1	BL														2.058	—					0.01	28			
B3	1	BL														2.082	—					0.01	21.2			
B4	1	BL					SM	1.4					0.2	69	30.8	2.326	2.286					0.6	24.3			
																2.324	—									
																2.325	—									
B5	1	BL																			1.1					
B6	1	BL						0.3								2.269	2.263				2.25					
B7	1	BL						21.6					7.3	6.4	86.3											
B8	1	BL														3.124	—					0.02	26.2			
B9	1	BL					SM	0.3					0	73	27	1.979	1.979		16.85			0.001	19.7	0.05	14	
B10	1	BL					SM	0.4					0	63	37.3	2.382	2.372		70.64		7.2	0.04	23.1			

Tabla 4.16 Resumen de Ensayo de Carga Puntual

SONDEO - MUESTRA	UNIDAD	ENSAYO	ESPECIMEN No.	L (cm)	D (cm)	W (cm)	De (cm)	De2 (cm <sup>2</sup> )	P (Kgf)	Is (Kgf/cm <sup>2</sup> )	F <sub>corrección</sub>	Is <sub>50</sub> (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Is <sub>50</sub> (Kgf/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_u$ (Kgf/cm <sup>2</sup> )
B5-1	Ksgt <sub>A2</sub>	Carga puntual	1	8.70	9.20	9.20	10.38	107.77	93	1.10	1.39	1.53	1.40	33.58
			2	6.50	6.20	8.70	8.29	68.68	40	1.00	1.26	1.26		
			3	11.20	6.00	6.80	7.21	51.95	44	1.20	1.18	1.41		
B6-1	Ksgt <sub>A2</sub>	Carga puntual	1	11.20	4.35	6.30	5.91	34.89	40	2.10	1.08	2.26	2.40	57.59
			2	7.20	4.30	5.83	5.65	31.92	45	2.40	1.06	2.54		
B10-1	Ksgt <sub>A1</sub>	Carga puntual	1	11.00	4.30	8.22	6.71	45.00	167	9.00	1.14	10.27	7.75	185.98
			2	8.70	4.20	5.80	5.57	31.02	148	8.40	1.05	8.82		
			3	6.40	4.20	5.30	5.32	28.34	111	6.30	1.03	6.48		
			4	8.30	4.00	6.40	5.71	32.59	97	6.10	1.06	6.48		
			5	8.70	4.22	8.60	6.80	46.21	111	6.20	1.15	7.12		
			6	8.65	4.25	5.00	5.20	27.06	130	7.20	1.02	7.33		

Tabla 4.17 Resumen de Ensayos de Laboratorio (Otros Consultores)

ENSAYO	LUGAR	TIPO DE MATERIAL	MUESTRA		Material	$\gamma_t$ (Ton/m <sup>3</sup> )	CORTE DIRECTO			BLOQUE DESLIZANTE		Condicion de Fallado			Observación		Fuente
							c' (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi'$ CD (°)	tan $\phi'$ CD (°)	$\phi'$ BD (°)	tan $\phi'$ BD (°)	i	Humedad Natural	Inundado	Plano falla por estratificación	Discontinuidad	
CD	Volador	Arenisca	TL	2	Are4	2.294	0.06	34.20	0.680			1.700	X	-	-	X	IGR
CD	Volador	Arenisca	TL	2	Are4 -i	2.294	0.06	32.50	0.637				X	-	-	X	IGR
CD	Volador	Arenisca	TL	2	Are4R	2.294	0.03	30.96	0.600			1.700	X	-	-	X	IGR
CD	Volador	Arenisca	TL	2	Are4R -i	2.294	0.03	29.26	0.560				X	-	-	X	IGR
CD	Volador	Arenisca	TL	6	Are4	2.153	0.05	35.75	0.720			1.700	X	-	-	X	IGR
CD	Volador	Arenisca	TL	6	Are4 -i	2.153	0.05	34.05	0.676				X	-	-	X	IGR
CD	Volador	Arenisca	TL	6	Are4R	2.153	0.03	32.62	0.640			1.700	X	-	-	X	IGR
CD	Volador	Arenisca	TL	6	Are4R -i	2.153	0.03	30.92	0.599				X	-	-	X	IGR
BD	Volador	Arenisca	S-2	11	Are1	2.127				43	0.933		X				IGR
BD	Volador	Arenisca	S-2	11	Are1 -i	2.127				31	0.601	12	X				IGR
BD	Volador	Arenisca	S-2	13	Are1	2.257				55	1.428		X				IGR
BD	Volador	Arenisca	S-2	13	Are1 -i	2.257				45	1.000	10	X				IGR
BD	Volador	Arenisca	S-3	5	Are2	2.303				63	1.963		X				IGR
BD	Volador	Arenisca	S-3	5	Are2 -i	2.303				44	0.966	19	X				IGR
BD	Volador	Arenisca	S-3	8	Are1	2.332				56	1.483		X				IGR
BD	Volador	Arenisca	S-3	8	Are1 -i	2.332				43	0.933	13	X				IGR
BD	Volador	Arenisca	TL	1	Are4					31	0.601		X				IGR
BD	Volador	Arenisca	TL	1	Are4 -i					26	0.488	5	X				IGR
BD	Volador	Arenisca	TL	3	Are4	2.311				49	1.150		X				IGR
BD	Volador	Arenisca	TL	3	Are4 -i	2.311				35	0.700	14	X				IGR
BD	Volador	Arenisca	TL	4	Are4					49	1.150		X				IGR



Tabla 4.18 Resumen de Ensayos de Laboratorio (Otros Consultores)

ENSAYO	LUGAR	TIPO DE MATERIAL	MUESTRA	Material	$\gamma_r$ (Ton/m <sup>3</sup> )	CORTE DIRECTO			BLOQUE DESLIZANTE		Condicion de Fallado			Observación		Fuente
						c' (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi'$ CD (°)	tan $\phi'$ CD (°)	$\phi'$ BD (°)	tan $\phi'$ BD (°)	i	Humedad Natural	Inundado	Plano falla por estratificación	Discontinuidad	
BD	Volador	Arenisca	TL	4	Are4 -i				37	0.754	12	X				IGR
CD	Mirador	Arenisca	BL	1	Ksg-at-ss	2.15	0.100	35.00	0.700			X	-	X	-	GIA
CD	Mirador	Arenisca	BL	1	Ksg-at-ss	2.15	0.420	46.40	1.050		7.000		X	X	-	GIA
CD	Mirador	Arenisca	BL	1	Ksg-at-ss -i	2.15	0.420	39.40	0.821				X	X	-	GIA
CD	Mirador	Arenisca	BL	1	Ksg-at-ss (R)	2.15	0.050	35.00	0.700		7.000		X	X	-	GIA
CD	Mirador	Arenisca	BL	1	Ksg-at-ss (R) -i	2.15	0.050	28.00	0.532				X	X	-	GIA
CD	Mirador	Arenisca	BL	1	Ksg-at-ss	2.15	0.110	42.80	0.926		6.000	X	-	X	-	GIA
CD	Mirador	Arenisca	BL	1	Ksg-at-ss -i	2.15	0.110	36.80	0.748			X	-	X	-	GIA
CD	Mirador	Arenisca	BL	1	Ksg-at-ss (R)	2.15	0.000	38.70	0.801		6.000	X	-	X	-	GIA
CD	Mirador	Arenisca	BL	1	Ksg-at-ss (R) -i	2.15	0.000	32.70	0.642			X	-	X	-	GIA
CD	Mirador	Arenisca	BL	2	Ksg-at-ss	2.26	0.040	31.80	0.620		4.000	-	X	X	-	GIA
CD	Mirador	Arenisca	BL	2	Ksg-at-ss -i	2.26	0.040	27.80	0.527			-	X	X	-	GIA
CD	Mirador	Arenisca	BL	2	Ksg-at-ss (R)	2.26	0.040	39.40	0.821		4.000	-	X	X	-	GIA
CD	Mirador	Arenisca	BL	2	Ksg-at-ss (R) -i	2.26	0.040	35.40	0.711			-	X	X	-	GIA
CD	Mirador	Suelo residual (ro)	S-2	8	Ksg-sr-atss		0.32	36.50	0.740				X			GIA
CD	Mirador	Suelo residual (su)	S-3	6	Ksg-sr-atss		0.42	16.70	0.300				X			GIA
CD	Mirador	Llenos	S-4	4	Qa-rm		0.21	22.80	0.420				X			GIA
CD	Codito	Arenisca	BL	1	Ksg-at	2.29	0.05	35.00	0.700							INDESA
BD	Cordillera	Arenisca			Ksgt-s	1.96				46.85	1.067		X			IGR - GIA
CD	Mirador	Arenisca				2.43	0.093	40.5	0.854				X			ROCAS Y MIN.
CD	Mirador	Bloques sueltos				1.8	0	33	0.649				X			ROCAS Y MIN.

Tabla 4.19 Resumen de Ensayos de Laboratorio (Otros Consultores)

ENSAYO	LUGAR	TIPO DE MATERIAL	MUESTRA		Material	$\gamma_t$ (Ton/m <sup>3</sup> )	CORTE DIRECTO			BLOQUE DESLIZANTE			Condicion de Fallado		Observación		Fuente
							c' (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ CD (°)	tan $\phi$ CD (°)	$\phi$ BD (°)	tan $\phi$ BD (°)	i	Humedad Natural	Inundado	Plano falla por estratificación	Discontinuidad	
CD	Codito	Bloques Suelos	BL			1.8	0	33	0.649								INDESA
CD	Soratama	Arenisca	BL		ksg-at	1.91	0.08	23	0.424								CIVILES
	Soratama	Arenisca	BL		ksg-at	1.72	0.22	25.8	0.483								CIVILES
CD	Cordillera	Brecha de falla	BL	2	Ksgt-bf	1.87	0.023	30.1	0.580				X				IGR - GIA
CD	Cordillera	Arcilla	BL	5	TKgu-sr-c	1.96	0.43	23.3	0.431				X				IGR - GIA
CD	Cordillera	Arcilla	BL	6	Ksgt-sr-c	2	0.03	35.3	0.708				X				IGR - GIA
	Cordillera	Limos	BL	8	Qcv	1.3											IGR - GIA
	Cordillera	Limos	BL	9	Qn	1.81											IGR - GIA
	Cordillera	Limos	BL	10	Qra-sup	1.8											IGR - GIA
	Cordillera	Limos	BL	12	Qra-br	1.87											IGR - GIA
	Cordillera	Limos	BL	13	Qra-car	1.9											IGR - GIA
BD	Cordillera	Arcillolita			Ksgt-m	2				34.9	0.698		X				IGR - GIA
BD	Cordillera	Arcilla			Ksgt-sr-c	2				34.9	0.698		X				IGR - GIA
BD	Cordillera	Limos			Ksgt-sr-s	1.92				35.8	0.721		X				IGR - GIA
CD	Cordillera	Arcillolita	material	1	TKgu	2.15											IGR - GIA
CD	Cerro Norte	Arcillolita	BL	1	Ksg-at	2.3	0.007	17.6	0.317								MGL LTDA
CD	Mirador	Arcillolita				2	0.05	24	0.445				X				ROCAS Y MIN.
CD	Volador	Arcillolita	TL	7	Lod2	2.111	0.00	17	0.306			-	X	X	-		IGR
CD	Volador	Arcillolita	TL	7	Lod2R	2.111	0.01	16	0.287			-	X	X	-		IGR

### 4.1.3 SUELOS

En este capítulo se relacionan las principales propiedades físicas y mecánicas de los paquetes de menor consolidación diagenética que yacen en las laderas del proyecto, y que fueron detectados en los sondeos y en las columnas. En resumen se tienen los siguientes tipos de materiales:

- Material 1: Suelos Orgánicos (Qso)
- Material 2: Rellenos de ladera suave y plana (Qra)
- Material 3: Talus y Coluviones (Qt+c)
- Material 4: Botaderos de Ladera (Qbl)
- Material 5: Suelos con Influencia de Cenizas -y Formación Mondoñedo- (Qmo)
- Material 6: Suelos residuales de la Formación Arenisca Tierna (Ksgt-A-sr)
- Material 7: Brechas Tectónicas (Ksgt-bt)

#### 4.1.3.1 Material 1: Suelos Orgánicos (Qso)

Engloba limos, arenas-limosas o arcillosas con alto contenido de materia orgánica y con raíces. Son de color café oscuro y negro, de humedad baja a media, y consistencia media a firme o compacidad media. Se manifiesta en los sondeos 11, 13 y 18, distribuidos indiferentemente en el primer nivel y en proximidades al cuerpo del deslizamiento. En la **Tabla 4.20** se compilan algunos de sus parámetros geomecánicos.

**Tabla 4.20 Parámetros geotécnicos del material 1**

PROPIEDAD	VALOR	CALIFICACIÓN
Contenido de humedad, w (%)	10.90 – 34.6	Baja a Media
Límite Líquido, LL (%)	24.80 – 55.20	
Índice de Plasticidad, IP (%)	9.40 – 23.60	Baja a Media
Peso unitario húmedo (ton/m <sup>3</sup> )	1.769	Promedio
Intercepto de cohesión, c (Ton/m <sup>2</sup> )	0.70 (SPT)	-
Angulo de fricción, $\phi$ (°)	21.40 (SPT)	-

#### 4.1.3.2 Material 2: Rellenos de Ladera Suave y plana (Qra)

Son en su matriz predominantemente areno-limosos (SM), limosos (ML) o arcillo-arenosos (CS-CL). Encierran en su estructura fragmentos líticos de arenisca friable cuarzosa, escombros de construcción y residuos sólidos urbanos (basuras) en menor proporción. Su humedad trasiega desde baja hasta media, su plasticidad desde no plástica hasta media, y su consistencia o compacidad bien media o bien suelta a media.

Aparecen en los sondeos S3, S7, S9, S11 y S15, y su espesor diverge entre los 0.50 m y los 3.20 m (registrado en el S11); aunque ocupan indiferentemente el barrio, matizan con especial énfasis la cubierta superficial en el primer y tercer nivel. Tienen como principales propiedades mecánicas las señaladas en la **Tabla 4.21**.

**Tabla 4.21 Parámetros geotécnicos del material 2**

PROPIEDAD	VALOR	CALIFICACIÓN
Contenido de humedad, w (%)	11.7 – 21.1	Media
Límite líquido, LL (%)	NL o [26.40 – 46.50]	-
Índice de plasticidad, IP (%)	NP o [11.6 – 25.50]	Baja a Media
Peso unitario Húmedo (ton/m <sup>3</sup> )	1.972 (promedio)	
Peso Unitario Seco (ton/m <sup>3</sup> )	1.543 – 1.79	
Intercepto de cohesión, c (Ton/m <sup>2</sup> )	0.02 (SPT)	-
Angulo de fricción, $\phi$ (°)	27.7 (SPT)	-

#### 4.1.3.3 Material 3: Talus y Coluviones (Qt+c)

Se remarcan así a las masas arenosas traslocadas y reconfiguradas, englobadas en el cuerpo del deslizamiento principal (entre las carreras 23 y 24), escenario exclusivo de dominio. Se clasifican como: SM o SC-SP, aunque con predominio del primer compás granulométrico. Su humedad es baja y esporádicamente media, y su compacidad recorre las escalas desde suelta hasta media. Un barrido esquemático de las características físico-mecánicas se integra en la **Tabla 4.22**.

**Tabla 4.22 Parámetros Geotécnicos del Material 3**

PROPIEDAD	VALOR	CALIFICACIÓN
Contenido de humedad, w (%)	6 – 24.4	Baja – Media
Límite líquido, LL (%)	NL	-
Índice de plasticidad, IP (%)	NP	
Peso unitario Húmedo (ton/m <sup>3</sup> )	2.151 (promedio)	
Peso Unitario Seco (ton/m <sup>3</sup> )	1.59 – 2.191	
% Gravas	0.80 – 41	
% Arenas	57 – 77	
% Finos	1.6 – 21.80	
Intercepto de cohesión, c (Ton/m <sup>2</sup> )	0.01 (SPT) – 0.66 (SPT)	-

PROPIEDAD	VALOR	CALIFICACIÓN
Angulo de fricción, $\phi$ ( $^{\circ}$ )	24.80 (SPT) – 26.60 (SPT)	-

#### 4.1.3.4 Material 4: Botaderos de Ladera (Qbl)

Junto con los talus y coluviones, ocupan los espacios baldíos en el barrio; los mantos son extensos, irregulares y esporádicamente espesos (hasta 7 m). Su composición granulométrica es arcillosa o arcillo-arenosa, con cantos y gravas angulares de areniscas de tamaños variados. Por espacios se entremezclan con suelos negros provenientes de las cenizas volcánicas, residuos de materiales de construcción, basura, restos vegetales, etc. En general son de plasticidad baja a media, humedad media y consistencia media a firma. El marco principal de sus parámetros índices y de resistencia se entrelaza en la **Tabla 4.23**

**Tabla 4.23 Parámetros Geotécnicos del Material 4**

PROPIEDAD	VALOR	CALIFICACIÓN
Peso unitario Húmedo (ton/m <sup>3</sup> )	1.713 (promedio)	
Peso Unitario Seco (ton/m <sup>3</sup> )	1.286 – 1.877	
Contenido de humedad, w (%)	8.60 – 34.60	Baja a Media
Límite líquido, LL (%)	28.10 – 72.10	-
Índice de plasticidad, IP (%)	10.90 – 49.10	
Intercepto de cohesión, c (Ton/m <sup>2</sup> )*	0.13 (SPT) - 0.20 (CD)	-
Angulo de fricción, $\phi$ ( $^{\circ}$ )*	22.80 (CD) – 27.70 (CD)	-

#### 4.1.3.5 Material 5: Suelos con Influencia de Cenizas (Qmo)

Son cuerpos de origen volcánico de color gris oscuro a negro, de composición areno-limosos (SM, acorde con la USCS) o areno-arcillosos (SC), que hacen parte de la estratigrafía de media ladera del segundo nivel del barrio. Descansan en relictos inconexos, adosados a las manzanas M4, M9 y M11. Se alojan superficialmente con espesor máximo de 5.0 m. Tienen plasticidad media a alta, y humedad y compacidad media. La síntesis de algunas de sus propiedades geomecánicas se precisa en la **Tabla 4.24**.

**Tabla 4.24 Parámetros Geotécnicos del Material 5**

PROPIEDAD	VALOR	CALIFICACIÓN
Contenido de humedad, w (%)	15.70 – 18.30	Media
Límite líquido, LL (%)	42.80	-
Índice de plasticidad, IP (%)	22.50	Media
Peso unitario Húmedo (ton/m <sup>3</sup> )	1.998 (promedio)	
Peso Unitario Seco (ton/m <sup>3</sup> )	1.543 – 1.79	
% Arenas	61 – 65	
%Finos	38.40 – 35.30	
Intercepto de cohesión, c (Ton/m <sup>2</sup> )	0.16 (SPT)	-
Angulo de fricción, $\phi$ (°)	25.10 (SPT)	-

#### 4.1.3.6 Material 6: Suelos residuales de la Formación Arenisca Tierna (Ksgt-a2-sr)

Son cuerpos de color amarillo rojizo a café, propios de los horizontes IA, IC y IIA del perfil de meteorización de Deer y Patton (1971). Hacen parte de la estratigrafía de las laderas del borde nororiental y noroccidental. Yacen en parches aislados y dispersos, con espesores que pueden alcanzar los 3.00 m. Tienen humedad media, compacidad media a densa y se clasifican como SM (según la USC). La **Tabla 4.25** compila algunos de sus parámetros relevantes.

**Tabla 4.25 Parámetros geotécnicos del material 6**

PROPIEDAD	VALOR	CALIFICACIÓN
Peso unitario Húmedo (ton/m <sup>3</sup> )	1.985 (promedio)	
Peso Unitario Seco (ton/m <sup>3</sup> )	1.429 – 1.823	
Contenido de humedad, w (%)	13.10 – 23.50	Baja a Media
Límite líquido, LL (%)		-
Índice de plasticidad, IP (%)		
Intercepto de cohesión, c (Ton/m <sup>2</sup> )*	0.00 (SPT) - 0.42 (CD)	-
Angulo de fricción, $\phi$ (°)*	28.6 (SPT) – 36.5 (CD)	-

#### 4.1.4 **MACIZOS ROCOSOS**

Está integrado exclusivamente por unidades líticas del Grupo Guadalupe, principalmente por bancos de arenisca y delgados paquetes de arcillolita (hasta de 0.3 m de espesor), cubiertas por llenos antrópicos y suelos residuales. En este numeral se hace referencia a ambos ambientes geológicos. En la **Tabla 4.10** se compilan los resúmenes de los resultados de campo, mientras en las **Tablas 4.13 a 4.16**, los de laboratorio (clasificación y corte directo), de donde se extrajeron los valores de los parámetros para caracterización de los materiales 4 y 5.

El Grupo Guadalupe se manifiesta a lo largo y ancho de la vertiente; sus expresiones más relevantes constituyen el alto relieve que corre paralelo a las Carreras 23, 24 y 26, en dirección norte-sur, y que demarca los frentes de explotación abandonados. Conjugando paquetes de espesores variables, configurados entre 0.50 m y 10.00 m de areniscas cuarzosas bien cementada (Material 8), delgados niveles de arcillolita de color gris claro y lodolitas y areniscas lodosas; estas últimas inmersas en los horizontes  $Ks_{gtL1}$ ,  $Ks_{gtLi1}$  y  $Ks_{gtLi2}$  expuestas en el cuerpo del deslizamiento y en el Codito "Primer Nivel". A continuación se reseñan las propiedades de cada una de las unidades líticas, de sus planos de discontinuidad y del macizo rocoso.

##### 4.1.4.1 Material 7: Lodolitas de la formación Tierna ( $Ks_{gtI1}$ , $Ks_{gtIi1}$ y $Ks_{gtIi2}$ )

Es de color gris claro, sedimenta en capas de hasta 0.30 m, pero alcanza expresiones de hasta 4.6 m en los cortes abandonados circunscritos a la carrera 25. Aunque es uno de los planos preferenciales de despegue, y sus parámetros de resistencia residual develan cohesiones próximas a cero y ángulos de fricción de 17°; la orientación de los cortes y por ende la disposición estructural con buzamientos aparentes inferiores al de la fricción residual, menoscaban su trascendencia y reducen su potencial como plano preferencial de despegue en el "Primer Nivel" del barrio, dominio estructural 4. No así sucede con el subespacio entre las carreras 23 y 24 (Dominio estructural 3), aquí no sólo el azimut de buzamiento del plano de estratificación concuerda con el de la ladera sino que su buzamiento adquiere valores próximos a los 30 grados. La **Tabla 4.26** integra los más relevantes parámetros geomecánicos.

**Tabla 4.26 Parámetros geotécnicos del material 7**

PROPIEDAD	VALOR	CALIFICACIÓN
Peso unitario Húmedo (ton/m <sup>3</sup> )	2.001 (promedio)	
Peso Unitario Seco (ton/m <sup>3</sup> )	1.80	
Contenido de humedad, w (%)	9.90	Baja
Límite líquido, LL (%)	48.9	-
Índice de plasticidad, IP (%)	19.80	Baja
Intercepto de cohesión, c (Ton/m <sup>2</sup> )	0.01 (CD) – 0.20 (CD)*	-
Angulo de fricción, $\phi$ (°)	17.70 (CD) – 35.30 (CD)*	-

#### 4.1.4.2 Material 8: Areniscas de la Formación Tierna ( $K_{sgt_{a2}}$ , $K_{sgt_{a3}}$ , $K_{sgt_{ai1}}$ , $K_{sgt_{ai2}}$ , $K_{sgt_{ai3}}$ ) – $K_{sgt-A2}$

En esta denominación se integran cinco grandes horizontes diferenciados en su litología, en su grado de litificación y en la composición orgánica de la matriz, así: los dos primeros mantos, denominado  $K_{sgt_{a2}}$  y  $K_{sgt_{a3}}$ , conjuga areniscas macizas de grano fino o medio, areniscas de grano grueso bien cementadas y areniscas de grano fino con estratificación plano paralela; y los tres últimos:  $K_{sgt_{ai1}}$ ,  $K_{sgt_{ai2}}$  y  $K_{sgt_{ai3}}$  son en esencia areniscas granodecrecientes de buena cementación y areniscas de grano medio, cuarzosas, bien cementadas.

Enmarcan buena parte de las columnas estratigráficas y la base de los sondeos S1 a S4. En otras palabras son los elementos constitutivos por excelencia de las laderas vertientes: las del occidente y norte entalladas en las  $K_{sgt_{ai1}}$ ,  $K_{sgt_{ai2}}$  y  $K_{sgt_{ai3}}$ , y las del sur en las  $K_{sgt_{a2}}$  y  $K_{sgt_{a3}}$ . Son los cuerpos rocosos de mayor resistencia y de menor potencial de degradación; su ángulo de fricción básico supera los treinta grados y su respuesta mecánica es similar a la del Barrio Mirador del Norte –esquina sur- (GIA, 2005). Poca o ninguna participación tienen en los procesos de inestabilidad, excepto por las caídas de rocas, y en ellos se esculpen los cortes de mayor altura.

A pesar de las diferencias constitutivas, sus propiedades mecánicas parecen responder a un mismo universo, salvo por sutiles cambios en el ángulo de fricción. La **Tabla 4.27** condensa algunos de los más importantes.

**Tabla 4.27 Parámetros geotécnicos del material 8**

PROPIEDAD	VALOR	CALIFICACIÓN
Peso unitario Húmedo (ton/m <sup>3</sup> )	2.286 (promedio)	
Peso Unitario Seco (ton/m <sup>3</sup> )	1.722 – 1.983	
Contenido de humedad, w (%)	0.4 – 1.70	
Porcentaje de Arena (%)	62.70	
Porcentaje de Finos (%)	37.30	
Resistencia a la compresión simple (kg/cm <sup>2</sup> )	57.59 - 185.98	Blanda - Media
Intercepto de cohesión, c (Ton/m <sup>2</sup> )	0.04 (CD) – 4.2 (CD)*	-
Angulo de fricción, $\phi$ (°)	23.10 (CD) – 46.4 (CD)*	-

#### 4.1.4.3 Material 5: Areniscas Lodosas de la Formación Tierna ( $K_{sgt_{a2}}$ )

A diferencia de la arenisca  $K_{sgt-A2}$ , su arreglo granulométrico encierra porcentajes de finos hasta del 80 % (véase la granulometría del testigo B7 – **Tabla 4.15**), por lo que en estricta esencia debiese clasificarse como lodolita. Sin embargo, sus cambios faciales hacen compleja su clasificación; los porcentajes de arena alcanzan topes de hasta del 73 % (como lo expresa la muestra B9 – **Tabla 4.15**). Indistinto de su errática composición, son taxativamente colapsibles y blandas, al punto de tener parámetros de resistencia residual y pico similares al de las arcillolitas (o lodolitas), y son junto con estas últimas los espacios preferenciales en los



que se gestan los procesos de inestabilidad. Constituyen eslabón trascendente de la secuencia estratigráfica en el "Primer Nivel" del barrio (al oriente de la carrera 23) y al interior del cuerpo del deslizamiento, empero es en el segundo donde adquiere relevancia como elemento contribuyente en la movilización de las laderas, gracias al mayor gradiente del plano de estratificación; el buzamiento en las exposiciones en el primer nivel apenas alcanzan los quince grados. Un breviarío de las características geomecánicas se concentra en la **Tabla 4.28**.

**Tabla 4.28 Parámetros Geomecánicos Material 9**

PROPIEDAD	VALOR	CALIFICACIÓN
Peso unitario Húmedo (ton/m <sup>3</sup> )	1.979 (promedio)	
Peso Unitario Seco (ton/m <sup>3</sup> )	1.979	
Contenido de humedad, w (%)	0.40 – 1.70	
Porcentaje de Arena (%)	13 – 73	
Porcentaje de Finos (%)	27 – 86	
Intercepto de cohesión, c (Ton/m <sup>2</sup> )	0.01 (CD) – 0.10 (CD)*	-
Angulo de fricción, $\phi$ (°)	19.70 (CD) – 28 (CD)*	-

#### 4.1.4.4 Discontinuidades

##### Descripción geométrica y física

Las discontinuidades fueron descritas a partir de la información obtenida de los afloramientos, y de las columnas estratigráficas (denominados aquí estaciones de levantamiento estructural), para dar cumplimiento a este objetivo se tomo como base los procedimientos sugeridos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, ISRM - 1981. Las mediciones en campo superan los 1200 datos estructurales (orientación y buzamiento de estratificación y diaclasas) con una cobertura de 9 estaciones concentradas en los frentes expuestos y por fuera del límite del barrio; el universo muestral supera los 1400, gracias a los aportes extraídos de INDESA (2000). El inventario de los datos obtenidos y las características de las discontinuidades asociadas con ellos, están compilados en las carteras de campo del **Anexo B3**.

La totalidad de las mediciones fue interpretada mediante sus polos y sus vectores directores, con la red de proyección Equiangular (véanse las **Figuras 3.1 a 3.5**) y una hoja de cálculo, según la ubicación de las estaciones, la geología (i.e: su pertenencia o no a un bloque tectónico), la tendencia de la información y el tipo de dato. El procesamiento de los datos estructurales se lleva a cabo gracias a la aplicación de los métodos de círculo flotante y vectorial. De allí fue posible precisar la tendencia general de las familias de discontinuidad y concluir que las laderas vertientes pertenecen a cinco regiones estructurales o dominios, divididas por los cambios locales de la polaridad en la estratificación, cuyos límites imaginarios los describen las brechas de falla.

No obstante, los cambios en la polaridad de los planos de estratificación, representados en variaciones de más de 20 grados en el buzamiento; la mayor predisposición cinemática (provocada por el pronunciado

gradiente de los estratos –en promedio de 25°- y por la consonancia geométrica entre los cortes y las familias de discontinuidad), y la gestación de los más trascendentes procesos de inestabilidad en el barrio, entre ellos los de mayo 8 de 2006, y los del año 1999 en los dominios 3 y 4, abrieron el compás de análisis para aventurarse en su discretización estructural. En este sentido, fueron divididos en subespacios en el que la variable discriminante es la orientación -modal o promedio- de la estratificación. En la **Tabla 4.29** se relacionan los datos estructurales utilizados para cada familia junto con sus valores promedio por región.

**Tabla 4.29 Regiones Estructurales**

REGIÓN ESTRUCTURAL	SUBDOMINIO	ORIENTACIÓN DE LA FAMILIAS PRINCIPALES								
		E1	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
1	1	240/18	126/82	80/71	56/72	24/80	2/81	314/81	275/89	275/89
2	1	240/25	140/40	296/80	28/75	-	-	-	-	-
3	1	260/6	287/56	310/89	28/78	37/71	114/82	-	-	-
	2	230/18								
	3	236/30								
4	1	323/15	201/88	212/85	232/79	284/87	313/87	44/88	79/85	128/85
5	1	266/21	246/30	88/85	22/75	172/85	-	-	-	-

Las familias de discontinuidades exhiben espaciamentos (S) medios y dominios de: 3.0 m y [0.15 – 3.37] para lo que las califica entre muy juntas y separadas; persistencia (P) discontinua a poco continua (entre 1.0m y 4.50 m), abertura de cerrada a abierta (pero con moda de 0.05 m), sin relleno, aunque eventualmente reposa arena, roca triturada y arcilla (ésta en menor proporción). La rugosidad de las paredes en términos descriptivos puede clasificarse, de acuerdo con la ISRM (1981), como tipo V y IV, es decir, ondulada suave y ondulada rugosa, con valores del JRC entre 10 y 12 y dilatacias en el dominio [4°- 7°, mediciones en campo en cuatro familias principales], y su grado de meteorización (indistinto del tipo de familia) es decolorado y a veces oxidado, puesto que se observan variaciones de color entre la roca fresca y la pared. El **Anexo B.3** contiene las características de las familias de discontinuidades cuyo levantamiento fue posible en campo.

**Características Geomecánicas**

Si bien la geometría y propiedades básicas descriptivas entre las familias de discontinuidad son diversas y reseñan un universo heterogéneo, se asumió de manera conservadora que los planos fungen como espacios continuos y homogéneos. Por lo tanto, y dado que se trata de una ladera estructural, se consideran preponderantes las del plano preferencial de movilización; en este caso el de la estratificación. De otra parte como la secuencia estratigráfica encierra tres grandes unidades líticas: areniscas cementadas, areniscas lodosas y arcillolitas, se enfatizo en la determinación de las envolventes de resistencia para cada uno de los citados ambientes.

Para tal efecto, se hizo uso de tres procedimientos independientes pero complementarios:

- Un método estadístico, basado en la información primaria y secundaria disponible. Pretende detectar en cada conjunto concentraciones y dispersiones, y determinar tanto el primer y segundo momento estadístico como la función de distribución. La información secundaria fue seleccionada no sólo por la similitud litológica sino geomorfológica y adoptada de los estudios de: IGR, (2004), IGR-GIA (2003), Rocas y Minerales (1999), Civiles (2002), GIA (2005), INDESA (2000), MGL (2002) y GIA – GEOCING (2006). Ésta correspondió a los ensayos de corte y bloque deslizante en las areniscas y arcillolitas de la formación Labor y Tierna.
- El método de las envolventes. Se grafican en un plano cartesiano,  $\tau$ - $\sigma$ , los puntos máximos y mínimos de los cortes directos disponibles, como se muestra en la Clasificación del Macizo

Una vez caracterizados material rocoso y discontinuidades, se procedió a la clasificación. El cumplimiento de esta tarea se llevo a cabo con base en el Geological Strength Index, GSI (Hoek, 1976). Sin embargo dada la directa correlación entre el Rock Mass Rating, RMR (Bieniawski, 1976) y el GSI, se planteó el primero como sistema de calibración. En la **Tabla 4.31**, se compilan los extremos de la calificación y clasificación del macizo para ambos sistemas. Así del ejercicio se desprende que el macizo posee índices de resistencia y RMRs en el dominio [35 – 60], lo que lo clasifica de pobre a regular.

- y la **Figura 4.10** para las areniscas y en la **Figura 4.11** para las lodolitas. Aquí, se pretende obtener dos envolventes por material, caracterizadas por sendas expresiones:  $\tau = c + \sigma * \tan\phi$ , de las que se desprenden los parámetros de resistencia.
- Retroalimentación iterativa, de los análisis de estabilidad en los cuerpos potencialmente inestables, para los que se adoptó como criterio que la combinación de parámetros geomecánicos mínimos, en estados de lluvia y no sismo, condujera a una condición marginal de estabilidad ( $FS = 1.0$ ), tal como lo evidencia la configuración del terreno en el momento de la falla. Este procedimiento fue trascendente para los planos de arcillolita.

Finalmente, como producto conjunto e integrado de tales procedimientos, se resumen los parámetros adoptados en la **Tabla 4.30**.

**Tabla 4.30 Parámetros Geomecánicos de las discontinuidades**

PLANO DE DISCONTINUIDAD	COHESIÓN (TON/M <sup>2</sup> )			$\phi$ °		
	C MIN	C PROM	C MAX	$\phi$ MIN	$\phi$ PROM	$\phi$ MAX
Arenisca	0.40	1.10	2.196	24.36	32.42	39.29
Arenisca Lodosa	0.10	0.65	1.10	21.20	24.90	28
Arcillolita	1.0	1.871	3.128	19.635	27.127	32.967

#### 4.1.4.5 Clasificación del Macizo

Una vez caracterizados material rocoso y discontinuidades, se procedió a la clasificación. El cumplimiento de esta tarea se llevo a cabo con base en el Geological Stregth Index, GSI (Hoek, 1976). Sin embargo dada la directa correlación entre el Rock Mass Rating, RMR (Bieniawski, 1976) y el GSI, se planteó el primero como sistema de calibración. En la **Tabla 4.31**, se compilan los extremos de la calificación y clasificación del macizo para ambos sistemas. Así del ejercicio se desprende que el macizo posee índices de resistencia y RMRs en el dominio [35 – 60], lo que lo clasifica de pobre a regular.

Figura 4.9 Envoltente de Resistencia para las Areniscas (Hipótesis 1)

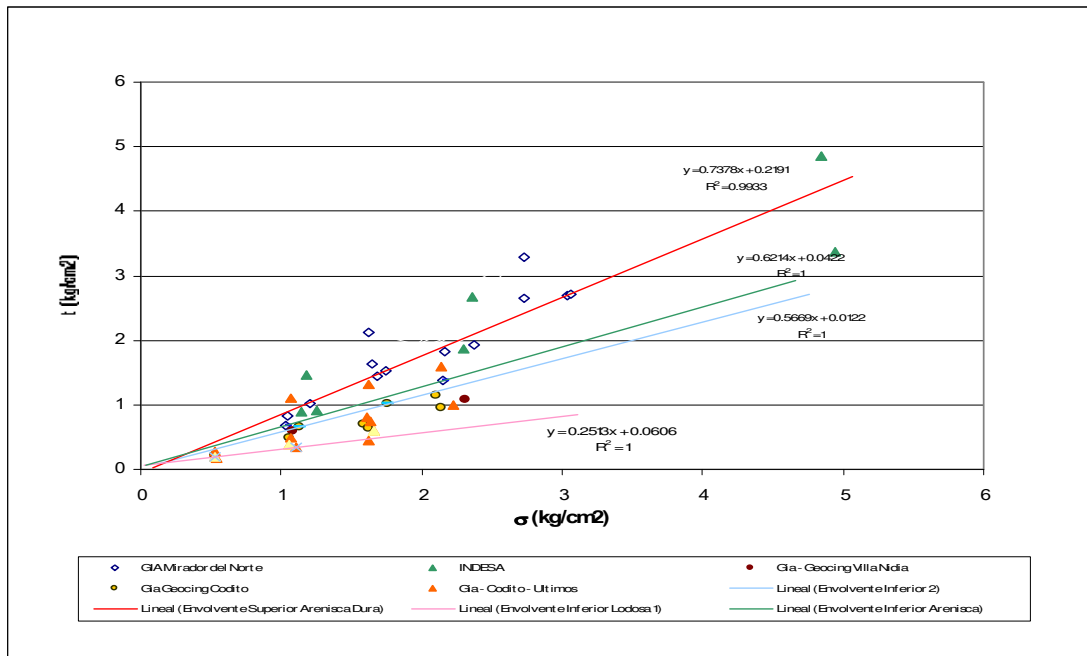


Figura 4.10 Envoltente de Resistencia para las Areniscas (Hipótesis 2)

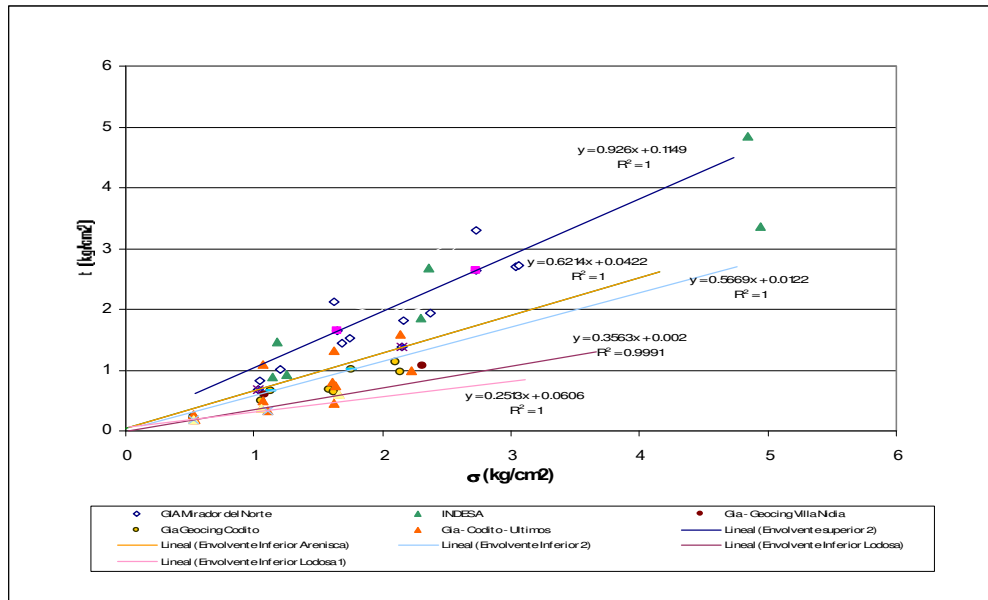


Figura 4.11 Envoltente de Resistencia para las Arcillolitas

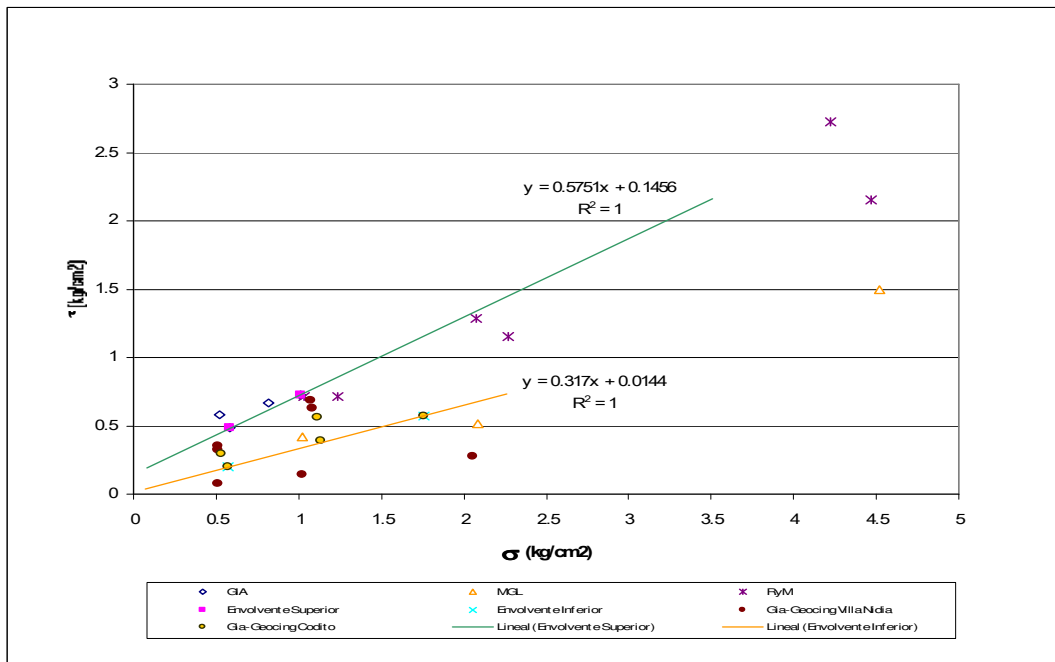


Tabla 4.31 Clasificación del Macizo Rocoso

Región estructural		Dominio 1		Dominio 2		Dominio 3		Dominio 4		Dominio 5	
Criterio de evaluación											
$\sigma_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Valor	186.0	34.0	186.0	34.0	186.0	34.0	186.0	34.0	186.0	34.0
	Calificación/15	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
RQD (%)	Valor	57	10	57	10	35	12	98	30	98	30
	Calificación/20	13	3	13	3	8	3	20	8	20	8
S (m)	Valor	3.7	0.5	3	0.5	4	0.3	3.5	0.5	3.5	0.5
	Calificación/30	30	20	30	20	30	20	30	20	30	20
Estado de las Discontinuidades	Descripción	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es dura	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es débil	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es dura	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es débil	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es dura	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es débil	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es dura	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es débil	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es dura	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es débil
	Calificación/25	20	12	20	12	20	12	20	12	20	12
Agua	Descripción	Húmedo	Húmedo	Húmedo	Húmedo	Húmedo	Húmedo	Húmedo	Húmedo	Húmedo	Húmedo
	Calificación/10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RMR	Calificación/100	65	36	65	36	60	36	72	41	72	41
	Descripción	Macizo bueno	Macizo pobre	Macizo bueno	Macizo pobre	Macizo regular	Macizo pobre	Macizo bueno	Macizo regular	Macizo bueno	Macizo regular
GSI		50	35	45	40	50	40	55	40	55	45

#### 4.1.4.6 Parámetros geomecánicos del Macizo Rocoso

Con base en la clasificación del macizo y las propiedades del material rocoso y de las discontinuidades, se establecieron las propiedades mecánicas del macizo con ayuda de la formulación propuesta por Hoek, 1996. El método trata la masa como un material isotrópico, homogéneo y elástico (Salcedo, 1996) y utiliza como variables de entrada, el GSI, referido en el **numeral 4.1.4.3** la resistencia a la compresión confinada ( $\sigma_c = 33.58 \text{ kg/cm}^2 \leq \sigma_c \leq 57.59 \text{ kg/cm}^2$ ), y una constante  $m_i$  (equivalente a 9 si son intercalaciones de areniscas y arcillolitas, y 11 para areniscas), que depende de las propiedades del material rocoso.

A manera de ejemplo se presenta la determinación de ellas, para el dominio 3 en la **Tabla 4.32** y la **Tabla 4.33**. No obstante, como se observa en la misma figura, los parámetros geomecánicos así obtenidos resultan significativamente superiores a los del universo muestral. Resulta, entonces, más lógico asumir que la respuesta del macizo está gobernada por las discontinuidades y adoptar sus parámetros de resistencia. De esta forma, con miras a los análisis de estabilidad, los parámetros empleados son los consignados para los ambientes arcillosos y arenosos citados en el numeral 4.1.4.4.

## 4.2 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

Previo a los análisis de estabilidad y con el fin de facilitar la labor de asignación de la probabilidad de falla, se establecieron zonas de comportamiento geotécnico similar tanto en conformación como en la dinámica de las laderas, lo cual se logró una vez sintetizada la información geológica, geomorfológica, y geotécnica. Los criterios de zonificación corresponden a la forma, la génesis, la litología, la pendiente, la condición estructural y el estado del macizo rocoso (gracias al empleo del GSI como bastión).

Las cuatro primeras variables están contempladas en las unidades geomorfológicas, que condensan unidades de ladera con morfología, morfogenética, materiales y morfometría similares. La quinta variable (condición estructural) posee incidencia significativa debido a que el comportamiento geométrico y mecánico de las familias de discontinuidades es heterogéneo y los mecanismos de deslizamiento están gobernados o condicionados por ellas, y la influencia de las brechas de falla es significativa, máxime si se destaca que sirven de lindero a los diferentes dominios. Por último, el estado del macizo y su relación directa con el grado de fracturamiento, es en los ambientes rocosos uno de los discriminantes más relevante; su calificación, estrictamente visual, delinea de manera alguna junto con las expresiones topográficas un grado de susceptibilidad ante fenómenos de remoción en masa. Bajo este marco, las unidades geomorfológicas sufrieron fraccionamientos o unificaciones de acuerdo con el estado del macizo rocoso y el dominio estructural. La codificación de las zonas conservó la nomenclatura de la unidad geomorfológica original añadiendo dos identificadores para cada subdivisión; uno en número romano a fin de consignar su dominio estructural, y otro en número arábigo ascendente en consonancia bien con la calidad del macizo o bien con el subdominio estructural, v. gr. la unidad “Ladera estructural afectada”, LEA-ms, se discretizó en LEA-ms-I-1 y LEA-ms-I-2, pues surca dos subdominios estructurales.

La conjunción de los elementos anteriores dio como resultado la división de la porción de la vertiente en veintidós (22) zonas homogéneas, las cuales fueron estudiadas por lo menos con una sección de análisis. La sinopsis del trabajo de zonificación se encuentra en la **Tabla 4.34**, la **Tabla 4.35** y en el **Plano 8**, contiene para cada zona homogénea, la unidad y origen geomorfológico, la secuencia litológica, el patrón estructural, el GSI y el o los mecanismos de falla.

Tabla 4.32 Envolvente de Resistencia del Macizo Rocoso (GSI = 50)

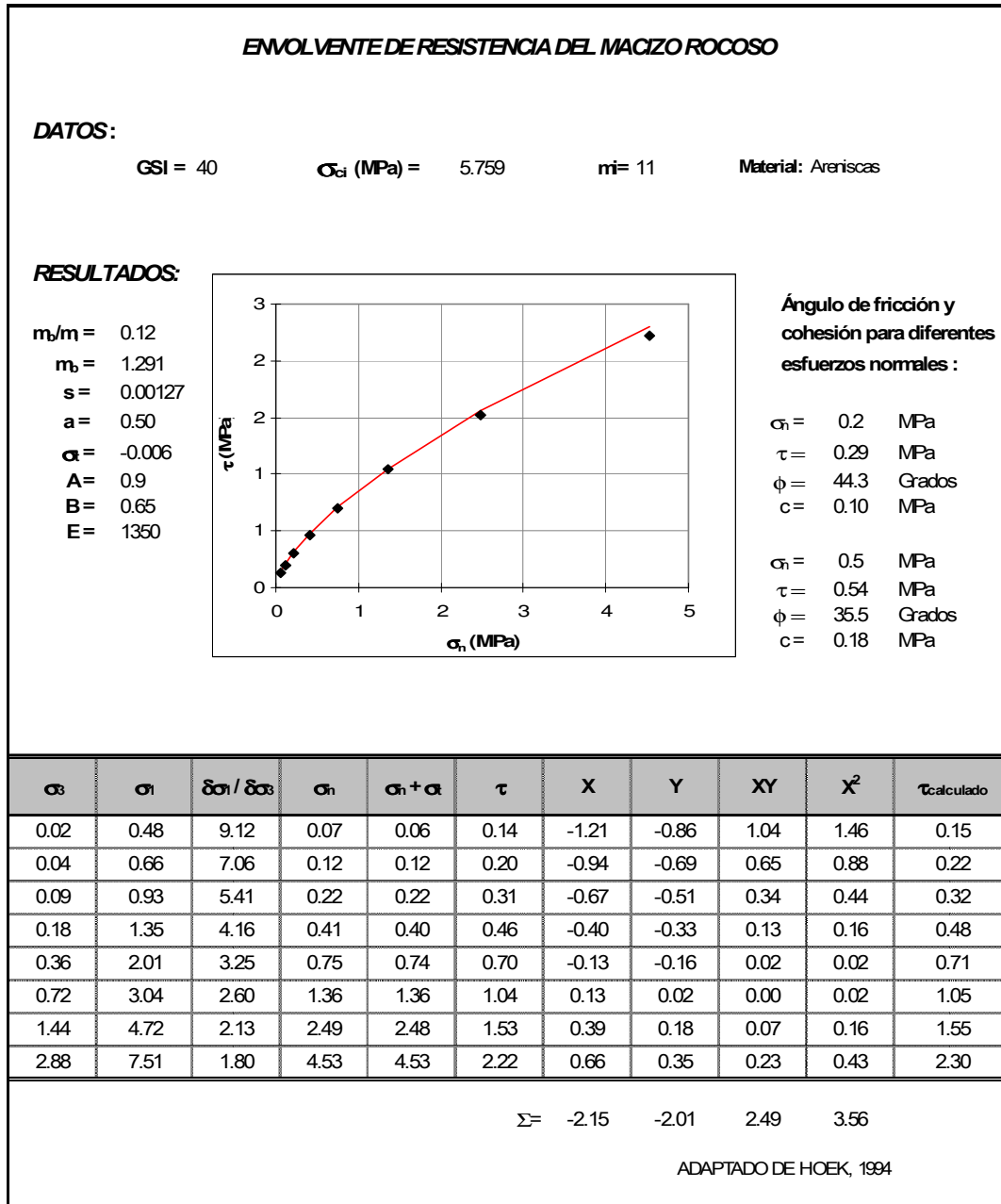
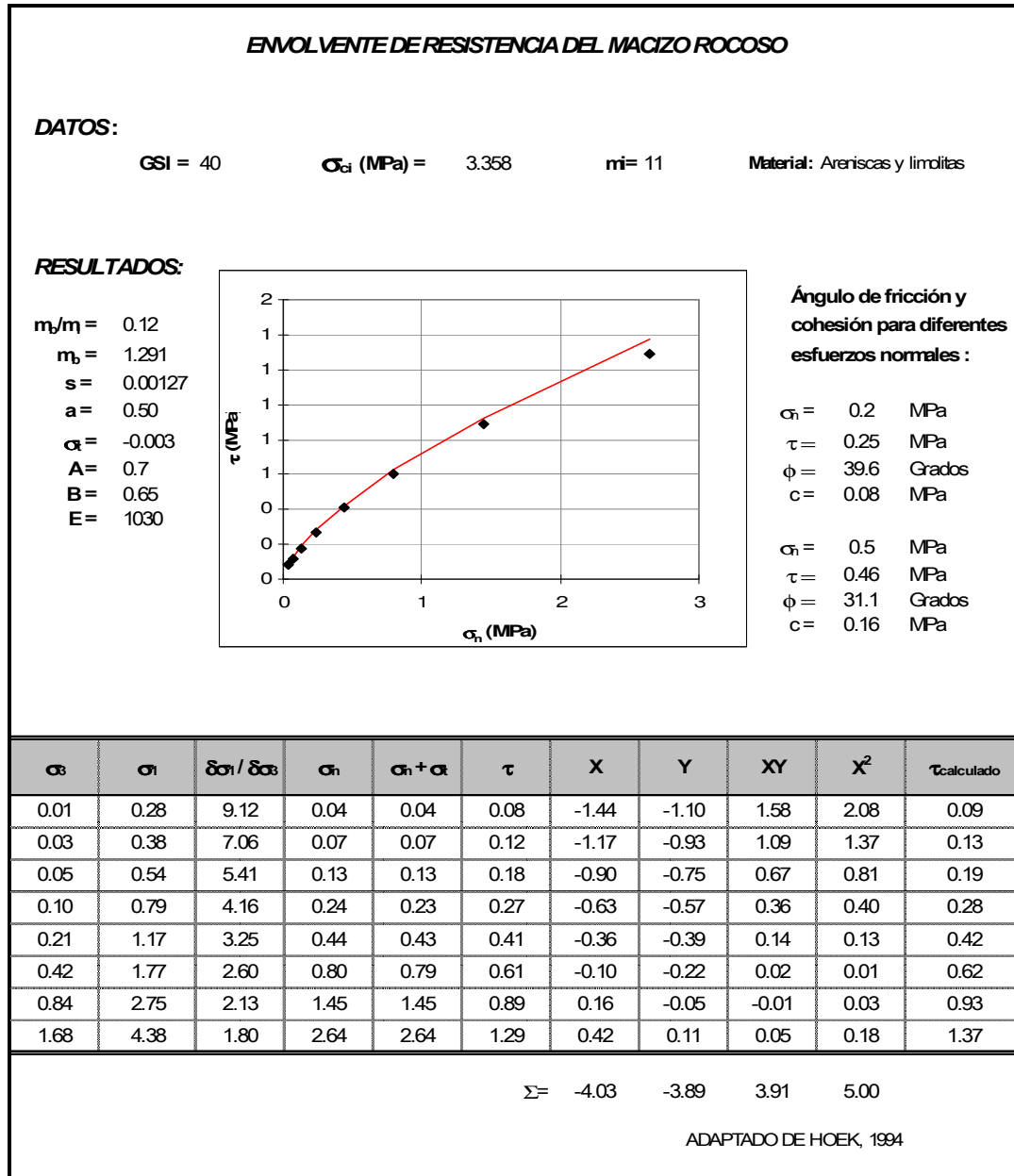




Tabla 4.33 Envoltente de Resistencia del Macizo Rocoso (GSI = 30)



**Tabla 4.34 Zonificación Geotécnica**

ZONA HOMOGÉNEA	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	ORIGEN	MORFOLOGÍA	SECUENCIA LITOLÓGICA	DOMINIO ESTRUCTURAL	SUBDOMINIO	DISCONTINUIDADES	GSI	MECANISMOS DE FALLA
LEA-ms-I-1	LEAms	ESTRUCTURAL ANTRÓPICO	LADERA ESTRUCTURAL	Qt+c	1	1	E1=240/18 D1=126/82 D2=80/71 D3=56/72 D4=24/80 D5=2/81 D6=314/81 D7=275/89	40	Falla Planar en cuña de Bloques (**)
	LEAbt			Ksqt-bt					
	LEAe								
	LEAtr								
LEA-ms-I-2	LEAms	AGRADACIONAL Y DENUDATIVO	LADERA ESTRUCTURAL	Qt+c	2	1		35	Caida de bloques (**)
	LEAbt			Ksqt-A2					
	LEAtr			Ksqt-I2					
	LEAe			Ksqt-bt					
LEAtr-I-1	LEAtr	AGRADACIONAL Y DENUDATIVO	LADERA ESTRUCTURAL	Ksqt-I1	2	1		50	Caida de bloques (**)
	LEAms			Ksqt-A1					
LEAtr-I-2	LEAtr	AGRADACIONAL Y DENUDATIVO	LADERA ESTRUCTURAL	Ksqt-I1	2	1		50	Caida de bloques (**)
	LPA			Ksqt-A2					
LEAe-II-1	LEAe	ANTRÓPICO	EXPLANACIÓN ANTRÓPICA	Qra	2	1	E1=240/25 E2=278/58 D1=140/40 D2=296/80 D3=28/75	45	Deslizamiento rotacional en suelo
LEAe-II-2	LEAe		EXPLANACIÓN ANTRÓPICA	Qra					
LEAbI-III-1	LEAbI	AGRADACIONAL ANTRÓPICO	LADERA ESTRUCTURAL	Qbl	3	1		45	Deslizamiento rotacional en suelo y Falla Planar en roca
LEAbI-III-2	LEAbI	ESTRUCTURAL ANTRÓPICO	LADERA ESTRUCTURAL	Qmo					
	LMA			Qbl					
	LPA			Ksqt-bt					
LEAe-III-1	LEAe	AGRADACIONAL ANTRÓPICO	LADERA ESTRUCTURAL	Qbl	3	1	E1=260/6 D1=287/56 D2=310/89 D3=28/78 D4=37/71 D5=114/82	45	Deslizamiento rotacional y traslacional en suelo, y Falla planar en roca
	LEAms			Qra					
	LEAbI			Ksqt-A2					
LEAtr-III-1	LEAtr	ESTRUCTURAL ANTRÓPICO	LADERA ESTRUCTURAL	Qra	3	1		45	Deslizamiento rotacional en suelo y Caida de Bloques
	LMA			Ksqt-A2					
	LPA								
LEAtr-III-2	LEAtr	AGRADACIONAL	LADERA ESTRUCTURAL	Ksqt-A2	3	1		45	Falla Planar en roca y Caida de Bloques
	LEAbI			Ksqt-bt					
	LEAe								
LEA-ms-III-2	LEAms	ESTRUCTURAL ANTRÓPICO	LADERA ESTRUCTURAL	Qmo	3	1		45	Deslizamiento rotacional en suelo y Falla planar en roca
	LEAe								
	LPA	AGRADACIONAL	Qra	45					
LEAtr-III-3	LEAtr	AGRADACIONAL ANTRÓPICO	LADERA ESTRUCTURAL	Qra	3	1		45	Falla planar en roca
	LPA			Qmo					
	LEAe	DENUDATIVO	Ksqt-A2						
				Ksqt-bt					

(\*\*) Zonas Homogéneas que pertenecen al Codito "Tercer Nivel" y por ende están fuera de los Alcances del Proyecto

Tabla 4.35 Zonificación Geotécnica

ZONA HOMOGÉNEA	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	ORIGEN	MORFOLOGÍA	SECUENCIA LITOLÓGICA	DOMINIO ESTRUCTURAL	SUBDOMINIO	DISCONTINUIDADES	GSI	MECANISMOS DE FALLA
LPA-III-1	LPA	ESTRUCTURAL	LADERA ESTRUCTURAL	Qra	3	2	E2=230/18 D1=287/56 D2=310/89 D3=28/78 D4=37/71 D6=114/82	50	Deslizamiento traslacional en suelo y Falla Planar en roca
	LMA			Ksgt-A2					
	LEAms								
LPA-III-3	LPA	ANTRÓPICO	LADERA ESTRUCTURAL	Qra	3	3	E3=236/30 D1=287/56 D2=310/89 D3=28/78 D4=37/71 D5=114/82	50	Deslizamiento Rotacional; Falla Planar en roca y Caída de Bloques
	LMA			Ksgt-A2					
	LEAbi			Ksgt-A11					
	LEAtr								
LMA-III-1	LMA	ANTRÓPICO	LADERA ESTRUCTURAL	Qra	3	3	E3=236/30 D1=287/56 D2=310/89 D3=28/78 D4=37/71 D5=114/82	50	Fallas planar en roca y planar infinita en suelo
	LEAe			Ksgt-A2-sr					
	LEAtr			Ksgt-A2					
LPA-III-2	LPA	ESTRUCTURAL	LADERA ESTRUCTURAL	Qra	3	3	E3=236/30 D1=287/56 D2=310/89 D3=28/78 D4=37/71 D5=114/82	50	Fallas rotacional en suelo y planar en roca
	LEAtr	ANTRÓPICO		Qmo					
	LEAms	AGRADACIONAL		Ksgt-A2 Ksgt-bt					
LEA-ms-III-1	LEAms	ESTRUCTURAL	LADERA ESTRUCTURAL	Qt+c	3	3	E3=236/30 D1=287/56 D2=310/89 D3=28/78 D4=37/71 D5=114/82	45	Deslizamientos traslacional y rotacional en suelo; Falla planar en roca.
	LMA	ANTRÓPICO		Ksgt-A2-Sr					
		AGRADACIONAL		Ksgt-A2					
				ANTRÓPICO					
LEAtr-IV-1	LEAtr	AGRADACIONAL	LADERA ESTRUCTURAL	Ksgt-A11	4	1	E1=323/15 D1=201/88 D2=212/85 D3=232/79 D4=284/87 D5=313/87 D6=44/88 D7=79/85 D8=108/85 D9=128/85	40	Falla Planar en roca; caída de bloques y Falla en cuña
	LEAbt	ESTRUCTURAL		Ksgt-L11					
LPA-IV-1	LPA	ESTRUCTURAL	LADERA ESTRUCTURAL	Ksgt-A11	4	1	E1=323/15 D1=201/88 D2=212/85 D3=232/79 D4=284/87 D5=313/87 D6=44/88 D7=79/85 D8=108/85 D9=128/85	55	Deslizamiento rotacional en suelo
	LEAe	ANTRÓPICO							
	LEAtr	ESTRUCTURAL							
LEAe-V-1	LEAe	ESTRUCTURAL	LADERA ESTRUCTURAL	Qbl	5	1	E1=266/21 E2=246/30 D1=88/85 D2=22/75 D3=172/85	55	Carece de Posibilidad cinemática de gestación de procesos de remoción en masa
	LPA	ANTRÓPICO		Qra					
LEAe-V-2	LEAe	ESTRUCTURAL	LADERA ESTRUCTURAL	Ksgt - A11	5	1	E1=266/21 E2=246/30 D1=88/85 D2=22/75 D3=172/85	45	Carece de Posibilidad cinemática de gestación de procesos de remoción en masa
	LPA	ANTRÓPICO							

(\*\*) Zonas Homogéneas que pertenecen al Codito "Tercer Nivel" y por ende están fuera de los Alcances del Proyecto

## 5 HIDROLOGIA, COBERTURA Y USOS DEL SUELO

### 5.1 INTRODUCCIÓN

El agua es el factor que más comúnmente se asocia con la movilización de los taludes y las laderas, debido a que la mayor parte de los deslizamientos ocurren después de lluvias fuertes o durante periodos lluviosos. Pero este agente (agua) produce también alteración y cambios en la estructura de los materiales. En el barrio El Codito, la acción del agua ha ocasionado procesos de erosión concentrada, caída de bloques y deslizamientos, por ello es relevante conocer el régimen temporal y espacial de la precipitación media anual y la influencia de la precipitación como agente detonante o contribuyente de los fenómenos de remoción en masa.

#### 5.1.1 PROCEDIMIENTO DE REALIZACIÓN DEL ESTUDIO

A fin de conocer el patrón de respuestas de la precipitación en la porción de la vertiente y de aportar elementos de juicio a la relación predictiva lluvia-deslizamiento, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Consulta de planchas topográficas F-14, F-15, F24 y F-25 y fotografías aéreas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi junto con estudios desarrollados en la zona (fotografías aéreas del sector a escala 1:5000 - Vuelo IGAC R-1131, año 1997, fotos 58, 59 y 60 y para la interpretación regional se emplearon aerofotografías a escala 1:20000 - Vuelo IGAC C-2612, año 1992, fotos 238 y 239)
- Consulta en el IDEAM de la información hidrológica existente de la microcuenca.
- Análisis hidrológico e hidráulico.

#### 5.1.2 MARCO HIDROLÓGICO GENERAL

El Codito pertenece a una pequeña microcuenca, afluente y partícipe de la gran cuenca del Río Bogotá. El drenaje del barrio es parcialmente deficiente, sobre todo en las calles peatonales del tercer nivel donde los sistemas de abastecimiento de agua potable y de alcantarillado de aguas negras han sido construidos por los mismos habitantes sin las normas técnicas, el sistema de alcantarillado pluvial es precario, en ciertos puntos surcan canales recolectores y sumideros transversales a las vías. Las acometidas domiciliarias se han construido con materiales y accesorios inadecuados que proveen fugas indiscriminadas sobre los materiales de fundación, bien sean llenos o bien sean estratos rocosos.

La precipitación en un buen porcentaje se convierte en caudal de escorrentía, por lo que hace necesario el diseño e implementación de obras de drenaje a fin de proteger los taludes expuestos. Para el análisis hidrológico se estudiará solamente el elemento climatológico precipitación, pues es él, el principal agente generador de la erosión hídrica y uno de los factores detonantes de los fenómenos de remoción en masa.

FOPAE:	CONSORCIO GIA - GEOCING	GIA -046-06		CAP 5 – PAG 140	
Versión:	1			Fecha	08/08/06
Elaboró:	GMT	Revisó:	JALG	Aprobó:	JALG

### 5.1.3 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA REGIONAL

Con el objetivo de establecer el comportamiento climático de las laderas en el Codito, se tomó la información de la estación Tipo CO (Climatológica Ordinaria) de la Escuela Colombiana de Ingeniería del IDEAM, por ser ésta la más cercana y encontrarse a una posición altimétrica similar a la del proyecto. Las características de dicha estación son:

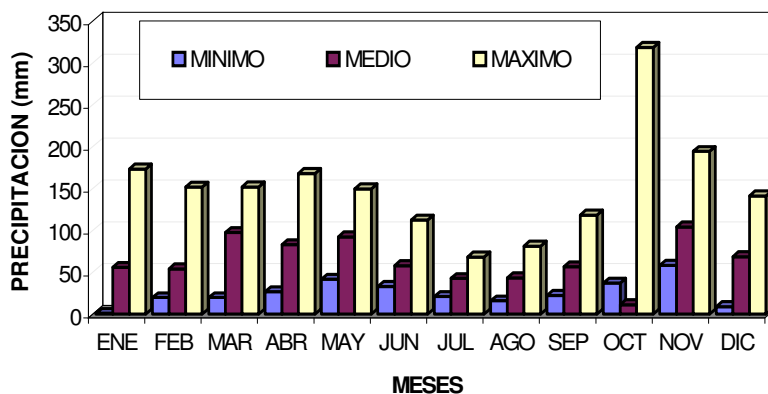
#### PRECIPITACIÓN

La porción de la vertiente posee un régimen de precipitación caracterizado por lluvias de baja intensidad y larga duración, que obedecen a la formación de cinturones de nubes generados por la condensación del aire húmedo, procedente de la Amazonia durante el movimiento regular de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT: sector de la parte tropical donde convergen las masas de aire o corrientes de aire húmedo provenientes de los hemisferios norte y sur), y por las Ondas del Este, procedentes del océano Atlántico Venezolano y noreste colombiano (Catatumbo), lo que sucede especialmente hacia los meses de julio, agosto y septiembre (IDEAM, 1998).

Dicha particularidad permite que exista una continuidad entre el invierno provocado por la ZCIT cuando baja en abril-mayo al ecuador y cuando regresa hacia los meses de octubre y noviembre al Atlántico. Así, entonces, se genera en la zona andina un Régimen bimodal de precipitación.

En El Codito, (circunscrito al interior del área de influencia de la estación Escuela Colombiana de Ingeniería) la precipitación promedio multianual alcanza los 866,4 mm. La distribución temporal tiene su primer período húmedo entre los meses de marzo, abril y mayo, con marzo como el mes más lluvioso del periodo con 97,2 mm de precipitación media mensual multianual. Los meses de octubre y noviembre corresponden al segundo período de lluvias; de ellos, octubre es el más extremo con 111,5 mm de precipitación media mensual multianual. Las temporadas de sequía cubren dos horizontes, el más seco está comprendido entre junio y julio, donde julio es el mes más seco, con 43,3 mm de precipitación media mensual multianual (**Figura 5.1**).

**Figura 5.1 Precipitación mensual Multianual Estación Esc Col Ingeniería**



### **PRECIPITACIÓN DE CORTA DURACIÓN – CURVA DE INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA**

La determinación de las características de la precipitación en el diseño de obras hidráulicas, parte de la utilización de una tormenta o evento extremo, que involucre una relación entre la intensidad de una tormenta, en un delta de tiempo; su duración y las frecuencias o periodos de retorno apropiados para la obra y el sitio. En este sentido, las curvas IDF son representaciones de un evento máximo para un sitio o localidad, con las que el diseñador, apoyado en criterios técnicos y económicos, establece las obras para el control y manejo del drenaje.

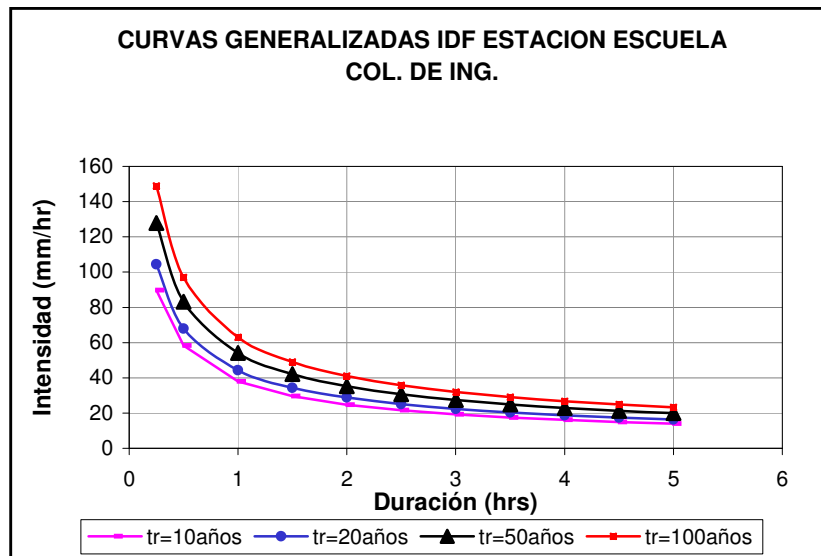
Para, la determinación de la curva generalizada IDF se utilizó el método de Kothyia y Garde (1982), el citado método se basa en la siguiente expresión:

$$I = \frac{0.65 T_r^{0.22}}{t^{0.62}} (R_2^{24h})^{0.92}$$

donde:

$T_r$  es el período de retorno en años,  $t$  es la duración del aguacero en horas y  $R_2^{24h}$  es la precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de 2 años; esta última variable, se obtiene del análisis de frecuencias de los datos de precipitación máxima en 24 horas. Así, entonces, se obtuvo para El Codito un valor de  $R_2^{24}$  de 48 mm, con esta cantidad se establecieron las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia condensadas en la **Figura 5.2**.

**Figura 5.2 Curvas Generalizadas IDF Estación Escuela Colombiana de Ingeniería**



### **Hietogramas de precipitación**

Los hietogramas de precipitación totales y de excesos, son deducidos para diferentes periodos de retorno. Estos muestran el comportamiento de la precipitación para un aguacero de tiempo  $t$ , y cuentan como variable discriminante la relación lluvia-caudal, que finalmente queda representada en el hietograma de precipitación de excesos. La relación lluvia caudal establece el porcentaje de precipitación que se convierte en caudal efectivo de escorrentía en un espacio.

En la determinación de los hietogramas se empleó la información gestada para las curvas IDF, específicamente la proveniente de las curvas para 20, 50 y 100 años de periodo de retorno, curvas provenientes de los registros de precipitación máxima en 24 horas. Para la definición de la relación lluvia-caudal se aplicó el método de Ven Te Chow, adaptado a las condiciones y características de la región en estudio.

Una vez obtenida la variable discriminante, el hietograma de precipitación total, para los tres periodos de retorno ilustrados en la **Figura 5.3** fue deducido gracias al método del bloque alterno. Se asumieron entonces intervalos de tiempo de media hora con un aguacero de duración de 4 horas. Por su parte el hietograma de precipitación de excesos fue establecido mediante la aplicación del método del Soil Conservation Service (1972) que considera la precipitación de excesos como una función de la precipitación total y las abstracciones, que representan la cantidad de lluvia que no se convierte en escorrentía directa, así:

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

donde,  $P$  es la precipitación Total,  $P_e$  es la precipitación de excesos y  $S$  es las abstracciones; estas últimas obtenidas como:

$$S = \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

En la expresión anterior  $CN$  es el número de curva, variable que es función de la cobertura vegetal y del uso del suelo. Según la **tabla 5.5.2.** del texto Hidrología aplicada de Ven Te Chow, propio de áreas abiertas residenciales del grupo hidrológico de suelos,  $C$  alcanza un valor de 89.

Así, entonces, se obtiene:

$$S = (1000/89 - 10) = 1,24$$

El procedimiento de cálculo efectuado permitió obtener la precipitación de excesos restando las abstracciones de los hietogramas de precipitación total, que ambas aparecen en la **Figura 5.3**

#### **5.1.4 PRECIPITACIÓN CRÍTICA-DURACIÓN**

Para determinar la relación precipitación crítica – duración que disparan movimientos en masa, se utilizó el “Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá” (INGEOCIM – UPES, 1998), realizado por la firma INGEOCIM Ltda para la Unidad de Atención y Prevención de Desastres (UPES) de Santafé de Bogotá. En este estudio se encontró que Bogotá se puede dividir en dos zonas a partir de la lluvia crítica y de su duración:

### **Zona Suroccidental**

$$Ll_{crit} = 0,3609 * Llan$$

$$D = 3,2829 * Ll_{crit}^{0,4157}$$

### **Cerros Orientales**

$$Ll_{crit} = 12,6326 + 0.3609 * Llan$$

$$D = 0,04923 * Ll_{crit}$$

Donde:

D = Duración en días

Ll<sub>crit</sub> = Lluvia crítica en mm

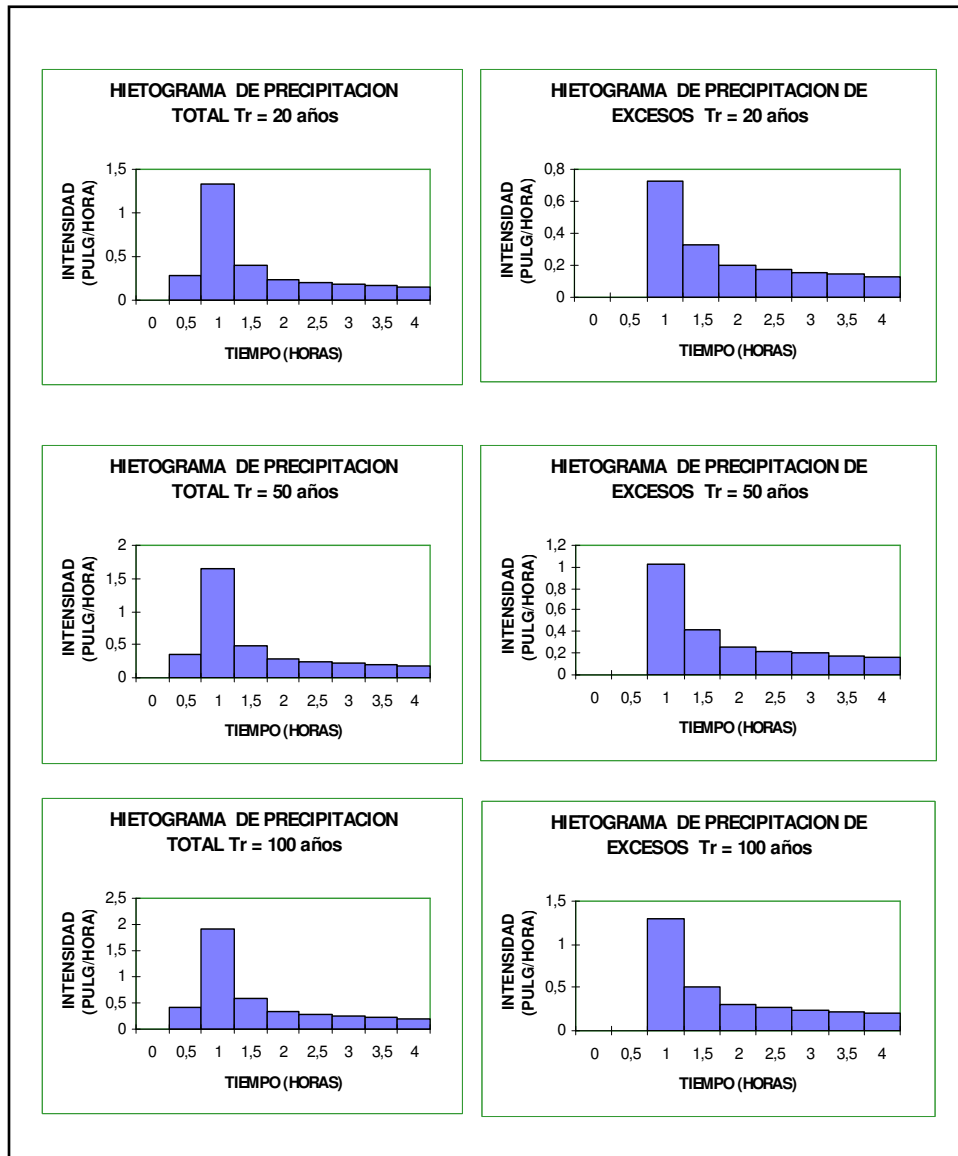
Llan = Lluvia anual en mm

El Codito hace parte de los cerros orientales, por lo tanto su precipitación crítica es de 325,31 mm y su duración de 16 días. Estos dos parámetros son de gran importancia para la evaluación de amenaza, por lo tanto serán retomados al interior del capítulo 6.

No obstante, la irregular distribución de la lluvia precedente – interrumpida – al 8 de mayo, día de activación del deslizamiento principal, parece negar que el agente detonante recaiga en la precipitación acumulada diaria. En este sentido.



Figura 5.3 Hietograma de Precipitación Total



### **5.1.5 CONDICIONES ARTIFICIALES DE DRENAJE**

Este tópico cubre el diagnóstico e investigación de las redes de acueducto y alcantarillado, de los agentes detonantes o contribuyentes de los fenómenos de remoción en masa, las deficiencias en la construcción de las acometidas domiciliarias, las fugas y conexiones erradas y la mala calidad de los materiales utilizados, son algunas de las razones que sopesan su papel como partícipe o activador. Se debe tener en cuenta que las diaclasas poseen una persistencia poco continua, lo que no permite el adecuado flujo de agua, reduce la resistencia al corte, parámetro de especial importancia, junto con la deformabilidad. Todo lo anterior favorece la aparición de grietas de tracción en la corona de los taludes y focos de inestabilidad que antes eran inexistentes.

El barrio el Codito no posee sistema troncal de aguas lluvias o residuales, construido o proyectado ni tan siquiera a mediano plazo (EAAB 2003), es decir en el período 2004-2010.

#### **5.1.5.1 Sistema de Acueducto**

La malla de acueducto diverge desde las seis pulgadas de diámetro en el primer sector, hasta las 3 y 4 pulgadas de diámetro en los dos niveles superiores, lo anterior se obtuvo de la recopilación de información efectuada por el consultor. Si bien el tendido y construcción es oficial, aledaño al sitio de deslizamiento, tanto en la pata como en la corona, discurren redes elementales construidas por los habitantes. La posibilidad de fugas y roturas es latente en las conexiones domiciliarias, todas de autoconstrucción, erigidas con acoples deficientes y sin el cumplimiento de las mínimas normas técnicas, basta con observar los frentes de las construcciones, motivo por el que son altamente vulnerables por exposición. (Véase **Figura 5.4**).

#### **5.1.5.2 Sistema de Aguas Residuales**

Posee un entramado principal de diferentes diámetros; hacia la parte alta las tuberías son de 8 pulgadas, con pendientes bajas en la carrera 23 y altas en la calle 182 y la carrera 24, que permiten alcanzar las cotas clave y de batea necesarias; y en el primer nivel, la red de desagüe está construida en 10 pulgadas de diámetro. Las acometidas domiciliarias, fueron construidas por la comunidad en materiales de gres, intentando solventar barreras altimétricas, mediante conexiones deficientes a cajas de inspección, hasta llegar al colector mas cercano. En tal sentido el sistema es vulnerable en la medida en que las construcciones y las vías lo sean. (Véase **Figura 5.5**).

#### **5.1.5.3 Sistema de Aguas Lluvias**

Se limita a la construcción de algunos canales perimetrales a las vías (Calle 182, Carrera 23) y de algunos sumideros de tipo transversal, que permiten el desagüe de las aguas de escorrentía. La red de evacuación solamente se encuentra separada del alcantarillado de aguas negras, en las estribación nororiental del barrio allí discurre a través de una tubería de 10 pulgadas. Otra condición importante es que en lluvias de gran

intensidad y duración los canales por donde escurren las aguas se ven excedidos por el volumen normal de las precipitaciones. (Véase **Figura 5.5**).

#### **5.1.5.4 Red Matriz**

Como la cota de entrega a las viviendas, es superior a los 2600 msnm, se construyeron tres tanques de distribución de agua potable por gravedad desde la zona norte del Barrio la Estrella (fuera de los límites del barrio el Codito), dichos tanques tienen las siguientes características:

Tanque 1: Se localiza en la cota 2610, su capacidad es de 50m<sup>3</sup> y su altura de 2.50m, pero no surte al barrio el Codito.

Tanque 2: Reside en la cota 2674, su altura es de 3.50m y su capacidad de 850m<sup>3</sup>, surte al barrio el Codito por la carrera 24.

Tanque 1: Está cimentado en la cota 2756, surte al barrio el Codito, por la calle 183 y tiene una capacidad de 1000m<sup>3</sup> y altura de 3.50m.

### **Figura 5.4 Sistema de Acueducto Barrio el Codito**

### **Figura 5.5 Sistema de Alcantarillado y Aguas Lluvias**

### 5.1.6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

SOIL CONSERVATION SERVICE. 1972. Hidrology and water Supply For pond Aquaculture, por Claude E. Boyd, Kyung Hwa Yoo.

## 5.2 COBERTURA Y USOS DEL SUELO

El levantamiento de la cobertura y uso del suelo puede ser definido como el análisis y clasificación de los diferentes tipos de cobertura y usos asociados que el hombre practica en una zona determinada. La COBERTURA es un elemento integrante del paisaje y junto con la geoforma constituyen su expresión visible, y el término USO se aplica al empleo que el hombre da a los diferentes tipos de cobertura, ya sea cíclica o permanente, para satisfacer sus necesidades, es evidente que las características del uso del suelo son el resultado de la interrelación entre los factores físicos o naturales y los factores culturales o humanos.

## 5.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Existen diferentes sistemas de clasificación, preparados con el fin de estudiar coberturas locales con objetivos particulares. La mayoría de ellos toman como punto de partida, las nueve (9) clases del sistema de clasificación de la Unión Geográfica Internacional cuyo propósito fue unificar criterios sobre los diversos usos del suelo.

En el presente estudio, se utiliza el sistema de clasificación de uso y cobertura del suelo CIAF, éste sistema es análogo al propuesto por el ITC, pero se diferencia de él en que fija criterios de jerarquización de clases correspondientes a categorías menores de manera que sean congruentes con las escalas de trabajo (IGAC, 1992). El método establece una clara distinción entre los conceptos de uso y cobertura y los clasifica en grupos diferentes de clases, y puede ser ejecutado mediante la interpretación de imágenes de sensores remotos de diversas fuentes y escalas. La clasificación involucra cuatro niveles de jerarquización que van de lo general a lo detallado así:

- Nivel 1: Exploratorio
- Nivel 2: Reconocimiento
- Nivel 3: Semi-detalle
- Nivel 4: Detalle

Para cada uno de los niveles aplica la clasificación expuesta en la **Tabla 5.1**, como sigue:

**Tabla 5.1 Leyenda y Clasificación de uso y Cobertura de la Tierra**

1ER NIVEL EXPLORATORIO	2DO NIVEL EXPLORATORIO	3ER NIVEL EXPLORATORIO	4TO NIVEL EXPLORATORIO
CONSTRUCCIONES	a. URBANO	1.RESIDENCIAL	*UNIFAMILIARES, MULTIFAMILIARES
		2.INDUSTRIAL	*TEXTIL, FABRIL, TRANSPORTE
		3.COMERCIAL	* TIENDAS, TALLERES
		4.EDUCATIVO	* COLEGIOS, JARDINES
		5.RECREATIVO	* PARQUES, CINES
VEGETACIÓN HERBÁCEA	a. PASTIZALES NATURALES	1. HERBACEOS	* GENEROS, PROTECCIÓN
BOSQUES	b. PLANTADO	2. CONÍFERAS	* ESPECIES, DENSIDAD
TIERRAS ERIALES	a. ROCAS EXPUESTAS	1. MASIVOS	* ESCARPES
	b. SUELOS DESNUDO	1. EROSIÓN PROVOCADA	* REMOSIÓN EN MASA
		2. EROSIÓN NATURAL	* INCIPIENTE

#### 5.4 CLASIFICACIÓN DEL USO Y COBERTURA DEL SUELO

La morfología natural en el Codito ha sido alterada por la intervención del hombre; la explotación indiscriminada de fuentes de material y el doblamiento sin planeación de antiguas canteras, transcriben los rasgos relevantes de su nueva configuración paisajística.

La cobertura de la tierra, entendida como los atributos de la superficie del terreno, está integrada por cuatro componentes: parches de vegetación corta –pastos-, bosques plantados, tierras eriales propias del suelo desnudo y de afloramientos rocosos y, como elemento predominante, obras humanas, este último como elemento trascendente. El uso esencial es el urbano; calles pavimentadas en concreto o a nivel de sub-base y construcciones unifamiliares y en menor medida multifamiliares, asentados desde hace dos décadas, dan el matiz dominante a la mayor parte de la vertiente en especial a los dos primeros frentes de explotación (Niveles uno y dos). El Tercer Piso o tercer Nivel, último pulso de urbanización, agrupa bloques de viviendas rodeados de calles peatonales sin pavimentar, mayor cobertura vegetal y extensos cinturones de rocas expuestas, bien sea en escarpes o en patios de explotación. Acorde con la escala de trabajo y los requerimientos del estudio, se emplea el cuarto nivel: de detalle. Así entonces, el área se subdivide en tres zonas, según se desplantan a lo largo de los antiguos taludes de extracción:

#### **5.4.1 ZONA 1: PRIMER NIVEL**

- 1a1. Construcciones urbanas, de uso residencial, unifamiliar y multifamiliar, en su mayoría de muros portantes confinados y construcciones aporticadas: 78%.
- 1a5. Construcciones urbanas, de uso recreativo, parque: 2%.
- 3a1. Vegetación herbácea descubierta, de pastizales naturales, herbáceos, géneros y protección: 5%.
- 4b2. Bosques de carácter plantado, de coníferas, protector: 4%.
- 6a1. Tierras eriales, Rocas expuestas, masivos, escarpes: 3%.
- 6b2. Tierras eriales, suelo desnudo, erosión natural, incipiente: 8%.

#### **5.4.2 ZONA 2: SEGUNDO NIVEL**

- 1a1. Construcciones urbanas, de uso residencial, unifamiliar y multifamiliar, en su mayoría de muros portantes inconfiados: 31%.
- 1a1. Construcciones urbanas, de uso comercial, en su mayoría tiendas y talleres: 13%.
- 3a1. Vegetación herbácea descubierta, de pastizales naturales, herbáceos, géneros y protección: 26%.
- 6a1. Rocas expuestas, de carácter masivo, escarpes: 5%.
- 6b1. Tierras eriales, suelo desnudo, erosión provocada, remoción en masa: 11%.
- 6b2. Tierras eriales, suelo desnudo, erosión natural, incipiente: 16%.

#### **5.4.3 ZONA 3: TERCER NIVEL**

- 1a1. Construcciones urbanas, de uso residencial, multifamiliares, con muros portantes inconfiados y construcciones en madera (21%).
- 6a1. Tierras eriales, rocas expuestas, de carácter masivo, escarpes (5%).
- 6b2. Tierras eriales, suelo desnudo, erosión natural, incipiente (74%)

Con base en el reconocimiento y en el criterio del cuerpo técnico, en la identificación de la cobertura vegetal y uso actual del suelo, se obtuvo las diferentes categorías de clasificación que se ilustran en el **Plano 7**.



## 6 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE AMENAZA

La primera etapa del análisis de estabilidad se enfocó al estudio direccional de los modos y posibilidades de deslizamiento a lo largo de los planos de debilidad estructural, en el marco de exposición del macizo rocoso, principal ambiente de trabajo en las laderas, y a la determinación de la influencia de las superficies de discontinuidad en los mecanismos de movilización de los depósitos cuaternarios recientes (la brecha de falla y el suelo residual), todo ello a partir de la aplicación del análisis cinemático (Goodman, 1989 y Hoek and Bray, 1974).

En una segunda etapa se modelaron, con ayuda de los métodos de equilibrio límite, para cada zona homogénea, los modos probables de movilización (según el tipo de material y su disposición estratigráfica) en los principales cuerpos del cuaternario, mediante deslizamientos rotacionales y traslacionales, y en los medios rocosos, fallas planares.

### 6.1 ANÁLISIS CINEMÁTICO

En este análisis se evalúan los modos probables de falla para el conjunto de taludes en los que se expresa el macizo rocoso, i.e. las zonas homogéneas: LMA-III-1, LEA-ms-III-1, LPA-III-1, LEA-tr-III-1, LEA-tr-III-2, LEA-tr-III-3 y LEA-tr-IV-1-, contrastándolos con los posibles planos de movilización. La relación geométrica entre las discontinuidades, su ángulo de fricción básico –asumido en esencia igual para todos los planos y en el dominio [27°- 32°] - y la orientación de los cortes determina su posibilidad cinemática. La **Tabla 6.1 a 6.4** lista las características de los taludes estudiados, nombrados de T1 a T164, entre las que se citan rumbo, pendientes máxima y mínima y altura, y el **Plano 9** reseña su ubicación espacial.

El resumen de las memorias del análisis cinemático (véase **Anexo D1**), tanto para las familias de discontinuidades analizadas, como para el conjunto completo de mecanismos se puede observar en la **Tabla 6.5 a 6.11**. En ellas se evidencia que bajo las condiciones geométricas mencionadas para los taludes, los que representan las superficies libres de movilización y del patrón estructural reseñado en el Capítulo 4, Numeral 4.2.2.2, las laderas exhiben, en general, configuración de falla por volteo, salvo en las: T5, T11, T22, T23, T54, T55, T62, T65 a T67, T69 a T72, T77, T85, T86, T88, T95, T99, T100, T102, T104 a T106, T107B, T108, T124, T133, T135, T160 y T162, que representan el 19% del universo estudiado. La falla planar tiene cabida únicamente en el 12% de las superficies, pero sólo en 4 se gesta a lo largo de la estratificación en la T87, la T105 –escenario del deslizamiento del 08 de mayo-, la T107 y la T107A; y la falla en cuña se concentra en el 33 %. Este fenómeno tiene explicación por tres fundamentos básicos, así:

- Las laderas, se encuentran direccionalmente paralelas a la familia promedio de la discontinuidad involucrada.
- Los buzamientos de los planos estructurales desfavorablemente orientados, es decir, con rumbo paralelo al de las laderas, son inferiores o iguales a las inclinaciones de los taludes.

FOPAE:	CONSORCIO GIA - GEOCING	GIA -046-06		CAP. 6 – PAG. 153	
Versión:	1			Fecha	23/10/06
Elaboró:	Nrb, Gmt y Jalg5	Revisó:	JALG	Aprobó:	JALG

**Tabla 6.1 Características de los taludes estudiados**

LADERA	ORIENTACIÓN	ALTURA (M)	ZONA HOMOGÉNEA
T1	N18E/83NW	10.5	LEAtr-I-2
T2	N35W/81SW	11	LEAtr-I-2
T3	N7E/80NW	11.5	LEAtr-I-2
T4	N19W/83SW	8.5	LEAtr-I-2
T5	N67W/78SW	13	LEAtr-I-2
T6	N36W/78SW	11	LEAtr-I-2
T7	N4W/79SW	7.5	LEAtr-I-2
T8	N50W/74SW	10.5	LEAtr-I-2
T9	N29W/73SW	11	LEAtr-I-2
T10	N42W/76SW	11	LEAtr-I-2
T11	N65W/75SW	15	LEAtr-I-2
T12	N02E/70NW	15	LEAtr-I-2
T13	N17E/70NW	20.5	LEAtr-I-2
T14	N08E/70NW	11.5	LEAtr-I-2
T15	N02E/70NW	15.5	LEAtr-I-2
T16	N14E/90NW	17.5	LEAtr-I-2
T17	N04W/90SW	10.5	LEAtr-I-2
T18	N29E/90NW	9	LEAtr-I-2
T19	N55E/90NW	15.5	LEAtr-I-2
T20	N55E/90NW	3	LEAtr-I-2
T21	N55E/90NW	8.5	LEAtr-I-2
T22	N55E/90NW	5.5	LEAtr-I-2
T23	N55E/90NW	7.5	LEAtr-I-2

T24	N55E/90NW	8.5	LEAtr-I-2
T25	N55E/90NW	8	LEAtr-I-2
T26	N26W/82SW	7	LEAtr-I-2
T27	N7E/77NW	15.5	LEAtr-I-2
T28	N28E/72NW	10.5	LEAtr-I-2
T29	N12E/73NW	11.5	LEAtr-I-2
T30	N1W/75SW	15.5	LEAtr-I-2
T31	N32E/77NW	12.5	LEAtr-I-2
T32	N6W/70SW	10	LEAtr-I-2
T33	N19W/78SW	8	LEAtr-I-2
T34	N6W/76SW	29.5	LEAtr-I-2
T35	N24W/70SW	13.5	LEAtr-I-2
T36	N7W/74SW	11	LEAtr-I-2
T37	N46W/61SW	4.5	LEAtr-I-2
T38	N17W/68SW	17	LEAtr-I-2
T39	N9E/67NW	14	LEAtr-I-2
T40	N24E/70NW	21.5	LEAtr-I-2
T41	N12E/74NW	15.5	LEAtr-I-2
T42	N52E/72NW	13	LEAtr-I-2
T43	N36W/63SW	6	LEAtr-I-2
T44	N10W/73SW	14.5	LEAtr-I-2
T45	N31W/74SW	19	LEAtr-I-2

**Tabla 6.2 Características de los Taludes Estudiados**

LADERA	ORIENTACIÓN	ALTURA (m)	ZONA HOMOGÉNEA
T46	N5W/76SW	9	LEAtr-I-2
T47	N12W/76SW	11.5	LEAtr-I-1
T48	NSW	17	LEAtr-I-1
T49	N27W/77SW	15	LEAtr-I-1
T50	N4W/81SW	9	LEAtr-I-1
T51	N20E/80NW	7.5	LEAtr-I-1
T52	N9E/81NW	8	LEAtr-I-1
T53	N42W/78SW	9.5	LEAtr-I-1
T54	N61W/84SW	10	LEAtr-I-1
T55	N60W/80SW	8	LEAtr-I-1
T56	N10W/78SW	12	LEAtr-I-1
T57	N45W/43SW	4	LEAtr-I-1
T58	N30W/44SW	6.5	LEAtr-I-1
T59	N21W/57SW	9	LEAtr-I-1
T60	N11W/58SW	12	LEAtr-I-1
T61	N39E/49NW	9.5	LEAtr-I-1
T62	N81E/62NW	7	LEAtr-I-1
T63	N6E/70NW	6.5	LEAtr-I-1
T64	N37E/69NW	6.5	LEAtr-I-1
T65	N86E/71NW	5.5	LEAtr-I-1
T66	N73W/50NE	3	LEAtr-I-1
T67	N83W/63NE	5.5	LEAtr-I-1

T68	N40E/71NW	6.5	LEAtr-I-1
T69	N75W/70NE	6	LEAtr-I-1
T70	N67E/75NW	4.5	LEAtr-I-1
T71	N86W/78NE	7	LEAtr-I-1
T72	N73E/78NW	5	LEAtr-I-1
T73	N39E/83NW	3	LEAtr-I-1
T74	N33E/73NW	4.5	LEAtr-I-1
T75	N23E/77NW	4.5	LEAtr-I-1
T76	N51E/69NW	6	LEAtr-I-1
T77	N66E/83NW	3.5	LEAtr-I-1
T78	N11W/67SW	2.5	LEAtr-I-1
T79	N12E/80NW	4	LEAtr-I-1
T80	N36E/78NW	3	LEAtr-I-1
T81	N43E/78NW	3	LEAtr-I-1
T82	N18E/85NW	4	LEAtr-I-1
T83	N12W/62SW	3	LEAtr-I-1
T84	N29E/69NW	4	LEAtr-I-1
T85	N61W/50SW	6	LEAtr-III-2

**Tabla 6.3 Características de los Taludes Mencionados**

LADERA	ORIENTACIÓN	ALTURA (M)	ZONA HOMOGÉNEA
T86	N62W/65SW	2.5	LEAtr-III-2
T87	N38W/54SW	6.5	LEAtr-III-2
T88	N13W/57SW	7	LEAtr-III-2

T89	N9E/68NW	10.5	LEAtr-III-2
T90	N37W/62SW	7	LEAtr-III-2
T91	N9E/71NW	6	LEAtr-III-2
T92	N48W/73SW	4.5	LEAtr-III-2
T93	N27W/65SW	4.5	LEAtr-III-2
T94	N56W/52SW	3	LEAtr-III-2
T95	N18W/56SW	3	LEAtr-III-2
T96	N27W/57SW	3	LEAtr-III-2
T97	N6E/55NW	28	LEAtr-III-1
T98	N13E/48NW	20	LEAtr-III-1
T99	N7W/64SW	29	LEAtr-III-1
T100	N11W/67SW	5	LEAtr-III-1
T101	N5E/61NW	9.5	LEAtr-III-1
T102	N21W/53SW	8.5	LEAtr-III-1
T103	N27E/82NW	11.5	LEAtr-III-1
T104	N13W/35SW	10.5	LPA-III-1
T105	N22W/42SW	22.5	LEAms-III-1
T106	N16W/30SW	51	LEAms-III-1
T107	N32W/64SW	12	LEAms-III-1
T108	N80W/75SW	25.5	LEAtr-IV-I
T109	N40W/73SW	29	LEAtr-IV-I
T110	N12W/73SW	25	LEAtr-IV-I
T111	N37W/71SW	26	LEAtr-IV-I
T112	N29W/70SW	30.5	LEAtr-IV-I
T113	N8W/70SW	29	LEAtr-IV-I
T114	N31W/66SW	18	LEAtr-IV-I

T115	N9W/65SW	19	LEAtr-IV-I
T116	N35W/71SW	21	LEAtr-IV-I
T117	N31W/70SW	19	LEAtr-IV-I
T118	N15E/73NW	16	LEAtr-IV-I
T119	N56W/73SW	4.5	LEAtr-IV-I
T120	N8W/80SW	5	LEAtr-IV-I
T121	N7E/79NW	9	LEAtr-IV-I
T122	N22W/71SW	6.5	LEAtr-IV-I
T123	N45E/77NW	4.5	LEAtr-IV-I
T124	N71E/76NW	4.5	LEAtr-IV-I
T125	N39E/88NW	6.5	LEAtr-IV-I

**Tabla 6.4 Características de los Taludes Mencionados**

LADERA	ORIENTACIÓN	ALTURA (M)	ZONA HOMOGÉNEA
T126	N27E/77NW	21	LEAtr-IV-I
T127	N36E/86NW	14	LEAtr-IV-I
T128	N3E/87NW	7.5	LEAtr-IV-I
T129	N4W/88SW	16.5	LEAtr-IV-I
T130	N34E/83NW	6	LEAtr-IV-I
T131	N5W/81SW	20.5	LEAtr-IV-I
T132	N42W/72SW	23	LEAtr-IV-I
T133	N80.0W/74SW	31	LEAtr-IV-I
T134	N39W/80SW	27	LEAtr-IV-I
T135	N75E/82SE	23.5	LEAtr-IV-I

T136	N57W/83SW	32	LEAtr-IV-I
T137	N48W/82SW	26	LEAtr-IV-I
T138	N37W/82SW	20.5	LEAtr-IV-I
T139	N34E/85NW	25	LEAtr-IV-I
T140	N5E/87NW	24	LEAtr-IV-I
T141	N41W/88SW	22.5	LEAtr-IV-I
T142	N10E/86NW	26.5	LEAtr-IV-I
T143	N23W/89SW	19	LEAtr-IV-I
T144	N17W/90SW	32	LEAtr-IV-I
T145	N12W/89SW	16	LEAtr-IV-I
T146	N29E/86NW	20.5	LEAtr-IV-I
T147	N5E/86NW	20	LEAtr-IV-I
T148	N38W/85SW	31.5	LEAtr-IV-I
T149	N20W/84SW	24.5	LEAtr-IV-I
T150	N31E/81NW	35	LEAtr-IV-I
T151	N47E/81NW	29	LEAtr-IV-I
T152	N30E/82NW	27	LEAtr-IV-I
T153	N20W/83SW	36	LEAtr-IV-I
T154	N4E/81NW	37	LEAtr-IV-I
T155	N37W/82SW	30.5	LEAtr-IV-I
T156	N2W/84SW	30	LEAtr-IV-I
T157	N37W/86SW	21.5	LEAtr-IV-I
T158	N50W/88SW	16	LEAtr-IV-I
T159	N34W/86SW	28.5	LEAtr-IV-I
T160	N61W/85SW	23.5	LEAtr-IV-I
T161	N41W/85SW	32	LEAtr-IV-I



T162	N75E/81NW	28	LEAtr-IV-I
T163	N51W/84SW	21	LEAtr-IV-I
T164	N59W/73SW	19.5	LEAtr-IV-I

- El ángulo de fricción básico de los planos estructurales con posibilidad cinemática, es inferior tanto al buzamiento de la mayoría de las superficies de movilización (falla planar o falla por volteo), como al de sus intersecciones (falla en cuña).

Contrario al limitado grupo de escenarios con predisposición cinemática, el abanico de superficies de movilización es tan diverso como los dominios mismos; las familias preferenciales y sus intersecciones difícilmente se repiten entre ellos, aun para dominios o subdominios contiguos. Premisa que se refleja a continuación; en el dominio 1 el volteo se da por las discontinuidades D1 a D3 y eventualmente por la D4; las cuñas dominantes se circunscriben a las intersecciones:  $I_{17}$  (T5, T11 y T23),  $I_{27}$ ,  $I_{37}$ ,  $I_{26}$ ,  $I_{36}$ ,  $I_{47}$ ,  $I_{67}$ ,  $I_{46}$ , y retrabajan los cortes entre el T66 al T72, el T77 y el T82; y la falla planar se incuba por las diaclasas D6 y D7 en T73, y T18 y T48, respectivamente.

En el dominio 3-1 las fallas por volteo se evidencian en los planos D3, D4 y D5, las de cuña por las intersecciones  $I_{12}$  e  $I_{13}$  y las de tipo planar por E1 (T87) y D1 (en las unidades T89, T91, T101 y T103); en el dominio 3-3, la estratificación E3 representa el plano de movilización preferencial para la falla planar, las diaclasas D3 y D4 para volteo y las intersecciones  $I_{12}$ ,  $I_{31}$  e  $I_{32}$  si se trata de cuñas. Y en lo que respecta al dominio 3-2, no hay posibilidad cinemática de falla por las discontinuidades. Y en el dominio 4 las discontinuidades D7, D8 y D9 permiten las fallas por volteo y las D2, D3, D4 y D5 la falla planar. Las fallas en cuña se conjugan en las discontinuidades D1, D2, D3, D4, D5, D6, D8 y D9.

Si bien la posibilidad cinemática de falla por volteo rige a priori todos los cortes, carece de condiciones físicas y geométricas para su desarrollo, el escalonamiento ocasionado por las fallas, que interrumpen la persistencia y el espaciamiento de las discontinuidades (que describen bloques de tamaño grande) inhiben su formación. Por último, la movilización de los cuaternarios (i.e. llenos antrópicos y suelos residuales), no está controlada o condicionada por el patrón estructural del macizo. Los planos de diaclasamiento, en ningún caso son receptores o sirven de superficie de reposo o de despegue de los cuerpos antrópicos, y la estratificación, o difiere en su azimut de buzamiento con el de las superficies de movilización de los depósitos o diagrama inclinaciones superiores a las del contacto suelo-roca.

A pesar de lo anterior, este análisis representa tan sólo la posibilidad cinemática de las diferentes superficies a través de los planos de discontinuidad involucrados, por lo que debe contrastarse con las evidencias de campo y con la modelación de estabilidad (véase numeral 6.2). Su objetivo no es otro, sino validar los resultados aquí obtenidos, y confirmar que más que el reflejo de un ejercicio numérico, es de su disposición natural.

**Tabla 6.5 Resumen del Análisis Cinemático**

Ladera		Familias de Discontinuidades		Posibilidad Cinemática		
ID	Orientación	Planos	Cuñas	Planar	En Cuña	Volteo
T1	N18E/83NW	E1=240/18 D1=126/82 D2=80/71 D3=56/72 D4=24/80 D5=2/81 D6=314/81 D7=275/89	l <sub>E11</sub> =214/16 l <sub>E12</sub> =168/6 l <sub>E13</sub> =326/1.5 l <sub>E14</sub> =296/10 l <sub>E16</sub> =227/18 l <sub>E17</sub> =185/10 l <sub>13</sub> =62/72 l <sub>14</sub> =71/75 l <sub>15</sub> =63/72 l <sub>16</sub> =40/25 l <sub>17</sub> =187/74 l <sub>23</sub> =76/70 l <sub>24</sub> =83/71 l <sub>25</sub> =67/70 l <sub>26</sub> =28/60 l <sub>27</sub> =5/36 l <sub>34</sub> =86/69 l <sub>35</sub> =63/72 l <sub>36</sub> =21/68 l <sub>37</sub> =4/62 l <sub>45</sub> =28/80 l <sub>46</sub> =355/78 l <sub>47</sub> =2/78 l <sub>56</sub> =338/80 l <sub>57</sub> =0/81 l <sub>67</sub> =1.5/77	N.A	N.A	D1 D2
T2	N35W/81SW			N.A	N.A	D2 D3
T3	N7E/80NW			N.A	N.A	D1 D2
T4	N19W/83SW			N.A	N.A	D2 D3
T5	N67W/78SW			N.A	D1/D7	N.A
T6	N36W/78SW			N.A	N.A	D2 D3
T7	N4W/79SW			N.A	N.A	D2
T8	N50W/74SW			N.A	N.A	D3 D4
T9	N29W/73SW			N.A	N.A	D2 D3
T10	N42W/76SW			N.A	N.A	D3 D4
T11	N65W/75SW			N.A	D1/D7	N.A
T12	N41W/74SW			N.A	N.A	D3 D4
T13	N29W/76SW			N.A	N.A	D2 D3
T14	N54W/75SW			N.A	N.A	D3 D4
T15	N2E/80NW			N.A	N.A	D2
T16	N41W/85SW			N.A	N.A	D3 D4
T17	N26W/84SW			N.A	N.A	D2 D3
T18	N17E/89NW			D7	N.A	D1 D2
T19	N7W/73SW			N.A	N.A	D2 D3
T20	N24W/83SW			N.A	N.A	D2 D3
T21	N7W/87SW			N.A	N.A	D2 D3

**Tabla 6.6 Resumen de Análisis Cinemático**

Ladera		Familias de Discontinuidades		Posibilidad Cinemática		
ID	Orientación	Planos	Cuñas	Planar	En Cuña	Volteo
T22	N76E/76NW	E1=240/18 D1=126/82 D2=80/71 D3=56/72 D4=24/80 D5=2/81 D6=314/81 D7=275/89	I <sub>E11</sub> =214/16 I <sub>E12</sub> =168/6 I <sub>E13</sub> =326/1.5 I <sub>E14</sub> =296/10 I <sub>E16</sub> =227/18 I <sub>E17</sub> =185/10 I <sub>13</sub> =62/72 I <sub>14</sub> =71/75 I <sub>15</sub> =63/72 I <sub>16</sub> =40/25 I <sub>17</sub> =187/74 I <sub>23</sub> =76/70 I <sub>24</sub> =83/71 I <sub>25</sub> =67/70 I <sub>26</sub> =28/60 I <sub>27</sub> =5/36 I <sub>34</sub> =86/69 I <sub>35</sub> =63/72 I <sub>36</sub> =21/68 I <sub>37</sub> =4/62 I <sub>45</sub> =28/80 I <sub>46</sub> =355/78 I <sub>47</sub> =2/78 I <sub>56</sub> =338/80 I <sub>57</sub> =0/81 I <sub>67</sub> =1.5/77	N.A	N.A	N.A
T23	N89W/82SW			N.A	D1/D7	N.A
T24	N53W/82SW			N.A	N.A	D3
T25	N13W/82SW			N.A	N.A	D4
T26	N26W/82SW			N.A	N.A	D2
T27	N7E/77NW			N.A	N.A	D3
T28	N28E/72NW			N.A	N.A	D2
T29	N12E/73NW			N.A	N.A	D1
T30	N1W/75SW			N.A	N.A	D1
T31	N32E/77NW			N.A	N.A	D2
T32	N6W/70SW			N.A	N.A	D1
T33	N19W/78SW			N.A	N.A	D2
T34	N6W/76SW			N.A	N.A	D3
T35	N24W/70SW			N.A	N.A	D2
T36	N7W/74SW			N.A	N.A	D3
T37	N46W/61SW			N.A	N.A	D2
T38	N17W/68SW			N.A	N.A	D3
T39	N9E/67NW			N.A	N.A	D1
T40	N24E/70NW			N.A	N.A	D2
T41	N12E/74NW			N.A	N.A	D1
T42	N52E/72NW			N.A	N.A	D2
T43	N36W/63SW			N.A	N.A	D1
T44	N10W/73SW			N.A	N.A	D2
T45	N31W/74SW			N.A	N.A	D3
T46	N5W/76SW			N.A	N.A	D2
T47	N12W/76SW			N.A	N.A	D3

**Tabla 6.7 Resumen de Análisis Cinemático**

Ladera		Familias de Discontinuidades		Posibilidad Cinemática		
ID	Orientación	Planos	Cuñas	Planar	En Cuña	Volteo
T48	NS/W	E1=240/18 D1=126/82 D2=80/71 D3=56/72 D4=24/80 D5=2/81 D6=314/81 D7=275/89	l <sub>E11</sub> =214/16 l <sub>E12</sub> =168/6 l <sub>E13</sub> =326/1.5 l <sub>E14</sub> =296/10 l <sub>E16</sub> =227/18 l <sub>E17</sub> =185/10 l <sub>13</sub> =62/72 l <sub>14</sub> =71/75 l <sub>15</sub> =63/72 l <sub>16</sub> =40/25 l <sub>17</sub> =187/74 l <sub>23</sub> =76/70 l <sub>24</sub> =83/71 l <sub>25</sub> =67/70 l <sub>26</sub> =28/60 l <sub>27</sub> =5/36 l <sub>34</sub> =86/69 l <sub>35</sub> =63/72 l <sub>36</sub> =21/68 l <sub>37</sub> =4/62 l <sub>45</sub> =28/80 l <sub>46</sub> =355/78 l <sub>47</sub> =2/78 l <sub>56</sub> =338/80 l <sub>57</sub> =0/81 l <sub>67</sub> =1.5/77	D7	N.A	D2
T49	N27W/77SW			N.A	N.A	D2
T50	N4W/81SW			N.A	N.A	D3
T51	N20E/80NW			N.A	N.A	D2
T52	N9E/81NW			N.A	N.A	D1
T53	N42W/78SW			N.A	N.A	D2
T54	N61W/84SW			N.A	N.A	D3
T55	N60W/80SW			N.A	N.A	D4
T56	N10W/78SW			N.A	N.A	N.A
T57	N45W/43SW			N.A	N.A	N.A
T58	N30W/44SW			N.A	N.A	D2
T59	N21W/57SW			N.A	N.A	D3
T60	N11W/58SW			N.A	N.A	D2
T61	N39E/49NW			N.A	N.A	D3
T62	N81E/62NW			N.A	N.A	D2
T63	N6E/70NW			N.A	N.A	N.A
T64	N37E/69NW			N.A	N.A	D2
T65	N86E/71NW			N.A	N.A	D1
T66	N73W/50NE			N.A	N.A	N.A
T67	N83W/63NE			N.A	N.A	N.A
T68	N40E/71NW			N.A	N.A	N.A
T69	N75W/70NE			N.A	N.A	D2/D6 D2/D7 D3/D6 D3/D7
T70	N67E/75NW			N.A	N.A	N.A
T71	N86W/78NE			N.A	N.A	D2/D7 D3/D6 D3/D7 D4/D7 D6/D7
T72	N73E/78NW			N.A	N.A	D4/D6
T73	N39E/83NW	N.A	N.A	N.A		
T74	N33E/73NW	N.A	N.A	D6		
T75	N23E/77NW	N.A	N.A	N.A		
				N.A	N.A	D1

**Tabla 6.8 Resumen de Análisis Cinemático**

Ladera		Familias de Discontinuidades		Posibilidad Cinemática				
ID	Orientación	Planos	Cuñas	Planar	En Cuña	Volteo		
T76	N51E/69NW	E1=240/18 D1=126/82 D2=80/71 D3=56/72 D4=24/80 D5=2/81 D6=314/81 D7=275/89	l <sub>E11</sub> =214/16 l <sub>E12</sub> =168/6 l <sub>E13</sub> =326/1.5 l <sub>E14</sub> =296/10 l <sub>E16</sub> =227/18 l <sub>E17</sub> =185/10 l <sub>13</sub> =62/72 l <sub>14</sub> =71/75 l <sub>15</sub> =63/72 l <sub>16</sub> =40/25 l <sub>17</sub> =187/74 l <sub>23</sub> =76/70 l <sub>24</sub> =83/71 l <sub>25</sub> =67/70 l <sub>26</sub> =28/60 l <sub>27</sub> =5/36 l <sub>34</sub> =86/69 l <sub>35</sub> =63/72 l <sub>36</sub> =21/68 l <sub>37</sub> =4/62 l <sub>45</sub> =28/80 l <sub>46</sub> =355/78 l <sub>47</sub> =2/78 l <sub>56</sub> =338/80 l <sub>57</sub> =0/81 l <sub>57</sub> =1.5/77	N.A	N.A	D1		
T77	N66E/83NW			N.A	D2/D7 D3/D6 D3/D7 D4/D7 D6/D7	N.A		
T78	N11W/67SW			N.A	N.A	D2 D3		
T79	N12E/80NW			N.A	N.A	D1 D2		
T80	N36E/78NW			N.A	N.A	D1		
T81	N43E/78NW			N.A	N.A	D1		
T82	N18E/85NW			N.A	D2/D7 D3/D6 D3/D7 D4/D7 D6/D7	D1 D2		
T83	N12W/62SW			N.A	N.A	D2 D3		
T84	N29E/69NW			N.A	N.A	D1		
T85	N61W/50SW			E1=260/6 D1=287/56 D2=310/89 D3=28/78 D4=37/71 D5=114/82	l <sub>E11</sub> =199/3 l <sub>E12</sub> =220/5 l <sub>E13</sub> =299/5 l <sub>E14</sub> =308/4 l <sub>E15</sub> =203/3 l <sub>12</sub> =220/31 l <sub>13</sub> =315/53 l <sub>14</sub> =330/48 l <sub>15</sub> =202/8 l <sub>23</sub> =36/77 l <sub>24</sub> =37/71 l <sub>25</sub> =39/60 l <sub>34</sub> =104/48 l <sub>35</sub> =60/76 l <sub>45</sub> =48/71	N.A	D1/D2	N.A
T86	N62W/65SW					N.A	D1/D2	N.A
T87	N38W/54SW					E1	D1/D2	D3 D4
T88	N13W/57SW					N.A	N.A	N.A
T89	N9E/68NW					D1	N.A	D5
T90	N37W/62SW	N.A	D1/D2			D3 D4		
T91	N9E/71NW	D1	N.A			D5		
T92	N48W/73SW	N.A	D1/D2			D3 D4		
T93	N27W/65SW	N.A	N.A			D4		
T94	N56W/52SW	N.A	D1/D2			D3 D4		
T95	N18W/56SW	N.A	N.A			N.A		
T96	N27W/57SW	N.A	N.A			D4		
T97	N6E/55NW	N.A	N.A			D5		
T98	N13E/48NW	N.A	N.A			D5		
T99	N7W/64SW	N.A	N.A	N.A				
T100	N11W/67SW	N.A	N.A	N.A				
T101	N5E/61NW	D1	N.A	D5				
T102	N21W/53SW	N.A	N.A	N.A				
T103	N27E/82NW	D1	D1/D3	D5				

**Tabla 6.9 Resumen de Análisis Cinemático**

Ladera		Familias de Discontinuidades		Posibilidad Cinemática			
ID	Orientación	Planos	Cuñas	Planar	En Cuña	Volteo	
T104	N13W/35SW	E1=230/18 D1=287/56 D2=310/89 D3=28/78 D4=37/71 D5=114/82	l <sub>E21</sub> =209/17 l <sub>E22</sub> =220/18 l <sub>E23</sub> =299/7 l <sub>E24</sub> =308/4 l <sub>E25</sub> =201/16	N.A	N.A	N.A	
T105	N22W/42SW	E1=236/30	l <sub>E31</sub> =218/29 l <sub>E32</sub> =220/29 l <sub>E33</sub> =301/13 l <sub>E34</sub> =310/9 l <sub>E35</sub> =200/25	E3	N.A	N.A	
T106	N16W/30SW	D1=287/56		N.A	N.A	N.A	
T107	N32W/64SW	D2=310/89		E3	E3D1 E3D2 D1D2	D4	
T107A	N47W/85SW	D3=28/78 D4=37/71		E3	E3D1 E3D2 D1D2	D3 D4	
T107B	N13W/83SW	D5=114/82		N.A	N.A	N.A	
T108	N80W/75SW	E1=323/15 D1=201/88 D2=212/85 D3=232/79 D4=284/87 D5=313/87 D6=44/88 D7=79/85 D8=108/85 D9=128/85	l <sub>E11</sub> =290/13 l <sub>E12</sub> =300/14 l <sub>E13</sub> =319/15 l <sub>E14</sub> =14/10 l <sub>E15</sub> =43/3 l <sub>E16</sub> =315/15 l <sub>E17</sub> =350/13 l <sub>E18</sub> =19/9 l <sub>E19</sub> =38/4 l <sub>12</sub> =286/72 l <sub>13</sub> =285/73 l <sub>14</sub> =258/87 l <sub>15</sub> =265/86 l <sub>16</sub> =122/80 l <sub>17</sub> =126/82 l <sub>18</sub> =132/85 l <sub>19</sub> =132/85 l <sub>23</sub> =288/72 l <sub>24</sub> =227/85 l <sub>25</sub> =251/83 l <sub>26</sub> =130/59 l <sub>27</sub> =145/78 l <sub>28</sub> =160/82 l <sub>29</sub> =168/83 l <sub>34</sub> =208/78 l <sub>35</sub> =239/79	N.A	D3/D8 D4/D8 D4/D9	N.A	
T109	N40W/73SW			N.A	N.A	D7 D8	
T110	N12W/73SW			N.A	N.A	D8	
T111	N37W/71SW			N.A	N.A	D7 D8	
T112	N29W/70SW			N.A	N.A	D7 D8	
T113	N8W/70SW			N.A	N.A	D7	
T114	N31W/66SW			N.A	N.A	D8	
T115	N9W/65SW			N.A	N.A	D8	
T116	N35W/71SW			N.A	N.A	D7 D8	
T117	N31W/70SW			N.A	N.A	D7 D8	
T118	N15E/73NW			N.A	N.A	D1/D2 D1/D3 D2/D3	D8 D9
T119	N56W/73SW			N.A	N.A	D4/D8 D4/D9	D7
T120	N8W/80SW			N.A	N.A	N.A	D8
T121	N7E/79NW			N.A	N.A	D1/D2 D1/D3 D2/D3	D8
T122	N22W/71SW			N.A	N.A	N.A	D7 D8
T123	N45E/77NW			N.A	N.A	N.A	D3/D6 D9
T124	N71E/76NW	N.A	N.A	N.A	N.A		
T125	N39E/88NW	N.A	N.A	D5	D3/D6 D4/D5 D1/D2	D9	
T126	N27E/77NW	N.A	N.A	N.A	D1/D3 D2/D3 D3/D6	D9	

**Tabla 6.10 Resumen de Análisis Cinemático**

Ladera		Familias de Discontinuidades		Posibilidad Cinemática		
ID	Orientación	Planos	Cuñas	Planar	En Cuña	Volteo
T127	N36E/86NW	E1=323/15 D1=201/88 D2=212/85 D3=232/79 D4=284/87 D5=313/87 D6=44/88 D7=79/85 D8=108/85 D9=128/85	I <sub>E11</sub> =290/13 I <sub>E12</sub> =300/14 I <sub>E1E3</sub> =319/15 I <sub>E14</sub> =14/10 I <sub>E15</sub> =43/3 I <sub>E16</sub> =315/15 I <sub>E17</sub> =350/13 I <sub>E18</sub> =19/9 I <sub>E19</sub> =38/4 I <sub>12</sub> =286/72 I <sub>13</sub> =285/73 I <sub>14</sub> =258/87 I <sub>15</sub> =265/86 I <sub>16</sub> =122/80 I <sub>17</sub> =126/82 I <sub>18</sub> =132/85 I <sub>19</sub> =132/85 I <sub>23</sub> =288/72 I <sub>24</sub> =227/85 I <sub>25</sub> =251/83 I <sub>26</sub> =130/59 I <sub>27</sub> =145/78 I <sub>28</sub> =160/82 I <sub>29</sub> =168/83 I <sub>34</sub> =208/78 I <sub>35</sub> =239/79	N.A	D1/D2 D2/D3 D3/D6	D9
T128	N3E/87NW			D4	D1/D2 D1/D3 D1/D4 D1/D5 D2/D3	D8
T129	N4W/88SW			D4	D1/D2 D1/D3 D1/D4 D1/D5 D2/D3	D8
T130	N34E/83NW			N.A	D1/D2 D1/D3 D2/D3 D3/D6	D9
T131	N5W/81SW			N.A	D1/D3	D8
T132	N42W/72SW			N.A	N.A	D7
T133	N80.0W/74SW			N.A	D3/D8 D4/D8 D4/D9	N.A
T134	N39W/80SW			D3	D3/D5	D7 D8
T135	N75E/82SE			N.A	D2/D7 D2/D8 D3/D7 D3/D8	N.A
T136	N57W/83SW			D3	D3/D4 D3/D9 D4/D8 D4/D9	D7
T137	N48W/82SW			D3	D3/D4 D3/D5 D4/D9	D7
T138	N37W/82SW			D3	D2/D5 D3/D5	D7 D8
T139	N34E/85NW			N.A	D1/D2 D1/D3 D2/D3 D3/D6	D9
T140	N5E/87NW			D4	D1/D2 D1/D3 D1/D4 D1/D5 D2/D3	D8

**Tabla 6.11 Resumen de Análisis Cinemático**

Ladera		Familias de Discontinuidades		Posibilidad Cinemática			
ID	Orientación	Planos	Cuñas	Planar	En Cuña	Volteo	
T141	N41W/88SW	E1=323/15 D1=201/88 D2=212/85 D3=232/79 D4=284/87 D5=313/87 D6=44/88 D7=79/85 D8=108/85 D9=128/85	I <sub>E11</sub> =290/13 I <sub>E12</sub> =300/14 I <sub>E13</sub> =319/15 I <sub>E14</sub> =14/10 I <sub>E15</sub> =43/3 I <sub>E16</sub> =315/15 I <sub>E17</sub> =350/13 I <sub>E18</sub> =19/9 I <sub>E19</sub> =38/4 I <sub>12</sub> =286/72 I <sub>13</sub> =285/73 I <sub>14</sub> =258/87 I <sub>15</sub> =265/86 I <sub>16</sub> =122/80 I <sub>17</sub> =126/82 I <sub>18</sub> =132/85 I <sub>19</sub> =132/85 I <sub>23</sub> =288/72 I <sub>24</sub> =227/85 I <sub>25</sub> =251/83 I <sub>26</sub> =130/59 I <sub>27</sub> =145/78 I <sub>28</sub> =160/82 I <sub>29</sub> =168/83 I <sub>34</sub> =208/78 I <sub>35</sub> =239/79	D2 D3	D2/D4 D3/D5	D7	
T142	N10E/86NW			N.A	D1/D2 D1/D3 D1/D5 D2/D3	D8 D9	
T143	N23W/89SW			D3	D1/D4 D1/D5 D2/D4 D2/D5 D3/D5	D7 D8	
T144	N17W/90SW			N.A	D1/D4 D1/D5 D2/D5 D3/D5	D7 D8	
T145	N12W/89SW			N.A	D1/D4 D1/D5 D2/D5 D3/D5	D8	
T146	N29E/86NW			N.A	D1/D2 D1/D3 D2/D3 D3/D6	D9	
T147	N5E/86NW			N.A	D1/D2 D1/D3 D1/D5 D2/D3	D8	
T148	N38W/85SW				D2 D3	D2/D4 D2/D5 D3/D5	D7 D8
T149	N20W/84SW				D3	D2/D5 D3/D5	D7 D8
T150	N31E/81NW				N.A	D1/D2 D1/D3 D2/D3 D3/D6	D9
T151	N47E/81NW				N.A	D3/D6	D9
T152	N30E/82NW				N.A	D1/D2 D1/D3 D2/D3 D3/D6	D9
T153	N20W/83SW				D3	D2/D5 D3/D5	D7 D8
T154	N4E/81NW				N.A	D1/D2 D1/D3 D2/D3	D8
T155	N37W/82SW				D3	D3/D5	D7 D8
T156	N2W/84SW				N.A	D1/D2 D1/D3 D2/D3 D2/D5	D8
T157	N37W/86SW				D3	D2/D4 D2/D5 D3/D5	D7 D8
T158	N50W/88SW				D1 D2 D3	D2/D4 D3/D4 D3/D5 D4/D9	D7
T159	N34W/86SW				D3	D2/D4 D2/D5 D3/D5	D7 D8
T160	N61W/85SW				D2	D2/D4 D3/D4 D3/D9 D4/D8 D4/D9	N.A
T161	N41W/85SW		D2 D3	D2/D4 D3/D5	D7		
T162	N75E/81NW		N.A	N.A	N.A		
T163	N51W/84SW		D3	D3/D4 D3/D5 D4/D9	D7		
T164	N59W/73SW		N.A	D4/D8 D4/D9	D7		



## 6.2 ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE ESTABILIDAD

Con este tópico se pretende más que obtener valores absolutos del factor de seguridad para condiciones unitemporales (caso de los modelos determinísticos), ilustrar el espectro de posibilidades para el que los cortes pueden mantenerse estables o fallar. Por ello, el resultado de la evaluación de estabilidad tiene mayor representatividad cuando se expresa en términos de probabilidad de falla, que cuando reporta un factor de seguridad, el que no es sino el simbolismo numérico de uno de los múltiples eventos factibles.

De esta forma, el análisis de estabilidad tiene como objetivo principal servir de insumo para la estimación de la probabilidad condicional de falla, mediante la evaluación del factor de seguridad F.S. como parámetro específico de estabilidad (Sánchez, 2000). Pero la deducción de la probabilidad de falla implica conocer la distribución estadística del factor de seguridad (González, 2001), específicamente la de sus dos primeros momentos:  $\mu_{FS}$  y  $\sigma_{FS}$ , i.e el promedio y la desviación estándar.

La solución a la relación predictiva entre estas dos variables (Pf y Fs) y la obtención de las mismas, se plantea aquí con el empleo de métodos aproximados, es decir gracias al soporte de los lineamientos metodológicos de los Estimativos Puntuales, PEM (Rosenblueth, 1975 y Harr, 1987) o con técnicas de simulación, p.e. Monte Carlo. El PEM evalúa la función de interés en puntos estratégicos (extremos), conocidas las distribuciones estadísticas de los  $n$  parámetros que intervienen en el problema, combinados en un algoritmo que resulta en un factor de seguridad, y utiliza esta información para obtener el promedio y la desviación estándar del  $FS$  y por ende, la probabilidad condicional.

En consecuencia, la probabilidad de ocurrencia de un evento particular ( $FRM$ ) se evalúa en términos de sus eventos condicionantes, a través de la ley de probabilidades totales; de tal manera la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento está definida por la siguiente ecuación:

$$p(D) = P(D/LS)p(LS) + P(D/L\bar{S})p(L\bar{S}) + P(D/\bar{L}S)p(\bar{L}S) + P(D/\bar{L}\bar{S})p(\bar{L}\bar{S})$$

Dicha probabilidad, como lo expresan sus términos, es función de las probabilidades condicionales de presentarse el deslizamiento para todas las posibles combinaciones de lluvia y sismo, así:

- $p(D)$ : Es la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento
- $P(D/LS)$ : Es la probabilidad condicional de que acaezca el deslizamiento dado que haya lluvia y sismo
- $p(LS)$ : Es la probabilidad de que se presenten la lluvia y el sismo simultáneamente
- $P(D/L\bar{S})$ : Es la probabilidad condicional de que se genere el deslizamiento dado que haya lluvia y no se presente sismo
- $p(L\bar{S})$ : Es la probabilidad de que haya lluvia y no se produzca sismo

$P(D/\overline{LS})$ : Es la probabilidad condicional de que ocurra el deslizamiento dado que se presente el sismo y que no tenga lugar la lluvia.

$p(\overline{LS})$ : Es la probabilidad de que se presente sismo, pero no lluvia

$P(D/\overline{LS})$ : Es la probabilidad condicional de ocurra el deslizamiento dado que no haya lluvia ni sismo

$p(\overline{LS})$ : Es la probabilidad de que no se presenten ni el sismo ni la lluvia

Por su parte, Montecarlo utiliza el muestreo aleatorio para simular el comportamiento de un sistema (Sánchez, 2005). El procedimiento incluye los siguientes pasos:

- Definición de la función (FS) que describe el problema, en términos de las variables aleatorias: sismo, lluvia,  $c'$  y  $\phi'$ .
- Determinación de la distinción de probabilidad de cada variable.
- Generación de variables aleatorias,  $x_i$ , para cada una de las variables con base en su función de distribución.
- Evaluación de la función, (FS), determinísticamente, con base en las realizaciones de cada variable,  $y$
- Obtención de la información probabilística y estadística de los resultados.

En este orden de ideas, es más convincente y representativo estudiar toda la gama de los estados de trabajo a los que podrían estar sometidas las laderas. Pero el desarrollo de este tema requiere el tratamiento previo de cuatro hipótesis: 1) el o los mecanismos de falla; 2) el procedimiento de evaluación (método de análisis); 3) los parámetros efectivos de resistencia de cada material; y 4) los eventos detonantes. Las dos primeras hipótesis se entrelazan como unidades determinísticas, es decir se consideran invariables, expeditas y conocidas; en tanto que los dos últimos tópicos están regidos por los principios de la incertidumbre, i.e. son aleatorios, bien sea por la variabilidad espacial de los parámetros de resistencia o bien por la variabilidad temporal de los agentes detonantes, por lo que a ellos se asignan distribuciones de probabilidad. A continuación se abordan, una a una, las llamadas hipótesis de trabajo.

## 6.2.1 HIPÓTESIS DE TRABAJO

### 6.2.1.1 Parámetros de Resistencia

Se obtuvieron de cinco fuentes básicas: 1) ensayos de campo y laboratorio del marco de este proyecto, y que fueron consignados en las **Tablas 4.7 y 4.9** así como en las **Figuras 4.1 a 4.6**; 2) información secundaria: cortes directos y sondajes (spt) en areniscas, arcillolitas y suelos residuales del Guadalupe seleccionada por similitudes litológica y geomorfológica y adoptada de los estudios de: IGR (2004), Indesa Ltda (2000), Ingemétrica Ltda. (1999), Moya y García Ltda (2002), Rocas y Minerales (2000) y GIA (2006), 3) Método de Larsón: conjuga una parte del universo muestral, pues es excluyente al admitir únicamente los ensayos de corte directo, con ellos se toman las relaciones  $\tau/\sigma$  máximos y se incorporan en una gráfica  $\tau$  vs  $\sigma$  y las

envolventes; 4) retroalimentación iterativa, de los propios análisis de estabilidad en los cuerpos potencialmente inestables, para los que se adoptó como criterio que la combinación de parámetros geomecánicos mínimos, en estados de no lluvia sin sismo, condujera a una condición estable ( $FS \geq 0.05$ ), tal como lo evidencia la configuración actual del terreno, y 5) análisis retrospectivos: pilar para la deducción de los parámetros mínimos (operativos en la falla) de la arcillolita y la arenisca lodosa.

Así, entonces, en esta última fuente, se empleó el deslizamiento de la carrera 23, como un ensayo a escala natural –retroanálisis–, para deducir los parámetros movilizados en la falla, esto último mediante el conocimiento de: la geometría antes y después del movimiento, el mecanismo de falla y la condición de agua. Este conjunto evaluado para factores de seguridad igual a la unidad, establece el marco de referencia en tal propósito.

La geometría antes y después del movimiento se define con base en las características morfológicas y los trabajos topográficos de Indesa (2000) y GIA - Geocing (2006) respectivamente. El mecanismo planar con grieta de tracción, se deduce de la geometría de la sección 3-3; de la predisposición estructural y de las evidencias de campo como del tipo de material (véase en el **Plano 6** la **sección 3-3**) y la posición probable de la tabla de agua se abstraigo en relación directa con la probabilidad condicional de falla y las evidencias de campo una vez sucedido el fenómeno: la evolución morfodinámica, detenido el avance extractivo y que data desde el segundo lustro de la década del 90, diagrama los primeros indicios de inestabilidad en el año 1998, y los más recientes en el 2006; tal panorama sugiere que la amenaza es alta para periodos de exposición de 10 años. En este orden de ideas, deducidos los momentos de primer y segundo orden en la arcillolita (i.e los parámetros máximos y mínimos obtenidos), se buscaron posiciones de agua ( $Z_w$ ) que garantizarán probabilidades condicionales totales próximas a 0.50. Requerimientos satisfechos para  $Z_w$ ; entre 1.50m y 2.00m; y ratificadas por la observación directa de campo. De la adopción de esta metodología se obtienen los resultados de la figura 6.1, la figura 6.2 y la tabla 6.3. Una y otra corroboran que las funciones de distribución de los parámetros en la arcillosita poseen como extremos  $C_{\min} = 1.0 \text{ Ton/m}^2$ ,  $\phi_{\min} = 17.70^\circ$  y  $C_{\max} = 2.60 \text{ Ton/m}^2$  y  $\phi_{\max} = 30^\circ$ ; y los coeficientes esperados movilizados en la falla son:  $C \leq 2.0 \text{ Ton/m}^2$ ,  $\phi = 17.70^\circ$ .

Figura 6.1 Relación  $c - \phi$  producto de la aplicación del retroanálisis

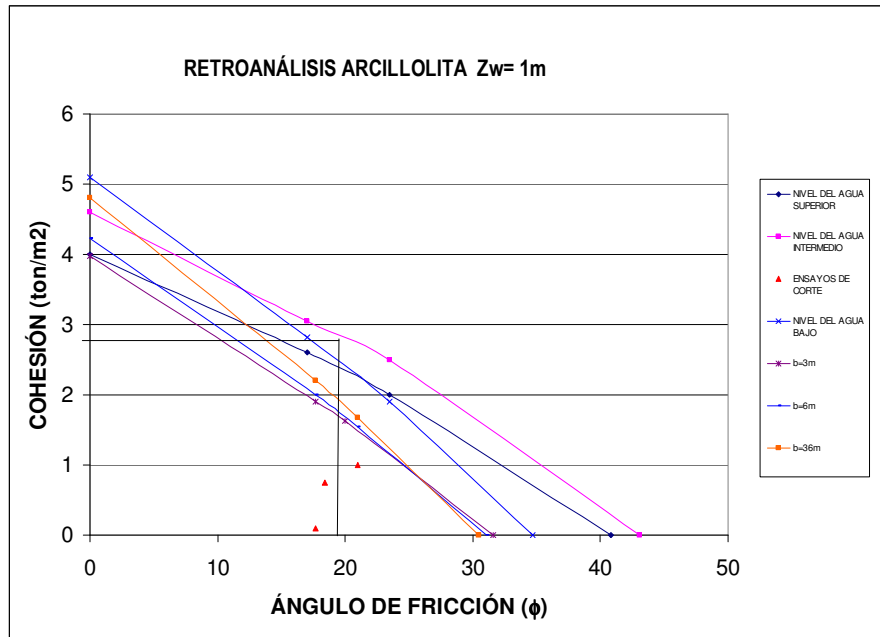


Figura 6.2 Relación  $c - \phi$  producto de la aplicación del retroanálisis

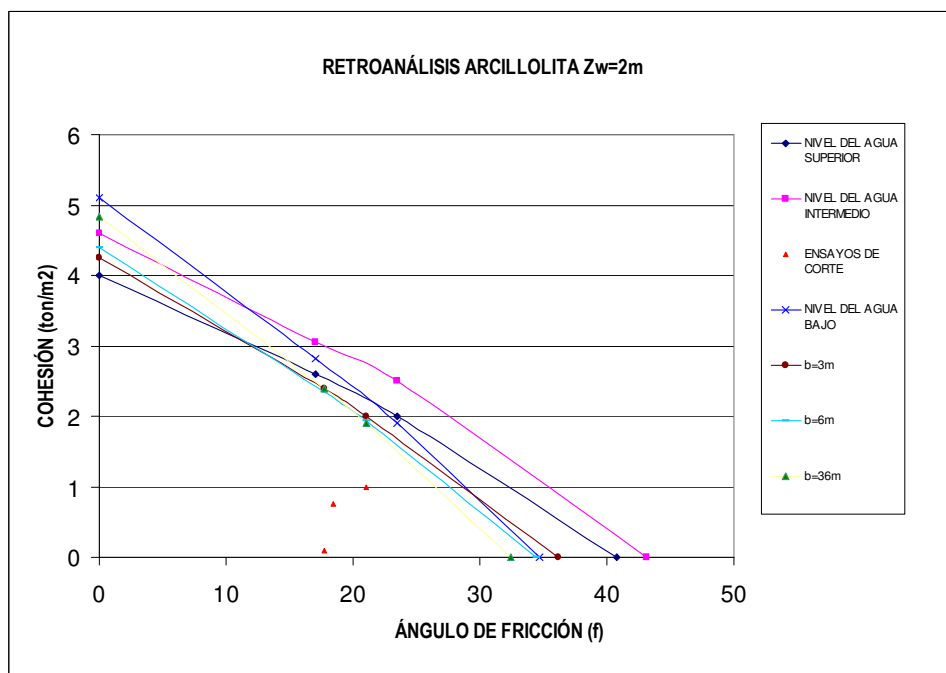
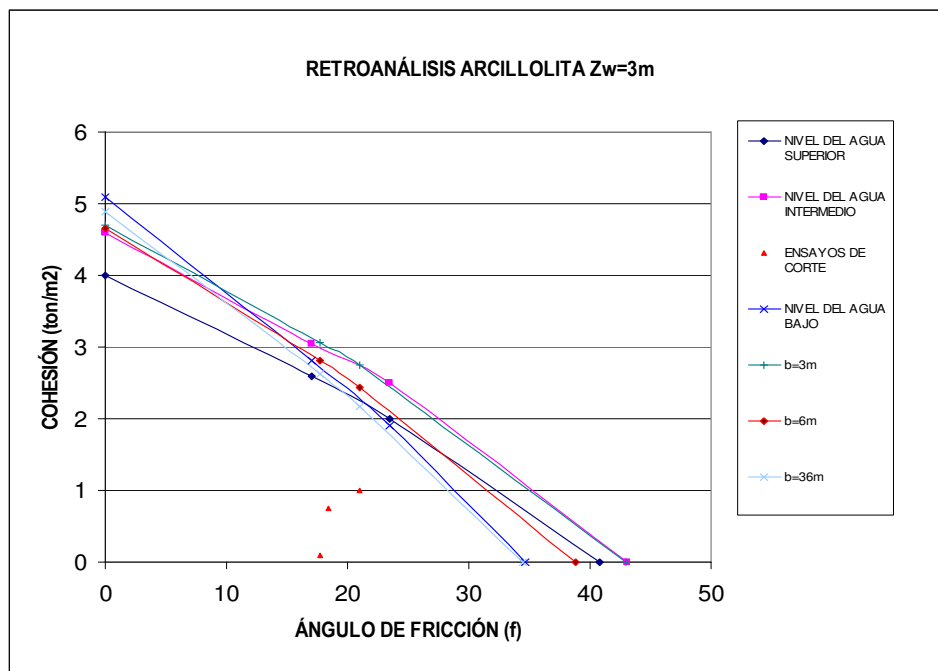


Figura 6.3 Relación  $c - \phi$  producto de la aplicación del retroanálisis



Los límites de los intervalos de las variables endógenas, se definieron con ayuda del criterio propuesto por DPAAE (2000). Así, los parámetros promedio por material se obtienen como la media aritmética de la información fuente disponible (primaria o secundaria), y los valores máximos y mínimos esperados, se calculan mediante la suma y sustracción de los coeficientes de variación ( $c_v$ ) para  $c'$  y para  $tg \phi'$ ; empero, justificados los extremos del dominio con partes del espacio muestral, es decir, con parejas  $c'$ ,  $\phi'$  provenientes de cortes directos o ensayos de penetración estándar; si se trata del cuaternario o bien con las envolventes superior e inferior en lo que atañe a los planos de discontinuidad. Tal procedimiento implicó trabajar, en ocasiones, las endógenas como variables independientes (supuesto no siempre válido), así:

$$c'_{max} = c'_{prom} + c.v_c * c'_{prom}$$

$$tg \phi'_{max} = tg \phi'_{prom} + c.v_t * tg \phi'_{prom}$$

$$c'_{min} = c'_{prom} - c.v_c * c'_{prom}$$

$$tg \phi'_{min} = tg \phi'_{prom} - c.v_t * tg \phi'_{prom}$$

o lo que es lo mismo:

$$c'_{prom} = \frac{c'_{max}}{(1 + c.v_c)}$$

$$c'_{prom} = \frac{c'_{min}}{(1 - c.v_c)}$$

$$tg \phi'_{prom} = \frac{tg \phi'_{max}}{(1 + c.v_t)}$$

$$tg \phi'_{prom} = \frac{tg \phi'_{min}}{(1 - c.v_t)}$$

La tarea así expuesta, involucró estudiar el modelo de falla de los posibles deslizamientos (véase el **numeral 6.2.2**) enmarcados en las secciones de análisis, mediante el ensayo de varios juegos de parámetros. Las combinaciones propias de cada uno se condensan en las memorias de cálculo del **Anexo D**.

La deducción de la relación predictiva de los parámetros, se apoyó además, en el criterio de la similitud geomorfológica propuesta por Hoek y Bray (1974), que sostiene que es posible obtener los parámetros movilizados en la falla de un talud, a partir de otros, siempre y cuando su litología y mecanismo de falla sean similares, aunque su geometría no lo sea. De esta forma, las curvas  $c'$  vs.  $\phi'$  de los taludes, teóricamente deben intersectarse en un sólo punto; sin embargo, las variaciones no identificables en litología o grado de meteorización, y las imprecisiones en el nivel de agua ocasionan dispersiones en los resultados, razón por la cual, se demarca un intervalo de dominio de los parámetros. Intervalo que coadyuva a precisar los coeficientes máximos y mínimos para los materiales involucrados. Este procedimiento fue de gran importancia para extrapolar los valores de resistencia,  $c'$ ,  $\phi'$ , entre zonas homogéneas y secciones consecutivas.

La suma de las líneas se expresa en la **Tabla 6.12**. Allí se listan los valores promedio de los parámetros estáticos y dinámicos de resistencia según el tipo de material y su fuente. Otros espectros de parámetros estudiados se condensan en las tablas del **Anexo D3**, ellos fueron rechazados pues no satisfacían el criterio adoptado en la retroalimentación.

Tabla 6.12 Parámetros estáticos y dinámicos de resistencia

No.	Nombre	Descripción	γ (Ton/m <sup>3</sup> )	γ Sat (Ton/m <sup>3</sup> )	SPT		Corte Directo		Valor promedio				Valor mínimo				Valor máximo				Observaciones
					Cohesión (Ton/m <sup>2</sup> )	φ (°)	Cohesión (Ton/m <sup>2</sup> )	φ (°)	ESTÁTICOS		DINÁMICOS		ESTÁTICOS		DINÁMICOS		ESTÁTICOS		DINÁMICOS		
									Cohesión (Ton/m <sup>2</sup> )	φ (°)	Cohesión (Ton/m <sup>2</sup> )	φ (°)	Cohesión (Ton/m <sup>2</sup> )	φ (°)	Cohesión (Ton/m <sup>2</sup> )	φ (°)	Cohesión (Ton/m <sup>2</sup> )	φ (°)	Cohesión (Ton/m <sup>2</sup> )	φ (°)	
Ksgt - A2	Areniscas duras de la Formación Guadalupe	2.286	2.326	0.10	28.00	1.80	26.20	0.80	30.7	0.80	30.7	0.40	28.0	0.40	28.0	1.80	36.4	1.80	36.4	Los parámetros promedio representan las medias aritméticas del universo muestral. φ <sub>min</sub> y C <sub>min</sub> se trataron como elementos independientes del universo muestral, a partir del ensayo de corte directo, φ <sub>máx.</sub> y C <sub>máx.</sub> se calculan con la envolvente de Larson	
				0.40	23.10	6.00	24.30														
Ksgt - A1	Areniscas lodosas de la Formación Guadalupe	1.979	2.330			0.10	28.00	0.10	24.9	0.10	24.9	0.00	21.2	0.00	21.2	1.10	28.0	1.10	28.0	Los parámetros promedio representan las medias aritméticas del universo muestral. φ <sub>min</sub> y C <sub>min</sub> se trataron como elementos independientes del universo muestral, a partir del ensayo de corte directo, φ <sub>máx.</sub> y C <sub>máx.</sub> se calculan con la envolvente de Larson.	
						0.20	26.20														
Ksgt - L	Arcillolita de la Formación Guadalupe	1.720	2.010			0.10	17.70	1.80	24.1	1.80	24.1	1.00	17.7	1.00	17.7	2.60	30.0	2.60	30.0	Los parámetros promedio se hallan a partir de una función de distribución triangular. φ <sub>min</sub> y C <sub>min</sub> se trataron como elementos independientes del universo muestral, a partir del ensayo de corte directo, φ <sub>máx.</sub> y C <sub>máx.</sub> se calculan con la envolvente de Larson.	
						1.00	21.00														
Ksgt-Bt	Brecha de Falla Arenisca - Formación Guadalupe	2.286	2.326	0.10	28.00	1.80	26.20	0.80	30.7	0.80	30.7	0.40	28.0	0.40	28.0	1.80	36.4	1.80	36.4	Se asumen los mismos parámetros de la unidad Ksgt-A2	
Ksgt-Sr	Suelo residual de la Arenisca - Formación Guadalupe	1.985	2.410	0.50	28.60	3.20	36.50	2.60	27.9	2.60	27.9	0.50	16.7	0.50	16.7	4.20	36.5	4.20	36.5	Los parámetros promedio se definen como la media aritmética de las muestras estadísticas disponibles y representativas por material. Los máximos y mínimos se calculan con coeficientes de variación de cada universo.	
						4.20	16.70														
Qso	Suelos Orgánicos	1.769	2.270	0.70	21.40			0.40	24.3	0.40	24.3	0.10	21.4	0.10	21.4	0.70	26.3	0.70	26.3	Los parámetros promedio se hallan a partir de una función de distribución triangular. φ <sub>min</sub> se obtiene del ensayo del SPT, φ <sub>máx.</sub> se calcula con coeficientes de variación, C <sub>min</sub> se ajusta mediante el proceso de retroalimentación iterativa y C <sub>máx.</sub> se obtiene del ensayo de SPT	
Qra	Reellenos de zona plana	1.972	2.120	0.02	27.00	2.10	22.80	1.06	24.9	1.06	24.9	0.90	22.8	0.90	22.8	2.10	27.0	2.10	27.0	Los parámetros promedio se hallan a partir de una función de distribución triangular. φ <sub>min</sub> se obtiene del ensayo del SPT, φ <sub>máx.</sub> se calcula con coeficientes de variación, C <sub>min</sub> se ajusta mediante el proceso de retroalimentación iterativa.	
Qt+c	Talus y coluviones relacionados con inestabilidad de taludes de extracción	2.151	2.358	0.70	26.60			0.30	25.7	0.30	25.7	0.50	27.0	0.50	27.0	1.00	36.0	1.00	36.0	φ <sub>min</sub> se obtiene del ensayo del SPT, φ <sub>máx.</sub> se obtuvo directamente en campo, C <sub>min</sub> se ajusta mediante el proceso de retroalimentación iterativa, C <sub>máx.</sub> y prom. se calculan con coeficientes de variación.	
Qmo	Suelos con influencia de cenizas volcánicas.	1.998	2.127	0.16	25.10			1.66	25.1	1.66	25.1	1.00	20.5	1.00	20.5	2.32	29.3	2.32	29.3	Los parámetros promedio se hallan a partir de una función de distribución triangular. φ <sub>min</sub> se obtiene del ensayo del SPT, φ <sub>máx.</sub> se calcula con coeficientes de variación, C <sub>min</sub> y C <sub>máx.</sub> se ajustan mediante el proceso de retroalimentación iterativa.	
Qbl	Botaderos de ladera	1.713	2.278	0.40	20.30	2.00	27.70	1.50	24.05	1.50	24.05	1.00	20.30	1.00	20.30	2.00	27.70	2.00	27.70	Los parámetros promedio se hallan a partir de una función de distribución triangular. φ <sub>min</sub> se obtiene del ensayo del SPT, φ <sub>máx.</sub> se calcula con coeficientes de variación, C <sub>min</sub> se ajusta mediante el proceso de retroalimentación iterativa y C <sub>máx.</sub> a partir del ensayo de corte directo.	

Tomados de GIA Consultores Ltda. (2005). Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa del barrio Mirador del Norte

### 6.2.1.2 Mecanismos de Falla

Los mecanismos de falla posibles, se dedujeron de la evolución morfodinámica de las laderas, (véase numeral 3.1.3 Capítulo 3) y de su predisposición cinemática, y entre ellos se cuentan:

- Deslizamientos rotacionales-traslacionales detonados por saturación o presurización súbita (i.e. cambios drásticos en el régimen de agua) donde los materiales involucrados son rellenos antrópicos, (i.e. depósitos coluviales y talus, botaderos de ladera, etc.) y suelos residuales de Guadalupe, o secuencias donde participan ambos.
- Falla planar en roca con o sin grieta de tracción, a lo largo de los planos de estratificación E=236/30, en los escenarios con predisposición cinemática, esculpido en los macizos menos fracturados, regiones LMA-III-1, LEA-ms-1 y LEA-tr-III-3. Este modelo incluye no sólo la movilización en el contacto arenisca-arenisca lodosa (i.e. en la discontinuidad), sino a través de horizontes preferenciales débiles, es decir a lo largo de las interestratificaciones de arcilla (planos de deslizamiento preferenciales), identificados y levantados en el trabajo de campo (véanse Planos 8 y 6).
- Caída de bloques constituidos primordialmente por la intersección de los planos D1-D2: 286/72, D2-D3: 288/72 D1-D3: 285/73. Su epicentro es el dominio 4, zona homogénea LEA-tr-4-1.

Así, entonces, la evidencia de estabilidad se lleva a cabo para las superficies libres con posibilidad cinemática y se hace extensiva a la zona que representa. En concordancia son factibles fallas en:

- Cuña en los taludes del Dominio 1: T5, T11, T23 limitadas a la intersección I<sub>17</sub>, y en T66, T67, T69, T71, T77 y T82 por las intersecciones I<sub>27</sub>, I<sub>37</sub>, I<sub>26</sub>, I<sub>36</sub>, I<sub>47</sub>, I<sub>67</sub>, I<sub>46</sub>; en el Dominio 3-3: el T107 y el T107A circunscritas a las intersecciones I<sub>12</sub>, I<sub>E11</sub> e I<sub>E12</sub>; y finalmente en el Dominio 4: T127, T128, T129, T130 y T164 por las I<sub>12</sub>, I<sub>13</sub>, I<sub>14</sub>, I<sub>15</sub>, I<sub>23</sub>, I<sub>48</sub>, I<sub>49</sub>.
- Planar que se gesta: por las diaclasas D6 y D7 en los taludes T18, T73 y T48 (Dominio 1), sobre D1 en los taludes T89, T91, T101 y T103 (Dominio 3-3), y a lo largo del plano de estratificación en los taludes T87 (Dominio 3-1), T105, T107 y T107A (Dominio 3-3).

El tratamiento en las brechas pasó a segundo plano, en parte porque sus expresiones discurren por morfologías suaves, o los planos estructurales desfavorablemente orientados exhiben buzamientos inferiores (o muy inferiores) al ángulo de fricción básico (y en ocasiones al residual-región LEA-tr-III-1), LEA-bl-III-1), y en parte porque las reconfiguraciones recientes coartaron la aparición de superficies libres en ella: (LEA-ms-III-1).

El modelo de falla progresiva, fue descartada pues las laderas mantienen sus expresiones morfológicas en los últimos 20 años, según lo ratifican los testimonios de los habitantes y la contrastación morfológica entre las cartografías del IGAC 1977, y la del estudio (GIA, 2005). En la **Tabla 4.22** se señalan para las distintas zonas homogéneas, los mecanismos de falla y los materiales involucrados en la secuencia estratigráfica.

### 6.2.1.3 Eventos Detonantes

Los agentes detonantes, definidos como variables aleatorias o fuentes de incertidumbre se establecen como condiciones asociadas a la ocurrencia de lluvia (LI) y sismo (Eq). Estas variables, denominadas



exógenas o eventos condicionantes, recibieron tratamientos basados en los registros históricos disponibles.

### 6.2.1.3.1 Aqua

En la definición de los agentes exógenos, la mayor incertidumbre radica en la relación entre la ocurrencia de las lluvias y la presencia del agua al interior del talud; en este sentido, a causa de la ausencia de niveles piezométricos deducibles de la exploración del subsuelo, se fijaron algunas suposiciones a fe de fijar tal relación predictiva así:

- La saturación de las capas de suelo –llenos y residuales–, pero bajo condiciones de flujo libre y subsuperficial, gestados por la rotura de las redes de servicio, los aportes de conexiones erradas, o de redes informales con descarga libre o la migración descendente del agua lluvia en periodos invernales al nororiente o periodos invernales. Los deslizamientos del año 1999 son muestras fehacientes.
- El trabajo parcialmente saturado de los paquetes de roca, traducido bien como alturas de agua (Hw/H) en la grieta de tracción o bien como niveles de agua (Zw/Z, donde Z altura del talud) al interior de las laderas, estos últimos para estados instantáneos, (véase **Plano 9**).

Unos y otras deducidas del retroanálisis o de la retroalimentación iterativa. En el primer planteamiento Zw entre 1.5 y 2.0 m; y en el segundo la altura de agua necesaria para que con la combinación de parámetros de resistencia mínimos sin sismo, el factor de seguridad sea próximo a la unidad. Supuesto último finalmente inviable pues las alturas críticas superaban los cinco metros y en ocasiones la altura del talud.

La función de probabilidad de las variables Hw/H y Zw/Z se basó en la obtención para la Estación Escuela Colombiana de Ingeniería -la más cercana a El Codito- de los periodos de retorno en función de lluvias acumuladas para una duración dada, mediante una distribución Gumbel de la forma:

$$Tr = \frac{1}{1 - \exp\{- \exp[- a(Lld - b)]\}}$$

O, lo que es lo mismo,

$$p = 1 - \exp\{- \exp[- a(Lld - b)]\}$$

donde:

Tr: Periodo de retorno (años)

p: Probabilidad de ocurrencia anual de Lld

Lld: Precipitación acumulada para una duración dada (mm)

a y b: Coeficientes de Gumbel que son función de la duración de la lluvia; Dcr.

De acuerdo con Castellanos, 1995, la Dcr es función de la Lluvia crítica, Llcr, (en mm) y se escribe en términos de la precipitación anual, Lla (también en mm), así:

$$Dcr = 3.2829042331 \cdot Llcr^{0.4157115679}$$

$$Llcr = 0.3608995184 \cdot Lla$$

Como la precipitación anual multianual, Lla, en la Escuela Colombiana de Ingeniería es de 866 mm la precipitación crítica, Llcr, es 325.3 mm, su duración, Dcr, 16 días y su periodo de retorno, Tr, 23.40 años. Los valores de los coeficientes de la distribución Gumbel para esta estación y duración, a y b, son 0.02352/mm y 119.5049 mm, respectivamente, con media de 144.0464 mm y desviación estándar de 54.5302 mm.

Para otros escenarios de exposición se tiene que:

$$p_n = 1 - \exp(-n \cdot p)$$

donde:

$p_n$ : Probabilidad de ocurrencia de Lld, para una exposición de n años

n: Tiempo de exposición (años)

p: Probabilidad de ocurrencia anual de Lld

Con esta información se construyeron las curvas de Hw/H (falla planar sin grieta de tracción) para 1 y 10 años y de Zw/Z (falla planar con grieta de tracción) para los mismos escenarios, pero bajo el principio que la precipitación crítica aloja una cantidad de agua en el talud no superior a la del retroanálisis, i.e Zw= 2m.

#### 6.2.1.3.2 Sismo

En cuanto a la variable sismo, se tomaron como bastiones: a) El Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia EGASC, que fija para Bogotá un  $a_m$  de 0.20 g para un período de retorno  $Tr= 475$  (probabilidad de ocurrencia del 10% en 50 años); y b) Microzonificación Sísmica de Bogotá en el que se evaluaron para las diferentes partes de la ciudad el espectro probable de respuesta, es decir se define la aceleración pico efectiva  $A_g$  y la aceleración mínima  $A_d$ , con sus períodos de retorno y recurrencia. Para la Zona 1 - Cerros, universo espacial al que pertenece el barrio. El estudio reporta valores de aceleración pico en roca de 0.24g . Las aceleraciones máximas en superficie y las de diseño son tomadas de fuentes secundarias: bien de Medvedev, 1965, o bien del NSR, 1998, tal como se indica en el numeral 3.3.2 del Capítulo 3.

Así, la curva de amenaza presentada por el EGASC para Bogotá se afecta por las consideraciones mencionadas, tal como se presenta en la **Figura 6.4** para un escenario de 1 año de exposición y se ajusta a la siguiente distribución Gumbel:

$$p = 1 - \exp\left\{- \exp\left[- a\left(\frac{a_h}{g}\right)^{0.25} - b\right]\right\}$$

donde:

$a_h/g$ : Coeficiente de aceleración horizontal del terreno

a: Coeficiente de Gumbel = 16.85895

b: Coeficiente de Gumbel = 0.319692

Para otros escenarios incluidos los extremos (para 1 y 10 años) se tiene:

$$p_n = 1 - \exp(-n \cdot p)$$

donde:

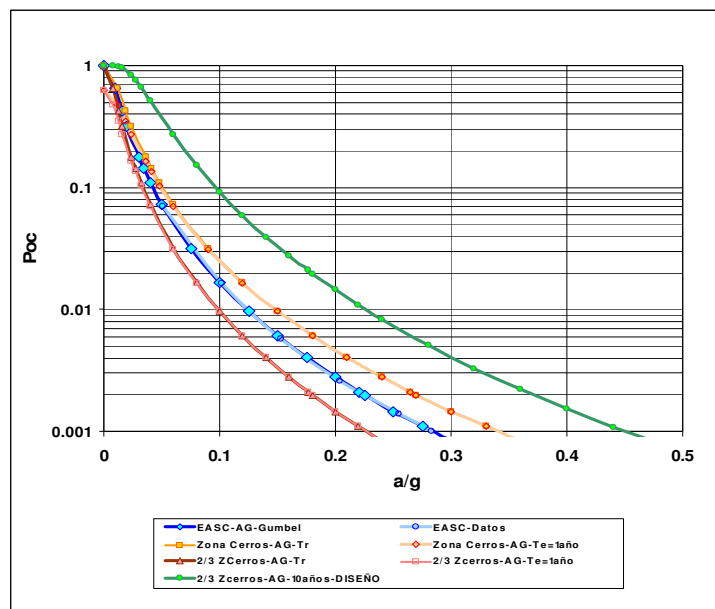
$p_n$ : Probabilidad para exposición de n años

n: Tiempo de exposición (años)

p = probabilidad anual ( = 1/475)

En la **Figura 6.4**, se muestra también la curva para una exposición de 10 años.

**Figura 6.4** Curvas de Probabilidad de ocurrencia vs a/g



#### 6.2.1.4 Modelación de Estabilidad

La modelación se planteó gracias a los métodos de equilibrio límite, basados en el criterio de resistencia de Mohr – Coulomb pero como función de los mecanismos evaluados ; así, para la falla planar en roca con y sin grieta de tracción, los planteamientos de Norrisahnd and Wyllie (1996) que son versiones generalizadas de las de Hoek y Bray (1974), y para los deslizamientos rotacionales-traslacionales en suelo, la técnica de las dovelas de Jambu . Se emplearon como herramientas de

trabajo: hojas de cálculo debidamente validados en los casos en roca; y el programa PCStable 6 si el material era suelo.

Bajo los lineamientos anteriores, y con el fin de adelantar la tarea de evaluación de estabilidad, se establecieron 19 secciones de trabajo (1-1' a 19-19') que se muestran en planta en el **Plano 8** y en perfil en el **Plano 6**. Las secciones se subdividieron con base en las zonas homogéneas y en los materiales susceptibles; sobre los tramos resultantes se evaluaron los cuerpos potencialmente inestables según su dirección probable de movilización. Se asume, entonces, que el grado de estabilidad de cada una de las secciones (o sus partes) es atribuible a la región homogénea a la que pertenece.

A los análisis con PCSTABLE se le asignó un código alfa numérico entrelazado a la nomenclatura del sitio (C); éste diferencia sucesivamente la hipótesis de trabajo, el tipo de material, la sección de análisis modelo de falla; v. g., el archivo CSA1T1 representa la superficie de análisis 1, de tipo traslacional en la sección 1-1' y el archivo FPCGS1-A2: condensa falla planar con grieta en la sección 1; sobre areniscas duras.

## 6.2.2 EVALUACIÓN DE AMENAZA

### 6.2.1.5 Consideraciones

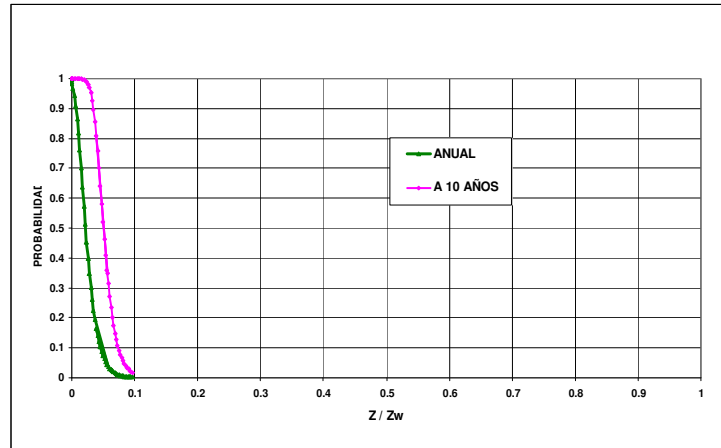
Por las limitaciones inherentes a las herramientas computacionales utilizadas en el cálculo del FS, se utilizaron para los mecanismos de falla planar con y sin grieta de tracción, los métodos de Montecarlo y PEM, en tanto que para los mecanismos en suelo, sólo se empleó el PEM, dado que los primeros, como se mencionó antes, fueron calculados con hojas electrónicas que facilitan la obtención de los insumos de ambos métodos, en tanto que los mecanismos de suelo fueron corridos en PC-Stable 6, algo limitado en la generación de múltiples combinaciones.

Fijos los comportamientos de las fuentes de incertidumbre, las funciones de probabilidad de las variables se constituyeron en elementos fundamentales para la determinación de la función de la probabilidad de falla. En este sentido se determina el FS para múltiples corridas, cinco mil (5000) en total, a partir de la selección aleatoria de los valores de las variables, en el caso del método de Montecarlo y dieciséis (16) para la determinación con el PEM.

Todas las valoraciones se efectuaron para dos escenarios de exposición: actual (1 año) y a mediano plazo (10 años) con el fin de establecer sensibilidad con respecto a esta variable. La diferencia en los cálculos de la probabilidad condicional, entre uno y otro escenario, depende del método estadístico, así:

- Si se trata del método de Montecarlo radica en la utilización de las curvas de probabilidad de las variables con incertidumbre temporal: agua y sismo, según el lapso de exposición. (véanse las **Figuras 6.4 y 6.5**)

Figura 6.5 Curvas de Probabilidad vs Z/Zw



- Si el análisis se efectúa con PEM, se emplean los valores esperados y su probabilidad de ocurrencia. Sin embargo, bien podrían utilizarse los valores máximos (y su correspondiente probabilidad) sin detrimento de los resultados, pues las diferencias no son significativas.

Con los factores de seguridad (F.S) se calcularon las curvas de densidad, a partir de las que se obtuvo la probabilidad de falla como el área bajo la curva para niveles del F.S. menores a la unidad.

Finalmente, el tratamiento de los modelos de cuña y caída de bloques, se basa en análisis de la probabilidad frecuentista. En este orden de ideas el conocimiento popular y los reportes de emergencia juegan papel relevante. Estos elementos ligados a los resultados arrojados por el programa de simulación de caída de rocas –CSRP- fijan que las probabilidades condicionales totales para el escenario crítico oscila entre 0.14 y 0.20 si el periodo de exposición es de 10 años; concordante con el periodo de recurrencia de los eventos 1 cada 5 años y el escenario de mayor concentración de bloques 70%.

### 6.2.1.5 Análisis de Resultados

En la tabla 6.5 se sintetizan, para falla planar con grieta para diferentes distancias de grieta (b) y alturas de agua (zw), los FS de las diferentes combinaciones y las probabilidades condicionales en las secciones de análisis, para los horizontes de diseño de 1y 10 años; igual práctica se encuentra condensada en la **Tabla 6.13 a 6.21** para falla planar sin grieta con distribuciones normal y triangular y en la **Tabla 6.22 a 6.24** la rotacional y traslacional.

El compendio completo de las tablas resumen FS- $P_f$ , permitió al cuerpo técnico definir las condiciones que mejor develan el comportamiento de las laderas. De los resultados obtenidos, se concluye que para el escenario actual, los taludes representados por las secciones 1 y 5 a 19, poseen probabilidades de falla inferiores al 7%, se trata de fallas planares en roca o rotacionales en suelo, y la altura del agua bien en las grietas de tracción o bien sobre el plano preferencial de deslizamiento,. Oscile entre 0.50m y 2.0m (véanse las **Tablas 6.13 a 6.24**).

El comportamiento de los talus y coluviones, mejor representados en las secciones 2-2', 3-3' y 4-4' (véase la **Tabla 6.22 a 6.24**), dominio de la emergencia, encierran probabilidades condicionales entre 0.26 y 0.30; las masas coluviales exponen factores de seguridad próximos a la unidad en estados secos sin sismo y la movilización es inminente bajo estados saturados con sin sismo. Los movimientos esperados son rotacionales locales y generales.

A mediano plazo (periodo de exposición de 10 años) se confirma la predisposición de las laderas reseñadas en el párrafo anterior y se incorporan las de las regiones LEAe-III-1, LEA-bl-III-2 y LEA-tr-IV-1, secciones 8-8', 14-14' y 15-15', a 18-18' . Las probabilidades de falla divagan entre el 14% y 70% y la amenaza se asienta en media y alta. Los espesores de mayor probabilidad condicional se remarcan en el antiguo cuerpo del deslizamiento del 08 de Mayo: zona homogénea LEA-ms-III-1; los rellenos, en colusiones, residuales y material brechado retrabajados son los de mayor posibilidad de activación. Los taludes en roca, a pesar de su apariencia y geometría y de la predisposición cinemática dibujado a lo largo de los paquetes arcillosos tienen como umbral máximo de probabilidad el 12%, aún si se mantienen los factores condicionantes que favorecen la detonación del deslizamiento, en especial los estados de agua y los dominios (funciones de distribución) de los parámetros de resistencia sean los máximos esperados –Distribución 2- (véase **Tabla 6.19 a 6.21** ).

Así entonces, los cuerpos potencialmente inestables son locales, y responden a deslizamientos con grieta de tracción y rotacionales; los materiales involucrados son la arenisca de Guadalupe y el suelo residual, respectivamente; y en la masa principal (zona de influencia directa) está incluida por lo menos una vivienda.

**Tabla 6.13 Resumen de los Factores de Seguridad-Probabilidades Condicionales Falla Planar con Grieta**

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN TRIANGULAR													
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS													
				SEC 1	SEC 2	SEC 2	SEC 2	SEC 2	SEC 2	SEC 4	SEC 4	SEC 4	SEC 4	SEC 5			
				FPcGS1-A2	FPcGS2-A2	FPcGS2-A2	FPcGS2-A2	FPcGS2-A2	FPcGS2-A2	FPcGS4-A2	FPcGS4-A2	FPcGS4-A2	FPcGS4-A2	FPcGS5-A2			
		Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar					
Fricción	Cohesion (T/m <sup>2</sup> )	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.					
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.675	1.691	1.691	1.522	1.514	1.535	1.931	1.909	1.909	1.928	2.219			
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.302	1.318	1.318	1.150	1.141	1.163	1.559	1.536	1.536	1.555	1.708			
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.409	1.412	1.412	1.374	1.373	1.377	1.466	1.461	1.461	1.465	1.915			
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.036	1.039	1.039	1.002	1.000	1.005	1.093	1.088	1.088	1.092	1.404			
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.629	1.644	1.644	1.479	1.471	1.492	1.879	1.857	1.857	1.876	2.143			
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.267	1.282	1.282	1.118	1.110	1.131	1.518	1.496	1.496	1.514	1.650			
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	1.368	1.372	1.372	1.335	1.333	1.338	1.424	1.419	1.419	1.423	1.848			
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	1.006	1.010	1.010	0.973	0.971	0.976	1.062	1.058	1.058	1.062	1.355			
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.656	1.659	1.648	1.506	1.499	1.524	1.880	1.860	1.843	1.877	2.184			
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.289	1.295	1.287	1.138	1.130	1.155	1.522	1.501	1.488	1.519	1.683			
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.390	1.381	1.370	1.359	1.357	1.366	1.415	1.412	1.395	1.415	1.881			
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.022	1.017	1.009	0.990	0.989	0.997	1.057	1.053	1.041	1.056	1.379			
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.610	1.613	1.602	1.464	1.457	1.481	1.830	1.810	1.793	1.827	2.110			
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.254	1.260	1.252	1.106	1.099	1.123	1.482	1.461	1.449	1.479	1.626			
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	1.350	1.341	1.330	1.319	1.318	1.327	1.375	1.372	1.356	1.375	1.815			
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.993	0.988	0.980	0.962	0.961	0.968	1.027	1.023	1.012	1.027	1.331			
Material				b (m)	6.0	4.0	4.0	6.0	2.0	36.0	3.0	6.0	6.0	2.0	3.0		
				h (m)	44.00	2.00	2.00	39.50	39.50	39.50	16.50	16.50	16.50	16.50	16.50	16.50	6.00
				Zw (m)	1.0	1.5	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	1.5	1.5	1.5
Valores paramétricos empleados en cada sección				Ksqt A2	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g		
				Φ <sub>max</sub>	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	
				Φ <sub>min</sub>	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	
				C <sub>max</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	
				C <sub>min</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	
Probabilidad de falla (Pf) a 1año Método PEM				Ln	0.0589	0.0584	0.0603	0.0954	0.0985	0.0900	0.0432	0.0438	0.0457	0.0432	0.0036		
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM				Ln	0.0838	0.0942	0.1095	0.1248	0.1275	0.1144	0.0768	0.0770	0.0927	0.0758	0.0135		
Probabilidad de falla (Pf) a 1año Método Montecarlo				Ln	0.0211	0.0281	0.0369	0.0771	0.0836	0.0591	0.0095	0.0083	0.0161	0.0095	0.0003		
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método Montecarlo				Ln	0.1307	0.1736	0.2438	0.2908	0.2832	0.2204	0.0883	0.0885	0.1473	0.0839	0.0091		

**Tabla 6.14 Resumen de los Factores de Seguridad-Probabilidades Condicionales Falla Planar con Grieta**

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN TRIANGULAR												
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS												
				SEC 5	SEC 5	SEC 5	SEC 8	SEC 8	SEC 8	SEC 8	SEC 8	SEC 10	SEC 10	SEC 11		
				FPcGS5-A2	FPcGS5-A2	FPcGS5-A2	FPcGS8-A2	FPcGS8A2	FPcGS8A2	FPcGS8A2	FPcGS8A2	FPcGS10A2	FPcGS10A2	FPcGS11A2		
Fricción	Cohesion (T/m <sup>2</sup> )	Lluvia	Sismo	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar			
				F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.			
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	2.219	2.194	2.211	10.165	10.165	9.995	9.995	9.752	2.729	2.664	1.907		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.708	1.683	1.700	7.805	7.805	7.634	7.634	7.391	2.162	2.096	1.535		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.915	1.909	1.913	8.824	8.824	8.786	8.786	8.732	2.185	2.170	1.460		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.404	1.398	1.402	6.464	6.464	6.425	6.425	6.371	1.618	1.603	1.088		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	2.143	2.119	2.136	8.882	8.882	8.733	8.733	8.520	2.629	2.566	1.856		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.650	1.625	1.642	6.819	6.819	6.671	6.671	6.458	2.083	2.020	1.494		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	1.848	1.843	1.846	7.709	7.709	7.676	7.676	7.628	2.103	2.089	1.419		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	1.355	1.349	1.353	5.647	5.647	5.613	5.613	5.566	1.557	1.543	1.057		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	2.117	2.151	2.167	9.966	9.875	9.826	9.752	9.587	2.635	2.605	1.841		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.634	1.651	1.668	7.659	7.591	7.511	7.456	7.272	2.093	2.053	1.486		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.815	1.866	1.869	8.633	8.548	8.622	8.552	8.569	2.094	2.113	1.395		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.332	1.367	1.370	6.325	6.263	6.307	6.256	6.254	1.552	1.561	1.040		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	2.045	2.077	2.093	8.714	8.639	8.589	8.528	8.379	2.539	2.509	1.791		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.578	1.595	1.612	6.697	6.641	6.566	6.521	6.355	2.017	1.979	1.447		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	1.752	1.801	1.804	7.547	7.477	7.536	7.478	7.488	2.016	2.034	1.355		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	1.285	1.319	1.323	5.530	5.479	5.513	5.470	5.465	1.494	1.503	1.011		
b (m)				3.0	6.0	6.0	3.0	3.0	6.0	6.0	36.0	3.5	6.0	3.0		
h (m)				15.00	15.00	15.00	9.50	9.50	9.50	9.50	9.50	6.50	6.50	15.00		
Zw (m)				4.0	2.0	2.0	15	2.0	15	2.0	2.0	2.0	15	2.0		
Material				Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2		
				ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g		
Valores paramétricos empleados en cada sección				Φ <sub>max</sub>	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	
				Φ <sub>min</sub>	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3
				C <sub>max</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
				C <sub>min</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 1 año Método PEM				Ln	0.0054	0.0039	0.0037	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0015	0.0460	
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 10 años Método PEM				Ln	0.0304	0.0151	0.0145	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0099	0.0070	0.0951	
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 1 año Método Montecarlo				Ln	0.0038	0.0004	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0156	
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 10 años Método Montecarlo				Ln	0.1179	0.0148	0.0120	0.0003	0.0005	0.0003	0.0004	0.0003	0.0103	0.0034	0.1657	



**Tabla 6.15 Resumen de los Factores de Seguridad-Probabilidades Condicionales Falla Planar con Grieta**

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN TRIANGULAR												
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS												
				SEC 11	SEC 11	SEC 12	SEC 13	SEC 14	SEC 15	SEC 15	SEC 18	SEC 18	SEC 18	SEC 18		
				FPcGS11-A2	FPcGS11-A2	FPcGS12-A2	FPcGS13-A2	FPcGS14A2	FPcGS15A2	FPcGS15A2	FPcGS18A2	FPcGS18A2	FPcGS18A2	FPcGS18A2		
				Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar			
Fricción	Cohesion (T/m <sup>2</sup> )	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.			
Q <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.907	1.888	2.296	2.585	2.134	2.413	2.413	3.139	3.139	3.107	3.087		
Q <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.535	1.516	1.923	2.018	1.711	1.845	1.845	2.369	2.369	2.337	2.316		
Q <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.460	1.456	1.547	2.153	1.652	2.114	2.114	2.841	2.841	2.834	2.829		
Q <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.088	1.084	1.175	1.585	1.229	1.547	1.547	2.070	2.070	2.063	2.059		
Q <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.856	1.837	2.236	2.490	2.071	2.323	2.323	2.990	2.990	2.959	2.940		
Q <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.494	1.476	1.874	1.944	1.661	1.777	1.777	2.256	2.256	2.226	2.206		
Q <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	1.419	1.415	1.504	2.072	1.602	2.035	2.035	2.705	2.705	2.698	2.694		
Q <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	1.057	1.053	1.142	1.526	1.192	1.489	1.489	1.971	1.971	1.964	1.960		
Q <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.858	1.841	2.234	2.534	2.064	2.370	2.347	3.104	3.091	3.064	3.049		
Q <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.499	1.482	1.878	1.980	1.660	1.814	1.798	2.343	2.334	2.305	2.289		
Q <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.412	1.409	1.488	2.102	1.583	2.071	2.049	2.806	2.794	2.791	2.791		
Q <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.053	1.050	1.132	1.549	1.179	1.516	1.499	2.045	2.036	2.032	2.031		
Q <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.808	1.791	2.176	2.440	2.003	2.282	2.260	2.957	2.944	2.918	2.904		
Q <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.459	1.442	1.830	1.908	1.612	1.747	1.731	2.232	2.223	2.196	2.180		
Q <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	1.371	1.369	1.446	2.023	1.534	1.993	1.971	2.672	2.660	2.658	2.657		
Q <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	1.023	1.020	1.100	1.491	1.143	1.459	1.443	1.948	1.939	1.935	1.934		
b (m)				3.0	6.0	3.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	6.0	24.0		
h (m)				15.00	15.00	3.50	9.00	24.50	29.00	29.00	17.00	17.00	17.00	17.00		
Zw (m)				15	15	10	15	2.0	2.0	3.0	15	2.0	2.0	2.0		
Material				Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2		
				ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g		
Valores paramétricos empleados en cada sección				Q <sub>max</sub>	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	
				Q <sub>min</sub>	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3
				C <sub>max</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
				C <sub>min</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 1año Método FEM				Ln	0.0440	0.0445	0.0496	0.0014	0.0244	0.0016	0.0016	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 10 años Método FEM				Ln	0.0781	0.0781	0.1058	0.0072	0.0702	0.0086	0.0100	0.0019	0.0021	0.0021	0.0021	
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 1año Método Montecarlo				Ln	0.0091	0.0098	0.0026	0.0000	0.0029	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 10 años Método Montecarlo				Ln	0.0941	0.1010	0.0400	0.0032	0.0491	0.0050	0.0096	0.0006	0.0007	0.0006	0.0006	

**Tabla 6.16 Resumen de los Factores de Seguridad-Probabilidades Condicionales Falla Planar con Grieta**

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL												
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS												
				SEC 1	SEC 2	SEC 2	SEC 2	SEC 2	SEC 4	SEC 4	SEC 4	SEC 5	SEC 5	SEC 5		
				FPcGS1-A2	FPcGS2-A2	FPcGS2-A2	FPcGS2-A2	FPcGS2-A2	FPcGS4-A2	FPcGS4-A2	FPcGS4-A2	FPcGS5-A2	FPcGS5-A2	FPcGS5-A2		
				Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar		
Fricción	Cohesión (T/m <sup>2</sup> )	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.958	1.547	1.407	1.400	1.418	1.746	1.727	1.743	2.038	2.018	2.032		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.750	1.339	1.199	1.192	1.210	1.538	1.519	1.535	1.753	1.733	1.747		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.439	1.329	1.292	1.290	1.295	1.382	1.377	1.381	1.801	1.795	1.799		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.231	1.121	1.084	1.082	1.087	1.174	1.169	1.174	1.516	1.510	1.514		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.906	1.504	1.367	1.361	1.378	1.699	1.680	1.696	1.969	1.949	1.963		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.704	1.302	1.165	1.159	1.176	1.497	1.478	1.494	1.693	1.673	1.687		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	1.399	1.291	1.255	1.253	1.257	1.343	1.338	1.342	1.738	1.733	1.737		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	1.197	1.089	1.053	1.051	1.056	1.141	1.136	1.140	1.463	1.458	1.461		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.936	1.537	1.402	1.396	1.413	1.730	1.712	1.727	2.028	2.008	2.022		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.731	1.331	1.195	1.188	1.206	1.525	1.507	1.522	1.745	1.725	1.739		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.417	1.320	1.287	1.285	1.289	1.367	1.362	1.366	1.791	1.786	1.789		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.213	1.113	1.080	1.078	1.082	1.161	1.157	1.161	1.507	1.502	1.506		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.884	1.495	1.363	1.356	1.373	1.683	1.666	1.681	1.959	1.939	1.953		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.686	1.294	1.161	1.155	1.172	1.484	1.466	1.481	1.685	1.666	1.679		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	1.377	1.282	1.250	1.248	1.252	1.328	1.324	1.327	1.728	1.724	1.727		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	1.179	1.082	1.049	1.047	1.051	1.129	1.124	1.128	1.455	1.450	1.453		
Material				b (m)	6.0	4.0	6.0	12.0	36.0	3.0	6.0	12.0	3.0	6.0	12.0	
				h (m)	17.50	12.00	39.50	39.50	39.50	16.50	16.50	16.50	16.00	16.00	16.00	16.00
				Zw (m)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Material				Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2		
				ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g
Valores paramétricos empleados en cada sección				Φ <sub>max</sub>	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4	
				Φ <sub>min</sub>	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0
				C <sub>max</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
				C <sub>min</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Probabilidad de falla (Pf) a 1año Método PEM				Ln	0.0168	0.0137	0.0198	0.0205	0.0187	0.0143	0.0141	0.0143	0.0009	0.0010	0.0009	
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM				Ln	0.0305	0.0340	0.0400	0.0407	0.0389	0.0316	0.0317	0.0315	0.0096	0.0101	0.0097	
Probabilidad de falla (Pf) a 1año Método Montecarlo				Ln	0.0002	0.0022	0.0131	0.0141	0.0100	0.0004	0.0006	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método Montecarlo				Ln	0.0074	0.0602	0.1782	0.1790	0.1385	0.0186	0.0198	0.0197	0.0007	0.0009	0.0009	

**Tabla 6.17 Resumen de los Factores de Seguridad-Probabilidades Condicionales Falla Planar con Grieta**

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCION NORMAL												
				CONDICION DE ANALISIS												
				SEC 8	SEC 8	SEC 8	SEC 10	SEC 11	SEC 11	SEC 12	SEC 13	SEC 14	SEC 15	SEC 18		
				FPcGS8-A2	FPcGS8-A2	FPcGS8-A2	FPcGS10-A2	FPcGS11A2	FPcGS11A2	FPcGS12A2	FPcGS13A2	FPcGS14A2	FPcGS15A2	FPcGS18A2		
				Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar			
Fricción	Cohesion (T/m²)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.			
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	9.346	9.205	9.004	2.483	1.726	1.710	2.048	2.364	1.934	2.221	2.903		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	8.029	7.888	7.687	2.167	1.518	1.502	1.840	2.047	1.697	1.905	2.473		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	8.299	8.261	8.207	2.058	1.377	1.373	1.463	2.026	1.557	1.988	2.670		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	6.982	6.944	6.890	1.741	1.169	1.165	1.255	1.710	1.321	1.671	2.240		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	8.166	8.043	7.867	2.392	1.679	1.664	1.994	2.277	1.877	2.139	2.765		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	7.015	6.892	6.716	2.087	1.477	1.462	1.792	1.972	1.648	1.834	2.355		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	7.250	7.217	7.170	1.981	1.338	1.334	1.422	1.950	1.510	1.913	2.542		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	6.099	6.066	6.019	1.676	1.136	1.132	1.220	1.646	1.281	1.609	2.133		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	9.296	9.161	8.969	2.464	1.711	1.696	2.021	2.349	1.918	2.211	2.893		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	7.987	7.851	7.658	2.151	1.506	1.490	1.817	2.035	1.684	1.896	2.464		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	8.250	8.218	8.173	2.039	1.362	1.358	1.437	2.011	1.541	1.978	2.660		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	6.940	6.908	6.861	1.726	1.157	1.153	1.233	1.697	1.308	1.663	2.231		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	8.123	8.005	7.836	2.374	1.665	1.650	1.968	2.262	1.861	2.129	2.755		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	6.979	6.860	6.691	2.072	1.465	1.450	1.770	1.960	1.635	1.826	2.347		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	7.207	7.179	7.140	1.963	1.323	1.320	1.396	1.936	1.494	1.904	2.532		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	6.064	6.035	5.994	1.661	1.124	1.120	1.199	1.634	1.268	1.601	2.125		
Material				b (m)	3.0	6.0	36.0	3.5	3.0	6.0	3.0	3.5	3.0	3.0	3.0	
				h (m)	9.50	9.50	9.50	6.50	6.00	6.00	3.50	9.00	24.30	29.00	17.00	
				Zw (m)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
Material				Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2		
				ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	
Valores paramétricos empleados en cada sección				Φ <sub>max</sub>	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4	
				Φ <sub>min</sub>	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0
				C <sub>max</sub> (ton/m²)	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
				C <sub>min</sub> (ton/m²)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Probabilidad de falla (Pf) a 1año Método PEM				Ln	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0141	0.0140	0.0207	0.0003	0.0034	0.0005	0.0000	
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM				Ln	0.0000	0.0000	0.0000	0.0028	0.0318	0.0319	0.0427	0.0036	0.0165	0.0052	0.0003	
Probabilidad de falla (Pf) a 1año Método Montecarlo				Ln	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0005	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método Montecarlo				Ln	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0231	0.0218	0.0070	0.0001	0.0038	0.0003	0.0000	

**Tabla 6.18 Resumen de los Factores de Seguridad-Probabilidades Condicionales Falla Planar con Grieta**

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL		
				CONDICION DE ANALISIS		
				SEC 18	SEC 18	
				FPcGS 18-A2	FPcGS 18-A2	
Fricción	Cohesion (T/m <sup>2</sup> )	Lluvia	Sismo	Planar	Planar	
				F.S.	F.S.	
φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	2.876	2.860	
φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	2.446	2.430	
φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	2.663	2.658	
φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	2.233	2.228	
φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	2.739	2.723	
φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	2.330	2.314	
φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	2.535	2.531	
φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	2.126	2.122	
φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	2.867	2.851	
φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	2.439	2.422	
φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	2.654	2.650	
φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	2.225	2.221	
φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	2.731	2.715	
φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	2.323	2.307	
φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	2.527	2.523	
φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	2.118	2.115	
				b (m)	6.0	24.0
				h (m)	17.00	17.00
				Zw (m)	0.5	0.5
Material				Ksgt A2	Ksgt A2	
				ah=0.28 g	ah=0.28 g	
Valores paramétricos empleados en cada sección				φ <sub>max</sub>	36.4	36.4
				φ <sub>min</sub>	28.0	28.0
				C <sub>max</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	1.80	1.80
				C <sub>min</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	0.40	0.40
Probabilidad de falla (Pf) a 1año Método PEM			Ln	0.0000	0.0000	
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			Ln	0.0003	0.0003	
Probabilidad de falla (Pf) a 1año Método Montecarlo			Ln	0.0000	0.0000	
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método Montecarlo			Ln	0.0000	0.0000	

**Tabla 6.19 Resumen de los Factores de Seguridad-Probabilidades Condicionales Falla Planar con Grieta**

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN TRIANGULAR												
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS												
				SEC 1	SEC 2	SEC 2	SEC 2	SEC 2	SEC 4	SEC 4	SEC 4	SEC 5	SEC 5	SEC 5		
				FPcGS1-A2	FPcGS2-A2	FPcGS2-A2	FPcGS2-A2	FPcGS2-A2	FPcGS4-A2	FPcGS4-A2	FPcGS4-A2	FPcGS5-A2	FPcGS5-A2	FPcGS5-A2		
Fricción	Cohesion (T/m <sup>2</sup> )	Lluvia	Sismo	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar		
				F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.675	1.691	1.522	1.514	1.535	1.931	1.909	1.743	2.219	2.194	2.211		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.302	1.318	1.150	1.141	1.163	1.559	1.536	1.535	1.708	1.683	1.700		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.409	1.412	1.374	1.373	1.377	1.466	1.461	1.381	1.915	1.909	1.913		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.036	1.039	1.002	1.000	1.005	1.093	1.088	1.174	1.404	1.398	1.402		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.629	1.644	1.479	1.471	1.492	1.879	1.857	1.696	2.143	2.119	2.136		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.287	1.282	1.118	1.110	1.131	1.518	1.496	1.494	1.650	1.625	1.642		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	1.368	1.372	1.335	1.333	1.338	1.424	1.419	1.342	1.848	1.843	1.846		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	1.006	1.010	0.973	0.971	0.976	1.062	1.058	1.140	1.355	1.349	1.353		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.666	1.681	1.517	1.509	1.530	1.915	1.893	1.727	2.208	2.184	2.201		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.296	1.311	1.146	1.138	1.159	1.547	1.525	1.522	1.700	1.675	1.692		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.399	1.402	1.369	1.368	1.372	1.449	1.445	1.366	1.904	1.899	1.902		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.029	1.032	0.998	0.996	1.001	1.081	1.077	1.161	1.396	1.391	1.394		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.620	1.634	1.474	1.466	1.487	1.863	1.842	1.681	2.132	2.109	2.125		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.261	1.275	1.114	1.106	1.127	1.506	1.484	1.481	1.642	1.618	1.635		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	1.359	1.362	1.330	1.328	1.332	1.408	1.404	1.327	1.837	1.833	1.836		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	1.000	1.003	0.969	0.968	0.972	1.051	1.046	1.128	1.347	1.342	1.346		
b (m)				3.0	4.0	6.0	12.0	36.0	3.0	6.0	12.0	3.0	6.0	18.0		
h (m)				44.00	12.00	39.50	39.50	39.50	16.50	16.50	16.50	16.00	16.00	16.00		
Zw (m)				0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
Material				Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2		
				ah=0,28 g	ah=0,28 g	ah=0,28 g	ah=0,28 g	ah=0,28 g	ah=0,28 g	ah=0,28 g	ah=0,28 g	ah=0,28 g	ah=0,28 g	ah=0,28 g		
Valores paramétricos empleados en cada sección				Φ <sub>max</sub>	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	
				Φ <sub>min</sub>	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4
				C <sub>max</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
				C <sub>min</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 1año Método PEM				Ln	0.0582	0.0562	0.0941	0.0972	0.0894	0.0409	0.0415	0.0143	0.0035	0.0036	0.0036	
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 10 años Método PEM				Ln	0.0777	0.0759	0.1142	0.1172	0.1095	0.0566	0.0576	0.0315	0.0116	0.0121	0.0118	
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 1año Método Montecarlo				Ln	0.0187	0.0173	0.0771	0.0737	0.0572	0.0034	0.0044	0.0006	0.0002	0.0002	0.0002	
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 10 años Método Montecarlo				Ln	0.1042	0.0892	0.2908	0.2204	0.2030	0.0336	0.0332	0.0217	0.0053	0.0059	0.0055	

**Tabla 6.20 Resumen de los Factores de Seguridad-Probabilidades Condicionales Falla Planar con Grieta**

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN TRIANGULAR												
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS												
				SEC 8	SEC 8	SEC 8	SEC 10	SEC 10	SEC 11	SEC 11	SEC 12	SEC 13	SEC 14	SEC 15		
				FPcGS8-A2	FPcGS8-A2	FPcGS8-A2	FPcGS10-A2	FPcGS10-A2	FPcGS11-A2	FPcGS11-A2	FPcGS12-A2	FPcGS13-A2	FPcGS14-A2	FPcGS15-A2		
Fricción	Cohesion (T/m <sup>2</sup> )	Lluvia	Sismo	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar			
				F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.			
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	10.165	9.995	9.752	2.729	2.664	1.907	1.888	2.296	2.585	2.134	2.413		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	7.805	7.634	7.391	2.162	2.096	1.535	1.516	1.923	2.018	1.711	1.845		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	8.824	8.786	8.732	2.185	2.170	1.460	1.456	1.547	2.153	1.652	2.114		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	6.464	6.425	6.371	1.618	1.603	1.088	1.084	1.175	1.585	1.229	1.547		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	8.882	8.733	8.520	2.629	2.566	1.856	1.837	2.236	2.490	2.071	2.323		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	6.819	6.671	6.458	2.083	2.020	1.494	1.476	1.874	1.944	1.661	1.777		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	7.709	7.676	7.628	2.103	2.089	1.419	1.415	1.504	2.072	1.602	2.035		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	5.647	5.613	5.566	1.557	1.543	1.057	1.053	1.142	1.526	1.192	1.489		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	10.112	9.948	9.715	2.709	2.646	1.891	1.873	2.267	2.569	2.117	2.402		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	7.766	7.600	7.364	2.147	2.083	1.523	1.505	1.903	2.006	1.698	1.838		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	8.772	8.740	8.695	2.165	2.152	1.445	1.441	1.519	2.137	1.635	2.104		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	6.426	6.392	6.345	1.603	1.590	1.076	1.073	1.155	1.574	1.217	1.539		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	8.835	8.692	8.488	2.610	2.548	1.840	1.822	2.208	2.475	2.055	2.313		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	6.786	6.641	6.435	2.069	2.007	1.483	1.465	1.854	1.933	1.649	1.770		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	7.663	7.635	7.596	2.084	2.072	1.404	1.400	1.477	2.057	1.585	2.025		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	5.614	5.584	5.543	1.543	1.530	1.046	1.042	1.123	1.515	1.180	1.481		
Material				b (m)	3.0	6.0	36.0	3.5	6.0	3.0	6.0	3.0	3.5	3.0	3.0	
				h (m)	9.50	9.50	9.50	6.50	6.50	6.00	6.00	3.50	9.00	24.50	29.00	
				Zw (m)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Valores paramétricos empleados en cada sección				Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2		
				ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	
				Φ <sub>max</sub>	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	
				Φ <sub>min</sub>	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	
				C <sub>max</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	
C <sub>min</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40					
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 1 año Método PEM				Ln	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.0014	0.0416	0.0422	0.0410	0.0014	0.0167	0.0015	
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 10 años Método PEM				Ln	0.0000	0.0000	0.0000	0.0050	0.0052	0.0577	0.0586	0.0634	0.0056	0.0303	0.0071	
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 1 año Método Montecarlo				Ln	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0053	0.0048	0.0011	0.0000	0.0006	0.0000	
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 10 años Método Montecarlo				Ln	0.0002	0.0003	0.0003	0.0008	0.0009	0.0332	0.0342	0.0101	0.0010	0.0099	0.0023	

**Tabla 6.21 Resumen de los Factores de Seguridad-Probabilidades Condicionales Falla Planar con Grieta**

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN TRIANGULAR			
				CONDICION DE ANALISIS			
				SEC 18	SEC 18	SEC 18	
				FPcGS18-A2	FPcGS18-A2	FPcGS18-A2	
Fricción	Cohesion (T/m <sup>2</sup> )	Lluvia	Sismo	Planar	Planar	Planar	
				F.S.	F.S.	F.S.	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	3.139	3.107	3.087	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	2.369	2.337	2.316	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	2.841	2.834	2.829	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	2.070	2.063	2.059	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	2.990	2.959	2.940	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	2.256	2.226	2.206	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	2.705	2.698	2.694	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	1.971	1.964	1.960	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	3.129	3.097	3.078	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	2.361	2.329	2.310	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	2.830	2.824	2.820	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	2.062	2.056	2.052	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	2.980	2.950	2.931	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	2.249	2.219	2.200	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	2.695	2.689	2.685	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	1.964	1.958	1.954	
				b (m)	3.0	6.0	24.0
				h (m)	17.00	17.00	17.00
				Zw (m)	0.5	0.5	0.5
Material				Ksgt A2	Ksgt A2	Ksgt A2	
				ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	
Valores paramétricos empleados en cada sección	Φ <sub>max</sub>			39.3	39.3	39.3	
	Φ <sub>min</sub>			32.4	32.4	32.4	
	C <sub>max</sub> (ton/m <sup>2</sup> )			2.20	2.20	2.20	
	C <sub>min</sub> (ton/m <sup>2</sup> )			0.40	0.40	0.40	
Probabilidad de falla (Pf) a 1año Método PEM			Ln	0.0002	0.0002	0.0002	
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			Ln	0.0016	0.0018	0.0018	
Probabilidad de falla (Pf) a 1año Método Montecarlo			Ln	0.0000	0.0000	0.0000	
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método Montecarlo			Ln	0.0003	0.0002	0.0004	

**Tabla 6.22 Resumen de los Factores de Seguridad-Probabilidades Condicionales Falla Rotacional y Traslacional**

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL												
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS												
				SEC 1	SEC 1	SEC 1	SEC 2	SEC 2	SEC 3	SEC 3	SEC 3	SEC 3	SEC 3	SEC 3		
				CSA 1R1	CSA 1T1	CSA 1T2	CSA 2R1	CSA 2S1	S3-S1	S3-S2	S3-S3	S3-S4	S3-S5	S3-S6		
Rotacional	Traslacional	Traslacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional					
Fricción	Cohesion (T/m <sup>2</sup> )	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.			
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	2.073	1.894	2.086	1.423	1.748	2.502	1.744	1.145	1.290	2.019	1.618		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.906	1.768	1.896	1.092	1.391	1.940	1.484	0.944	0.993	1.569	1.257		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.436	1.284	1.516	1.066	1.472	2.191	1.478	0.917	1.141	1.762	1.413		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.268	1.155	1.326	0.934	1.016	1.629	1.117	0.712	0.845	1.314	1.055		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.629	1.328	1.403	0.966	1.239	1.488	1.257	0.844	0.854	1.248	1.035		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.510	1.258	1.288	0.762	1.016	1.178	1.023	0.725	0.678	0.993	0.824		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	1.091	0.841	0.980	0.825	0.992	1.264	1.022	0.627	0.725	1.051	1.413		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	0.971	0.788	0.864	0.621	0.770	0.953	0.782	0.506	0.548	0.797	0.660		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.685	1.530	1.605	0.756	1.007	1.792	1.462	1.145	1.088	1.533	1.348		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.581	1.457	1.494	0.616	0.854	1.431	1.222	0.944	0.849	1.221	1.063		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.066	0.953	1.059	0.616	0.761	1.502	1.201	0.917	0.945	1.288	1.151		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	0.961	0.876	0.945	0.474	0.608	1.140	0.920	0.712	0.706	0.977	0.866		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.284	1.042	1.032	0.382	0.597	0.978	1.002	0.844	0.684	0.871	0.809		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.219	1.013	0.976	0.343	0.548	0.810	0.839	0.725	0.554	0.724	0.663		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.769	0.580	0.634	0.259	0.385	0.770	0.775	0.627	0.557	0.685	0.647		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.701	0.547	0.575	0.220	0.333	0.603	0.612	0.506	0.430	0.536	0.504		
Material				Q <sub>ra</sub>	Q <sub>ra</sub>	Q <sub>ra</sub>	Q <sub>t+c</sub>	Q <sub>t+c</sub>	Q <sub>t+c</sub>	Q <sub>t+c</sub>	Q <sub>t+c</sub>	Q <sub>t+c</sub>	Q <sub>t+c</sub>	Q <sub>t+c</sub>		
				ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g		
Valores paramétricos empleados en cada sección				Φ <sub>max</sub>	27.0	27.0	27.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	
				Φ <sub>min</sub>	22.8	22.8	22.8	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
				C <sub>max</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	2.10	2.10	2.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
				C <sub>min</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	0.90	0.90	0.90	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Probabilidad de falla (Pf) a 1año Método PEM				Ln	0.0126	0.0369	0.0090	0.2692	0.0820	0.0007	0.0166	0.7006	0.3841	0.0052	0.0469	
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM				Ln	0.0610	0.1192	0.0662	0.5124	0.3515	0.0115	0.0689	0.7060	0.5213	0.0433	0.1342	
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM				Ln	0.1160	0.2092	0.1345	0.7514	0.6204	0.0393	0.1326	0.7147	0.6586	0.0953	0.2316	



**Tabla 6.23 Resumen de los Factores de Seguridad-Probabilidades Condicionales Falla Rotacional y Traslacional**

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL												
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS												
				SEC 3	SEC 4	SEC 4	SEC 5	SEC 5	SEC 7	SEC 8	SEC 11	SEC 12	SEC 13	SEC 14		
				S3-S7	CSA4S1	CSA4R1	CSA5R1	CSA5R2	CSA7R1	CSA8S12	CSA11R1	CSA12S1	CSA13S1	CSA14S1		
Fricción	Cohesion (T/m <sup>2</sup> )	Lluvia	Sismo	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Traslacional	Traslacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional		
				F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.418	1.474	3.679	2.185	3.609	1.987	1.967	1.962	3.624	2.379	1.871		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.090	1.363	3.423	2.043	3.475	1.782	1.823	1.749	3.382	2.037	1.665		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.258	0.994	2.434	1.404	1.994	1.352	1.297	1.223	2.225	1.773	1.285		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	0.930	0.880	2.176	1.262	1.856	1.210	1.147	1.100	1.981	1.428	1.079		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	0.907	1.059	1.960	1.662	2.787	1.660	1.801	1.755	2.992	1.603	1.427		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	0.716	1.000	1.850	1.578	2.714	1.539	1.713	1.606	2.843	1.405	1.305		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	0.772	0.652	1.223	0.993	1.446	1.067	1.117	1.027	1.752	1.143	0.921		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	0.583	0.593	1.107	0.908	1.368	0.929	1.022	0.868	1.600	0.941	0.798		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.181	1.137	3.508	1.651	2.948	1.166	1.273	1.962	2.433	1.705	1.102		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	0.920	1.078	3.270	1.589	2.898	1.103	1.237	1.749	2.340	1.540	1.035		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.024	0.682	2.520	0.917	1.442	0.700	0.742	1.223	1.382	1.139	0.666		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	0.765	0.621	2.016	0.855	1.386	0.630	0.701	1.100	1.284	0.969	0.597		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	0.708	0.776	1.868	1.205	2.238	0.892	1.094	1.755	2.433	1.093	0.766		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	0.576	0.760	1.767	1.188	2.235	0.890	1.115	1.606	1.917	1.026	0.761		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.579	0.386	1.133	0.579	0.997	0.459	0.567	1.027	1.007	0.670	0.395		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.445	0.371	1.031	0.557	0.982	0.449	0.553	0.868	0.982	0.596	0.387		
Material				Qt+c	Qra	Qra	Qra	Qra	Qra	Qbl	Qbl	Qmo	Qbl	Qbl	Qbl	
				ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	
Valores paramétricos empleados en cada sección				Φ <sub>max</sub>	36.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.7	27.7	29.3	27.7	27.7	27.7	
				Φ <sub>min</sub>	27.0	22.8	22.8	22.8	22.8	20.3	20.3	20.5	20.3	20.3	20.3	
				C <sub>max</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	1.00	2.10	2.10	2.10	2.10	2.00	2.00	2.32	2.00	2.00	2.00	2.00
				C <sub>min</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	0.50	0.90	0.90	0.90	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 1año Método PEM				Ln	0.1883	0.2732	0.0001	0.0247	0.0019	0.0400	0.0500	0.0540	0.0161	0.0056	0.0735	
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 10 años Método PEM				Ln	0.3338	0.4286	0.0014	0.1105	0.0107	0.2574	0.2220	0.0570	0.1277	0.0479	0.3033	
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 25 años Método PEM				Ln	0.4815	0.5848	0.0042	0.2035	0.0220	0.4761	0.3960	0.0600	0.2484	0.1021	0.5354	

**Tabla 6.24 Resumen de los Factores de Seguridad-Probabilidades Condicionales Falla Rotacional y Traslacional**

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL						
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS						
				SEC 14	SEC 14	SEC 14	SEC 15	SEC 15	SEC 19	
				CSA 14S2	CSA 14S3	CSA 14S4	CSA 15S1	CSA 15S2	CSA 19S1	
				Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	
Fricción	Cohesion (T/m <sup>2</sup> )	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.987	2.334	2.192	2.364	2.756	5.970	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.680	2.045	2.125	2.062	2.479	4.980	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.477	1.819	1.885	1.693	2.277	4.250	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.168	1.521	1.807	1.391	1.994	3.268	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.346	1.615	1.512	1.681	1.739	2.506	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.172	1.445	1.481	1.503	1.595	2.116	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	0.950	1.214	1.276	1.143	1.400	1.747	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	0.725	1.035	1.234	0.965	1.250	1.356	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.277	1.470	1.386	1.509	1.907	4.381	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.151	1.340	1.363	1.368	1.765	3.861	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	0.846	1.071	1.153	0.996	1.536	2.776	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	0.716	0.932	1.118	0.853	1.388	2.255	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	0.786	0.945	0.892	0.996	1.168	1.808	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	0.753	0.898	0.892	0.946	1.117	1.622	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.460	0.638	0.714	0.584	0.905	1.101	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.387	0.580	0.703	0.534	0.846	0.912	
Material				Q <sub>mo</sub>	Q <sub>mo</sub>	Q <sub>bl</sub>	Q <sub>bl</sub>	Q <sub>bl</sub>	Q <sub>mo</sub>	
				ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	
Valores paramétricos empleados en cada sección				Φ <sub>max</sub>	29.3	29.3	27.7	27.7	27.7	29.3
				Φ <sub>min</sub>	20.5	20.5	20.3	20.3	20.3	20.5
				C <sub>max</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	2.32	2.32	2.00	2.00	2.00	2.32
				C <sub>min</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Probabilidad de falla (Pf) a 1año Método PEM				Ln	0.0341	0.0073	0.0005	0.0125	0.0001	0.0001
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM				Ln	0.2082	0.0654	0.0106	0.1004	0.0037	0.0012
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM				Ln	0.3877	0.1378	0.0393	0.1994	0.0169	0.0055

## 6.2.2 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA

La amenaza, entendida como la probabilidad de excedencia de un parámetro específico durante un tiempo de exposición determinado, puede describirse en el caso de deslizamientos, mediante la evaluación del factor de seguridad  $FS$  como parámetro específico de estabilidad (Sánchez, 2000).

Conocidas la composición geotécnica de cada ladera y las probabilidades condicionales, el último paso para obtener el mapa de Zonificación de Amenaza consiste en determinar las zonas de afectación esperadas de los procesos. Dichas áreas fueron demarcadas una vez estimadas las distancias probables de viaje de las masas, labor que se llevó a cabo gracias a la implementación del modelo establecido por P.J. Finlay et al (1998) en los suelos residuales y brecha de falla, cuya representación física se observa en las secciones 6-6' a 8-8", y mediante el empleo del programa Colorado Rockfall Simulation Program (CRSP), para modelar la caída de bloques por medio de las secciones 9-9', 10-10' y 16-16' a 18-18' (véase Anexo D 5.1)

En el caso de los suelos residuales, brecha de falla y llenos se toman como variables de entrada: la morfometría del talud, la altura y la pendiente, y la profundidad de la masa involucrada, función de coeficientes promedios o máximos (promedios más una desviación estándar) y que responden a la siguiente ecuación:

donde

$$\text{LogL} = C0 + C1 \times I1 + C2 \times I2$$

$C0$ ,  $C1$  y  $C2$ : Constantes del análisis estadístico (P.J. Finlay et al)

$I1$ : Log H (altura del talud)

$I2$ : Log (tan A) (inclinación de la cara del talud)

En la **Tabla 6.25** se condensan las longitudes calculadas (tanto con los coeficientes máximos y promedios) para todos los cuerpos potencialmente inestables discriminados por sección y tipo de geoforma (ya sea corte o relleno).

**Tabla 6.25 Distancias de Viaje**

CONDICIONES GEOMÉTRICAS DEL TALUD			DISTANCIA DE VIAJE DE DESLIZAMIENTO									
Sección	Altura del Talud	Angulo del Talud	Coeficientes				Variables				Distancia de viaje	Distancia de viaje Adoptada
	H (m)	A (°)	Estados	Co	C1	C2	I1	TAN (A)	I2	Log L	DV (m)	DV (m)
2-2	20	40	Promedios	0.109	1.01	-0.51	1.30	0.84	-0.076186	1.46	28.95	36.57
			Máximos	0.156	1.055	-0.45	1.30	0.84	-0.076186	1.56	36.57	
3-3	16	47	Promedios	0.109	1.01	-0.51	1.20	1.07	0.0303441	1.31	20.41	25.86
			Máximos	0.156	1.055	-0.45	1.20	1.07	0.0303441	1.41	25.86	
1-1	8	35	Promedios	0.109	1.01	-0.51	0.90	0.70	-0.154773	1.10	12.57	15.10
			Máximos	0.156	1.055	-0.45	0.90	0.70	-0.154773	1.18	15.10	

La caída de bloques, el CRSP tiene en cuenta la topografía, la rugosidad de la superficie de caída y su capacidad de disipación de energías tangencial y normal, esto último función de los materiales que afloran en las caras libres. En la **Tabla 6.26** se circunscriben las distancias máximas esperadas, y en el **Anexo D.6** las memorias de cálculo.

**Tabla 6.26 Distancias de Viaje según el CRSP**

SECCIÓN	DISTANCIA DE VIAJE
6	20m
9	40m
10	60m
16	40m
17	30m
18	35m

Conjugados los datos obtenidos tanto del PEM como del modelo de Finlay y del CRSP, pudo dividirse la vertiente en tres categorías de similar condición de amenaza: Baja, Media y Alta, la clasificación de las zonas se realizó con base en la escala propuesta por González y Millán (1999), demarcado en el “Estudio de Zonificación de Santa Fe de Bogotá” pero adaptada al caso en estudio, y que versa en la **Tabla 6.27**, y la calibración de los mapas de amenaza se llevó a cabo por contrastación con los procesos de remoción en masa, actuales y pasados, parte importante de este estudio y tratados en el Capítulo 3. De esta manera, si el tiempo de exposición actual (1 año) el nivel de amenaza en la mayor

parte del barrio es baja, tan sólo el cuadrángulo forjado entre las carreras 23 y 24 y las calles 180b y 181 Bis expone categorías de media y alta. El panorama se amplía a 10 años: no sólo la región LEA-ms-III-1 cambia a alta, sino que las zonas LEAe-III-1, LEA-bl-III-2 y LEA-tr-IV-1 pasan de probabilidades condicionales del 6% al 12%, es decir la amenaza se ratifica en media.

**Tabla 6.27 Categorización de la Amenaza (adaptado de González y Millán, 1999)**

FACTOR DE SEGURIDAD		PROBABILIDAD DE FALA		NIVEL DE AMENAZA	
DE	A	DE	A		
0.1954	1.1000	0.9569	0.4430	ALTA	A
1.1000	1.9362	0.4430	0.1259	MEDIA	M
1.9362	4.8764	0.1259	0.0040	BAJA	B

De lo anterior se establece que es imprescindible hacia el futuro preservar sin intervención antrópica las superficies libres, evitar el aporte de aguas (servidas o blancas) y proteger las superficies expuestas, pues de lo contrario la condición de amenaza puede empeorarse.

## 7 EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO

### 7.1 VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad, entendida como la predisposición intrínseca de un sujeto o elemento a sufrir daño debido a posibles acciones externas (La Red, 2000), es función de la exposición y de la resistencia, variables dependientes a su vez de la solicitud v.g. un deslizamiento. Es medible al grado de severidad de las consecuencias esperadas. Su cuantificación está dada por dos connotaciones: una en términos de costos por el daño físico y otra por el peso específico de las variables que inciden en la función socioeconómica (Millán, J.A., 2000). Su evolución contribuye en forma fundamental al conocimiento del riesgo mediante interacciones del elemento susceptible con el ambiente peligroso; en otras palabras, tiene como objetivo analizar la respuesta de los elementos frente a los diferentes fenómenos de remoción en masa potenciales y actuales y, junto con la evaluación de amenaza, dilucidar el(los) tratamiento(s) por adelantar. Dentro del referido contexto, por ejemplo, si las viviendas no se localizan en la zona de influencia o se encuentran expuestos y gracias a su resistencia no sufren daño alguno, puede optarse por convivir con el problema; en caso contrario, y según sea la gravedad de las consecuencias, se debe recurrir a obras de estabilidad o a programas de reubicación.

#### 7.1.1 METODOLOGÍA

##### 7.1.1.1 Criterios Aplicados

Acorde con la concepción de vulnerabilidad asimilada para este proyecto, la determinación de un índice que permita evaluarla, involucra las variables: resistencia y solicitud. Su asignación trae consigo grados de incertidumbre que aunada con la ausencia de modelos objetivos, universales y de apropiado sustento teórico, hacen que esta tarea recaiga en los métodos de racionamiento aproximado, y por ende, encierre algún nivel de subjetividad. Sin embargo, y en aras de subsanar éstas limitaciones la metodología empleada en este estudio, está fundada en la propuesta de LEONE (1996) con algunas modificaciones del consultor. Este procedimiento expresa la vulnerabilidad en función de los posibles daños que pueden sufrir los elementos expuestos situados en la zona de afectación previsible por el fenómeno, y que se definen en formas teórica y porcentual, a partir de las intensidades de daño. Aunque LEONE categoriza los niveles de resistencia con base en los sistemas estructurales de las unidades residenciales, en este caso se tuvieron en cuenta otras variables como: calidad de la construcción, sistemas de cimentación, estructura y recubrimiento de la cubierta y daños en la construcción que se consideraron importantes. Las mencionadas variables fueron ponderadas (véanse **Tabla 7.1a 7.6**).

FOPAE.	CONSORCIO GIA - GEOCING	GIA -046-06		CAP. 7 – PAG. 198	
Versión:	1			Fecha	23/10/06
Elaboró:	AGP	Revisó:	JALG	Aprobó:	JALG

**Tabla 7.1 Evaluación de la capacidad de respuesta de la edificación**

CALIFICACIÓN DEL NIVEL DE RESISTENCIA						
VARIABLE	SISTEMA ESTRUCTURAL	CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN	PARTES ESTRUCTURALES (ENTREPISO)	TIPO DE CIMENTACIÓN	DAÑO EN LA CONSTRUCCIÓN	CALIFICACIÓN
PESO IMPORTANCIA(%)	20	20	20	20	20	A, B, C, D, E, F o G.

**Tabla 7.2 Calificación para variable: Sistema estructural**

CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
Bueno	Pórtico, mampostería estructural, muros portantes confinados	20
Regular	Muros portantes no confinados o combinación de confinados y pórtico con muros no confinados	14
Malo	Vivienda de 3 pisos con muros portantes no confinados, estructuras en materiales de recuperación o viviendas prefabricadas.	6

**Tabla 7.3 Calificación para variable: Daño en la construcción**

CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
Ninguno	Sin fisuras , ni tipo de fractura alguno	20
Leve	Fisuras o grietas catalogadas como leves de acuerdo con el instructivo.	18
Moderado	Existen grietas intermedias en el instructivo.	15
Alto parcial	Grietas en un solo elemento estructural o no estructural	10
Alto total	Aparición de grietas que representan daño alto, en varios elementos de la estructura.	8
Severo parcial	Aparición de grietas de daño severo, en un solo elemento estructural o no estructural	4
Severo total	Aparición de grietas de daño severo, en varios elementos de la estructura.	1

**Tabla 7.4 Calificación para variable: Calidad de la construcción**

CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
Buena	Muros plomados, elementos estructurales definidos geoméricamente.	15
Regular	Muros con desplome, con elementos estructurales y no estructurales no definidos, hormiguo, losas irregulares.	10
Mala	Hormiguo intenso, muros con inclinaciones severos, con juntas totalmente irregulares.	5

**Tabla 7.5 Calificación para variable: Partes estructurales**

CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
Bueno	Entrepisos y/o pisos en concreto, metal o madera y Placa como cimentación; y Entrepiso y/o pisos en concreto y viga de amarre.	20
Regular	Entrepisos y/o pisos en concreto o metal y cimentación en concreto ciclópeo; y Entrepisos y/o pisos en concreto y sistema de cimentación mixto (*).	15
Malo	Entrepisos y/o pisos en madera y sistema de cimentación mixto (*) o en concreto ciclópeo.	10
Pésimo	Entrepisos y/o pisos metálicos y sistema de cimentación mixto (*).	5

Sistema de cimentación mixto: combinación de zapatas con vigas de amarre y viga de cimientu existente



**Tabla 7.6 Calificación para variable: Sistema de cimentación**

CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
Bueno	Zapatas y vigas de amarre	17
Regular	Zapatas aisladas o vigas de amarre.	13
Malo	Placas de concreto, concreto ciclópeo o sistema mixto.	9
Pésimo	No hay cimentación homologable con los anteriores o es inexistente	3

De esta forma, la capacidad de respuesta de la estructura o los niveles de “resistencia” fueron clasificados como:

**NIVEL A:** Viviendas que cumplen con parámetros mínimos de rigidez y solidez estructural, tipo pórtico, mampostería estructural o de muros confinados, exenta de daños o con leves daños, buena calidad de la construcción y de cubierta, y con zapatas y vigas de amarre.

**NIVEL B:** Unidades residenciales con parámetros mínimos de rigidez y solidez estructural, tipo pórtico, mampostería estructural o de muros portantes confinados, con calidad de la construcción de buena a regular, cubiertas en concreto, cimentación en zapatas y viga de amarre, con daños catalogados desde leves hasta moderados.

**NIVEL C:** El sistema estructural es de muros portantes no confinados, o combinación de confinados y pórtico con muros no confinados, con daños no mayores a moderados y calidad regular de la construcción. La cubierta es en concreto, asbesto-cemento o zinc, y la cimentación es de zapatas aisladas o vigas de amarre, o de zapatas con vigas de amarre.

**NIVEL D:** Encierra muros portantes no confinados o combinación de confinados y pórtico con muros no confinados, cubiertas en asbesto-cemento o zinc, con daños moderados y calidad de la construcción de regular a mala. La cimentación está compuesta por zapatas aisladas o vigas de amarre, o por placas de concreto simple o ciclópeo.

**NIVEL E:** El sistema estructural es de muros portantes no confinados, o combinación de confinados y pórtico con muros no confinados, cubiertas en asbesto-cemento o zinc sobre estructuras de madera, con mala calidad de la construcción y daños hasta altos parciales. La cimentación es en placas de concreto simple o ciclópeo.

**NIVEL F:** Viviendas de tres pisos en muros no confinados, casas prefabricadas o hechas con materiales de recuperación, las cubiertas son en cartón, zinc, madera, u otros menos resistentes. La cimentación es de placas de concreto simple o ciclópeo, o no es homologable con otros sistemas, o es inexistente.

**NIVEL G:** Lo comprenden edificaciones en proceso de construcción y lotes vacíos.

### 7.1.1.2 Información Primaria

La recopilación de los datos que permiten evaluar la capacidad de respuesta de la estructura y determinar el nivel de daño de sus alrededores, se solventó a través del inventario de las 351 viviendas y sus familias circunscritas en la zona de estudio. En tanto que la fijación de la solicitud se fundamentó en los resultados del análisis de amenaza descrito en el Capítulo 6.0. Sin embargo, contrario al amplio número de predios, la cobertura de información, y en especial en el contexto social y la condición estructural, es apenas aceptable. En el mejor escenario el nivel de confianza alcanza el 68.7%; durante el censo no sólo 110 familias se encontraban fuera de su hábitat rutinario: hacían parte del programa de asentamiento temporal, sino que buena parte se rehusó a colaborar, en el “conocimiento popular” la información sería usada para la compra o expropiación de los predios.

#### ▪ Inventario de Viviendas

El estudio de la vulnerabilidad de los elementos expuestos, en este caso las viviendas, se realizó utilizando como instrumento de recolección el “Formulario para la evaluación de daños y estado en edificaciones por fenómenos de remoción en masa”. El formato está conformado por 4 secciones: La primera de ellas denominada: Datos Generales, comprende información concerniente al propietario, a la ubicación espacial y catastral de los predios y a las características orgánicas de las viviendas. La segunda: Condición Estructural, indaga acerca de las características de fundación y de estructura de las construcciones así como de su calidad constructiva. La tercera titulada: Daños, se enfoca hacia la categorización de las averías o expresiones “patológicas” (a priori) en elementos estructurales y no estructurales, a la auscultación sobre filtraciones, y al planteamiento de alguna medida a priori de acuerdo con lo observado. Y la última condensa datos enmarcados en el contexto social. Finalmente, contiene un espacio para observaciones, en las que se plasman comentarios de los habitantes o apreciaciones del aforador que en alguna medida contribuyen al estudio. En el **Anexo E2** se dispone el formato de campo con el instructivo que sirvió como guía para su utilización.

#### ▪ Definición del Tipo de Solicitud

A partir de la evaluación de estabilidad descrita en el capítulo 6.0, de los resultados de amenaza y de la estimación de las distancias de viaje que alcanzarían los bloques se determinaron los probables tipos de solicitudes a los que están expuestas o se expondrían las unidades residenciales, resumidas en impactos, empujes y desplazamientos verticales, pero con dos grados de intensidad. (véase **Tabla 7.9** - columna solicitud).

### 7.1.2 VULNERABILIDAD SOCIAL

La vulnerabilidad en este contexto, se define como la susceptibilidad de un grupo social ante la ocurrencia de un desastre que ocasione daños físicos en las edificaciones, vías y elementos urbanísticos, o alteraciones permanentes o temporales en la estructura orgánica y funcionamiento de una comunidad; es una medida indirecta de su capacidad de respuesta. Aunque su evaluación es muy subjetiva, se pueden examinar variables que la revelen en alguna medida. En este orden de ideas, el acopio de datos involucró tópicos como: la capacidad económica de los pobladores, la cobertura de los servicios públicos, las organizaciones cívicas, la tipología de viviendas y, 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.

El referido abanico de variables permite entonces, dilucidar y plantear la “línea base” del grupo social, plataforma indispensable, si se desea cuantificar de manera alguna la vulnerabilidad social; estimar el tiempo de recuperación de los habitantes en caso de un desastre y especificar la ayuda necesaria del estado.

#### ▪ **Capacidad Económica de Pobladores**

El nivel de ingresos de la población en general se puede concebir como medio-bajo, entendido éste como el suficiente para surtir las necesidades básicas de supervivencia. De acuerdo con la percepción en el aforo de las familias, los ingresos mensuales alcanzan el salario mínimo en el 6% de los casos, oscilan desde \$408,000 hasta \$816,000 también en el 6%, y superan los dos salarios mínimos en el 12% del conjunto, ingresos insuficientes para un grupo familiar constituido en promedio por 8 integrantes; y delicado para el 28% pues en tales núcleos la población supera los 10 habitantes; si bien del 75% restante de las familias se carece de información (más por la reticencia de los pobladores a colaborar), se cree que el ingreso per cápita engrosa la segunda y tercera categoría; tal presunción se abstrae de los bienes muebles e inmuebles que poseen (según inspección ocular). El valor comercial de las viviendas oscila desde 30 hasta 40 millones, para el 4%, entre 10 y 20 millones para el 3% de las unidades; del 81% sin reporte, se cree, por similitud con sus vecinos, tienen valores comerciales entre 30 y 50 millones; otros intervalos se pueden apreciar en la **Figura 7.5**. Empero, su costo en sí no pasaría de ser una cifra anecdótica, si no se entrelaza con la propiedad: de este particular conjunto el 40% de las unidades es alquilada, y en alguna proporción cohabitan propietarios y arrendatarios.

#### ▪ **Cobertura de Servicios Públicos**

Todas las familias poseen energía eléctrica y acueducto, pero su alcantarillado es informal, es decir, construido por la comunidad. Más del 90% están dotadas con teléfono y gas natural. Y sólo las calles en el segundo y tercer nivel del barrio y la carrera 23, parcialmente están sin pavimentar. (**Figura 7.2**).

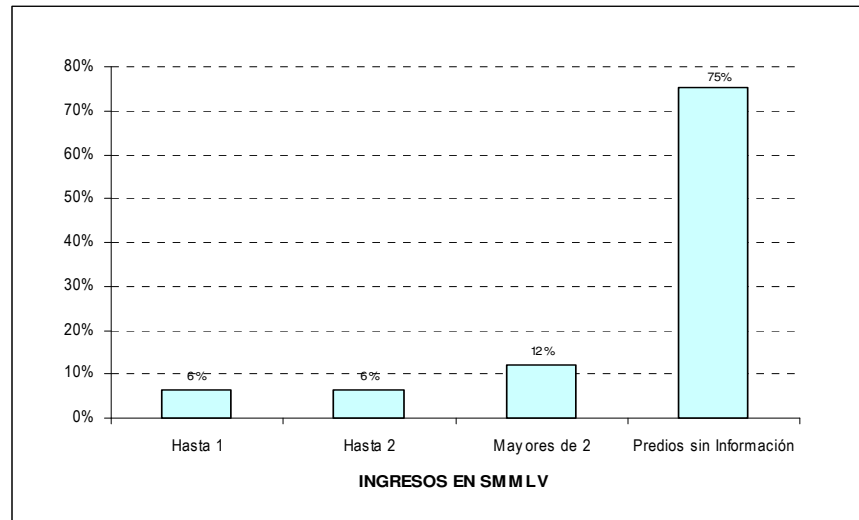
#### ▪ **Organizaciones Cívicas**

El sector cuenta con una Junta de Acción Comunal organizada y participativa. Si bien la junta propende por el bienestar social y sus temas de interés se centran en: educación, cultura, urbanismo y políticas de desarrollo, la prevención y atención de emergencias tiene gran importancia en las actividades que desarrollan sus miembros, máxime a partir de la alerta provocada por el deslizamiento del 8 de mayo. Basta mencionar que el plan de evacuación durante la más reciente emergencia (final del primer semestre) fue organizado y propiciado por la comunidad en cabeza de la junta.

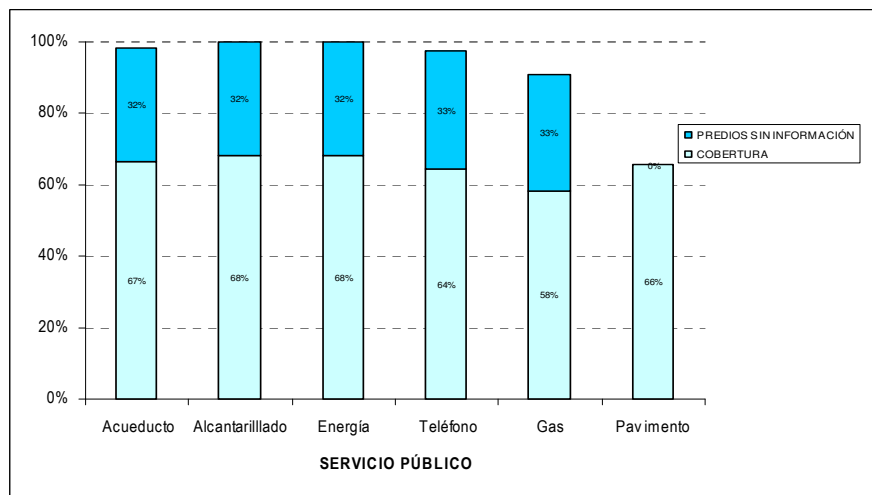
#### ▪ **Tipología de las Viviendas**

Aunque el tipo de vivienda y sus características físicas se analizarán dentro del contexto de la vulnerabilidad física, las construcciones en sí mismas son indicativo de la calidad de vida de los habitantes. El 48% de las edificaciones exhiben un sistema estructural aporricado, el 21% está conformado por muros portantes no confinados y el 13% consiste en estructuras de muros portantes confinados. Predios sin información y otros sistemas de baja respuesta, componen el restante 18% (véase **Figura 7.3**). Este panorama deja desde ya entrever posibilidades de recuperación en circunstancias de emergencia o desastre. Tres décadas se requirió para la consolidación urbanística.

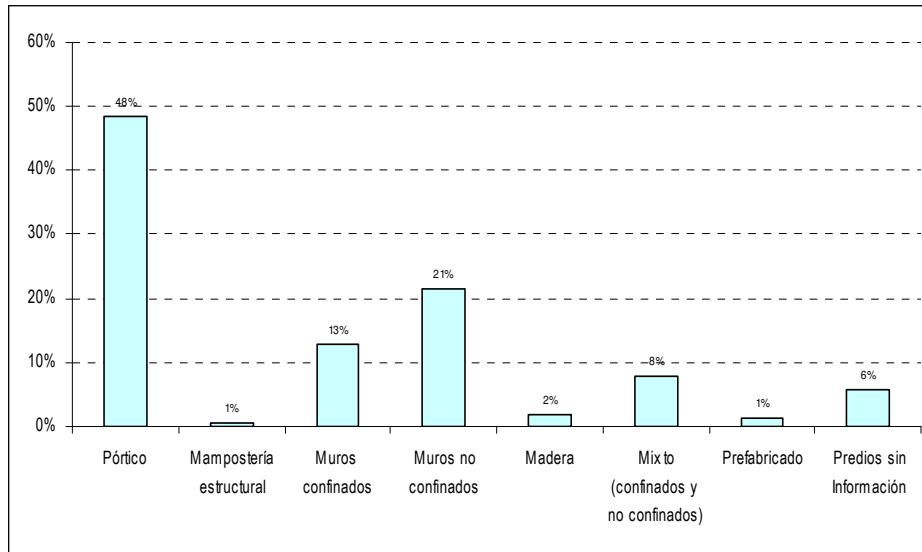
**Figura 7.1 Capacidad Económica**



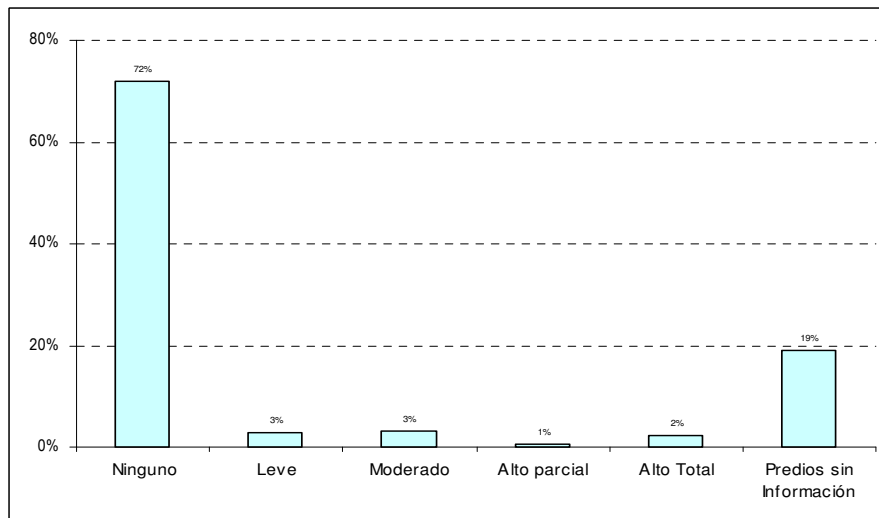
**Figura 7.2 Cobertura de servicios públicos**



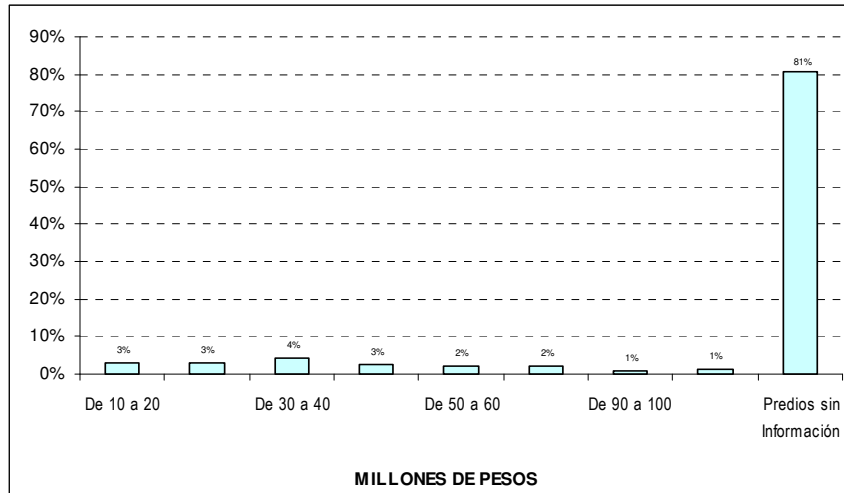
**Figura 7.3 Sistema estructural**



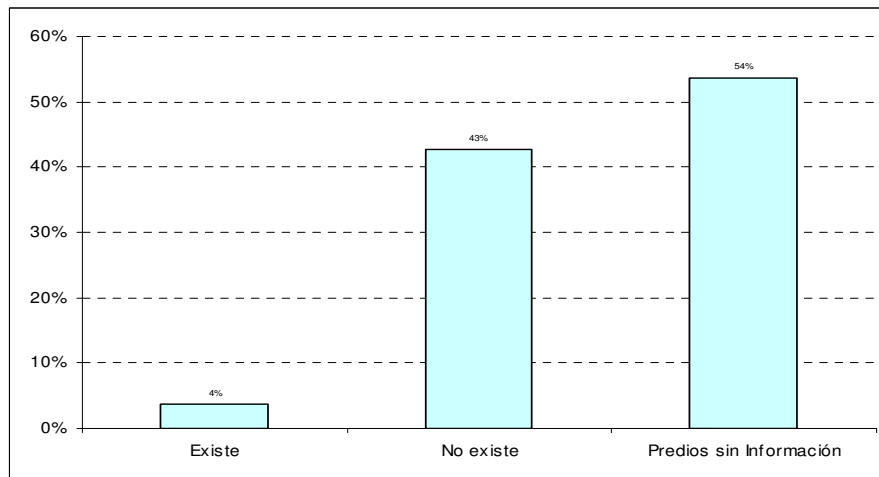
**Figura 7.4 Daños generales de la construcción**



**Figura 7.5 Valoración comercial de la vivienda por los propietarios**



**Figura 7.6 Percepción del peligro**



▪ **Percepción del Peligro**

A parte de las 110 familias en evacuación temporal; receptoras de la emergencia del 8 de mayo, Tan solo el 4% de los habitantes muestra preocupación, por caída de bloques. Por lo demás, para el 43% de las personas encuestadas, no existe percepción del peligro por algún proceso morfodinámico. (Véase **Figura 7.6**).

### ▪ Daños Generales de la Construcción

Se estableció el nivel de daño general en las viviendas con base en las características geométricas de las grietas en los elementos de las estructuras, en su ubicación y su cantidad. Esta información se obtuvo a partir de la observación directa en las unidades residenciales, y de los comentarios de sus habitantes. Los criterios encaminados a establecer el nivel de daño general de las estructuras, se consigna en el instructivo del formato de recolección, dispuesto en el **Anexo E2**. En la **Figura 7.4** se exponen los resultados de éste ítem y de ella se puede extraer que en el 72% de las viviendas encuestadas no se presenta algún tipo de daño, el 3% alcanza daños leves y la misma proporción presenta daños moderados y severos (tres de ellas hoy día, demolidas).

### ▪ Recuperación Económica

Con el fin de cuantificar la vulnerabilidad social se determinó como unidad comparativa el tiempo, en años, que tomaría cada núcleo familiar en recuperar su patrimonio actual. Dicha recuperación se haría efectiva en el momento en que, a través de un ahorro mensual, la acumulación monetaria iguale al monto patrimonial, hoy día. La tasa de ahorro, es decir, la capacidad de endeudamiento, se definió como una fracción del salario, y es función del ingreso mensual; para familias con ingresos de hasta 1 salario mínimo la capacidad de ahorro es de apenas el 10%, mientras, para aquellas que perciben más de 2 salarios mínimos la tasa de endeudamiento asciende al 30%, como se puede apreciar en la **Tabla 7.7**.

**Tabla 7.7 Capacidad de endeudamiento**

CATEGORÍA DE INGRESOS	CAPACIDAD DE ENDEUDAMIENTO
Hasta 1 SMMLV	10%
Entre 1 y 2 SMMLV	20%
Más de 2 SMMLV	30%

De otra parte las pérdidas potenciales por la ocurrencia del evento, en ningún caso serían iguales al 100% del patrimonio. Así entonces, la fracción del patrimonio a recuperar, es proporcional a la intensidad de daño, definida en la **Tabla 7.10** (véase numeral 7.1.3 Vulnerabilidad física-Cualificación de daños). Por ejemplo, en viviendas con intensidades de daño 1, las pérdidas esperadas se aproximan al 10% de su patrimonio, y aquellas con intensidad de 5, alcanzan hasta el 50%. La relación entre la intensidad de daño y el porcentaje de pérdidas se ilustra en la **Tabla 7.8**.

**Tabla 7.8 Porcentaje de pérdidas**

INTENSIDAD DE DAÑO	PORCENTAJE DE PÉRDIDAS
1	10%
2	20%
3	30%
4	40%
5	50%

La recuperación económica en años, se determinó como:

$$RE = \frac{\text{Patrimonio}}{\text{SalarioMensual}} * \frac{\%Pérdidas}{1200} * CE^{-1}$$

En dónde:

*RE* : Recuperación económica en años

*%Pérdidas* : Fracción del patrimonio. Véase **Tabla 7.8**

*CE* : Capacidad de endeudamiento (**Tabla 7.7**).

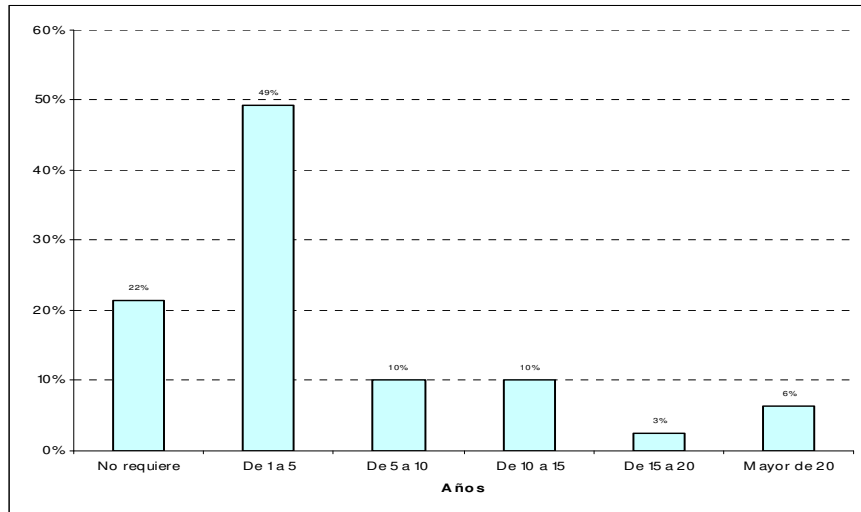
El resultado del análisis anterior se registra en la **Tabla 7.9**, en la columna recuperación económica.

En conclusión, si llegase a ocurrir el evento, el 22% de las familias no se verían afectadas, gracias a las aceptables condiciones de resistencia de sus viviendas o por tener una ubicación favorable. Sin embargo, el 49% tardaría de 1 a 5 años para recuperar su patrimonio, el 10% necesitaría de 5 a 10 años, y el 19% esperaría más de 10 años. Esta clasificación se expresa en la **Figura 7.7**.

Estos resultados se obtienen al tomar como universo total, la muestra encuestada.



**Figura 7.7 Recuperación económica en años**



### 7.1.3 VULNERABILIDAD FÍSICA

La vulnerabilidad física –viviendas-, se expresa como una medida porcentual de los costos de las averías originadas por un agente destructor, en este caso los Fenómenos de Remoción en Masa (FRM). La fracción (expresado en partes por uno) del perjuicio sobre el inmueble, definido con ID, índice de daño, es proporcional a la exposición de los elementos e inversamente proporcional a su resistencia. El primer tópico se estudió con base en las posibles longitudes de viaje, y el segundo con la tipología de viviendas, como se explica a continuación: la **Tabla 7.9** condensa los datos que conllevan al hallazgo del índice de vulnerabilidad.

**Tabla 7.9 Evaluación de Vulnerabilidad y Riesgo**

### ▪ Cualificación de Daños

Los perjuicios que se producirían sobre las unidades, están condicionados por dos grupos de variables: el de exposición y el de resistencia. El primero involucra el tipo de evento (caídas de bloques, deslizamientos traslacionales o rotacionales, flujos, etc.), la localización de las viviendas con respecto al mismo y la sollicitación que el proceso ejerza sobre los componentes; el segundo, cubre la calidad, propiedades y atributos de las casas, que, como se ha expresado antes, se condensa en la tipología. La contribución de las variables ya expuestas para este estudio se registra en la matriz de intensidad de daño **Tabla 7.10**. La asociación de la intensidad con una descripción cualitativa del perjuicio y con una tasa de daño, se hizo de acuerdo con la tabla propuesta por el DRM (DELEGATION AUX RISQUES MAJEURS) y presentada por LEONE, 1996. (Véase **Tabla 7.10**).

**Tabla 7.10 Matriz de Intensidad de daño**

SOLICITACIÓN	A	B	C	D	E	F	G
Desplazamiento vertical bajo (<1cm)	1	1	2	2	2	3	3
Desplazamiento vertical medio (>1cm)	2	2	3	3	3	4	4
Impacto medio (Bloques con dimensiones entre 0.5m y 1m)	4	4	5	5	5	5	5
Empuje bajo ( $h < 1/3$ )	2	2	3	4	4	5	5
Empuje medio ( $1/3 < h < 2/3$ )	3	3	5	5	5	5	5

En la descripción de Empuje bajo y medio h corresponde a la altura del elemento estructural de la casa que puede ser cubierto por la masa activa.

**Tabla 7.11 Tabla de clasificación de daños propuesta por DRM**

INTENSIDAD DE DAÑO	MODOS DE DAÑO	PORCENTAJE DE DAÑO
1	Daños ligeros no estructurales. Estabilización no afectada.	0.01 – 0.1
2	Fisuración de muros. Reparaciones no urgentes.	0.2 – 0.3
3	Deformaciones importantes. Fisuras en elementos estructurales.	0.4 – 0.6
4	Fracturación de la estructura. Evacuación inmediata.	0.7 – 0.8
5	Derrumbe parcial o total de la estructura	0.9 – 1.0

- **Área de Afectación**

Es la medida de la zona averiada en la ocurrencia del evento, y es siempre mayor al área de exposición (véase **Tabla 7.11**).

**Tabla 7.12 Área de afectación según área de exposición**

ÁREA AFECTADA	
ÁREA EXPUESTA (EN TANTO POR UNO)	ÁREA AFECTADA (EN TANTO POR UNO)
<=0.20	0.3
0.21-0.40	0.6
>0.40	1

- **Tasa de daño**

La tasa de daño (TD) representa el porcentaje de destrozos en la vivienda y se obtiene al tomar el índice de daño -en términos de porcentaje de daño- multiplicado por el área de afectación.

$$TD = \%daño \times A_{afectación}$$

- **Costo de daños o Costo de falla**

El costo de los daños,  $C_f$  expresado en pesos, se totaliza al sintetizar el valor inicial del inmueble, VII (también en pesos) y la tasa de daño, TD, así:

$$C_f = VII \times TD$$

- **Índice de Vulnerabilidad Física**

Es entendido como el porcentaje de pérdida esperado, y se evalúa en función del valor inicial de la vivienda antes del evento y el valor final una vez que ocurre el daño.

$$IVF = \frac{C_f}{VII}$$

$C_f$  : Costo de falla

$VII$  : Valor inicial de inmueble

La **Tabla 7.9** muestra los diferentes componentes del análisis y el índice de vulnerabilidad para el abanico completo de viviendas; por su parte la **Tabla 7.12** categoriza los niveles de vulnerabilidad desde Bajo hasta Alto.

**Tabla 7.13 Categorización de los niveles de vulnerabilidad**

NIVEL DE VULNERABILIDAD	INTERVALOS DE LOS ÍNDICES
Bajo	$\leq 0.25$
Medio	0.25 – 0.50
Alto	$> 0.50$

#### 7.1.4 ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD

A partir de los resultados arrojados en la Tabla 7.9, se infiere, que el 9% de las viviendas manifiestan vulnerabilidad alta y el 27%, media. El 64% restante ostentan niveles bajos. Este fenómeno encuentra explicación en las bajas tasas de daño, dado que si bien los sistemas estructurales no cumplen satisfactoriamente las exigencias de la Norma Sismorresistente Colombiana (NSR-98), el mayor porcentaje de residencias están exentas de daños, y se encuentra una tolerable calidad de las construcciones, con entrepisos en concreto y sistemas de cimentación aceptables. Las unidades de alta vulnerabilidad se lo deben a sistemas de construcción de pobre respuesta, índices de daño para las sollicitaciones de empuje y desplazamiento vertical. En este orden de ideas, los niveles altos de vulnerabilidad coinciden viviendas de mala calidad y mayor exposición, es decir los predios 5A, 5E, 6A, 6B, 10 A, 11A, 12A, 12B, 13A, 13B, 13C1, 13C2, 13C3, 13D, 13E y 7 de la manzana 15; el predio 17 de la manzana 16; los predios 1, 2, 3 y 18 de la manzana 18; los predios 1, 2, 3, 17, 18, 19 y 20 de la manzana 19; el predio 1 de la manzana 20, y los predios 1, 2, 3 y 4 de la manzana 21. Los predios 3, 34, 35, 53I, 61, 62 y 63 de la manzana 2; 18A, 18B, 19A, 19B y 19C de la manzana 3; 14, 27, 50, 51, 52, 53, 54, 57, 58, 59 y 60 de la manzana 4; 21 y 22 de la manzana 4A; 1A, 3, 4, 5, 6, 7, 12, 13, 14, 14A, 15, 23A, y 23B de la manzana 9; 21, 22, 23, 24, 24A, 48, 49 y 50 de la manzana 11; 5B, 5C, 5D, 7A, 7B, 10B, 11B, 11C, 11D, 14A, 14B, 14C, 14D1, 14D2 y 14D3, de la manzana 15; 8, 9, 10, 11, 12 y 13 de la manzana 16; 1, 2, 3, 4, 12 y 13 de la manzana 17; 4 y 7 de la manzana 18; 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10A, 10B, 11, 12, 13, 14, 15 y 16 de la manzana 19; 11 de la manzana 20 y, 5 y 6 de la manzana 21, tienen nivel medio; los restantes, se clasifican de vulnerabilidad baja.

## 7.2 RIESGO

El riesgo incurrido en una zona o elemento, se asimila como las pérdidas probables de una estructura, frente a una sollicitud determinada. Se puede expresar al combinar la probabilidad de ocurrencia de la sollicitud (amenaza actual-Pf) con las pérdidas potenciales. Para el presente trabajo las pérdidas potenciales corresponden a las pérdidas directas en viviendas y enseres, las que se pueden calcular multiplicando los costos de capital por el índice de vulnerabilidad física. El riesgo queda de esta manera; definido en términos de pesos.

$$Riesgo = P_f \times C_f$$

$P_f$  : Probabilidad de falla

$C_f$  : Costo de falla

Con el fin obviar el subjetivo contexto de los costos de capital, no comparables en un marco global, pues ellos son el resultado de las diferencias de los montos de inversión en cada vivienda, es mejor recurrir al índice de riesgo, de lo contrario puede dar lugar a tergiversaciones y vicios en el concepto, tales como que las pérdidas en viviendas de cuantiosa inversión aparecerían con un valor de perjuicio potencial elevado en relación a unas más modestas aunque su condición de riesgo fuera semejante. Por lo tanto, por simplicidad en la presentación de los resultados, se abstrajeron los costos de capital.

El Índice de riesgo se define como:

$$IR = P_f \times IVF$$

$IR$  : Índice de riesgo

$P_f$  : Probabilidad de falla

$IVF$  : Índice de vulnerabilidad física

Para este caso se obtuvieron los intervalos de cualificación de las pérdidas probables a partir de la conjugación –producto punto- de los niveles de vulnerabilidad y de amenaza aplicados al proyecto, pero asumida cada una como variable independiente (Véase **Tabla 7.13**).

**Tabla 7.14 Categorización del riesgo**

NIVEL DE RIESGO	INTERVALOS DE LOS ÍNDICES
Alto	0.2215– 1.000
Medio	0.041 – 0.2215
Bajo	0.000 – 0.041

### 7.3 ZONIFICACIÓN DE RIESGO

Como se deduce de la **Tabla 7.9**: el 24% de las viviendas expone riesgo medio, el 70% bajo y el 6% ostenta niveles de riesgo alto. Esta distribución se justifica en el porcentaje de casas con pequeños niveles de vulnerabilidad, en los bajos grados de exposición de los domicilios, y, principalmente en las bajas probabilidades de falla; es decir, es reducida la fusión de niveles medios o altos de vulnerabilidad, con zonas de amenaza media o alta.

El resultado del análisis revela que las unidades con probabilidad media de daño son: 34 y 35 de la manzana 2; 14 y 27 de la manzana 4; 3 a 7, 14, 15, 23A, y 23B de la manzana 9; 5A, 5B, 5C, 5D, 5E, 6A, 6B, 7A, 7B, 10A, 10B, 11A, 11D, 12A, 12B, 13A, 13B, 13C1, 13C2, 13C3, 13D, 13E, 14A, 14B, 14C, 14D1, 14D2 y 14D3, de la manzana 15; 8, 9 y 16 de la manzana 19, 11 de la manzana 20 y, 1 y 2 de la manzana 21. Los predios 1,2, 3 y 18 de la manzana 18; 1, 2, 3 y 17 a 20 de la manzana 19 y el predio 1 de la manzana 20 alcanzan riesgo alto. Las restantes viviendas se exponen a riesgo bajo.

En concordancia, las alternativas de solución estarán destinadas a evitar un aumento en los niveles de riesgo, y reducirlo eventualmente en aquellos sectores catalogados como medios.

## 8 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

### 8.1 ANÁLISIS Y CONSIDERACIONES ESPECIALES

Tal vez el mayor beneficio del análisis de riesgo radica en la formulación de un plan de acción que permita atenuar las consecuencias de los procesos, actuales y potenciales, identificados en el barrio, y de esta manera mitigar, conservar o controlar los niveles de amenaza según el caso, es decir disminuir la influencia de los agentes detonantes y contribuyentes, o modificar los elementos y escenarios expuestos.

Es así como en el desarrollo de los capítulos anteriores se delinearán una serie de medidas que pueden cumplir con el anterior objetivo, sin embargo, surge la necesidad de estudiar en adelante el papel que juegan, para seleccionar la mejor de ellas. El proceso de decisión, se fundamenta en un análisis comparativo entre la condición actual y los escenarios con la implementación de las obras, en donde se incluye el valor de las mismas.

La definición de la amenaza futura implica determinar la eficiencia de las alternativas en la reducción de los potenciales estados. Como la condición prevalente de amenaza en la mayor parte del barrio (a 10 años) divaga de baja a media, salvo en la región LEA-ms-III-1, donde la incorporación de programas de mitigación es incuestionable, parecería lógico suponer que la puesta en marcha de las obras de mitigación y rehabilitación no es prioritaria. Así, entonces la función principal de las medidas será conservar, al menor costo, los estados de probabilidad condicional total actual y disminuir los estados de vulnerabilidad. Cabe reseñar que las alternativas propuestas se enmarcan dentro de la capacidad operativa y económica, no sólo de la DPAAE, sino de las demás entidades distritales que tienen ingerencia activa y continua en las condiciones de habitabilidad y seguridad en el Distrito Capital, tales como el DAPD, IDRD, ACUEDUCTO y el IDU.

### 8.2 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

El entendimiento y optimización de este tópico sólo es posible como función del comportamiento de las laderas, (disímiles por la topografía, los mecanismos de falla que esbozan y las condiciones sociales), y de los requerimientos para su puesta en marcha. Esto motivo al cuerpo técnico a dividir la vertiente en cinco sectores de intervención como se pueden observar en la **Figura 8.1**, así:

#### 8.2.1 SECTOR 1

Se enmarca espacialmente al sureste del cuadrángulo del estudio. Transita en su corona la Carrera 23 y las viviendas de la Manzana 15 y vierte sobre las manzanas 18, 19, 20 y 21. Sus alturas, cercanas a los 8 metros, están labradas en areniscas lodosas lodolitas y areniscas cementadas de la Formación Guadalupe, y son el resultado de las obras de emergencia, que consisten en bermas y un perfilado en el cuerpo del deslizamiento y dos muros de gavión que descansan en la pata del mismo. Los movimientos potenciales conjugan caídas de bloques (más como evento condicional de otros), deslizamientos rotacionales y traslacionales en suelo, y

FOPAE:	CONSORCIO GIA - GEOCING	GIA -046-06		CAP. 8 – PAG. 216	
Versión:	1			Fecha	23/10/06
Elaboró:	GMT	Revisó:	JALG	Aprobó:	JALG



fallas planares en roca, en el que el plano preferencial de movilización es la estratificación de la arcillolita, su detonación recae en el aumento de las presiones del agua percolada a través de las discontinuidades y del agua proveniente de fugas, conexiones erradas, y lluvias. El viaje de las masas puede alcanzar las viviendas 1,2,3,16,17,18,19 y 20 de la manzana 19 y las viviendas 1,2 y 11 de la manzana 20, a pesar de las obras de descarga post-deslizamiento.

Este panorama esboza como posibles soluciones:

- **Alternativa 1.** Integra la remoción total de los llenos (Qt+c) y el perfilado de la roca subyacente; el drenaje superficial en los taludes de reconfiguración (cunetas y descoles en concreto), y la empedradización de las superficies. (Ver Anexo F1-1-1)
- **Alternativa 2.** La compone el retiro de los llenos en la zona homogénea LMA-III-1, pantallas ancladas a lo largo del talud norte y reconfiguración de la masa contenida, empedradización y manejo de aguas superficiales. (Ver Anexo F1-1-2)
- **Alternativa 3.** Entrelaza inyecciones de lechada de concreto, su función incrementar la resistencia al corte de los talus y coluviones (Qt+c), remoción de los llenos en la región LMA-III-1, cunetas y descoles en la superficie intervenida. (Ver Anexo F1-1-3)
- **Alternativa 4.** Difiere de la anterior, exclusivamente, en el manejo del talud norte. Consiste en la estabilización de la masa susceptible al deslizamiento (Qt+c) mediante la construcción de un muro en tierra armada con material del sitio, dispuesto en la pata de la ladera. (Ver Anexo F1-1-4)
- **Alternativa 5.** Esta definida por la remoción total de los llenos potencialmente deslizables, sin intervenir el macizo rocoso, tanto los de la región estructural 3, como los de la zona homogénea LMA-III-1 (sección de análisis 1), empedradización y construcción de obras de drenaje. (Ver Anexo F1-1-5)

Todas acompañadas de la reubicación (o reasentamiento) de los predios: 5A, 5E, 6A, 6B, 10A, 12A, 13A en la manzana 15; 2,3,17,18,19 y 20 de la manzana 19; 1, 2, y 11 de la manzana 20; 1, 2, 3, y 18 de la manzana 18; 1, 2, 3 y 4 de la manzana 21 y 7 de la manzana 16; y de la reconstrucción de la zanja de coronación en la carrera 23.

- **Alternativa 6.** Comprende el reasentamiento exclusivo de las viviendas con mayor riesgo y exposición (Ver Anexo F1-1-6), representadas en 37 predios de las Manzanas 15,16,18,19,20 y 21, así:

Manzana 15: 7 Predios: 5A,5E,6A,6B,10A,12A,13A.

Manzana 16: 1 Predio: 7.

Manzana 18: 6 Predios: 1,2,3 y 16,17 y 18.

Manzana 19: 12 Predios: 2,3,4,5,8,9,14,15,16,17,19 y 20.

Manzana 20: 5 Predio: 1,2,3,10 y 11.

Manzana 21: 6 Predios: 1,2,3,4,5 y 6.

## 8.2.2 SECTOR 2

Se dibuja al noreste en donde se esculpe un antiguo frente de explotación en secuencias de arenisca dura y material brechado, recubiertas parcialmente con restos de basuras y escombros de construcción. Está rodeado por tres franjas de unidades residenciales, la norte definida por las viviendas 03 a 07 y 14 a 16 de la manzana 9, la oeste fijada por las unidades residenciales 9 a 11 de la manzana 9 y la sur por las viviendas 20 a 23B de la manzana 9; unas y otras armadas con sistemas estructurales mixtos (pórticos y no confinados) y sometidas a caídas y deslizamientos. Las primeras con repercusión en los cinturones habitacionales, del oriente y occidente, y las segundas con incidencia en las del extremo sur.

Su recuperación o tratamiento sencillo como sus mecanismos de falla, conlleva la puesta en marcha de actividades mínimas constantes en todas las alternativas, como son:

- La instalación de una malla de aislamiento en la corona del talud, para restringir la depositación de materiales de relleno y residuos antrópicos en la zona.
- La construcción de obras de drenaje superficial (zanja de coronación) y el retiro de los llenos de basuras a lo largo de la sección 8, zona homogénea LEA-III-1.

Las alternativas planteadas a continuación, deben cuantificarse sobre la línea base del costo que acarrea la construcción de las actividades constantes.

- **Alternativa 1** Retiro parcial del material de relleno de la franja occidental, ilustrado en la sección 11 (zona homogénea LEAms-III-2, material Qra.) (Ver Anexo F1-2-1)
- **Alternativa 2.** Reubicación de 8 viviendas de la Manzana 9, predios 3 a 7 y 14 a 16. (Ver Anexo F1-2-2)

## 8.2.3 SECTOR 3

Se emplaza al sector sureste del barrio, entre la carrera 25 y la vivienda No 35 de la Manzana 2, (véase **Figura 8.1**). Es el recinto preferencial para la formación de erosión, deslaves y potenciales deslizamientos rotacionales. La activación de las masas tiene lugar por saturación de los cuerpos antrópicos, producida por vertimientos (residuos líquidos domiciliarios) no conducidos (i.e. por roturas y conexiones erradas) y aguas lluvias.

Bajo esta situación se propone ejecutar una de las siguientes acciones para reducir el nivel de riesgo de las unidades residenciales:

- **Alternativa 1:** Construcción de obras de drenaje superficial (descole) y subdrenaje (drenes horizontales) y arborización del sector con especies arbustivas adecuadas. (Ver Anexo F1-3-1)
- **Alternativa 2:** Reubicación de 2 viviendas de la Manzana 2 (predios 34 y 35). (Ver Anexo F1-3-2)

## 8.2.4 SECTOR 4

Yace al suroeste de El Codito y contempla el subespacio de depósitos antrópicos, en la zona homogénea LEA-bI-III-2. Predominan los suelos orgánicos y los rellenos antrópicos, y fue escenario en el pasado de deslizamientos rotacionales y traslacionales en los rellenos (en forma de ondulaciones), activados por

saturación durante períodos lluviosos, por fugas y conexiones erradas de las aguas residuales domésticas, con fuentes en las viviendas ubicadas en la corona del talud.

Su tratamiento encierra, invariablemente, el cierre de las acometidas que descargan a la ladera, y la construcción de un tramo de colector de aguas lluvias y residuales, pormenores de pecunio de El Acueducto, y como posibilidades de manejo se contemplan:

- **Alternativa 1.** Desmonte y limpieza de la superficie y densificación de la masa, mediante una estabilización con micropilotes. (Ver Anexo F1-4-1)
- **Alternativa 2.** Desmonte y limpieza. Remoción, perfilado y disposición de los llenos y empradización del área reconformada. (Ver Anexo F1-4-2)
- **Alternativa 3.** Construcción de trincheras drenantes y de sus obras de descarga, dispuestas en espina de pescado para la captación, conducción y evacuación de las aguas subsuperficiales. (Ver Anexo F1-4-3)
- **Alternativa 4.** No hacer nada y reubicar dos viviendas (predios 14 y 27), de la manzana 4. (Ver Anexo F1-4-4)

### 8.2.5 SECTOR 5

Discurre al noroeste del barrio. En él predominan cortes con alturas entre los 30m y 45m, labrados en intercalaciones de potentes bancos de arenisca dura y lodolitas; de falla en cuña, así como de caída de bloques. Las dimensiones de estos últimos pueden homologarse a paralelepípedos de 3 m de altura y bases de entre 1.5 y 2 m.

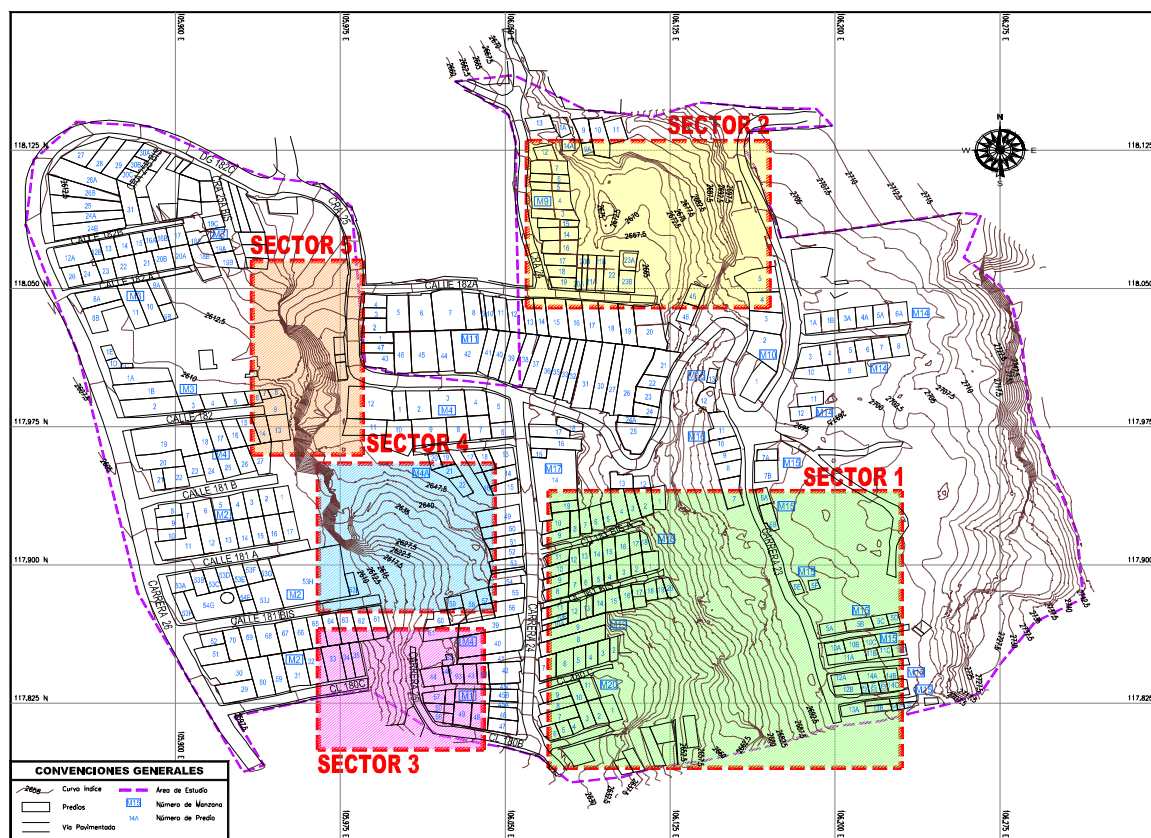
La disposición aleatoria de los bloques críticos en las caras expuestas hace que las actividades de retiro o descarga no sean contempladas, pues su incidencia en los costos es muy significativa. Bajo este mismo principio se desecha el perrado como alternativa de manejo. Los dos planteamientos involucran planes de seguridad elaborados, debido al alto riesgo que conllevan tanto para la mano de obra como para la misma vecindad.

Se establecen entonces las siguientes medidas de mitigación y protección.

- **Alternativa 1.** Extensión de la malla eslabonada de protección existente, dispuesta a una distancia media de 8-12 m de la cara del talud. Tiene como finalidad controlar las distancias de viaje de los bloques claves, es decir reducir los escenarios de exposición. El distanciamiento definitivo a la base del talud se determina con la frontera de amenaza media específicamente. Involucra la compra de lotes, 7, 8 y 9 de la manzana 3 y 13 de la manzana 4, para garantizar el espacio requerido. (Ver Anexo F1-5-1)
- **Alternativa 2.** Adosar con pernos una malla al talud, para que los bloques caigan en forma controlada. Los pernos se anclan en la corona de los cortes, razón por la que su manejo operativo es más fácil y expedito que la estabilización con pernos. Esta alternativa tiene un manejo constructivo especial, pero viable. (Ver Anexo F1-5-2)

- **Alternativa 3.** Reubicar las viviendas 14,15, 26 y 27 de la manzana 4 y comprar los lotes 7,8,9 de la misma manzana y 13 de la manzana 3. (Ver Anexo F1-5-3)

Figura 8.1 Sectorización de las obras de mitigación



**Tabla 8.1 Presupuesto de obra por alternativa según sector**

SECTOR	OBRAS CONSTANTES	OBRAS VARIABLES	COSTO DE OBRAS CONSTANTES	COSTO DE OBRAS VARIABLES	PRESUPUESTO DE OBRA POR ALTERNATIVA
1	Localización, trazado y replanteo, y Zanja de Coronación	1. Perfilado en roca y reubicación parcial de 19 viviendas	\$ 46,742,339	\$ 1,361,351,344	\$ 1,408,093,683
		2. Pantallas ancladas, perfilado parcial y reubicación parcial de 19 viviendas		\$ 1,532,867,031	\$ 1,579,609,370
		3. Estabilización con inyecciones de lechada y reubicación parcial de 21 viviendas		\$ 1,719,488,583	\$ 1,766,230,923
		4. Estabilización en muro de tierra armada y reubicación de 19 viviendas		\$ 1,157,151,772	\$ 1,203,894,111
		5. Retiro de llenos del talud norte		\$ 1,144,216,558	\$ 1,190,958,898
		6. Reubicación total (37 viviendas)		\$ 1,187,529,694	\$ 1,187,529,694
2	Malla de aislamiento, zanja de coronación y remoción de residuos antrópicos	1. Remoción parcial de los llenos susceptibles al deslizamiento.	\$ 81,030,853	\$ 30,518,451	\$ 111,549,304
		2. Reubicación parcial de 8 viviendas.		\$ 50,750,000	\$ 131,780,853
3	localización, trazado y replanteo	1. Disponer subdrenes horizontales y otras obras de drenaje	\$ 1,241,590	\$ 21,370,239	\$ 22,611,829
		2. Reubicación parcial de 2 viviendas		\$ 50,750,000	\$ 51,991,590
4	Cierre de acometidas de aguas residuales domésticas	1. Estabilización con micropilotes	\$ 19,660,875	\$ 47,690,919	\$ 67,351,794
		2. Perfilado y empedrado		\$ 240,781,685	\$ 260,442,560
		3. Disposición de trincheras drenantes		\$ 26,406,939	\$ 46,067,814
		4. Reubicación parcial de viviendas.		\$ 83,786,500	\$ 103,447,375
5	Localización, trazado y replanteo	1. Extensión de la malla de protección existente	\$ 5,955,532	\$ 138,109,280	\$ 144,064,811
		2. Malla adosada al talud para caída controlada de bloques		\$ 145,734,065	\$ 151,689,597
		3. Reubicación parcial de viviendas		\$ 258,950,000	\$ 264,905,532

### 8.3 AMENAZA FUTURA (AMENAZA CON OBRAS)

Las condiciones de amenaza futura, oscilantes entre alta y baja, pero con preponderancia entre media y baja en los sectores 2 al 5-, son el reflejo de las particulares condiciones topográficas, estructurales y estratigráficas. Las laderas están labradas en potentes macizos rocosos constituidos por paquetes potentes de areniscas (Ksgt-A2) con intercalaciones de lodolitas y areniscas arcillosas, que delinean cortes cuasiverticales (gradientes desde 70° hasta 86°) con alguna consonancia geométrica con el patrón estructural, i.e., con predisposición cinemática a fallas planares, caída de bloques; y en llenos antropogénicos acuñados o dispuestos en laderas con ángulos hasta de 44°. El irregular sistema de transporte de agua y las importantes recargas por vertimientos, son otros de los componentes que repercuten ampliamente en el nivel de riesgo.

Este especial matiz de la amenaza sumado a la susceptibilidad de los elementos circunvecinos, a los potenciales procesos de inestabilidad, y a las limitaciones de espacio para llevar a cabo medidas de mitigación, control o estabilización, hacen del tratamiento del barrio un marco de relativa complejidad. Por una parte las obras tendientes a la reducción de la amenaza o de la exposición, como el retiro de material o perfilado y protección con malla, deben ser de fácil mantenimiento y construcción, y por otra parte deben garantizar una reducción de la condición de riesgo con bajos presupuestos. Premisa que desde ya, hace de la reubicación una alternativa poco viable, excepto para el sector 1, donde el riesgo no es mitigable y el proceso constructivo es invaluable sin espacio adicional.

Por lo tanto, la estimación de la probabilidad de falla implica la determinación de los factores de seguridad en cada sección de análisis con la incorporación de la medida correctiva, tanto para los parámetros de resistencia y las variables ambientales esperadas (lluvia y sismo) como para los extremos probables, acorde con el procedimiento referido en el numeral 6.2 del Capítulo 6. Bajo el marco teórico expuesto y el foco de las alternativas planteadas, la evaluación de amenaza futura obviamente se concentró en el análisis del comportamiento de los sectores 1, 3 y 4, frente a las diferentes medidas de mitigación: específicamente el drenaje subsuperficial, la remoción de los llenos; las pantallas ancladas y el muro en tierra armada.

No obstante, como parte de las alternativas de solución tienden a la convivencia con el problema o a la reducción de la vulnerabilidad, v.g la reducción de los escenarios de exposición en los subespacios 2 y 5, el análisis de amenaza formulado en el capítulo sexto permanece vigente. Así entonces, es claro que la posibilidad de falla para las alternativas: no hacer nada, reubicación, inyección con lechada de concreto, malla adosada al talud, malla de protección y malla de cerramiento, es equivalente a la probabilidad condicional de los taludes para las solicitaciones en 10 años (Véanse las **Tablas 6.8 a 6.10**).

En este orden de ideas, el drenaje subsuperficial es sin lugar a dudas una medida generosa de estabilización, la probabilidad condicional (véase **Tabla 8. 2**). divaga del 51% hasta el 18.9%, si se trata del sector 1; o del 25%, 12.8% y 30% (ver las tablas **6.12 y 6.23**) al 8.5%, 0.2% y 12% (véase la tabla **8.2**), en lo que atañe a los subespacios 2, 3 y 4, respectivamente. El perfilado, fundado en el retiro total de los cuaternarios exhibe probabilidades condicionales futuras es equivalente al de la falla planar con y sin grieta en roca hoy día (pero para periodos de exposición de 10 años).

Su participación se traduce en una notable mejoría en la estabilidad en especial en los sectores 1, 2 y 4. Las posibilidades de movilización para los depósitos antrópicos descienden desde el 52% (véase la tabla **6.22**) hasta el 38% y el 7% (véanse las tablas **6.13 y 6.19**), en otras palabras la amenaza trasiega desde alta a baja para 10 años. Respuesta similar recae en el muro en tierra armada y en las pantallas ancladas:

medidas de valor en la zona 1, el potencial de movilización (o probabilidad) desciende desde el 51% y el 31% hasta el 52% (véase tabla 6.22) y el 2% respectivamente.

De esta forma, la implementación de trincheras de subdrenaje, el manejo de las aguas lluvias, la conformación de zonas de aislamiento y la remoción parcial de los llenos apuntan desde ya a ser las alternativas más viables técnicamente, en los sectores del 2 al 4. Su selección como la propuesta recomendada será función exclusiva de su beneficio económico frente a las otras alternativas. El perfilado de los llenos y el muro en tierra armada, a pesar de que implica un costo elevado en la disposición del material, en la construcción de obras de drenaje superficial, y en la reubicación de 21 viviendas, se erigen como las obras más adecuadas para la mitigación del riesgo. Su viabilidad y selección está ligada a su facilidad constructiva, la necesidad de espacio para su implantación y al mayor o menor porcentaje de excavación en roca que requieran para permitir el paso de maquinaria; elementos que inobjetablemente ligados al costo de la obra, es decir a su relación beneficio-costos. Tema tratado en adelante.

#### 8.4 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

El modelo de decisión probabilístico, es uno de los múltiples mecanismos que permite al diseñador seleccionar entre diversas alternativas de solución, sin caer en un marco subjetivo, donde predomine el juicio del experto. Contiene como variables relevantes: la probabilidad de falla y el costo de la solución y está basado en un análisis comparativo entre el nivel de riesgo alcanzado por una medida de mitigación y el costo esperado en pesos para la misma.

Uno de los procedimientos de análisis de decisión más claros y simples es el conocido como “Árboles de decisión hipotéticos”. Con el fin de adelantar este tipo de análisis se adoptó como definición de riesgo la propuesta por Wu et al (1996), la que fija:

$$R = P_f C_f$$

donde:

$R$  = Riesgo Esperado

$P_f$  = Amenaza o probabilidad de falla de un talud y,

$C_f$  = Consecuencia o costo de falla

Para el caso en estudio, la evaluación de probabilidad de falla, para cada tipo de fenómeno y solicitud, se encuentra compilado en el numeral 6.3. Por su parte, el costo de falla, se consideró como:

$$C_f = ID \times C_0$$

donde:

$ID$  = Índice de daño de la unidad expuesta

$C_0$  = Valor inicial de la alternativa

El costo inicial corresponde al valor presente de la obra pues no existen otros elementos físicos que puedan incorporarse y las pérdidas potenciales (o costo de falla), en caso de deslizamiento, son iguales al presupuesto de cada alternativa, sumado al valor de la atención de la emergencia, es decir: a la reubicación, más el estimativo de las obras de contingencia, más un costo social y otro público administrativo. El costo de falla se estimó entonces igual a 2.5 veces el costo de la alternativa, con tal porcentaje se cubre el costo de



obra actual, el de las obras de contingencia (en caso de falla); y rubros adicionales en mantenimiento, rediseño, etc. (véase **Tabla 8.1**).

En el caso de no deslizamiento (no falla) el costo de falla se estimó como el valor de la alternativa incrementado en alguna proporción (5 ó 10%) por labores de mantenimiento. Para las alternativas que plantean reubicación total el costo de falla es igual a la suma de los valores comerciales de los predios, no se requiere mantenimiento.

Cabe señalar que el complejo social y la consolidación urbana en los sectores del 2 al 5, hace poco viable apelar a la elusión y a la reubicación total como alternativas viables, pues la probabilidad de falla es baja, y el mayor peso recae en el costo de falla, si se hace referencia a la primera, o al monto de inversión inicial en cuanto a la segunda. Pero debe anotarse que en el sector 1 debe recurrirse a la reubicación parcial de 25 viviendas si bien el monto de inversión inicial y el costo social es elevado, pues la ocurrencia de la emergencia hace imperativa su reubicación.

La reubicación parcial se aplicaría a las viviendas:

Manzana 15: 7 Predios: 5A,5E,6A,6B,10A,12A,13A

Manzana 16: 1 Predio: 7.

Manzana 18: 4 Predios: 1,2,3 y 18.

Manzana 19: 6 Predios: 2,3,17,18,19 y 20.

Manzana 20: 1 Predios: 1,2,11

Manzana 21: 2 Predios: 1,2,3,4.

Debido principalmente a la imperante necesidad de espacio durante construcción y a los niveles amenaza y riesgo alto.

Las **Figuras 8.2 a 8.5** contienen los árboles de decisión obtenidos para períodos de diseño a valor presente, en cada sector. De ella, se puede apreciar que las alternativas que involucran el menor nivel de riesgo esperado, son:

**Sector 1:** Alternativa 5, remoción de los llenos, seguido de la alternativa 4, muro en tierra armada.

**Sector 2:** Alternativa 1, remoción parcial de los llenos.

**Sector 3:** Alternativa 1, subdrenes horizontales.

**Sector 4:** Alternativa 3, disposición de trincheras drenantes, y estabilización con micropilotes.

**Sector 5:** Alternativa 1, extensión de la malla de protección existente.

**Tabla 8.2 Resumen de los factores de seguridad y de la probabilidad de falla condicional. Análisis de Estabilidad con obras - Condición Estática Sectores 1 a 4**

TABLA 8.2 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL													
Condición Estática - Amenaza Futura Barrio el Codito - Alternativa: Drenaje Subsuperficial													
VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL									
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS									
				SEC 2	SEC 2	SEC 4	SEC 7	SEC 8	SEC 12	SEC 14	SEC 14		
Fricción	Cohesión (T/m <sup>2</sup> )	Lluvia	Sismo	CAFS2S1	CAFS2S2	CAFS4S1	CAFS7S1	CAFS8S1	CAFS12S1	CAFS14S1	CAFS14S2		
				Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional			
				F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.600	1.390	3.822	1.987	1.770	3.320	1.871	1.987		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.391	1.218	3.555	1.782	1.732	3.119	1.665	1.680		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.325	1.126	2.509	1.352	1.403	2.222	1.285	1.477		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.116	0.954	2.242	1.140	1.347	2.011	1.079	1.168		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.148	1.022	1.966	1.670	1.556	2.716	1.427	1.346		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.017	0.916	1.850	1.531	1.542	2.593	1.305	1.172		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	0.900	0.778	1.223	1.067	1.192	1.741	0.921	0.950		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	0.770	0.673	1.107	0.929	1.160	1.607	0.798	0.773		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.420	1.315	3.822	1.615	1.390	2.914	1.518	1.795		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.242	1.157	3.555	1.474	1.375	2.760	1.378	1.542		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.153	1.053	2.509	1.059	1.067	1.923	1.001	1.299		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	0.976	0.895	2.242	0.910	1.035	1.759	0.860	1.044		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	0.992	0.949	1.966	1.333	1.189	2.356	1.127	1.192		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	0.888	0.857	1.850	1.258	1.188	2.274	1.058	1.061		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.755	0.706	1.223	0.806	0.860	1.478	0.682	0.808		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.652	0.613	1.107	0.722	0.850	1.384	0.612	0.675		
				b (m)									
				h (m)									
Material				Qt+c	Qt+c	Qra	Qbl	Qbl	Qbl	Qbl	Qmo		
				ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g	ah=0.28 g		
Valores paramétricos empleados en cada sección				Φ <sub>max</sub>	36.0	36.0	27.0	27.7	27.7	27.7	27.7	29.3	
				Φ <sub>min</sub>	27.0	27.0	22.8	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.5
				C <sub>max</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	1.00	1.00	2.10	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.32
				C <sub>min</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	0.50	0.50	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM				Ln	0.0139	0.1367	0.0001	0.0319	0.0038	0.0001	0.0519	0.0128	
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM				Ln	0.0542	0.1886	0.0011	0.0849	0.0334	0.0002	0.1258	0.0332	
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM				Ln	0.1055	0.2484	0.0028	0.1434	0.0705	0.0003	0.2069	0.0624	

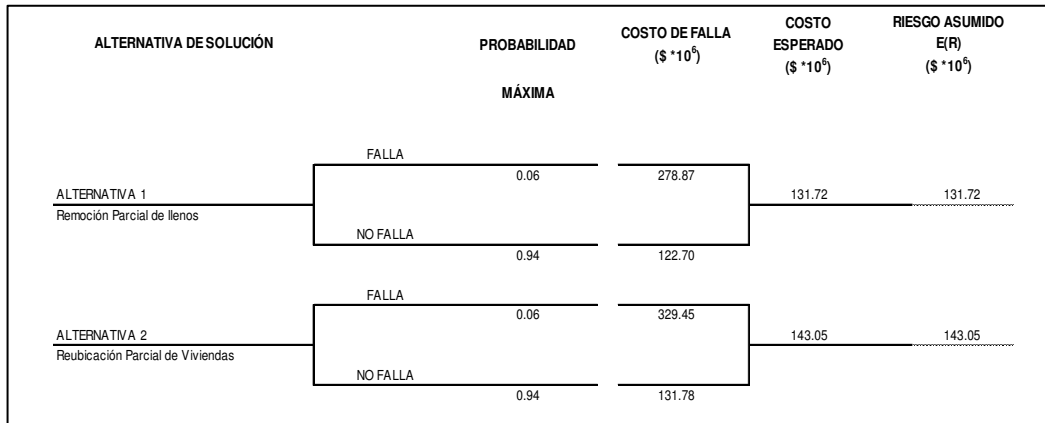
**Tabla 8.3 Resumen de los Factores de Seguridad y de la probabilidad de falla condicional – Condición Estática Amenaza Futura con obras Barrio el Codito Sector 1 – Perfilado en Roca**

TABLA 8.3 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL																			
Condición Estática - Amenaza futura con obras Barrio el Codito Sector 1																			
PERFILADO EN ROCA																			
VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL															
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS															
				SEC 3	SEC 3	SEC 3	SEC 3	SEC 3	SEC 3	SEC 3	SEC 3	SEC 3	SEC 3	SEC 3	SEC 3	SEC 3	SEC 3	SEC 3	
				Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	
Fricción	Cohesion (t/m <sup>2</sup> )	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.				
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.600	1.600	1.600	1.756	2.146	1.745	9.346	2.123	2.123	1.468	2.251	2.251	3.057			
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.393	1.393	1.393	1.383	1.774	1.372	8.029	1.750	1.750	1.206	1.989	1.989	2.795			
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.343	1.343	1.343	1.427	1.514	1.424	8.299	1.509	1.509	1.175	1.522	1.522	1.881			
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.135	1.135	1.135	1.054	1.141	1.052	6.982	1.136	1.136	0.912	1.260	1.260	1.618			
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.001	1.156	1.001	1.102	1.374	1.094	2.452	1.358	1.358	0.937	1.484	1.484	2.046			
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	0.875	1.009	0.875	0.876	1.149	0.869	2.108	1.132	1.132	0.779	1.325	1.325	1.887			
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	0.821	0.956	0.821	0.872	0.933	0.870	2.173	0.929	0.929	0.733	0.975	0.975	1.225			
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	0.696	0.809	0.696	0.646	0.707	0.645	1.828	0.704	0.704	0.574	0.816	0.816	1.066			
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.558	1.558	1.417	1.560	1.786	1.606	9.098	2.032	1.795	1.328	2.234	2.221	2.961			
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.357	1.357	1.239	1.241	1.503	1.272	7.820	1.684	1.506	1.103	1.976	1.967	2.725			
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.302	1.302	1.163	1.235	1.184	1.287	8.060	1.420	1.203	1.037	1.506	1.492	1.784			
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.101	1.101	0.985	0.915	0.901	0.953	6.782	1.072	0.914	0.813	1.248	1.238	1.549			
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	0.972	1.124	0.877	0.970	1.145	1.000	2.402	1.296	1.146	0.843	1.472	1.463	1.979			
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	0.851	0.982	0.772	0.781	0.978	0.800	2.066	1.088	0.976	0.710	1.316	1.310	1.839			
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.753	0.924	0.699	0.742	0.719	0.777	2.123	0.869	0.729	0.640	0.963	0.954	1.158			
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.672	0.783	0.594	0.553	0.552	0.577	1.787	0.660	0.559	0.507	0.808	0.801	1.018			
Material				b (m)	0.5	0.5	0.5	0.5	15	15	3.5	3.5	3.5						
				h (m)	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	10.00	10.00	5.00	
				Zw (m)	0.5	0.5	2.0	2.0	15	15	15	15	15	15	15	15	2.0	2.0	2.0
Valores paramétricos empleados en cada sección				Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt A2	Ksqt L	Ksqt L	Ksqt L	Ksqt L		
				ah=0.24 g	ah=0.16 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g
				Φ <sub>max</sub>	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4	30.0	30.0	30.0	30.0
				Φ <sub>min</sub>	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	17.7	17.7	17.7	17.7
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 1 año Método PEM				C <sub>max</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	2.60	2.60	2.60	2.60		
				C <sub>min</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	1.00	1.00	1.00	1.00	
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 10 años Método PEM				Ln	0.0130	0.0130	0.0170	0.0530	0.0420	0.0520	0.0000	0.0380	0.0420	0.1700	0.0240	0.0240	0.0130		
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 25 años Método PEM				Ln	0.0330	0.0260	0.0580	0.0960	0.0840	0.0850	0.0000	0.0520	0.0810	0.2410	0.0290	0.0290	0.0150		
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 1 año Método Montecarlo				Ln	0.0010	0.0010	0.0080	0.0260	0.0080	0.0170	0.0000	0.0020	0.0070	0.1430	0.0000	0.0000	0.0000		
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 10 años Método Montecarlo				Ln	0.0430	0.0430	0.1920	0.1800	0.0880	0.0880	0.0000	0.0160	0.0790	0.4930	0.0010	0.0020	0.0000		

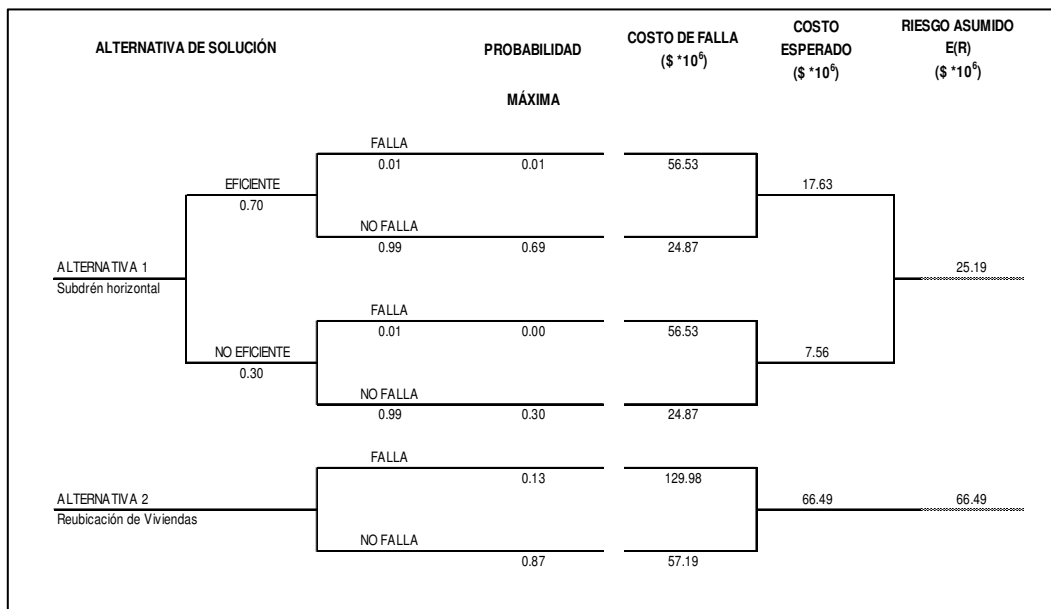
**Figura 8.2 Árbol de decisión para mitigación (10 años) en el Sector 1**

ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN	PROBABILIDAD MÁXIMA	COSTO DE FALLA (\$ *10 <sup>6</sup> )	COSTO ESPERADO (\$ *10 <sup>6</sup> )	RIESGO ASUMIDO E(R) (\$ *10 <sup>6</sup> )
ALTERNATIVA 1 Perfilado en Roca	FALLA 0.12	3520.23	1785.46	1785.46
	NO FALLA 0.88	1548.90		
ALTERNATIVA 2 Pantallas Ancladas	FALLA 0.12	3949.02	2002.94	2002.94
	NO FALLA 0.88	1737.57		
ALTERNATIVA 3 Inyecciones de Lechada	FALLA 0.30	4415.58	2684.67	2684.67
	NO FALLA 0.70	1942.85		
ALTERNATIVA 4 Muro en Tierra Armada	FALLA 0.12	3009.74	1526.54	1526.54
	NO FALLA 0.88	1324.28		
ALTERNATIVA 5 Remoción de Llenos	FALLA 0.12	2977.40	1510.14	1510.14
	NO FALLA 0.88	1310.05		
ALTERNATIVA 6 Reubicación Total	FALLA 0.30	3085.68	1789.69	1789.69
	NO FALLA 0.70	1234.27		

**Figura 8.3 Árbol de decisión para mitigación (10 años) en el Sector 2**



**Figura 8.4 Árbol de decisión para mitigación (10 años) en el Sector 3**



**Figura 8.5 Árbol de decisión para mitigación (10 años) en el Sector 4**

ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN	PROBABILIDAD MÁXIMA	COSTO DE FALLA (\$ *10 <sup>5</sup> )	COSTO ESPERADO (\$ *10 <sup>5</sup> )	RIESGO ASUMIDO E(R) (\$ *10 <sup>5</sup> )
ALTERNATIVA 1 Estabilización con micropilotes	FALLA 0.30	168.38	97.99	97.99
	NO FALLA 0.70	67.35		
ALTERNATIVA 2 Perfilado y empedradización	FALLA 0.03	651.11	297.53	297.53
	NO FALLA 0.97	286.49		
ALTERNATIVA 3 Disposición de trincheras drenantes	FALLA 0.13	115.17	54.76	54.76
	NO FALLA 0.87	46.07		
ALTERNATIVA 4 Reubicación de viviendas	FALLA 0.30	258.62	150.52	150.52
	NO FALLA 0.70	103.45		

**Figura 8.6 Árbol de decisión para mitigación (10 años) en el Sector 5**

ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN	PROBABILIDAD MÁXIMA	COSTO DE FALLA (\$ *10 <sup>5</sup> )	COSTO ESPERADO (\$ *10 <sup>5</sup> )	RIESGO ASUMIDO E(R) (\$ *10 <sup>5</sup> )
ALTERNATIVA 1 Extensión de la malla de protección	FALLA 0.14	360.16	186.71	186.71
	NO FALLA 0.86	158.47		
ALTERNATIVA 2 Malla adosada al talud	FALLA 0.14	561.39	291.03	291.03
	NO FALLA 0.86	247.01		
ALTERNATIVA 3 Reubicación parcial de viviendas	FALLA 0.14	662.26	320.54	320.54
	NO FALLA 0.86	264.91		

## 8.5 PLAN DE ACCIÓN RECOMENDADO

En el análisis de resultados se consideraron las implicaciones sociales que conllevaría asumir el riesgo actual y se concluyó que construir las obras generaría impactos positivos al interior de la comunidad, tales como el sentido de pertenencia y la valorización del sector, entre otros. Como resultado de estas reflexiones, surge la selección de las obras de mitigación propuestas, la cual se lista a continuación:

- **Sector 1**

El muro en tierra armada (alternativa 4) y la remoción total de los llenos potencialmente deslizables (alternativa 5), tanto los del talud norte, como los de la zona homogénea LMA-III-1 (sección de análisis 1), se consideran como las alternativas más representativas; y sumadas a ellas, la reubicación de 25 viviendas en las manzanas 15,16,18,19,20 y 21, empradización y construcción de obras de drenaje en el área intervenida y, finalmente, reconstrucción de la zanja de coronación paralela al alineamiento de la carrera 23.

Se diseñarán las dos alternativas, teniendo en cuenta los problemas y las ventajas constructivas de cada una, para elegir la más viable.

- **Sector 2**

Instalación de una malla de aislamiento en la corona del talud, construcción de una zanja de coronación remoción de los llenos de basuras a lo largo de la sección 8 y retiro parcial del material de relleno de la zona occidental.

- **Sector 3**

Construcción de obras de drenaje y subdrenaje (drenes horizontales), arborización del sector con especies arbustivas adecuadas y sellado de conexiones erradas y fugas por parte de El Acueducto. Las casas 34 y 35 por tener vulnerabilidad media y amenaza baja, el riesgo es bajo; lo cual obliga a mantener las condiciones de amenaza del sitio para no cambiar la condición de riesgo.

- **Sector 4**

Construcción de trincheras drenantes y de sus obras de descarga. (canal y trincheras drenantes en espina de pescado), cierre de conexiones erradas, y construcción de acometidas de aguas residuales para viviendas que descargan al talud (predios 50,51,52 y 53 de la Manzana 4).

- **Sector 5**

Extender la malla de protección existente para limitar las distancias de viaje de bloques desprendidos de los taludes de la zona de extracción inferior. Deben comprarse los lotes 7, 8, 9 y 13 de la manzana 3 y 4.

Para todas las alternativas se recomienda restringir el uso del suelo a recreación pasiva exclusivamente, con el fin de evitar la urbanización y por ende aumento en los niveles y escenarios de riesgo.

## 9 DISEÑO DE OBRAS

Con base en las consideraciones hechas en el capítulo anterior, que a su vez tiene en cuenta los resultados de los análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, se seleccionaron las obras para el control, estabilización y protección de los taludes localizados en el barrio Codito y las viviendas que los circundan. El manejo de los procesos potenciales de inestabilidad, atiende la reducción de los escenarios y condiciones de riesgo y se concentra fundamentalmente en la construcción de obras de contención y protección, la organización del drenaje natural, la descarga y reconfiguración de las laderas, y la compra de algunas unidades residenciales.

### 9.1 DISEÑO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

En la selección de la alternativa primó la reducción de la vulnerabilidad, en una combinación entre la contención y retiro del material rocoso, así como la remoción y reconfiguración de los suelos residuales y de los llenos, y el manejo de aguas superficiales y subsuperficiales. La localización de las obras en planta del diseño final se muestra en el **Plano 14**, la localización de las obras de emergencia se muestra en el **Plano 19** y los detalles de diseño en los **Plano 16, 17, y 18**, mientras que las memorias de diseño y las Especificaciones Técnicas de Construcción se dejaron consignadas en el **Anexo G**.

Siendo consecuentes con el tratamiento que del tema se hizo en el Capítulo 8, y en aras de mejorar el entendimiento de la obra y de permitir al DPAE optimizar los recursos (al independizar las áreas de intervención), se conserva la división por sectores (véase **Figura 8. 1**).

Esta división, función del comportamiento de las laderas y de los requerimientos para la puesta en marcha de cada obra, permite tener en cuenta una serie de inconvenientes que la entidad contratante y el contratista enfrentarán (véase **numeral 9.2**), y que pueden repercutir tanto en la ejecución del contrato de obra que de aquí se desprende como en posibles sobrecostos, entre ellos:

- La actitud adversa y reacia de los habitantes en lo que respecta a la venta de predios e intervención en ellos, por su carácter de propiedad privada (tanto de las abiertas –verdes– como de las residencias) por lo que debe vincularse a nivel de decisión a la comunidad y a los propietarios.
- La altura y alta pendiente de las laderas que conforman los sectores 1 y 2, con dificultad de acceso y de maniobra, y por ende, drástica disminución de los rendimientos.
- Dificultades en el cálculo de las cantidades de obras (i.e. remoción de llenos y perfilado de roca o la conformación de muro en tierra armada en el **Sector 1**, subdrenes horizontales en el **Sector 3**, remoción de residuos antrópicos en el **Sector 2**) por dificultades de acceso topográfico y subsolar, (espesores aproximados en la cuantificación y geometría de los materiales a remover o a drenar) y en otros por la negativa de los residentes, lo que conlleva a que tales cantidades sean sólo comprobables en campo.

FOPAE:	CONSORCIO GIA - GEOCING	GIA -046-06		CAP. 9 – PAG. 232	
VERSIÓN:	1			FECHA	23/10/06
ELABORÓ:	GMT	REVISÓ:	JALG	APROBÓ:	JALG



## 9.2 DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

### 9.2.1 SECTOR 1

Es la zona con mayor complejidad constructiva. Las obras diseñadas tienen como función principal disminuir la vulnerabilidad al mitigar el área de exposición de las viviendas. Para lograrlo, se diseñaron las dos alternativas más representativas de las que se analizaron en el capítulo anterior, para definir la más conveniente de acuerdo al costo y a la facilidad del proceso constructivo de cada una. Las alternativas diseñadas son: La remoción de los materiales susceptibles al deslizamiento (alternativa 5) y la construcción de un muro en tierra armada con Geomalla (alternativa 4).

Los materiales susceptibles al deslizamiento se concentran sobre material de depósitos antrópicos que a su vez están soportados por material rocoso, donde las películas arcillosas se erigen como superficies deslizantes. Indefectiblemente deben reubicarse 25 viviendas, toda vez que se ha determinado el alto grado de exposición y la necesidad del espacio para construir en el sitio.

La complejidad de las obras se basa en el riesgo que conlleva la maniobrabilidad de la maquinaria sobre una superficie movilizadora, y dispuesta en una pendiente considerable. La atención de la emergencia de reciente suceso dispuso una berma a lo largo del talud, sobre la cual las máquinas podrán transitar, previas labores de adecuación. Las actividades contempladas en este sector requieren obras temporales de reconfiguración de la berma existente, como primera medida. Posteriormente se procederá a construir la obra. Para ello, el constructor y la interventoría de obra deberán establecer la viabilidad de abrir dos frentes de trabajo. Si se tiene en cuenta el área disponible de las casas demolidas y que al talud se puede acceder por la corona o por la base, el éxito de la obra recae sobre las medidas de protección y seguridad laboral, así como en la óptima selección de los equipos mecánicos para las condiciones topográficas.

El diseño de la alternativa 5 se sintetizó en el retiro y disposición de tres materiales, dos de ellos compuestos por rellenos de origen antrópico ( $Qt+c$  y  $Qra$ ), que se removerán en su mayoría y otro correspondiente al perfilado parcial de la roca aflorada. En ambas laderas se utilizaría equipo mecánico. En el talud sur (sección de análisis 1, zona homogénea LMA-III-1) se removería totalmente el material antrópico, por medios mecánicos con el perfilado propuesto. Al plantear el proceso constructivo para esta alternativa, se evidencia un gran inconveniente para el transporte y disposición del material removido, ya que el sitio no presenta las condiciones adecuadas para la movilización de maquinaria y se genera una disminución considerable en el rendimiento de la maquinaria y un aumento en el tiempo de ejecución. Gracias a la elaboración de este diseño, se viabilizó en consenso con funcionarios de la DPAE y con la firma interventora, la alternativa de construir un muro en tierra armada (alternativa 4), ya que para su construcción es posible la reutilización del material del sitio.

El muro en tierra armada es una asociación de suelo y elementos lineales capaces de soportar fuerzas de tensión importantes; estos últimos elementos son en este caso, Geomalla Mono orientada TT 060 o similar. El refuerzo de la geomalla da al conjunto una resistencia a tensión de la que el suelo carece en sí mismo, con la ventaja adicional de que la masa puede reforzarse única o principalmente en las direcciones más convenientes. La fuente de esta resistencia a la tensión es la fricción interna del suelo, debido a que las fuerzas que se producen en la masa se transfieren del suelo a las tiras de refuerzo por fricción. El material

que debe utilizarse debe ser de naturaleza friccionante. Durante el diseño del muro en tierra armada, se estudiaron tres secciones diferentes hasta llegar al diseño final que trata de compensar el material para evitar la posterior recolección y disposición, para obtener así a un diseño económico, seguro y más fácil de construir. Cabe señalar, que los presupuestos de obra plantean el retiro y disposición de material sobrante, basándose en la inevitable selección del material, toda vez que no todo el material removido sería apto como suelo de relleno. La proporción de material finalmente sobrante solamente se determinará durante la ejecución de la obra.

El muro en tierra armada se diseñó en dos etapas:

**Etapas de emergencia:** Fue diseñado como medida de protección económica, teniendo en cuenta la disponibilidad presupuestal actual. Su volumen efectivo de 1330.05 metros cúbicos y su altura media es de 7 metros, los taludes que lo conforman no superan los 5 metros. El sistema de drenaje del muro (véase plano 19 y 16) se compone por cunetas de recolección, las cuales descargan en un descole, que entrega finalmente a un sumidero con desarenador que se conecta con un canal de aguas lluvias para llegar finalmente al colector principal del alcantarillado.

Se diseñó un canal de recolección de aguas, para reemplazar el que pasaba alineado con la vía. El canal tiene la capacidad suficiente para contener la emergencia, pero es necesario que se construyan los drenajes de amortiguamiento que se localizan en la parte alta de la ladera (véase plano 14, 16 y 19 drenajes tipo 1, 2 y 3), en un periodo no mayor a dos años (se cuantificó para la etapa definitiva).

**Etapas definitivas:** El muro en tierra armada se diseñó como medida definitiva, para completar el diseño de emergencia, compensando la mayoría del material que hay que remover del sitio para hacerlo más económico. Los sobretamaños del material, deben fragmentarse y el material que permanezca con 20 centímetros de arista o más, deben ser retirados para que no superen la separación de la Geomalla. Tiene un volumen de 3120 metros cúbicos y su altura media es de 22 metros. El muro en tierra armada construido en la etapa de emergencia, servirá como soporte para completar el volumen y la altura de diseño para la reconformación del material. El sistema de drenaje (véase plano 14 y 16, drenaje tipo 4 y tipo 7) utiliza el del muro de la etapa de emergencia y se completará de la misma manera.

Se considera una malla adosada al talud para la caída controlada de fragmentos de bloques para la etapa de emergencia y para la definitiva. Para esta etapa se contempla la construcción de los drenajes de amortiguamiento mencionados anteriormente, comprando las servidumbres necesarias para su localización y si es necesario, llevando los procesos de imposición con el fin de equilibrar el funcionamiento del canal de coronación. En la zona baja del talud, se propone hacer una adecuación urbanística del sitio, con el fin de prevenir que se convierta en una zona no amigable, puesto que es un área abierta que queda localizada en la parte posterior de algunas viviendas.

Además de las mencionadas, se han concebido labores de empedradización de las superficies generadas, que se realizarán con césped y humus para las zonas de pendiente suave a moderada (bermas), y con una red de biomanto (Tipo Ecomatrix) en las pendientes fuertes (taludes expuestos).

El diseño del muro está ligado con otras actividades, que se relacionan con el manejo y realineamiento de servidumbres. Es el caso de un tramo de la Cra 23, y otro de la red de alcantarillado de aguas negras. Se consideró factible para la estimación del costo, pues la emergencia ocasionó que el alineamiento de la vía se dispusiera hacia el este, y no se observa inconformidad comunitaria al respecto, además la compra de los predios de la Manzana 15 permitirá el realineamiento de la vía sin mayores traumatismos.

Adicionalmente se considera la remoción de los llenos antrópicos en el talud sur, en un espesor medio de 1 metro (véase plano de Localización de Obras), así como los drenajes Tipo 1 y 2.

### **9.2.2 SECTOR 2**

En este sector se removerá parcialmente el material antrópico en la baja del talud, que amenaza en grado medio a las viviendas allí dispuestas. El volumen a remover se calculó para un espesor estimado de 1 a 3 m, y aunque en algunos puntos se observan espesores menores, el volumen y los espesores definitivos solo podrán obtenerse durante el desarrollo de la actividad. Esta resulta ser la labor de mayor dificultad en esta intervención, pues la proximidad inmediata de las viviendas impide el acceso a la masa. Por este motivo y con base en el inventario de viviendas y de inspecciones de campo, se determinó la necesidad de reubicación de un predio, el número 16-manzana 9, para que el constructor disponga el frente de trabajo para acceder a los materiales a disponer.

En la parte alta se adelantarán dos actividades, remoción de residuos antrópicos por medios manuales, en un espesor de 0.50 m (descapote y limpieza sin desmonte), y aislamiento antrópico del talud con una malla de 3 metros de altura, dispuesta paralelamente a la Cra 23 desde la cancha deportiva hasta el límite del área de estudio. Lo anterior tiene el propósito de evitar el vertimiento de residuos en el talud. También se construirá una cuneta para conducir las aguas superficiales (véase Plano 14 y 16, drenaje tipo 5).

### **9.2.3 SECTOR 3**

Las obras se concentran en la captación de agua superficial y subsuperficial, es decir en el drenaje de la masa susceptible al movimiento. Con este fin, se introducirán subdrenes horizontales de cuatro metros de longitud y dos pulgadas de diámetro, espaciados a dos metros en la parte baja del talud (hacia el sur del sector). El flujo captado por los subdrenes será conducido por una obra de drenaje (véase Canal de recolección de aguas, en el Plano 14 y 16) compuesta por un canal de dimensiones  $b=0.50$  m,  $h=0.50$  m con pantallas deflectoras en el último tramo, seguido por un caída del flujo en un canal de rápidas, para verter finalmente a un sumidero transversal de la vía, en dónde se integrará por gravedad a la red de aguas lluvias. Existe un muro de concreto reforzado en el límite de la vía con la base del talud, con un espacio de un metro por el que pasan unas escaleras peatonales. Como al sitio de la descarga del drenaje lo obstaculiza este muro, se ha previsto que el canal de rápidas sobrepase el hombro del muro, y de esta manera evitar la intersección de la obra de drenaje con las escaleras. Adicionalmente, se prevé la arborización con especies pequeñas y medianas a media ladera, con finas estabilizantes.

#### **9.2.4 SECTOR 4**

En esta zona la mitigación del riesgo se basa en la construcción de un sistema de trincheras drenantes, dispuestas en espina de pescado a lo largo de la ladera. Tendrán un ancho de 0.60 m, una profundidad media de dos metros desde la superficie del terreno, y se componen de tubería perforada en PVC y material filtrante, confinado con geotextil tejido (véase Plano 14 y Plano 16). Las excavaciones para la disposición de las trincheras serán manuales, para conservar las especies vegetales existentes. El flujo captado por estas estructuras, será conducido a un descole en concreto, que descargará libremente a la vía pavimentada, en dónde existe un sumidero transversal.

Adicionalmente, las viviendas que vierten sus aguas residuales a la ladera serán objeto del cierre de éstas conexiones, y se adelantarán las gestiones con la EAAB, para que se disponga de un sistema de recolección apropiado.

#### **9.2.5 SECTOR 5**

En este sector la amenaza se caracteriza por la exposición de las viviendas y los habitantes a la caída de bloques provenientes del talud. En la actualidad existe una malla de contención de bloques caídos, ubicada a una distancia media de 10 a 20 m de la base del talud. La solución propuesta consiste en la extensión de esta malla hacia el norte, con un distanciamiento tal, que supere o iguale al límite de la franja de amenaza media. Para lograrlo, se requiere la compra o reubicación de algunas viviendas y lotes, próximos a la cara del talud.

#### **9.2.6 OBRAS GENERALES**

Comprende todas las actividades preliminares con el fin de acondicionar las áreas a intervenir para la ejecución de las labores indistintamente del sector, dentro de las que se consideran:

- Replanteo, que corresponde a la localización, nivelación y control de las obras a ejecutar. Se hará tomando como base los mojones de referencia dejados durante el levantamiento topográfico y puede incluir la participación parcial o permanente de la comisión de topografía.
- Campamento, indispensable para la conservación de los materiales de obra y de los elementos de seguridad necesarios, al igual que de planos y demás elementos empleados en las labores, al igual que la administración, el seguimiento y control. Podrán utilizarse las áreas de las viviendas reubicadas.
- Aislamiento y protección, para impedir el acceso hacia las zonas de ejecución de trabajos a los peatones, y asimismo, brindarles seguridad.
- Descapote para liberar las superficies de suelo orgánico y capa vegetal.
- Movilización de maquinaria y equipo. Consiste en la valoración de las actividades conducentes a garantizar la disponibilidad del equipo requerido.

- Obras temporales de estabilización. Son aquellas encaminadas a reconformar, confinar o adecuar las superficies para el acceso de los equipos a los frentes de trabajo, como las que se requieren en el sector 1.

### 9.3 PROCESOS CONSTRUCTIVOS Y LABORES DE MANTENIMIENTO

A manera de orientación, este estudio ofrece una alternativa para la materialización de las obras propuestas, que se complementa con las especificaciones técnicas de construcción (**Anexo G**). De acuerdo con las etapas de inversión que adelante el FOPAE, el(los) constructor(es) debe(n) elaborar un plan de obra detallado en donde se establezcan los frentes de trabajo, los sitios de disposición de sobrantes, el equipo ofrecido, los rendimientos de evacuación del material, entre otros. El proceso constructivo que se ejecute requiere que el constructor y la interventoría de obra evalúen las condiciones del sitio y las demandas de los diseños.

Cabe resaltar que el FOPAE y la interventoría de obra deben estar al tanto de las limitaciones de los diseños, en especial sobre la estimación de cantidades del movimiento de tierras, por lo que no debe descartarse una asesoría geotécnica durante la fase constructiva, en aras de efectuar dinámicamente los ajustes de diseño necesarios.

A continuación se describen los procesos constructivos y las labores de mantenimiento para cada sector. Se han contemplado actividades de obra, por lo que la reubicación de viviendas no se incluye.

#### 9.3.1 SECTOR 1

Las obras se construirán en dos etapas. La primera se concibe como parte de la solución definitiva, por lo que la segunda fase complementará lo construido hasta alcanzar lo que se ha establecido como obras definitivas.

##### Etapa de emergencia (Etapa uno)

Se establecen dos frentes de obra: el primero en la corona del talud movilizado, y desde allí se podrá adecuar la zona alta (perfilado parcial de roca en taludes 1H:2V y las dos bermas superiores).

El segundo frente de obra está dado en la baja del talud, y se iniciará con la demolición de viviendas en cercanías del muro, (MZ 19, casa 3; MZ 20, casas 1, 2 y 11). El área liberada se utilizará para facilitar el acceso y la maniobrabilidad de equipos y para aportar centros de acopio temporal del material removido a usarse en el muro. A partir de este punto se podrán adelantar la demolición de las viviendas restantes en simultánea con las obras temporales de adecuación. Estas últimas consisten en conformación o adecuación de bermas temporales, de tablaeastacados y en general, en el uso adicional de recursos para el tránsito de equipos en la zona intervenida.

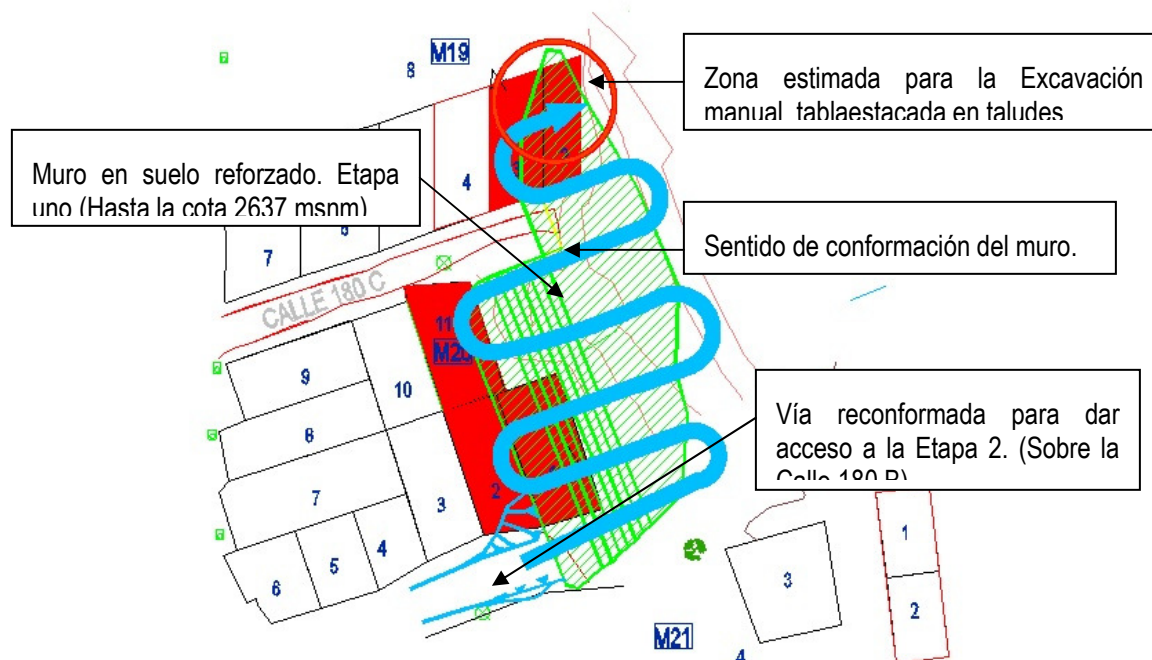
El material a remover para conformar el muro en suelo reforzado corresponde al (Qt+c) señalado en los planos de diseño (secciones), aunque podrá utilizarse otro tipo de material (proveniente de la excavación en roca), siempre y cuando se cumplan las consideraciones consignadas en las especificaciones técnicas

(Anexo G). La superficie expuesta bajo el volumen excavado en esta fase será la que resulte de la extracción de el volumen requerido para el muro (1300 m<sup>3</sup>), y en ella se recomienda que los taludes resultantes en material removible se conformen en 1H:1V, en el caso de la arenisca (Ksgt-A) no hay restricciones.

Se han definido tres tipos de excavación: Excavación en material común, derrumbado o brechado, que consiste en la remoción de estos materiales con equipo pesado (Volqueta, Buldózer, Excavadora sobre orugas, Retrocargador sobre llantas); Excavación en roca, similar al anterior en el uso de los equipos, pero con rendimientos menores, y Excavación manual tablaestacada en taludes, concebida para las zonas de difícil acceso. Esta última es de gran relevancia en esta fase, pues está concebida para remover el material de la zona noroeste del sector, en cercanías a las viviendas 17,18, y 3 de la MZ 19 (Figura 9.1). Adicionalmente se contempló un ítem para la destrucción y fragmentación de bloques mayores de 2 m<sup>3</sup>, con la excavadora acondicionada con un aditamento y con martillos mecánicos de uso manual.

La excavación manual tablaestacada, se estima, deberá hacerse en la zona ilustrada en la Figura 9. de manera alternada con la construcción del muro. El volumen removido por este método, dependerá exclusivamente de las dificultades encontradas en campo, y debe usarse en las áreas de estricta necesidad, pues es la excavación de mayor costo. El material restante podrá removerse por métodos mecánicos.

Figura 9.1 Muro en suelo reforzado. Proceso constructivo



La construcción del muro en suelo reforzado deberá comenzar de manera alterna con la excavación manual tablaestacada, es decir, una vez excavado manualmente un tramo, se procede a instalar la geomalla, el suelo

de relleno, y todos los componentes del muro (geodrenes, lloraderos, etc), y a compactar el suelo reforzado en el mismo tramo; posteriormente se avanza a otro tramo y se da continuidad a esta secuencia alternada hasta que se haya facilitado el acceso a los equipos y a la conformación mecánica del muro. El muro se construirá en franjas (este-oeste), y de norte a sur (**Figura 9.**), de tal manera que el acceso por la Calle 180 B nunca se obstruya. En este punto y al avanzar por encima de la cota 2634 msnm., deberá acondicionarse una vía de acceso, que se conservará al final de esta etapa para garantizar el acceso a la construcción de la fase definitiva. Se ha considerado que el muro en gaviones construido durante la atención de la emergencia se integrará al muro en suelo reforzado. (Véanse los Planos de Diseño).

Durante la construcción del muro, deberá considerarse la disposición y cotas de los geodrenes circulares, que no deberán estar por debajo de las cotas de las obras de entrega. Es necesario realizar control topográfico para el desarrollo de esta actividad, en todo caso, las cotas de batea de los geodrenes circulares no estarán por debajo de los 2630.70 msnm. Esta situación sólo podrá cambiar si las condiciones encontradas en campo garantizan la evacuación del agua interna del muro en cotas inferiores. Los geodrenes circulares deberán descargar a la obra de drenaje superficial más cercana aguas abajo (descoles o cunetas). En estos puntos de entrega deben construirse unas cajas de inspección que faciliten el mantenimiento de los geodrenes circulares.

Las obras de entrega de los drenajes (sumidero con desarenador y tubería de entrega de aguas lluvias) deberán dejarse construidas completamente durante esta etapa, y en este sistema deberá verificarse que las cotas y pendientes de diseño correspondan a lo encontrado in-situ, y en caso contrario, hacer los ajustes necesarios para que la descarga sea efectiva en el canal existente. El interventor de obra viabilizará este punto de entrega (canal existente en la MZ 20), y de encontrarse no conveniente o no viable, se sugiere construir una estructura de conducción y entrega adosada al costado sur de la MZ 20 (Calle 180 B). El terreno frente al muro deberá conformarse de manera tal que las escorrentías sean conducidas en la forma como se concibió en el diseño.

El canal de coronación y sus obras complementarias no dependen de otras actividades para su construcción, salvo por el replanteo y el control topográfico que deberá mantenerse para garantizar la eficiencia de la obra hidráulica. Esta estructura podrá construirse al inicio de la obra, sin embargo, no deberá obstruir el acceso del frente de obra número uno, por lo que se estima que deberá construirse una vez adecuado el tope de la ladera.

Luego de realizar los movimientos de tierras se procederá al revestimiento de las superficies, y a la construcción de los drenajes superficiales (descoles tipo 1 y cunetas tipo 4). Las superficies de arenisca que resultan expuestas (perfilado parcial en la parte alta de la ladera) se recubrirán con la malla adosada pearnada a los taludes, y con cespedón en las bermas (Véanse planos de diseño). Para la instalación de los pernos se podrá utilizar equipo liviano (profundidades de 3", diámetro de ¾") operado en la cara del talud por personal calificado. No obstante, deben tenerse en cuenta las medidas de protección y seguridad laboral que implican este tipo de actividades.

### **Mantenimiento**

El mantenimiento se concentra en evitar la colmatación de las obras de drenaje en general, el agrietamiento de las cunetas sobre el muro y garantizar la eficiencia de la empradización. El muro en tierra armada debe ser monitoreado una vez por mes con el fin de prevenir el agrietamiento en los drenajes, ya que se pueden

presentar fracturas que generen infiltraciones de agua. La colmatación de arenas pueden ocasionar desbordamientos y consecuentemente los mismos efectos. Es importante que se haga limpieza en el desarenador, en el sumidero con desarenador y en todos los drenajes del sector para amortiguar la marcada depositación de arenas en las estructuras hidráulicas superficiales. En los geodrenes circulares se efectuará la limpieza con equipos de succión (o con sondas, en su defecto), para lo cual se han dispuesto las cajas de inspección en los puntos de entrega). Al hacer el monitoreo del muro, se debe verificar que la empradización sea efectiva, hasta que llegue a niveles aceptables. Con los registros del monitoreo deberán establecerse las frecuencias de limpieza y remoción de sólidos, así como el reemplazo o refuerzo de césped, tierra o semillas en las superficies a recuperar. Se recomienda que las labores de mantenimiento sean realizadas por la comunidad, de esta manera se creará sentido de pertenencia y la vida útil de las obras aumentará.

### **Etapa dos**

La primera actividad a realizarse en esta etapa es el ajuste a los diseños del muro en suelo reforzado, como consecuencia de las condiciones resultantes de la primera fase. Adicionalmente debe adelantarse la gestión predial para la adquisición de la servidumbre de paso para los drenajes Tipo 1 y Tipo 2, en la zona oriental. También es importante que las viviendas a reubicar no estén ocupadas en el momento de inicio de las obras. La obra comienza con las actividades preliminares de localización y replanteo, movilización de maquinaria y equipos, plan de manejo de tránsito, entre otros. Tendría un frente de trabajo por la Calle 180 B, que sería el conformado desde la etapa de emergencia.

En esta fase se ha contemplado la excavación en roca de la zona nororiental (Véase sección 4 en los planos de detalles), para lo cual, deberá accederse desde la parte baja (Calle 180 B). Esta actividad deberá realizarse antes de comenzar la construcción de los nuevos niveles del muro, a menos de que se pueda garantizar acceso desde la corona de la ladera, en cuyo caso deberá protegerse el canal de coronación construido en la fase uno. Si se decide por lo primero (acceso desde abajo), las superficies del perfilado deberán quedar revestidas tal como se propone (empradización de las bermas y malla adosada en los taludes) antes de la construcción del muro.

Las labores en el muro se concentrarían en el movimiento de tierras para alcanzar las cotas definidas en la etapa definitiva, y en la conexión de los drenajes internos y externos, así como en el recubrimiento de las superficies.

La superficie finalmente expuesta sobre la cota de corona del muro debe ser la arenisca (Ksgt-A), que se muestra en los planos de diseño (secciones). En esta instancia ya se habrán removido todo el volumen de llenos (Qt+c). Esta superficie se recubrirá con la malla eslabonada adosada, de las mismas características de la usada en la etapa uno.

La demolición de viviendas podrá abordarse desde el inicio de la construcción, y no tiene actividades conexas, salvo lo que se adopte para la disposición de estas áreas. Los drenajes Tipo 1 y Tipo 2 podrán construirse al inicio de la obra, y no dependen de ninguna actividad previa. La remoción de llenos del talud sur (Véase plano de localización de obras) se hará con equipo menor, y las actividades conexas son el descapote y la remoción de aproximadamente un metro de espesor de rellenos antrópicos. Se estableció que no se requiere desmonte de especies en esta zona, por lo que si se presentan dificultades de maniobrabilidad de los equipos, deberá excavar manualmente a cielo abierto.



En esta fase se adelantarán las obras de realineamiento de redes de alcantarillado, acueducto, energía, y de la Cra. 23, según lo viabilizado en el presente estudio (Véase numeral 9.4). Para finalizar, en el espacio dispuesto frente al muro se podrán adelantar las obras de urbanismo, viabilizadas por el IDRDR y la Secretaría de Gobierno del Distrito.

### **Mantenimiento**

Se adoptan las mismas recomendaciones de mantenimiento de la etapa uno, y se adiciona la conservación de los predios adquiridos, para que no sean objeto de reubicación por otras familias. Se sugiere el cambio de uso del suelo, la reforestación o la generación de espacios de recreación pasiva.

### **9.3.2 SECTOR 2**

Las actividades principales están agrupadas en tres, y cada una de ellas puede adelantarse sin depender de las otras. De la misma forma, se disponen tres frentes de obra, dos de ellos en la corona de la ladera (Cra. 23) y otro en la vivienda 16 de la MZ 9, predio que se adquiriría para crear el acceso a la parte baja del talud. Esta vivienda ofrece características favorables para establecer el acceso, a juicio del consultor. El área construida se concentra en la fachada y los primeros metros, y tiene un patio trasero que permite el acceso al talud, dada la pendiente favorable en este punto. Se propone la compra y reubicación de la familia, aunque deberá ser la interventoría de obra, el constructor y el FOPAE, quienes viabilicen una reubicación temporal si consideran que la vivienda no sufrirá daños graves o irreversibles, durante la extracción de los llenos en el talud.

Para la remoción de los llenos en la parte baja de la ladera se concibió la excavación manual, en un espesor de 2.50 m de acuerdo con lo concluido en el análisis de la sección 8 (Véase plano de secciones geológicas). Se puede utilizar equipo menor, pero se recomienda no efectuar desmonte y retiro de árboles medianos en este sitio.

En la parte superior del talud, en donde se plantea la remoción de residuos antrópicos, se deberá ejecutar de forma manual, pues la actividad consiste en el retiro de residuos sólidos depositados por los habitantes del sector. Sin embargo, deberán tomarse todas las medidas de seguridad industrial para su desarrollo. Posteriormente, se establece la empedradización con tierra y semillas de la zona.

El alineamiento de las mallas de aislamiento debe ser validado por la interventoría y el contratista de obra, pero deberá considerarse que su finalidad en este sector, es el de no permitir que los habitantes del barrio sigan botando la basura en este sitio. De allí la importancia de garantizar las alturas señaladas en los planos. Por otra parte, en la construcción del drenaje Tipo 5 debe garantizarse la evacuación del flujo hacia la cuneta existente de la Cra. 23.

### **Mantenimiento**

Se debe mantener el cerramiento y hacer un trabajo de concientización con los habitantes del sector, para que haya un correcto manejo de las basuras, así como también se debe hablar con la empresa de aseo del sector para que verifique la cobertura en la zona.

### 9.3.3 SECTOR 3

El frente de trabajo de este sector será la Calle 180 C. La excavación para los canales y la construcción de los subdrenes horizontales serán las primeras actividades de obra. Los drenes tienen perforación en suelo y en roca, (aproximadamente 2 m en cada material) y deberá utilizarse equipo de perforación. Posteriormente se construye el canal y la obra de entrega, que descarga sobre la calle 180 C. El canal pasa sobre el hombro del muro de contención existente, al llegar a él, y a partir de este punto comienza el canal de rápidas con tapa (obra de entrega). Para la construcción de éste último, la interventoría de obra y el constructor podrán adoptar la forma del canal a las facilidades constructivas que estimen convenientes, sin embargo deben garantizar la eficiencia hidráulica de la estructura, en especial el caudal de diseño (Véase **Anexo G**) y la disipación de energía.

#### **Mantenimiento**

En este sector, se deben hacer monitoreos y limpieza de los drenajes para evitar que se colmaten. Es importante verificar que los subdrenes trabajen correctamente y que las juntas de los canales trabajen correctamente.

### 9.3.4 SECTOR 4

Ofrece dos frentes de trabajo principales, en la Calle 181 Bis y en la Cra. 24. No obstante, se puede acceder por un sendero peatonal que cruza el sector. Para la construcción de las trincheras drenantes se efectuarán excavaciones manuales para zanjas, en una profundidad de 1.50 a 2.00 m, por lo que en algunos casos podrán entibarse para aumentar la seguridad del trabajador. Se propone el uso de material granular filtrante de ¾" a 1 ½" que se debe garantizar en una profundidad de 1.50 m. Las trincheras deberán quedar en superficie del terreno natural, empradizada, y se requiere el control topográfico para la disposición de las tuberías con las cotas de diseño. El alineamiento del descole no debe interferir con especies arbóreas, por lo que podrá cambiarse según lo encontrado en campo.

#### **Mantenimiento**

Se debe hacer limpieza al descole con el fin de evitar obstaculizaciones al flujo. Es importante medir la cantidad de sólidos removidos, para aumentar o disminuir la frecuencia con la que se hace la limpieza.

### 9.3.5 SECTOR 5

Los frentes de obra que se recomiendan en este sector son la Calle 181B y la 182, en proximidades del talud. En primer lugar, deberán demolerse los cerramientos de los lotes comprados. Posteriormente, y al tener en cuenta que el diseño propone la extensión longitudinal de la malla existente, la interventoría de obra deberá validar las características de la malla señalada en los planos, de manera que corresponda a la que se pretende extender. Sin embargo, la altura mínima de la nueva malla será de 5 metros, y su alineamiento en planta no será diferente a lo señalado en el plano de Localización de Obras. Es importante que se gestione el

acceso al predio ubicado al norte (en donde funciona un lavadero de carros) pues del estudio catastral realizado clasifica la zona como un terreno baldío (de la nación).

### **Mantenimiento**

La malla de protección en este sector debe ser monitoreada, con el fin de contar y medir los bloques que caigan entre ésta y la cara del talud, para evaluar con alguna frecuencia su desempeño y establecer su vida útil. También se debe cambiar la parte de la malla que haya fallado ante el impacto de la caída de los bloques. En cada monitoreo, se debe revisar el estado de los tubos que sostienen la malla y en caso de observarse peladuras o escamado de la pintura en algún tubo, se debe proceder a pintarlos y protegerlos contra la corrosión. Así mismo, debe evaluarse el estado de la malla y de las guayas de refuerzo, en aras de reemplazar las que muestren deterioro.

## **9.4 VIABILIDAD DE LAS OBRAS Y PREDIOS REQUERIDOS**

En presentación oficial y vista de campo realizada con funcionarios de entidades distritales, se expusieron los diseños de las obras propuestos, con el fin de consultar la viabilidad de las mismas. El IDRD no tuvo objeción en la disposición de la zona baja del Sector 1 como sitio de recreación pasiva, y viabilizó a priori la construcción de la malla de aislamiento del Sector 2. Por otra parte, el funcionario de EL ACUEDUCTO, dio visto bueno a los sitios de entrega de las aguas lluvias recolectadas en el Sector 1, toda vez que se dispusieran estructuras para contención de sedimentos (desarenadotes). En los otros sectores, sugirió que el FOPAE remitiera los datos de diseño (áreas de aferencia y caudales de diseño) a la empresa, para verificar que las estructuras existentes tienen la capacidad adecuada. Sin embargo, también señaló que con los diseños propuestos no se están modificando las áreas de aferencia. Al respecto de las obras de alcantarillado del tercer nivel (Sector 1-corona del talud), sugirió que interdisciplinariamente deberá decidirse, sobre la línea de costo-beneficio, si la salida es realinear las redes o si resulta más conveniente reubicar estos predios y restringir el uso del suelo.

A continuación, en la **Tabla 9.1** se relacionan las viviendas y los lotes a comprar o reubicar para la ejecución de las obras y la mitigación del riesgo. La mayor demanda se presenta en el Sector 1, en contraste con los sectores 3 y 4 en donde no es necesaria la reubicación.

**Tabla 9.1 Predios requeridos para la construcción de las obras de mitigación**

SECTOR 1				
MANZANA	VIVIENDA	ETAPA DE COMPRA	AREA CONSTRUIDA	ESTADO DE OCUPACIÓN
15	5A	E2	71	Ocupada
	10A	E2	59	Ocupada
	12A	E2	79	Ocupada
	13A	E2	70	No Ocupada
	5E	E2	33	No Ocupada
	6A	E2	40	Ocupada
	6B	E2	57	Ocupada
16	7	E2	131	No Ocupada
18	1	E1	76.3	No Ocupada
	2	E1	44.7	Ocupada
	3	E1	73	No Ocupada
	18	E1	26.9	No Ocupada
19	2	E1	47.6	No Ocupada
	3	E1	67.2	No Ocupada
	17	E1	55.4	No Ocupada
	18	E1	72.7	No Ocupada
	19	E1	41.1	No Ocupada reubicada
	20	E1	43	No Ocupada reubicada
20	1	E1	90	Ocupada
	2	E1	50	Ocupada
	11	E1	70	Ocupada
21	1	E2	46.5	Ocupada
	2	E2	46.4	Ocupada
	3	E2	95.8	Ocupada
	4	E2	101.8	Ocupada

SECTOR 2			
MANZANA	VIVIENDA	AREA CONSTRUIDA	ESTADO DE OCUPACIÓN
9	16	119	Ocupada

SECTOR 5			
MANZANA	LOTES	AREA LOTE	ESTADO DE OCUPACIÓN
3	7	64	No Ocupada
	8	133	No Ocupada
	9	95.5	No Ocupada
4	13	86	No Ocupada

#### **9.4.1 CANTIDADES DE OBRA, PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA**

En la **Tabla 9.2** se muestran las cantidades de obra y presupuesto aproximado para los diferentes componentes de la solución propuesta, mientras que los análisis de precios unitarios se consignan en el **Anexo G**. Asimismo, en la **Figura 9.2** se plasma el cronograma para su ejecución, cuya duración se estima en 15 semanas. Adicionalmente, en la **Tabla 9.3** se esbozan tanto las cantidades de obra como el presupuesto obra discriminados por sectores.

Como ya se reseñó, las obras (sus cantidades y presupuesto), están planteadas de modo tal que la DPAE pueda independizar las áreas de intervención y así optimizar los recursos, más aún, si se tienen en cuenta los

inconvenientes en cuanto a propiedad de predios y permisos. Es así como en la **Tabla 9.2** se establece el sector al que pertenece cada ítem, caso de obras como las mallas o las obras de entrega de los drenajes (**Sectores 3 y 4**) que puede ser del pecunio de otra entidad estatal diferente a la DPAAE, la compra de predios (**Sectores 1, 2 y 5**) resultado final de los estudios de titulación. Ellos pueden abstraerse del presupuesto presentado, sin que ello afecte desde el punto de vista de costo ninguna otra cantidad. No obstante, si bien la **Tabla 9.3** condensa la discriminación de cantidades de obra y presupuesto para cada sector, los anteriores preceptos también se pueden aplicar.

#### **9.4.2 PARTICIPACIÓN COMUNITARIA**

De gran importancia resulta el manejo social y comunitario del proyecto, ya que la generación de expectativas hace un llamado masivo al sector. El ámbito de participación en las obras contempladas depende directamente de la naturaleza de las mismas. Se han considerado, entre otros, los siguientes aspectos:

- Métodos y procedimientos constructivos.
- Uso de equipo mecanizado operado por personal entrenado.
- Labores de fácil ejecución (mano de obra no especializada).
- Rendimientos de ejecución
- Demanda logística de nivel especializado en las obras (sector 1).

Con el análisis de estos elementos, se concluyó que la participación comunitaria se restringe apenas a un 10% o 15% para la mano de obra no especializada. Esto se explica por la alta proporción del movimiento de tierras en el presupuesto general de obra, labor que solicita un alto grado técnico. Las actividades en donde tiene acceso la comunidad son, entre otras, Empradizaciones con césped, excavaciones manuales, arborización, demoliciones y reciclaje de materiales y sellado de conexiones sanitarias. A discreción del constructor y de la interventoría de obra, podrá ofrecerse acceso a otras actividades, tales como la disposición de materiales sobrantes de la excavación, u otros ítems relacionados con el movimiento de tierras.

Con el Plan de Gestión Social (**Anexo G**), se busca que el constructor también contrate mano de obra especializada del sitio. Es importante que los habitantes del sector se enteren del tipo de obra que se va a llevar a cabo, para que sepan en qué actividades se pueden desempeñar y orienten a las trabajadoras sociales a ubicarlos.

Aproximadamente una semana antes de comenzar la obra, el constructor está en la obligación de llamar a trabajar a la comunidad (por medio de la alcaldía o de las emisoras locales), y debe instalar una oficina en donde se reciban las hojas de vida de los habitantes del sector y en donde se encuentre personal capacitado para dar la información concerniente a la obra, junto con trabajadoras sociales que resuelvan las dudas de tipo social.

Tabla 9.2 Cantidades de obra y Presupuesto aproximado de obra

ID	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR PARCIAL
<b>1</b>	<b>ACTIVIDADES GENERALES</b>				
1.1	Campamento	GLOBAL	1.00	\$ 1 236 053	\$ 1 236 053
1.2	Localización y replanteo	M2	10175.90	\$ 1 214	\$ 12 349 269
1.3	Control topográfico	M2	5977.55	\$ 1 742	\$ 10 410 501
1.4	Plan de Manejo de Tránsito (Señalización)	GLOBAL	1.00	\$ 408 332	\$ 408 332
1.5	Aislamiento y protección de la zona intervenida	ML	342.61	\$ 11 033	\$ 3 800 470
1.6	Movilización de maquinaria y equipo	GLOBAL	1.00	\$ 1 800 000	\$ 1 800 000
1.7	Obras temporales de adecuación	GLOBAL	1.00	\$ 2 816 220	\$ 2 816 220
1.8	Demolición de vivienda	M2	1707.40	\$ 60 369	\$ 103 073 177
1.9	Reubicación de vivienda	M2	1707.40	\$ 350 000	\$ 597 590 000
1.10	Compra de terreno (lotes)	M2	378.52	\$ 250 000	\$ 94 630 000
1.11	Sellado de conexiones sanitarias	LN	6.00	\$ 12 850	\$ 77 100
<b>2</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				
2.1	Descapote. Incluye retiro.	M3	1798.72	\$ 5 429	\$ 9 764 352
2.2	Excavación mecánica en material común, derrumbado.	M3	4578.30	\$ 6 757	\$ 30 937 377
2.3	Excavación en roca	M3	4507.72	\$ 15 722	\$ 70 871 275
2.4	Excavación manual tablastacada en taludes	M4	303.00	\$ 21 889	\$ 6 632 303
2.5	Excavación manual a cielo abierto	M3	1244.15	\$ 9 887	\$ 12 300 862
2.6	Dstrucción y fragmentación de bloques > 2 M3	M3	210.56	\$ 94 524	\$ 19 902 910
2.7	Desmorte de Arboles Medianos. Incluye retiro	LN	0.00	\$ 59 814	\$ 0
2.8	Retiro y disposición de sobranes de excavación	M3	6140.98	\$ 13 336	\$ 81 897 860
2.9	Conformación y Nivelación de Bermas	M2	848.41	\$ 701	\$ 594 515
2.10	Excavación con equipo menor. Incluye retiro	M2	1386.05	\$ 10 570	\$ 14 650 549
<b>3</b>	<b>MURO EN SUELO REFORZADO</b>				
3.1	Lloraderos en PVC 2"	M2	572.00	\$ 12 358	\$ 7 068 673
3.2	Suministro e instalación de Geodrén Planar	M2	1502.14	\$ 44 351	\$ 66 620 543
3.3	Suministro e instalación de Geodrén Planar circular 6"	M2	300.00	\$ 57 831	\$ 17 349 222
3.4	Suministro y tendido de Geomalla TT-060	M2	22969.54	\$ 14 763	\$ 339 101 557
3.5	Compactación mecánica	M2	8097.88	\$ 14 763	\$ 119 549 842
3.6	Relleno en material de la excavación	M2	8097.88	\$ 7 148	\$ 57 884 794
3.7	Revestimiento en Paneles de concreto	M2	366.26	\$ 54 040	\$ 19 792 621
<b>4</b>	<b>RECURRIMIENTO DE SUPERFICIES</b>				
4.1	Empedrado con cespedón	M2	3063.01	\$ 7 419	\$ 22 724 471
4.2	Empedrado con Ecomatrix	M2	895.32	\$ 10 114	\$ 9 055 132
4.3	Empedrado con tierra y semillas	M2	1656.25	\$ 4 220	\$ 6 989 375
4.4	Arborización con especies medianas	M2	270.20	\$ 16 182	\$ 4 372 376
<b>5</b>	<b>OBRAS DE DRENAJE</b>				
5.1	Subdrenes horizontales PVC 2" perforada	ML	31.20	\$ 101 664	\$ 3 171 928
5.2	Tincheras drenantes 200 mm perforada	ML	60.00	\$ 97 048	\$ 5 822 876
5.3	Tincheras drenantes 150 mm perforada	ML	135.74	\$ 87 299	\$ 11 849 984
5.4	Drenaje Tipo 1 - Cuneta	ML	407.93	\$ 51 272	\$ 20 915 436
5.5	Drenaje Tipo 2 - Cuneta	ML	21.95	\$ 54 368	\$ 1 193 363
5.6	Drenaje Tipo 3 - Canal de Coronación Sector 1	ML	148.70	\$ 181 789	\$ 27 032 036
5.7	Drenaje Tipo 4 - Cuneta	ML	180.03	\$ 21 185	\$ 3 813 886
5.8	Drenaje Tipo 5 - Cuneta	ML	46.12	\$ 16 556	\$ 763 548
5.9	Drenaje Tipo 6 - Sección 1 - Canal	ML	14.00	\$ 113 548	\$ 1 589 670
5.10	Drenaje Tipo 6 - Sección 3 - Canal de Réplicas	GLOBAL	1.00	\$ 745 743	\$ 745 743
5.11	Drenaje Tipo 6 - Sección 2 - Canal de Pantallas	ML	5.10	\$ 272 313	\$ 1 388 796
5.12	Drenaje Tipo 7 - Cuneta	ML	110.90	\$ 22 725	\$ 2 520 178
5.13	Drenaje Tipo 8 - Cuneta	ML	79.70	\$ 23 057	\$ 1 837 657
5.14	Descole escalonado en concreto Tipo 1	ML	30.31	\$ 70 873	\$ 2 148 173
5.15	Descole escalonado en concreto Tipo 2	ML	7.00	\$ 66 394	\$ 464 759
5.16	Tubería de entrega aguas lluvias	ML	22.00	\$ 119 464	\$ 2 628 219
5.17	Sumidero con desarenador	LN	1.00	\$ 332 216	\$ 332 216
5.18	Desarenador	LN	3.00	\$ 269 958	\$ 806 873
5.19	Drenaje Tipo 9 - Cuneta	ML	15.62	\$ 113 548	\$ 1 773 615
5.20	Cajas de inspección Geodrenes (60x60x60)	UND	8.00	\$ 205 730	\$ 1 645 843
5.21	Rajilla en concreto para paso de vías	ML	10.00	\$ 19 728	\$ 197 280
<b>6</b>	<b>OBRAS DE PROTECCIÓN Y AISLAMIENTO</b>				
6.1	Malla de aislamiento Tipo 1 (h= 3m)	ML	67.98	\$ 95 002	\$ 6 458 239
6.2	Malla de aislamiento Tipo 2 (h= 4m)	ML	20.00	\$ 111 197	\$ 2 223 950
6.3	Malla de protección	ML	101.24	\$ 167 483	\$ 16 955 946
6.4	Malla adosada pamedi al talud	M2	1853.10	\$ 17 865	\$ 33 105 632
<b>7</b>	<b>REUBICACIÓN DE REDES DE SERVICIO Y OTROS</b>				
7.1	Redes de Energía	ML	128.03	\$ 96 358	\$ 12 336 751
7.2	Redes de Acueducto	ML	128.03	\$ 39 218	\$ 4 993 024
7.3	Redes Alcantarillado	ML	128.03	\$ 80 705	\$ 10 332 715
7.4	Realineamiento de vía (Cra 23)	ML	128.03	\$ 46 637	\$ 5 970 939
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>\$ 1 931 171 034</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO SIN REUBICACIÓN DE VIVIENDAS</b>					<b>\$ 1 333 581 034</b>
<b>REUBICACIÓN DE VIVIENDAS</b>					<b>\$ 597 590 000</b>
<b>COSTO DIRECTO SIN REUBICACIÓN + AIU 30%</b>					<b>\$ 1 733 655 344</b>

Tabla 9.3 Cantidades de obra y Presupuesto aproximado de obra por sector

Sector 1 .Obras de emergencia

ID	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR PARCIAL
<b>1</b>	<b>ACTIVIDADES GENERALES</b>				
1.1	Campamento	GLOBAL	1.00	\$ 1 236 053	\$ 1 236 053
1.2	Localización y replanteo	M2	4506.49	\$ 1 214	\$ 5 468 986
1.3	Control topográfico	M2	4506.49	\$ 1 742	\$ 7 848 503
1.4	Plan de Manejo de Tránsito (Señalización)	GLOBAL	1.00	\$ 408 332	\$ 408 332
1.5	Aislamiento y protección de la zona intervenida	ML	128.28	\$ 11 093	\$ 1 422 972
1.6	Movilización de maquinaria y equipo	GLOBAL	1.00	\$ 1 800 000	\$ 1 800 000
1.7	Obras temporales de adecuación	GLOBAL	1.00	\$ 2 816 220	\$ 2 816 220
1.8	Demolición de vivienda	M2	757.90	\$ 60 369	\$ 45 753 286
1.9	Reubicación de vivienda	M2	757.90	\$ 350 000	\$ 265 265 000
1.10	Compra de terreno (lotes)	M2	0.00	\$ 250 000	\$ 0
<b>2</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				
2.2	Excavación mecánica en material común, derrumbado,	M3	1027.05	\$ 6 757	\$ 6 940 161
2.3	Excavación en roca	M3	1051.22	\$ 15 722	\$ 16 527 491
2.4	Excavación manual tablaestacada en taludes	M3	303.00	\$ 21 889	\$ 6 632 303
2.6	Destrucción y fragmentación de bloques > 2 M3	M3	52.64	\$ 94 524	\$ 4 975 728
2.8	Retiro y disposición de sobrantes de excavación	M3	349.20	\$ 13 336	\$ 4 657 048
2.9	Conformación y Nivelación de Bermas	M2	519.78	\$ 701	\$ 364 231
<b>3</b>	<b>MURO EN SUELO REFORZADO</b>				
3.1	Lloraderos en PVC 2"	ML	210.00	\$ 12 358	\$ 2 595 142
3.2	Suministro e instalación de Geodrén Planar	M2	593.66	\$ 44 351	\$ 26 329 319
3.3	Suministro e instalación de Geodrén Planar circular 6"	ML	112.50	\$ 57 831	\$ 6 505 958
3.4	Suministro y tendida de Geomalla TT-060	M2	3545.07	\$ 14 763	\$ 52 336 252
3.5	Compactación mecánica	M3	1729.07	\$ 14 763	\$ 25 526 360
3.6	Relleno en material de la excavación	M3	1729.07	\$ 7 148	\$ 12 359 599
3.7	Revestimiento en Paneles de concreto	M2	183.13	\$ 54 040	\$ 9 896 310
<b>4</b>	<b>RECUBRIMIENTO DE SUPERFICIES</b>				
4.1	Empedricación con cespedón	M2	705.40	\$ 7 419	\$ 5 233 363
4.2	Empedricación con Ecomatrix	M2	318.02	\$ 10 114	\$ 3 216 407
<b>5</b>	<b>OBRAS DE DRENAJE</b>				
5.6	Drenaje Tipo 3 - Canal de Coronación Sector 1	ML	148.70	\$ 181 789	\$ 27 032 036
5.7	Drenaje Tipo 4 - Cuneta	ML	77.64	\$ 21 185	\$ 1 644 786
5.12	Drenaje Tipo 7 - Cuneta	ML	55.45	\$ 22 725	\$ 1 260 089
5.13	Drenaje Tipo 8 - Cuneta	ML	39.85	\$ 23 057	\$ 918 828
5.14	Descole escalonado en concreto Tipo 1	ML	1.56	\$ 70 873	\$ 110 563
5.16	Tubería de entrega aguas lluvias	ML	22.00	\$ 119 464	\$ 2 628 219
5.17	Sumidero con desarenador	UN	1.00	\$ 332 216	\$ 332 216
5.18	Desarenador	UN	3.00	\$ 268 958	\$ 806 873
5.19	Drenaje Tipo 9 - Cuneta	ML	15.62	\$ 113 548	\$ 1 773 615
5.20	Cajas de inspección Geodrenes (60x60x60)	UND	6.00	\$ 205 730	\$ 1 234 382
5.21	Rejilla en concreto para paso de vías	ML	10.00	\$ 19 728	\$ 197 280
<b>6</b>	<b>OBRAS DE PROTECCIÓN Y AISLAMIENTO</b>				
6.4	Malla adosada pernaada al talud	M2	179.71	\$ 17 865	\$ 3 210 519
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>\$ 572 273 316</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO SIN REUBICACIÓN DE VIVIENDAS</b>					<b>\$ 307 008 316</b>
<b>REUBICACIÓN DE VIVIENDAS</b>					<b>\$ 265 265 000</b>
<b>COSTO DIRECTO SIN REUBICACIÓN + AIU 30%</b>					<b>\$ 399 110 811</b>

Sector 1 .Obras definitivas

ID	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR PARCIAL
<b>1</b>	<b>ACTIVIDADES GENERALES</b>				
1.1	Campamento	GLOBAL	1.00	\$ 1 236 053	\$ 1 236 053
1.2	Localización y replanteo	M2	5845.37	\$ 1 214	\$ 7 093 824
1.3	Control topográfico	M2	5845.37	\$ 1 742	\$ 10 180 296
1.4	Plan de Manejo de Tránsito (Señalización)	GLOBAL	1.00	\$ 408 332	\$ 408 332
1.5	Aislamiento y protección de la zona intervenida	ML	128.28	\$ 11 093	\$ 1 422 972
1.6	Movilización de maquinaria y equipo	GLOBAL	1.00	\$ 1 800 000	\$ 1 800 000
1.7	Obras temporales de adecuación	GLOBAL	1.00	\$ 2 816 220	\$ 2 816 220
1.8	Demolición de vivienda	M2	1588.40	\$ 60 369	\$ 95 889 325
1.9	Reubicación de vivienda	M2	1588.40	\$ 350 000	\$ 555 940 000
<b>2</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				
2.1	Descapote. Incluye retiro.	M3	1386.05	\$ 5 429	\$ 7 524 172
2.2	Excavación mecánica en material común, demorado,	M3	4578.30	\$ 6 757	\$ 30 937 377
2.3	Excavación en roca	M3	4507.72	\$ 15 722	\$ 70 871 275
2.4	Excavación manual tablaestacada en taludes	M4	303.00	\$ 21 889	\$ 6 632 303
2.6	Destrucción y fragmentación de bloques > 2 M3	M3	105.28	\$ 94 524	\$ 9 951 455
2.8	Retiro y disposición de sobrantes de excavación	M3	5037.08	\$ 13 336	\$ 67 175 923
2.9	Conformación y Nivelación de Bermas	M2	848.41	\$ 701	\$ 594 515
2.10	Excavación con equipo menor. Incluye retiro	M2	1386.05	\$ 10 570	\$ 14 650 549
<b>3</b>	<b>MURO EN SUELO REFORZADO</b>				
3.1	Lloraderos en PVC 2"	M2	286.00	\$ 12 358	\$ 3 534 337
3.2	Suministro e instalación de Geodrén Planar	M2	751.07	\$ 44 351	\$ 33 310 271
3.3	Suministro e instalación de Geodrén Planar circular 6"	M2	150.00	\$ 57 831	\$ 8 674 611
3.4	Suministro y tendida de Geomalla TF-060	M2	11484.77	\$ 14 763	\$ 169 550 778
3.5	Compactación mecánica	M2	4048.94	\$ 14 763	\$ 59 774 921
3.6	Relleno en material de la excavación	M2	4048.94	\$ 7 148	\$ 28 942 397
3.7	Revestimiento en Páneles de concreto	M2	183.13	\$ 54 040	\$ 9 896 310
<b>4</b>	<b>RECURRIMIENTO DE SUPERFICIES</b>				
4.1	Empradización con Ecompedón	M2	2011.56	\$ 7 419	\$ 14 923 764
4.2	Empradización con Ecomatrix	M2	895.32	\$ 10 114	\$ 9 055 132
<b>5</b>	<b>OBRAS DE DRENAJE</b>				
5.4	Drenaje Tipo 1 - Cuneta	ML	407.93	\$ 51 272	\$ 20 915 436
5.5	Drenaje Tipo 2 - Cuneta	ML	21.95	\$ 54 368	\$ 1 193 383
5.6	Drenaje Tipo 3 - Canal de Coronación Sector 1	ML	148.70	\$ 181 789	\$ 27 032 036
5.7	Drenaje Tipo 4 - Cuneta	ML	180.03	\$ 21 185	\$ 3 813 895
5.12	Drenaje Tipo 7 - Cuneta	ML	55.45	\$ 22 725	\$ 1 260 089
5.13	Drenaje Tipo 8 - Cuneta	ML	39.85	\$ 23 057	\$ 918 828
5.14	Descole escalonado en concreto Tipo 1	ML	30.31	\$ 70 873	\$ 2 148 173
5.16	Tubería de entrega aguas lluvias	ML	22.00	\$ 119 464	\$ 2 628 219
5.17	Sumidero con desarenador	UN	1.00	\$ 332 216	\$ 332 216
5.18	Desarenador	UN	3.00	\$ 268 958	\$ 806 873
5.19	Drenaje Tipo 9 - Cuneta	ML	15.62	\$ 113 548	\$ 1 773 615
5.20	Cajas de inspección Geodrenes (60x60x60)	UND	8.00	\$ 205 730	\$ 1 645 843
5.21	Rejilla en concreto para paso de vías	ML	10.00	\$ 19 728	\$ 197 280
<b>6</b>	<b>OBRAS DE PROTECCIÓN Y AISLAMIENTO</b>				
6.4	Malla adosada paramada al talud	M2	1853.10	\$ 17 865	\$ 33 105 632
<b>7</b>	<b>REUBICACIÓN DE REDES DE SERVICIO Y OTROS</b>				
7.1	Redes de Energía	ML	128.03	\$ 96 358	\$ 12 336 751
7.2	Redes de Acueducto	ML	128.03	\$ 38 218	\$ 4 893 024
7.3	Redes Alcantarillado	ML	128.03	\$ 80 705	\$ 10 332 715
7.4	Realineamiento de vía (Ora 23)	ML	128.03	\$ 46 637	\$ 5 970 939
				<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>	<b>\$ 1 359 941 192</b>
				<b>TOTAL COSTO DIRECTO SIN REUBICACIÓN DE VIVIENDAS</b>	<b>\$ 804 001 192</b>
				<b>REUBICACIÓN DE VIVIENDAS</b>	<b>\$ 555 940 000</b>
				<b>COSTO DIRECTO SIN REUBICACIÓN + AIU 30%</b>	<b>\$ 1 045 201 549</b>



Sector 2

ID	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR PARCIAL
<b>1</b>	<b>ACTIVIDADES GENERALES</b>				
1.1	Campamento	GLOBAL	1.00	\$ 1 236 053	\$ 1 236 053
1.2	Localización y replanteo	M2	977.77	\$ 1 214	\$ 1 186 602
1.4	Plan de Manejo de Tránsito (Señalización)	GLOBAL	1.00	\$ 408 332	\$ 408 332
1.5	Aislamiento y protección de la zona intervenida	ML	63.25	\$ 11 093	\$ 701 613
1.8	Demolición de vivienda	M2	119.00	\$ 60 369	\$ 7 183 852
1.9	Reubicación de vivienda	M2	119.00	\$ 350 000	\$ 41 650 000
<b>2</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				
2.1	Descapote. Incluye retiro.	M3	132.18	\$ 5 429	\$ 717 539
2.5	Excavación manual a cielo abierto	M3	1103.90	\$ 9 887	\$ 10 914 259
2.8	Retiro y disposición de sobrantes de excavación	M3	1103.90	\$ 13 336	\$ 14 721 937
<b>4</b>	<b>RECUBRIMIENTO DE SUPERFICIES</b>				
4.1	Empadrización con céspedón	M2	1051.45	\$ 7 419	\$ 7 800 708
<b>5</b>	<b>OBRAS DE DRENAJE</b>				
5.8	Drenaje Tipo 5 - Cuneta	ML	46.12	\$ 16 556	\$ 763 548
<b>6</b>	<b>OBRAS DE PROTECCIÓN Y AISLAMIENTO</b>				
6.1	Malla de aislamiento Tipo 1 (h= 3m)	ML	67.98	\$ 95 002	\$ 6 458 239
6.2	Malla de aislamiento Tipo 2 (h= 4m)	ML	20.00	\$ 111 197	\$ 2 223 950
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>\$ 95 966 631</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO SIN REUBICACIÓN DE VIVIENDAS</b>					<b>\$ 54 316 631</b>
<b>REUBICACIÓN DE VIVIENDAS</b>					<b>\$ 41 650 000</b>
<b>COSTO DIRECTO SIN REUBICACIÓN + AIU 30%</b>					<b>\$ 70 611 620</b>

Sector 3

ID	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR PARCIAL
<b>1</b>	<b>ACTIVIDADES GENERALES</b>				
1.1	Campamento	GLOBAL	1.00	\$ 1 236 052.80	\$ 1 236 052.80
1.2	Localización y replanteo	M2	96.50	\$ 1 213.58	\$ 117 110.47
1.4	Plan de Manejo de Tránsito (Señalización)	GLOBAL	1.00	\$ 408 331.78	\$ 408 331.78
1.5	Aislamiento y protección de la zona intervenida	ML	20.92	\$ 11 092.70	\$ 232 059.28
1.11	Sellado de conexiones sanitarias	UN	2.00	\$ 12 850.00	\$ 25 700.00
<b>2</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				
2.1	Descapote. Incluye retiro.	M3	280.49	\$ 5 428.50	\$ 1 522 639.97
2.5	Excavación manual a cielo abierto	M3	140.25	\$ 9 887.00	\$ 1 386 602.32
<b>4</b>	<b>RECUBRIMIENTO DE SUPERFICIES</b>				
4.3	Empadrización con tierra y semillas	M2	270.20	\$ 4 220.00	\$ 1 140 244.00
4.4	Arborización con especies medianas	M2	270.20	\$ 16 182.00	\$ 4 372 376.40
<b>5</b>	<b>OBRAS DE DRENAJE</b>				
5.1	Subdrenes horizontales PVC 2" perforada	ML	31.20	\$ 101 664.35	\$ 3 171 927.82
5.9	Drenaje Tipo 6 - Sección 1 - Canal	ML	14.00	\$ 113 547.88	\$ 1 589 670.32
5.10	Drenaje Tipo 6 - Sección 3 - Canal de Pápidas	GLOBAL	1.00	\$ 745 743.13	\$ 745 743.13
5.11	Drenaje Tipo 6 - Sección 2 - Canal de Pantallas	ML	5.10	\$ 272 313.03	\$ 1 388 796.43
5.15	Descole escalonado en concreto Tipo 2	ML	7.00	\$ 66 394.20	\$ 464 759.40
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>\$ 17 802 014</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO SIN REUBICACIÓN DE VIVIENDAS</b>					<b>\$ 17 802 014</b>
<b>REUBICACIÓN DE VIVIENDAS</b>					<b>\$ 0</b>
<b>COSTO DIRECTO SIN REUBICACIÓN + AIU 30%</b>					<b>\$ 23 142 618</b>

Sector 4

ID	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR PARCIAL
<b>1</b>	<b>ACTIVIDADES GENERALES</b>				
1.1	Campamento	GLOBAL	1.00	\$ 1 236 052.80	\$ 1 236 052.80
1.2	Localización y replanteo	M2	2502.30	\$ 1 213.58	\$ 3 036 741.23
1.3	Control topográfico	M2	132.18	\$ 1 741.60	\$ 230 204.69
1.4	Plan de Manejo de Tránsito (Señalización)	GLOBAL	1.00	\$ 408 331.78	\$ 408 331.78
1.5	Aislamiento y protección de la zona intervenida	ML	90.80	\$ 11 092.70	\$ 1 007 217.16
1.11	Sellado de conexiones sanitarias	UN	4.00	\$ 12 850.00	\$ 51 400.00
<b>5</b>	<b>OBRAS DE DRENAJE</b>				
5.2	Trincheras drenantes 200 mm perforada	ML	60.00	\$ 97 047.93	\$ 5 822 876.00
5.3	Trincheras drenantes 150 mm perforada	ML	135.74	\$ 87 299.13	\$ 11 849 984.36
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>\$ 23 642 808</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO SIN REUBICACIÓN DE VIVIENDAS</b>					<b>\$ 23 642 808</b>
<b>REUBICACIÓN DE VIVIENDAS</b>					<b>\$ 0</b>
<b>COSTO DIRECTO SIN REUBICACIÓN + AIU 30%</b>					<b>\$ 30 735 650</b>

Sector 5

ID	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR PARCIAL
<b>1</b>	<b>ACTIVIDADES GENERALES</b>				
1.1	Campamento	GLOBAL	1.00	\$ 1 236 052.80	\$ 1 236 052.80
1.2	Localización y replanteo	M2	753.96	\$ 1 213.58	\$ 914 990.78
1.4	Plan de Manejo de Tránsito (Señalización)	GLOBAL	1.00	\$ 408 331.78	\$ 408 331.78
1.5	Aislamiento y protección de la zona intervenida	ML	39.36	\$ 11 092.70	\$ 436 608.67
1.10	Compra de terreno (lotes)	M2	378.52	\$ 250 000.00	\$ 94 630 000.00
<b>6</b>	<b>OBRAS DE PROTECCIÓN Y AISLAMIENTO</b>				
6.3	Malla de protección	ML	101.24	\$ 167 482.67	\$ 16 955 945.65
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>\$ 114 581 930</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO SIN REUBICACIÓN DE VIVIENDAS</b>					<b>\$ 114 581 930</b>
<b>REUBICACIÓN DE VIVIENDAS</b>					<b>\$ 0</b>
<b>COSTO DIRECTO SIN REUBICACIÓN + AIU 30%</b>					<b>\$ 148 956 509</b>

Figura 9.2 Cronograma de ejecución de obra

ID	ACTIVIDAD	DURACIÓN (SEMANAS)	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 5	SEM 6	SEM 7	SEM 8	SEM 9	SEM 10	SEM 11	SEM 12	SEM 13	SEM 14	SEM 15
<b>1</b>	<b>ACTIVIDADES GENERALES</b>																
1.1	Campamento	1	■														
1.2	Localización y replanteo	2	■	■													
1.3	Control topográfico	2	■	■													
1.4	Plan de Manejo de Tránsito (Señalización)	1	■														
1.5	Aislamiento y protección de la zona intervenida	1		■													
1.6	Mobilización de maquinaria y equipo	1		■													
1.7	Obras temporales de adecuación	1.5			■	■	■										
1.8	Demolición de vivienda	1		■													
1.11	Sellado de conexiones sanitarias	3				■	■	■									
<b>2</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>																
2.1	Descapote. Incluye retiro.	1					■										
2.2	Excavación mecánica en material común, derrumbado, o brechado.	5				■	■	■	■	■							
2.3	Excavación en roca	2				■	■										
2.4	Excavación manual tablistacada en taludes	3				■	■	■									
2.5	Excavación manual a cielo abierto	1				■											
2.6	Destrucción y fragmentación de bloques > 2 M3	1				■											
2.8	Retiro y disposición de sobrantes de excavación	4					■	■	■	■							
2.9	Conformación y Nivelación de Bermas	3									■	■	■				
2.10	Excavación con equipo menor. Incluye retiro	1									■						
<b>3</b>	<b>MURO EN SUELO REFORZADO</b>																
3.1	Lloraderos en PVC 2"	1											■				
3.2	Suministro e instalación de Geodrén Planar	1											■				
3.3	Suministro e instalación de Geodrén Planar circular 6"	1											■				
3.4	Suministro y tendida de Geomalla TT-060	2											■	■			
3.5	Compactación mecánica	3											■	■	■		
3.6	Relleno en material de la excavación	2											■	■			
3.7	Revestimiento en Paneles de concreto	2											■	■			
<b>4</b>	<b>RECUBRIMIENTO DE SUPERFICIES</b>																
4.1	Empradización con césped	3															■
4.2	Empradización con Ecomatrix	1															■
4.3	Empradización con tierra y semillas	1															■
4.4	Arborización con especies medianas	1															■
<b>5</b>	<b>OBRAS DE DRENAJE</b>																
5.1	Subdrenes horizontales PVC 2" perforada	1															■
5.2	Tirincheras drenantes 200 mm perforada	1															■
5.3	Tirincheras drenantes 150 mm perforada	1															■
5.4	Drenaje Tipo 1 - Cuneta	1															■
5.5	Drenaje Tipo 2 - Cuneta	1															■
5.6	Drenaje Tipo 3 - Canal de Coronación Sector 1	2					■	■									
5.7	Drenaje Tipo 4 - Cuneta	2					■	■									
5.8	Drenaje Tipo 5 - Cuneta	1															■
5.9	Drenaje Tipo 6 - Sección 1 - Canal	2					■	■									
5.10	Drenaje Tipo 6 - Sección 3 - Canal de Rápidas	2					■	■									
5.11	Drenaje Tipo 6 - Sección 2 - Canal de Pantallas	2					■	■									
5.12	Drenaje Tipo 7 - Cuneta	1															■
5.13	Drenaje Tipo 8 - Cuneta	1															■
5.14	Descole escalonado en concreto Tipo 1	1															■
5.15	Descole escalonado en concreto Tipo 2	1															■
5.16	Tubería de entrega aguas lluvias	1															■
5.17	Sumidero con desarenador	1															■
5.18	Desarenador	1															■
<b>6</b>	<b>OBRAS DE PROTECCIÓN Y AISLAMIENTO</b>																
6.1	Malla de aislamiento Tipo 1 (h= 3m)	1															■
6.2	Malla de aislamiento Tipo 2 (h= 4m)	0.5															■
6.3	Malla de protección	2															■
6.4	Malla absorbida pumada al talud	2															■
<b>7</b>	<b>REUBICACIÓN DE REDES DE SERVICIO Y OTROS</b>																
7.1	Redes de Energía	2															■
7.2	Redes de Acueducto	2															■
7.3	Redes Alcantarillado	2															■
7.4	Realineamiento de vía (Ora 23)	2															■

Sector 1 Etapa 1

ID	ACTIVIDAD	DURACION (SEMANAS)	SEM. 1	SEM. 2	SEM. 3	SEM. 4	SEM. 5	SEM. 6	SEM. 7	SEM. 8	SEM. 9	SEM. 10	SEM. 11	SEM. 12
<b>1</b>	<b>ACTIVIDADES GENERALES</b>													
1.1	Campamento	1	■											
1.2	Localización y replanteo	2	■	■										
1.3	Control topográfico	2	■	■										
1.4	Plan de Manejo de Tránsito (Señalización)	1	■											
1.5	Aislamiento y protección de la zona intervenida	1		■										
1.6	Movilización de maquinaria y equipo	1		■										
1.7	Obras temporales de adecuación	1.5			■	■								
1.8	Demolición de vivienda	1		■										
<b>2</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>													
2.2	Excavación mecánica en material común, demurrado, o brechado.	2				■	■							
2.3	Excavación en roca	2						■	■					
2.4	Excavación manual tablestacada en taludes	3				■	■	■						
2.6	Destrucción y fragmentación de bloques > 2 M3	1							■					
2.8	Retiro y disposición de sobrantes de excavación	1								■				
2.9	Conformación y Nivelación de Bermas	1									■			
<b>3</b>	<b>MURO EN SUELO REFORZADO</b>													
3.1	Lloraderos en PVC 2"	1								■				
3.2	Suministro e instalación de Geodrén Planar	1							■					
3.3	Suministro e instalación de Geodrén Planar circular 6"	1							■					
3.4	Suministro y tendida de Geomalla TT-060	1							■					
3.5	Compactación mecánica	3								■	■	■		
3.6	Relleno en material de la excavación	2									■	■		
3.7	Revestimiento en Paneles de concreto	2									■	■		
<b>4</b>	<b>RECUBRIMIENTO DE SUPERFICIES</b>													
4.1	Enpradización con césped	2										■	■	
4.2	Enpradización con Ecomatrix	1											■	
<b>5</b>	<b>OBRAS DE DRENAJE</b>													
5.6	Drenaje Tipo 3 - Canal de Coronación Sector 1	2				■	■							
5.7	Drenaje Tipo 4 - Cuneta	2										■	■	
5.12	Drenaje Tipo 7 - Cuneta	1						■						
5.13	Drenaje Tipo 8 - Cuneta	1						■						
5.14	Descole escalonado en concreto Tipo 1	1											■	
5.16	Tubería de entrega aguas lluvias	1											■	
5.17	Sumidero con desarenador	1											■	
5.18	Desarenador	1											■	
<b>6</b>	<b>OBRAS DE PROTECCIÓN Y AISLAMIENTO</b>													
6.4	Malla adosada pernaada al talud	1												■

Sector 1 Obras totales

ID	ACTIVIDAD	DURACIÓN (SEMANAS)	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 5	SEM 6	SEM 7	SEM 8	SEM 9	SEM 10	SEM 11	SEM 12	SEM 13	SEM 14	SEM 15
<b>1</b>	<b>ACTIVIDADES GENERALES</b>																
1.1	Campamento	1	■														
1.2	Localización y replanteo	2	■	■													
1.3	Control topográfico	2	■	■													
1.4	Plan de Manejo de Tránsito (Señalización)	1	■														
1.5	Aislamiento y protección de la zona intervenida	1		■													
1.6	Movilización de maquinaria y equipo	1		■													
1.7	Obras temporales de adecuación	1.5		■	■	■											
1.8	Demolición de vivienda	1		■													
<b>2</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>																
2.1	Descapote. Incluye retiro.	1						■									
2.2	Excavación mecánica en material común, derrumbado, o brechado.	5				■	■	■	■	■							
2.3	Excavación en roca	2				■	■										
2.4	Excavación manual tablistacada en taludes	3				■	■	■									
2.6	Destrucción y fragmentación de bloques > 2 M3	1						■									
2.8	Retiro y disposición de sobrantes de excavación	4						■	■	■	■						
2.9	Conformación y Nivelación de Bermas	3										■	■	■			
2.10	Excavación con equipo menor. Incluye retiro	1									■						
<b>3</b>	<b>MURO EN SUELO REFORZADO</b>																
3.1	Lloraderos en PVC 2'	1											■				
3.2	Suministro e instalación de Geodrén Planar	1											■				
3.3	Suministro e instalación de Geodrén Planar circular 6"	1											■				
3.4	Suministro y tendida de Geomalla TT-080	2											■	■			
3.5	Compactación mecánica	3											■	■	■		
3.6	Relleno en material de la excavación	2												■	■		
3.7	Pestamiento en Pánenes de concreto	2												■	■		
<b>4</b>	<b>RECUBRIMIENTO DE SUPERFICIES</b>																
4.1	Empradización con césped	3														■	■
4.2	Empradización con Ecomatrix	1														■	
<b>5</b>	<b>OBRAS DE DRENAJE</b>																
5.4	Drenaje Tipo 1 - Cuneta	1														■	
5.5	Drenaje Tipo 2 - Cuneta	1														■	
5.6	Drenaje Tipo 3 - Canal de Coronación Sector 1	2				■	■										
5.7	Drenaje Tipo 4 - Cuneta	2														■	■
5.12	Drenaje Tipo 7 - Cuneta	1							■								
5.13	Drenaje Tipo 8 - Cuneta	1							■								
5.14	Descole escalonado en concreto Tipo 1	1											■				
5.16	Tubería de entrega aguas lluvias	1											■				
5.17	Sumidero con desarenador	1											■				
5.18	Desarenador	1											■				
<b>6</b>	<b>OBRAS DE PROTECCIÓN Y AISLAMIENTO</b>																
6.1	Malla de aislamiento Tipo 1 (h= 3m)	1							■								
6.2	Malla de aislamiento Tipo 2 (h= 4m)	0.5							■								
6.3	Malla de protección	2							■	■							
6.4	Malla adosada parrada al talud	2							■	■							
<b>7</b>	<b>REUBICACIÓN DE REDES DE SERVICIO Y OTROS</b>																
7.1	Redes de Energía	2														■	■
7.2	Redes de Acueducto	2														■	■
7.3	Redes Alcantarillado	2														■	■
7.4	Realineamiento de vía (Cra 23)	2														■	■

Sector 2

ID	ACTIVIDAD	DURACION (SEMANAS)	SEM. 1	SEM. 2	SEM. 3	SEM. 4	SEM. 5	SEM. 6	SEM. 7
<b>1</b>	<b>ACTIVIDADES GENERALES</b>								
1.1	Campamento	1	■						
1.2	Localización y replanteo	1	■						
1.4	Plan de Manejo de Tránsito (Señalización)	1	■						
1.5	Aislamiento y protección de la zona intervenida	1		■					
1.8	Demolición de vivienda	1		■					
<b>2</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>								
2.1	Descapote. Incluye retiro.	1			■				
2.5	Excavación manual a cielo abierto	2			■	■			
2.8	Retiro y disposición de sobrantes de excavación	1					■		
<b>4</b>	<b>RECUBRIMIENTO DE SUPERFICIES</b>								
4.1	Empradización con césped	2						■	■
<b>5</b>	<b>OBRAS DE DRENAJE</b>								
5.8	Drenaje Tipo 5 - Cuneta	1			■				
<b>6</b>	<b>OBRAS DE PROTECCIÓN Y AISLAMIENTO</b>								
6.1	Malla de aislamiento Tipo 1 (h= 3m)	1				■			
6.2	Malla de aislamiento Tipo 2 (h= 4m)	1					■		

Sector 3

ID	ACTIVIDAD	DURACION (SEMANAS)	SEM. 1	SEM. 2	SEM. 3	SEM. 4	SEM. 5	SEM. 6
<b>1</b>	<b>ACTIVIDADES GENERALES</b>							
1.1	Campamento	1	■					
1.2	Localización y replanteo	1	■					
1.4	Plan de Manejo de Tránsito (Señalización)	1	■					
1.5	Aislamiento y protección de la zona intervenida	1	■					
<b>2</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>							
2.1	Descapote. Incluye retiro.	1			■			
2.5	Excavación manual a cielo abierto	1				■		
<b>4</b>	<b>RECUBRIMIENTO DE SUPERFICIES</b>							
4.3	Empradización con tierra y semillas	1					■	
4.4	Arborización con especies medianas	1						■
<b>5</b>	<b>OBRAS DE DRENAJE</b>							
5.1	Subdrenes horizontales PVC 2" perforada	1			■			
5.9	Drenaje Tipo 6 - Sección 1 - Canal	2				■	■	
5.10	Drenaje Tipo 6 - Sección 3 - Canal de Rápidas	2				■	■	
5.11	Drenaje Tipo 6 - Sección 2 - Canal de Pantallas	2				■	■	
5.15	Descole escalonado en concreto Tipo 2	1						■

Sector 4

ID	ACTIVIDAD	DURACION (SEMANAS)	SEM. 1	SEM. 2	SEM. 3	SEM. 4	SEM. 5	SEM. 6	SEM. 7	SEM. 8
<b>1</b>	<b>ACTIVIDADES GENERALES</b>									
1.1	Campamento	1	■							
1.2	Localización y replanteo	2	■	■						
1.3	Control topográfico	2	■	■						
1.4	Plan de Manejo de Tránsito (Señalización)	1		■						
1.5	Aislamiento y protección de la zona intervenida	1			■					
1.11	Sellado de conexiones sanitarias	1				■				
<b>5</b>	<b>OBRAS DE DRENAJE</b>									
5.2	Trincheras drenantes 200 mm perforada	2					■	■		
5.3	Trincheras drenantes 150 mm perforada	2							■	■

Sector 5

ID	ACTIVIDAD	DURACION (SEMANAS)	SEM. 1	SEM. 2	SEM. 3	SEM. 4
<b>1</b>	<b>ACTIVIDADES GENERALES</b>					
1.1	Campamento	1	■			
1.2	Localización y replanteo	2	■	■		
1.4	Plan de Manejo de Tránsito (Señalización)	1	■			
1.5	Aislamiento y protección de la zona intervenida	1		■		
<b>6</b>	<b>OBRAS DE PROTECCIÓN Y AISLAMIENTO</b>					
6.3	Malla de protección	2			■	■

## 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La modelación geológica del área de estudio es de alta incertidumbre. La presencia múltiple de fallas locales, zonales y la variación litológica lateral, dificultaron altamente la extrapolación de la información levantada en la exploración del subsuelo. Sin embargo, la evolución morfodinámica de las laderas y su predisposición cinemática, fueron la base para determinar los mecanismos de falla posibles: Caída de bloques, Deslizamientos rotacionales-traslacionales de materiales antrópicos y suelos residuales, y Falla planar en roca.

Los análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo arrojaron resultados conducentes a establecer las medidas de mitigación para los cinco sectores en los que se dividió el área de estudio (Véase **Figura 8.1**). Estas medidas cumplen cualquiera de estos dos objetivos: reducir el nivel de riesgos en los sectores de clasificación media y alta, o mantener bajo estos niveles en los sitios que ostentan esta condición en la actualidad.

En los sectores 2, 3, 4 y 5 se presentan adicionalmente reducciones en los niveles de amenaza, debido a la influencia de las obras en las probabilidades de falla, lo mismo ocurre en el Sector 1, de especial complejidad por su condición de reciente movimiento. La amenaza en el Sector 1 se reduce a baja después de de la construcción de las obras recomendadas.

El deslizamiento del sector 1 durante la ejecución del estudio generó cambios en la morfología, además, la condición del material (derrumbado) ha generado que sigan sucediendo cambios de manera muy dinámica. Sumado a esto se presenta la complejidad del modelo geológico, y todo ello se traduce en una alta incertidumbre en la estimación de las cantidades de obra (volúmenes de tierras) y de la disposición de los elementos subyacentes o en contacto con la superficie rocosa. (Geomallas, geodrenes, etc). Como consecuencia directa los presupuestos también son estimados, y pueden presentar grandes diferencias con los que se ejecuten finalmente al momento de materialización de las obras.

Es de gran importancia que durante la construcción de la primera etapa del muro en suelo reforzado propuesto para el Sector 1, se cuente con una asesoría geotécnica permanente, dispuesta a atender las diferencias encontradas en obra. Así mismo, y aún de más relevancia resulta la necesidad de ajustar los diseños de la etapa definitiva para este sector, toda vez que las condiciones resultantes de la primera fase eliminará en gran medida la incertidumbre ya enunciada. Se recomienda que la bitácora de obra registre todos los hallazgos, las diferencias, y que en su diligenciamiento se adopte una visión enfocada hacia el diseño y los ajustes de las obras para la etapa definitiva.

Por encima del tope del muro en suelo reforzado y hasta la corona de la ladera intervenida (Cra 23) se recomienda el trabajo comunitario para la revegetalización de los taludes y las bermas, bien sea con elementos de retención del sustrato, tales como estacas y redes de biomantos o mallas, o con otro método validado. Así mismo, es importante comprometer a la comunidad en las labores de mantenimiento, en aras de crear un sentido de propiedad sobre las obras y de extender su vida útil.

En la parte alta del Sector 1 es necesario que el FOPAE involucre a otras entidades distritales para dar una solución definitiva y total a la problemática que se presenta. Por una parte, la ladera no debe recibir descargas de aguas residuales; por otra, las viviendas no pueden prescindir de las redes de alcantarillado. La formación de las superficies propuestas, obliga al realineamiento parcial de la Cra. 23, y consecuentemente al de las

FOPAE.	CONSORCIO GIA - GEOCING	GIA -046-06		CAP. 10 – PAG. 256	
Versión:	1			Fecha	23/10/06
Elaboró:	GMT	Revisó:	JALG	Aprobó:	JALG



redes que pasan por ella. La construcción de los drenajes de amortiguamiento del canal hace necesaria la adquisición parcial de un predio privado, y se requieren otros para el realineamiento de la vía. Se recomienda que en el estudio de la solución, se viabilice la reubicación o el reasentamiento completo de Manzana 15, la conversión a sendero peatonal y espacio recreativo lineal de este sector de la Cra 23, y la reforestación de las zonas adquiridas.

En los otros sectores las obras seleccionadas para el control, mitigación y estabilización se fundamentan en el manejo de los procesos potenciales de inestabilidad, atienden la reducción de los escenarios y condiciones de riesgo y se concentran fundamentalmente en la construcción de obras de protección (Sector 2) y contención (Sector 5), la regularización del drenaje natural (Sectores 3 y 4), la descarga y reconfiguración de las laderas (Sector 2), con ítems adicionales como la compra de viviendas, la adecuación de las nuevas superficies (empedrado) y la generación de espacios urbanos.

Se recomienda que la interventoría de obra comprenda con detalle los fenómenos que se presentan en todos los sectores, en aras de que posea un alto estado del arte de la problemática y de que pueda establecer con buen juicio los cambios permisibles en la construcción. No obstante, si se observan diferencias representativas y de concepción en el diseño, deberá informarse a la firma consultora para que evalúe lo estimado en el diseño a la luz de lo encontrado.

## BIBLIOGRAFÍA

- BOWLES, J (1988). "Foundation Analysis and Design". McGraw-Hill International Editions.
- CIVILES Ltda (2003). "Estudio de riesgo por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar el escarpe del barrio Soratama en la Localidad de Usaquén". FOPAE. Bogotá.
- Colombian Society of Petroleum Geologist and Geophysicists, (1978). "Geological Field-Trips Colombia 1959-1978". Geotec. Bogotá.
- Consortio Geotec (2006). "Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas recomendadas en el barrio Arauquita Segundo Sector", Localidad de Usaquén, Bogotá. Informe interno FOPAE.
- CORNFORTH D H (2005). "Landslide in Practice – Investigation, Analysis, and Remedial/preventative Option in Soil". John Wiley and Sons.
- DAS, Braja M (2004). "Principles of Foundation Engineering". 5E. California. Thomson Learning Inc.
- DAS, Braja M (1999). "Principios de Ingeniería de Fundaciones". Cuarta Edición. California. Thomson Editores.
- DUNCAN M J and WRIGHT S G, (2005). "Soil Strength and Slope Stability". John Wiley and Sons. New Jersey.
- FIERRO Morales, J (2005). "Geología y geomorfología detallada de la Aula ambiental de Soratama - Localidad de Usaquén". Informe interno DAMA. Bogotá D. C.
- GEOCING Ltda. (1998). "Evaluación y zonificación del riesgos del barrio Arauquita - Localidad de Usaquén". Informe interno Fondo de desarrollo local de Usaquén. Bogotá.
- GIA Consultores Ltda. (2005). "Estudio de riesgos por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar el escarpe del barrio Mirador del Norte de la Localidad de Usaquén". Bogotá. Informe interno DPAAE.
- GONZÁLEZ, G A (1987). "Analysis of Infiltration Test". VIII Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Sociedad Colombiana de Geotecnia. 1987.
- GONZÁLEZ de VALLEJO L. I (2004). "Ingeniería Geológica". Pearson Prentice Hall. Madrid.
- HIDROTEC Ltda (1998). "Estudios y diseños de estabilidad de taludes, control de erosión y manejo de aguas para la estabilización de diferentes sitios en la ciudad de Santa Fe de Bogotá – Grupo 3". Informe interno FOPAE.
- HOEK E (1995). "Support of Underground Excavation in Hard Rock". January, 1995. AA. Balkema Publisher.
- INDESA Ltda (2000). "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 interno DPAAE.

INGEMÉTRICA Ltda (1999). "Zonificación de amenazas y riesgos por remoción en masas, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras para estabilizar el antiguo escarpe de extracción frente al barrio Soratama - Localidad de Usaquén". Informe interno FOPAE.

INGEOMINAS (1999). "Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá". Bogotá.

INGEOMINAS, (2003). "Aspectos geoambientales de la Sabana de Bogotá". Publicación Ingeominas. Bogotá.

INGEOCIM Ltda. 1998. Zonificación por inestabilidad del terreno para diferentes localidades de la ciudad de Santa Fe de Bogotá D.C. Informe interno FOPAE.

INGETEC (1998). Estudios y diseños para la construcción del Túnel de Santa Ana, Usaquén. Informe interno. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Bogotá.

INVIAS, (1998). "Manual de Deslizamientos". Publicación Instituto Nacional de Vías. Bogotá.

JULIVERT, M. (1968). Lexique Estratigraphique Internationale. Vol. V Fasc. 4<sup>a</sup>. Paris.

LEE M. E, and JONES D. K C, (2004). "Landslide Risk Assesment". Thomas Telford.

MOYA y García Ltda (2002). "Estudio de riesgo por remoción en masa para los barrios Cerro Norte y Villa Nidia de la localidad de Usaquén y Diseño de obras de control, protección y estabilización". Informe interno DPAE.

PÉREZ, V. & A. Salazar (1978). "Estratigrafía del Grupo Guadalupe". Geología Colombiana No. 10.

RIVEROS, A. (1999). "Génesis y caracterización petrográfica de los depósitos Plio-Pleistocénicos del sector de Mondoñedo "Zabrinsky", Mosquera, Cundinamarca". Trabajo de grado del Departamento de Geociencias. Universidad Nacional de Colombia.

ROCAS y MINERALES Ltda (2000). "Estudio de riesgos por remoción en masa y diseños detallados de las obras de control, protección y estabilización en el barrio El Codito III Sector, Localidad de Usaquén". Informe interno DPAE. Bogotá.

SÁNCHEZ Silva M (2005). "Introducción a la Confiabilidad y Evaluación de Riesgos". Primera Edición. Universidad de los Andes. Bogotá D. C.

SUÁREZ, D. J (1992). "Manual de Ingeniería para el Control de la Erosión". Universidad Industrial de Santander.

Universidad Nacional de Colombia (2000). "Diseños detallados para la reconfiguración geotécnica y ambiental de la antigua cantera Soratama". Informe interno DAMA.

VILLOTA, H (1991). "Geomorfología Aplicada a Levantamientos Edafológicos y Zonificación Física de las Tierras". Instituto Geográfico "Agustín Codazzi".

VAN DER Hammen, T (1995). "Plioceno y Pleistoceno del Altiplano de Bogotá y alrededores". Análisis geográficos No. 24. Publicación IGAC. Bogotá.