

CONTENIDO

1	GENERALIDADES	1
1.1	ALCANCE DEL ESTUDIO	1
1.2	OBJETIVOS GENERALES DEL ESTUDIO	1
1.3	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS	1
1.3.1	Marco General	1
1.3.2	Análisis de Elementos Intrínsecos de Susceptibilidad de Inestabilidad	1
1.3.3	Identificación de Zonas Inestables	2
1.3.4	Evaluación de Agentes Detonantes	2
1.3.5	Caracterización Geotécnica de los Materiales	3
1.3.6	Evaluación de Estabilidad	3
1.3.7	Análisis y Zonificación de Amenaza	3
1.3.8	Análisis de Vulnerabilidad	3
1.3.9	Evaluación de Riesgo	3
1.3.10	Calificación y Planteamiento De Medidas de Mitigación	4
1.3.11	Informe y Planos	4
2	DIAGNÓSTICO CONCEPTUAL	5
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
2.2	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	5
2.3	DELIMITACIÓN GEOMÉTRICA DEL ÁREA DE ESTUDIO	7
2.4	REQUERIMIENTOS DE TOPOGRAFÍA Y EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO.	7
2.4.1	Trabajos de Topografía	7
2.4.2	Exploración del Subsuelo	7
2.5	DIAGNÓSTICO GEOLÓGICO	8
2.5.1	Rasgos Litológicos.	8
2.5.2	Rasgos estructurales.	8
2.5.3	Procesos morfodinámicos.	8
2.6	MODELOS Y METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS	8
2.6.1	Análisis de Estabilidad y Evaluación de Amenaza	9
2.6.2	Evaluación de Vulnerabilidad y Riesgo Actual y Futuro.	10

2.7	EVALUACIÓN CONCEPTUAL DE LA AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO	11
2.8	PLANTEAMIENTO PRELIMINAR DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	11
2.8.1	Ladera Principal	11
2.8.2	Avenida Circunvalar	11
2.8.3	Paisajismo y urbanismo	11
2.8.4	Áreas a reubicar	11
3	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	12
3.1	Localización cartográfica de LA ZONA EN ESTUDIO	12
3.2	Puntos Topográficos	12
3.3	Equipo	12
3.4	Levantamiento Topográfico	12
3.4.1	Zona Abierta:	12
3.4.2	Zona de Construcciones y Detalles:	12
3.4.3	Colección de la información de campo	12
3.4.4	Trabajo de Oficina	12
4	ESTUDIO GEOLÓGICO	14
4.1	Geología Regional	14
4.1.1	Litoestratigrafía.	14
4.1.2	Geología Estructural.	15
4.2	Geología Local	15
4.2.1	Características Litológicas.	15
4.2.2	Características Estructurales.	16
4.2.3	Geomorfología y procesos morfodinámicos	17
5	ESTUDIO HIDROLÓGICO	19
5.1	INFORMACIÓN BÁSICA	19
5.2	CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA	21
5.3	DIAGNÓSTICO	21
6	ESTUDIO GEOTÉCNICO	22
6.1	INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO	22
6.1.1	Exploración indirecta (geoeléctrica)	22

6.1.2	Exploración directa -----	27
6.1.3	Ensayos In-Situ y de laboratorio -----	27
6.2	PERFIL DEL SUBSUELO DE LA ZONA EN ESTUDIO-----	29
6.2.1	Estratificación-----	29
6.2.2	Parámetros de clasificación y caracterización-----	32
7	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE AMENAZA ACTUAL POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA -----	34
7.1	ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA-----	34
7.2	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD -----	34
7.2.1	Análisis Cinemático-----	35
7.2.2	Análisis estático -----	35
7.3	EVALUACIÓN DE AMENAZA ACTUAL-----	37
7.3.1	Variables Aleatorias.-----	37
7.3.2	Análisis De Resultados Y Zonificación. -----	37
8	ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO ACTUAL --	40
8.1	VULNERABILIDAD SOCIAL -----	40
8.2	VULNERABILIDAD FÍSICA -----	41
8.2.1	Exposición-----	42
8.2.2	Resistencia (IR)-----	42
8.2.3	Intensidad e índice de daño (InD e ID)-----	42
8.2.4	Índice de Vulnerabilidad Física (IVF)-----	46
8.3	RIESGO ACTUAL -----	46
9	ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN-----	51
9.1	Consideraciones Generales -----	51
9.2	Plan general de acciones-----	51
9.2.1	Medidas preventivas -----	51
9.2.2	Medidas de mitigación-----	52
9.3	Planteamiento de medidas.-----	52
9.3.1	Medidas preventivas -----	52
9.3.2	Medidas de mitigación-----	53
9.4	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LAS MEDIDAS PROYECTADAS. -----	53

9.5	ANÁLISIS DE COSTOS DE LAS MEDIDAS PROYECTADAS Y DE LAS ALTERNATIVAS CONSIDERADAS -----	54
9.5.1	Cantidades de obra y presupuesto aproximados -----	55
9.5.2	Árbol de decisiones. -----	57
10	DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAL DE LAS VIVIENDAS 001, 002 Y 003 DE LA MANAZANA 07 -----	58
10.1	INTRODUCCIÓN -----	58
10.2	EXPLORACIÓN ESTRUCTURAL -----	58
10.2.1	Descripción de la edificación -----	58
10.2.2	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL -----	59
10.2.3	DESCRIPCIÓN DE LA CIMENTACIÓN -----	66
10.2.4	Losa de entrepiso, estructura de cubierta y materiales empleados. -----	69
10.3	DIAGNÓSTICO -----	70
10.3.1	Diseño estructural -----	70
10.3.2	Estado de las estructuras -----	71
11	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	73
11.1	CONCLUSIONES -----	73
11.2	RECOMENDACIONES -----	73
12	BIBLIOGRAFÍA -----	75

GRÁFICAS Y FIGURAS

Figura No. 2.1. Delimitación de la zona de estudio.....	6
Gráfica 5.1. Función de Intensidad –Duración Frecuencia. Nodo 1.002.500 W, 1.003.500 N; Barrio El Paraíso. Fuente EAAB-ESP.....	19
Gráfica 5.2. Serie de tiempo. Precipitación total mensual (mm), Estación San Diego, Bogotá. 1980-2000.....	20
Gráfica 5.3. Histograma de precipitación Total Mensual Multianual (mm), Estación San Diego, Bogotá, 1980-2000.....	20
Figura 6.1. Arreglo lineal de electrodos (SEC), con configuración de electrodos Wenner.	23
Figura 6.2 Ejemplo de una pseudosección de resistividades aparentes, los puntos rojos representan los datos medidos.	23
Figura No. 6.3. Sección tomográfica No. 1, del corte A-A`	25
Figura No. 6.4. Sección tomográfica No. 2, del corte B-B`	26
Figura No. 6.5. Localización de los puntos de exploración geotécnica.....	30
Gráfica No. 6.1. Carta de plasticidad para los suelos finos presentes en la zona en estudio.	31
Gráfica No. 6.2. Número de golpes de la prueba SPT y peso unitario vs profundidad	32
Gráfica No. 6.3. Índice de Plasticidad (IP) y Humedad Natural vs profundidad	33
Figura No. 7.1. Probabilidad de falla actual en función del factor de seguridad.....	38
Figura No. 8.1. Ingreso mensual por familia	43
Figura No. 8.2. Indicador del índice de vulnerabilidad social	44
Figura No. 8.3. Característica de la viviendas.	45
Figura No. 8.4. Análisis de frecuencia Índice de Vulnerabilidad Física	49
Figura No. 8.5. Análisis de frecuencia Índice de Riesgo.....	49
Figura No. 9.1. Planteamiento de alternativas	56
Figura No.10.1 Planta primer piso vivienda No. 001	61
Figura No. 10.2 Planta primer piso vivienda No. 002	63
Figura No.10.3 Planta segundo piso vivienda 003	65
Figura No. 10.4 Trayectoria del agrietamiento de la viviendas	72

FOTOGRAFÍAS

Foto No. 6.1. Sistema de adquisición de información, en el sitio central de la sección número 2.	24
Foto No. 10.1 – CASA 1. FACHADA LATERAL IZQUIERDA, VISTA FRONTAL	58
Foto No. 10.2 – CASA 1. FACHADA PRINCIPAL	58
Foto No. 10.3 – CASA 2. FACHADA PRINCIPAL	59
Foto No. 10.4 – CASA 3. FACHADA PRINCIPAL	59
Foto No. 10.5 - CASA 3. FACHADA LATERAL DERECHA	59
Foto No. 10.6 – CASA 1. DESARROLLO GRIETA 8-8'. FALLA POR TRACCIÓN DIAGONAL	60
Foto No. 10.7 – CASA 1. DESARROLLO GRIETA 9-9'. FALLA POR TENSIÓN DEBIDO A FLEXIÓN EN EL PLANO DEL MURO	60
Foto No. 10.8 – CASA 1. DESARROLLO GRIETA HORIZONTAL POR LA PARTE SUPERIOR DEL MURO EN ZONA G.9-9'	60
Foto No. 10.9 – CASA 1. CONTINUACIÓN G.PATIO EN MURO DE COCINA. FALLA POR TRACCIÓN DIAGONAL	60
Foto No. 10.10 – CASA 1. DESARROLLO DE GRIETA G.Patio EN EL PISO ZONA DE PATIO CENTRAL. FALLA POR TENSIÓN AXIAL	60
Foto No. 10.11 – CASA 1. DESARROLLO GRIETA EN PATIO DE ROPAS. FALLA POR RESBALAMIENTO DE JUNTA	60
Foto No. 10.12 – CASA 2. DESARROLLO GRIETA 1-1'. FALLA POR TRACCIÓN DIAGONAL	62
Foto No. 10.13 – CASA 2. DESARROLLO GRIETA 2-2 Y 7-7'. FALLA POR TENSIÓN AXIAL DEBIDO A PÉRDIDA DE SOPORTE EN LA BASE DEL MURO	62
Foto No. 10.14 – CASA 2. DESARROLLO GRIETA G.3-3'. FALLA POR TRACCIÓN DIAGONAL	62
Foto No. 10.15 – CASA 2. DESARROLLO GRIETA EN MURO DIVISORIO SALA COMEDOR AUXILIAR	62
Foto No. 10.16 – CASA 3. DESARROLLO GRIETA 4-4'. FALLA POR TRACCIÓN EN ZONA DE DILATACIÓN	64
Foto No. 10.17 – CASA 3. DESARROLLO GRIETA 9-9'. FALLA POR TENSIÓN	64
Foto No. 10.18 – CASA 3. DESARROLLO GRIETA HORIZONTAL POR LA PARTE SUPERIOR DEL MURO EN ZONA G.6-6'	64
Foto No. 10.19 – CASA 3. DESARROLLO GRIETA EN SEGUNDO PISO, DILATACIÓN	64
Foto No. 10.20 – CASA 3. DESARROLLO DE FISURAS EN ZONA INFERIOR PLACA MACIZA CON MURO MAMPOSTERÍA	64
Foto No. 10.21 – CASA 1. APIQUE No. 1, VISTA SUPERIOR	66
Foto No. 10.22 – CASA 1. APIQUE No. 1, VISTA LATERAL	66
Foto No. 10.23 – CASA 1. VIGA DE AMARRE PERIMETRAL	66
FOTO No. 10.24 – CASA 1. DETALLE VIGA DE AMARRE PERIMETRAL Y MURO DE CONTENCIÓN EN CONCRETO CICLOPEO	67
FOTO No. 10.25 – CASA 1. GRIETA 9-9', FACHADA LATERAL IZQUIERDA, VISTA EXTERIOR	67

FOTO No. 10.26 – CASA 1. ASENTAMIENTO EN VIGA DE AMARRE	67
FOTO No. 10.27 – CASA 3. APIQUE No. 2, VISTA SUPERIOR	68
FOTO No. 10.28 – CASA 3. APIQUE No. 2, VISTA LATERAL	68
FOTO No. 10.29 – CASA 3. APIQUE No. 2, DETALLE SUELO DE FUNDACIÓN	68
FOTO No. 10.30 – CASA 3. DESARROLLO GRIETA G.5-5, VISTA EXTERNA	69
FOTO No. 10.31 – CASA 1. DESARROLLO DE FISURAS EN LA ZONA INTERIOR , VIGA CABEZAL EN EL PATIO CENTRAL.	69
FOTO No. 10.32 – CASA 2. DESARROLLO DE FISURAS EN LA ZONA DE UNIÓN ENTRE EL MURO Y LA PLACA DE ENTRE PISO	70
FOTO No. 10.33 – LOTE LINDERO CASA 3. GRIETA INTERNA EN PISO BAÑO	72
FOTO No. 10.34 – LOTE LINDERO CASA 3. GRIETA EXTERNA EN PISO BAÑO Y ESCALERA DE ACCESO	72

CUADROS

Cuadro No. 5.1. Caudales de la quebrada afluente del Río Arzobispo.....	21
Cuadro No. 5.2. Caudales de escorrentía en la subcuenca donde se ubica el barrio El Paraiso.....	21
Cuadro No. 6.1. Interpretación tomográfica	25
Cuadro No. 6.2. Cuadro resumen de resultados de laboratorio	27
Cuadro No. 6.2. Cuadro resumen de resultados de laboratorio (continuación).....	28
Cuadro No. 6.3. Perfil perforación 1.	29
Cuadro No. 6.4. Perfil perforación 2.	29
Cuadro No. 6.5. Perfil perforación 3.	29
Cuadro No. 6.6. Perfil perforación 4.	29
Cuadro No. 6.6. Perfil perforación 4.	30
Cuadro No. 6.7 Perfil promedio para la zona en estudio	30
Cuadro No. 7.1. Categorización de la Amenaza.....	39
Cuadro No. 8.1. Categorización de la vulnerabilidad.....	46
Cuadro No. 8.4. Categorización del riesgo.....	46
Cuadro No. 8.2. Solicitaciones a partir del tipo de fenómeno y la localización de las viviendas.....	47
Cuadro No. 8.3A. Matriz para la determinación de la intensidad de daño	48
Cuadro No. 8.3B. Determinación del índice de daño.	48
Tabla No. 8.1. Determinación de los Índices de Vulnerabilidad Física y Riesgo.	50
Cuadro No. 9.1. Factores de seguridad para las medidas de estabilización proyectadas.	54
Cuadro No. 9.2. Costos aproximados de las obras.	55

PLANOS

- Plano 1 Plano topográfico
- Plano 2 Plano de geología regional
- Plano 3 Plano de geología local y geomorfología
- Plano 4 Zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa
- Plano 5 Zonificación de vulnerabilidad por fenómenos de remoción en masa
- Plano 6 Zonificación de riesgo por fenómenos de remoción en masa

ANEXOS

- Anexo 1 Carteras de campo y certificaciones IGAC.
- Anexo 2 Hidrología
- Anexo 3 Perfiles de exploración
- Anexo 4 Resultados de ensayos de laboratorio.
- Anexo 5 Perfiles geológicos y geotécnicos.
- Anexo 6 Estimación de los parámetros de resistencia efectiva en el coluvión a partir del ensayo SPT.
- Anexo 7 Determinación de los modos de falla superficial y superficies de falla crítica.
Análisis cinemático.
 - 7.1 Determinación de la superficie de falla crítica sección 2-2
Topografía actual y año 1974
 - 7.2 Determinación de la superficie de falla crítica sección 4-4
Topografía actual y año 1974
 - 7.3 Determinación de la superficie de falla crítica sección 5-5
Topografía actual y año 1974
 - 7.4 Determinación de la superficie de falla crítica sección 6-6
Topografía actual y año 1974Análisis cinemático
- Anexo 8 Superficies de falla críticas
- Anexo 9 Análisis paramétricos.
- Anexo 10 Funciones de distribución de probabilidades para el factor de seguridad
- Anexo 11 Tablas resumen de probabilidades de falla para cuerpos inestables
- Anexo 12 Formularios de evaluación de daños en las edificaciones en caso de deslizamiento
Anexo fotográfico de la evaluación de daños en las edificaciones
- Anexo 13 Modelos de análisis de estabilidad de las alternativas consideradas.
- Anexo 14 Precios unitarios y árbol de decisión.
- Anexo 15 Anexo fotográfico de la evaluación de daños en las edificaciones en caso de deslizamiento.
- Anexo 16 Registros del seguimiento de grietas en las viviendas 001 a 003 de la manzana 07

1 GENERALIDADES

1.1 ALCANCE DEL ESTUDIO

El estudio se llevó hasta la etapa de zonificación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa del área en estudio, Así mismo, se llegó hasta el nivel de planteamiento general de alternativas de mitigación; alternativas que posteriormente deberán ser diseñadas en detalle.

1.2 OBJETIVOS GENERALES DEL ESTUDIO

Los siguientes son los objetivos que se persiguieron a lo largo del estudio:

- Caracterizar el área en estudio desde el punto de vista geotécnico e identificar lo diferentes procesos de inestabilidad y mecanismos de falla que se presentan en la zona de estudio, así como sus agentes detonantes.
- Identificar los fenómenos de movimiento de remoción en masa que se presentan en el área de estudio.
- Identificar y ubicar las diferentes causas y/o agentes detonantes que han generado los deslizamientos en el área en estudio, así como determinar la evolución a lo largo del tiempo de los mismos.
- Con base en la identificación de los procesos de inestabilidad observados, llevar a cabo una zonificación por procesos de remoción en masa del área en estudio.
- Con base en la información acopiada, evaluar la vulnerabilidad de la población y de las viviendas existentes, en relación con los movimientos que se puedan y/o que se están presentando.
- Analizar y establecer la condición y los niveles de riesgo a los cuales están expuestas las personas y las viviendas enmarcadas dentro de la zona de estudio.

- Con base en el estudio desarrollado, presentar alternativas de solución tendientes a reducir los niveles de amenaza de la zona, y por ende, de riesgo de las viviendas de la misma.

1.3 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

Dentro del marco del estudio y de los objetivos planteados, se realizaron las siguientes Actividades:

1.3.1 Marco General

Recopilación de información previa, clasificación y análisis

Se inició con la recopilación y clasificación de la información en los diferentes centros distritales de consulta y las entidades de orden regional y nacional en relación con el área en estudio.

Se llevaron a cabo encuestas en cada una de las viviendas del área en estudio, para lo cual el Consultor diseñó un formato adecuada para las condiciones del problema y en el cual se hizo énfasis en aquellos aspectos puntuales y relevantes de las viviendas que están o puedan ser afectados por los fenómenos de inestabilidad presentes.

Evaluación preliminar del riesgo zonal

Se llevó a cabo una calificación preliminar del tipo y concentración de fenómenos existentes en las laderas, con lo cual, se clasificó de manera manual y preliminar el área en movimiento y las zonas aledañas. En esta evaluación preliminar se tuvo en cuenta ante todo las condiciones morfológicas del sector, las cuales resultan muy útiles en la identificación de los potenciales mecanismos de falla.

1.3.2 Análisis de Elementos Intrínsecos de Susceptibilidad de Inestabilidad

En esta etapa se recopiló la información que permite identificar los factores inherentes de inestabilidad del terreno.

Cartografía

Se adquirieron fotografías aéreas No. 137 y 138 del vuelo C1184 de 1967 a escala 1:9100, No. 102 y 103 del vuelo C1705 de 1976 y a escala 1:18500 y No. 219, 220 y 221 del vuelo R1183 de 1992 a escala 1:19300. De igual manera, se contó con las planchas No. 228-III-C-3 de 1989 a escala 1:10000 y J-62 de 1974 a escala 1:2000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Levantamiento Topográfico

Se realizó una topografía general del sector a estudiar, plano No. 1, y el levantamiento de seis (6) secciones topográficas para los análisis de los principales mecanismos y las tendencias de flujo superficial y profundo. La cartografía desarrollada, a escala 1:1000, con curvas de nivel cada 1.0 m, sirve como base para la ejecución de las diferentes actividades, así como para plasmar los resultados derivados de las mismas. Así mismo, permite conjuntamente con las planchas IGAC evaluar el drenaje y las zonas de acumulación.

Para el procesamiento de la información de la georreferenciación de los puntos topográficos tomados en campo se empleó el programa Transit Versión. 2.11; el ajuste de la poligonal de amarre se realizó mediante el programa de computadora Eagle Point Versin. 14.3 con el módulo Survey Adjustment a partir de los puntos topográficos **CD550, RF1, RF2 y RF3**

Geología e Hidrogeología

Se partió de la cartografía geológica existente y se complementó con la información acopiada del análisis fotogeológico efectuado durante el estudio. En tal estudio se identificaron los contactos litológicos y su geometría, con lo cual se evaluó la posible influencia de tales rasgos sobre los fenómenos evidentes de inestabilidad. Posteriormente, se verificó y complementó esta información en campo y con los datos acopiados durante la exploración geotécnica. Como resultado de las labores geológicas se produjeron los planos de levantamiento geológico regional, y locales del sector en estudio, cortes geológicos y una memoria específica de la disciplina.

Se identificaron detalles geológicos e hidrogeológicos de las masas en movimiento, que permitieron interpretar la posible influencia de estos aspectos sobre los fenómenos de inestabilidad.

Los resultados del estudio geológico se plasmaron en los planos No. 2 y 3.

Geomorfología

A partir del análisis de fotografías aéreas se identificaron las formas generales del relieve las cuales se comprobaron en terreno. Como

resultado de esta actividad se identificaron los procesos modeladores de las geoformas actuantes en el sector y su incidencia sobre la estabilidad. Se evaluó la existencia de áreas expuestas y/o sometidas a erosión y el grado de afectación de las mismas, de manera que esta información se plasmó en el plano No. 3.

Uso de la tierra

Con base en la información acopiada se identificaron sobre la cartografía las áreas pobladas, tipos de construcciones, zonas verdes, áreas con vegetación, zonas de rellenos y vertimientos, etc. Posteriormente esta información se analizó para definir la influencia de estos elementos sobre los fenómenos manifiestos de inestabilidad y sobre la degradación del medio geosférico. Una vez analizada la información se empleó en los análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgos.

1.3.3 Identificación de Zonas Inestables

La información allegada en las etapas anteriores se estudió y evaluó de manera conjunta por todas las disciplinas que intervienen en el estudio, con lo cual se identificaron las diferentes zonas en las cuales se presentan situaciones de inestabilidad y en las cuales se concentraron las actividades posteriores del estudio tales como: análisis y zonificación de amenaza, análisis de vulnerabilidad, evaluación de riesgo y planteamiento de las diferentes alternativas de mitigación.

1.3.4 Evaluación de Agentes Detonantes

Paralelamente y bajo la línea metodológica anterior, se llevó a cabo la evaluación de aquellos factores que inciden de manera particular en la generación de fenómenos de inestabilidad, tales como:

Aspectos climáticos, hidrológicos y meteorológicos

Se llevó a cabo una evaluación hidrogeológica de la microcuenca aferente al sector en estudio, para lo cual se colectaron los datos de pluviosidad de estaciones en el área de estudio y en zonas aledañas. Utilizando modelos adecuados para el sitio, de acuerdo con su cobertura, se estimaron caudales de escorrentía, con lo cual se evaluó la influencia de las lluvias sobre los niveles piezométricos en las laderas.

Aspectos sísmológicos

Se consideró la influencia de solicitaciones cíclicas debidas a eventos sísmicos. Como resultado de esta labor se estimó el valor de la aceleración

sísmica a emplear en la modelación seudoestática de los taludes y laderas.

Erosión

A pesar de no evidenciarse problemas a causa de la erosión natural en las dos laderas, se verificó si existen zonas afectadas por tal fenómeno. Se prestó especial atención a la socavación provocada por vertimientos de aguas servidas provenientes de las viviendas que carecen de servicios de alcantarillado.

Factores antrópicos

Se localizaron y cartografiaron todos aquellos factores generados por el hombre que originan y aceleran los procesos de inestabilidad tales como: cortes, rellenos y conexiones o descargas inadecuadas de agua tanto potable como servidas.

La identificación de estos elementos permitió complementar los modelos geotécnicos empleados en la evaluación de estabilidad de los diferentes sectores identificados previamente.

Adicionalmente, estos elementos se tuvieron en cuenta para el planteamiento de las soluciones.

1.3.5 Caracterización Geotécnica de los Materiales

A partir de la información preliminar y con el propósito de identificar los materiales existentes y su espesor, se llevó a cabo la exploración geotécnica consistente en cinco (5) perforaciones mecánicas profundas, tres (3) apiques y una (1) trinchera. La exploración geotécnica se complementó con la ejecución de una exploración geofísica consistente en dos (2) secciones tomográficas localizadas en los dos costados de la Avenida Circunvalar. La localización de los puntos de exploración se indica en la figura No. 6.5.

Durante los trabajos en campo se llevaron a cabo ensayos mecánicos tales como:

- Resistencia a la penetración inalterada con el penetrómetro de bolsillo
- Ensayo de penetración estándar.

Durante el proceso de perforación se recuperan muestras inalteradas mediante el tubo de pared delgada, remoldeadas mediante la cuchara partida y en bolsa. A estas muestras se les practicaron ensayos de laboratorio tales como:

De clasificación:

- Límites de Atterberg
- Humedad natural

- Peso unitario

De resistencia

- Compresión inconfina

1.3.6 Evaluación de Estabilidad

Una vez efectuados los trabajos topográficos, geológicos, geomorfológicos y la caracterización geotécnica, se realizaron análisis generales de estabilidad para secciones típicas de la ladera mediante el programa PCSTABLE. Estos análisis permitieron establecer las zonas inestables y así determinar la zonificación por amenaza del área en estudio.

1.3.7 Análisis y Zonificación de Amenaza

En principio la evaluación de la amenaza se adelantó mediante técnicas determinísticas en términos de Factor de seguridad; la aproximación a la probabilidad de falla se adelantó por el método de estimación de punto (PEM) propuesto por Rosenblueth y por la distribución normal del mismo, evaluando la variación de los parámetros de resistencia (cohesión y fricción) y tomando como variables aleatorias los agentes detonantes de los deslizamientos como la lluvia y el sismo. Como resultado se generó el plano No. 4.

1.3.8 Análisis de Vulnerabilidad

Una vez establecidas las características principales de los diferentes tipos de falla que se presentan en las diferentes laderas que conforman el área en estudio, se evaluó la vulnerabilidad con base en el modelo establecido por Leone, 1996 y se generó el plano No. 5.

Para lo anterior se adelantó el inventario de los diferentes predios que se encuentran dentro del área en estudio, con base en un formato de toma de datos que permitió de manera muy rápida y sin entrar en detalles, evaluar la condición estructural de las viviendas, densidad de ocupación, establecer el área de construcción y, de manera preliminar, los costos de las mismas.

1.3.9 Evaluación de Riesgo

Para determinar el nivel de riesgo de cada una de las viviendas en el sector de estudio se combinaron los resultados obtenidos tanto de los análisis de amenaza como de vulnerabilidad. Como resultado de esta actividad se obtuvo la zonificación de riesgo del área en estudio, plano No. 6.

El análisis de riesgo se adelantó para la condición actual.

1.3.10 Calificación y Planteamiento De Medidas de Mitigación

La zonificación realizada por riesgos se analizó a la luz de los criterios ingenieriles buscando medidas capaces de atenuar los factores de riesgo con medidas preventivas, correctivas y de control, orientadas a atenuar la amenaza y reducir la vulnerabilidad.

Las medidas preventivas se orientaron a evitar y/o minimizar el riesgo ante los eventos que se generarían por el colapso de los ya existentes.

También se consideraron las medidas ingenieriles, tendientes a controlar y atenuar los movimientos que actualmente se presentan.

Como resultado de esta actividad, se obtuvo la figura 9.1, planteamiento de alternativas.

1.3.11 Informe y Planos

Como resultado de las actividades antes descritas, se obtuvo la cartografía que a continuación se describe y el informe respectivo, en el cual se comentan las actividades desarrolladas durante el estudio y se presentan los resultados obtenidos en cada una de las actividades efectuadas.

Plano 1	Plano topográfico
Plano 2	Plano de geología regional
Plano 3	Plano de geología local y geomorfología
Plano 4	Zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa
Plano 5	Zonificación de vulnerabilidad por fenómenos de remoción en masa
Plano 6	Zonificación de riesgo por fenómenos de remoción en masa

2 DIAGNÓSTICO CONCEPTUAL

El siguiente documento bosqueja la percepción del consultor frente a la problemática a tratar en la zona de estudio, y plantea la forma en la cual se propuso adelantar el estudio correspondiente, con el fin de proponer alternativas correctivas que reduzcan los niveles de riesgo a los que está expuesta la población aledaña y las líneas vitales (algunas de ellas de orden distrital) como la Avenida Circunvalar.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Mediante el presente capítulo se busca:

- Elaborar una diagnóstico ajustado del problema, en el cual se presenta: la descripción del fenómeno y sus causas, diagnóstico geológico y una evaluación preliminar de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.
- Presentar una delimitación del área de estudio.
- Establecer los requerimientos de topografía y exploración del subsuelo, así como la metodología para la ejecución de estos trabajos.
- Presentar un planteamiento preliminar de las posibles alternativas de solución

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La zona de estudio se encuentra ubicada en la localidad de Chapinero, en el oriente de Santa Fe de Bogotá; comprende dos sectores, el primero de ellos cubre algunas viviendas del barrio El Paraíso (ubicadas entre las diagonales 40 y 41 y entre la carrera 3 este y la transversal 1 bis este) y una zona verde localizada al oriente de la Avenida Circunvalar; la segunda abarca un sector del parque Nacional ubicada al occidente de la Avenida Circunvalar. Las viviendas del barrio El Paraíso, aproximadamente 50, son de dos pisos y de sistema estructural aporticado, aunque algunas son prefabricadas y de un solo nivel.

El barrio posee una dotación parcial de servicios públicos de agua y alcantarillado. La menor cobertura se aprecia en el borde oriental, límite del cinturón urbanizado, donde se destacan áreas húmedas (muy localizadas) y de vertimientos

generados por sus habitantes, pero explicados por la ausencia de líneas de salida hacia la red principal. Es además, este sector, posiblemente, el más reciente pulso de invasión.

Si bien el sustrato rocoso, orientado NE/SW, está conformado por limolitas y arcillolitas grises claras con intercalaciones de areniscas, pertenecientes a la formación Guaduas (en condición interrogada), expuestas al oriente de la Avenida Circunvalar en las expresiones topográficas más altas de la zona de estudio y dispuestas en sentido NW/S, el principal ambiente está conformado por gruesas masas coluviales, con espesores estimados de hasta 15.0 m al oriente del sector, de matriz limo-arcillosa y alto contenido de cantos y bloques de arenisca cuarzosa, producto de diferentes eventos superpuestos cronológicamente. Se encuentran también depósitos antrópicos tratados (botaderos o escombreras de la vía) y geoméricamente conformados como el que circunda la banca occidental de la vía, y rellenos heterogéneos (desechos de construcción, y material común) y basuras establecidos en el borde norte y que definen geofomas de alta pendiente (superior a 30°) y de alturas cercanas a los 5.0 m.

El depósito cuaternario es el recinto en el que tienen lugar hoy día los problemas de inestabilidad. El principal fenómeno de remoción en masa puede clasificarse como un deslizamiento complejo de grandes proporciones, el cual abarca toda la zona en estudio e incluso puede ser parte del gran deslizamiento del parque Nacional o estar interrelacionado con otros grandes movimientos presentes en el mismo; esta masa movilizada “probablemente” (pero basados en las evidencias de campo) posee una superficie de falla de componentes rotacionales y traslacionales, con dominio en apariencia de este último. Sobre ella se aprecia un deslizamiento rotacional en el flanco noroccidental, una serie de flujos de tierra que involucran en buena parte rellenos antrópicos, en el centro del deslizamiento principal, un deslizamiento traslacional en el flanco suroriental, y desprendimientos sucesivos de sistemas de bloques (explicados por relajación de esfuerzos) en la pata del fenómeno cerca de la confluencia de las quebradas que descargan sus aguas a la quebrada Arzobispo.

El proceso puede clasificarse como activo avanzado dada su tasa de movimiento, cm/año (González, 1989), y ha provocado daños

permanentes y recurrentes en la Avenida Circunvalar, principal escenario de riesgo y la línea vital más comprometida en estabilidad y permanencia, y en las viviendas conexas. Los perjuicios en estos últimos elementos ascienden a ocho casas dañadas, tanto en elementos estructurales como no estructurales, y posiblemente la fractura del tramo de alcantarillado que corre paralelo a la Circunvalar, en el talud oriental de la misma. Se estima, además, que pueden estar comprometidas alrededor de cinco residencias adicionales cimentadas sobre el límite noroccidental.

La intervención antrópica ha sido uno de los agentes (detonante o contribuyente) de la ocurrencia de los fenómenos de remoción en masa, puesto que se ve reflejada en el vertimiento de aguas servidas (el cual ha contribuido a la infiltración ocasionando la pérdida de resistencia de los materiales que componen la ladera), la deforestación (aunque de manera muy puntual). La distensión o disminución de los esfuerzos de confinamiento, gracias a la implantación de obras urbanas como las vías, y finalmente la construcción de viviendas e infraestructura (erosión antrópica), constituyen otras de las causas que dan lugar a los problemas de estabilidad y aumentan el nivel de riesgo.

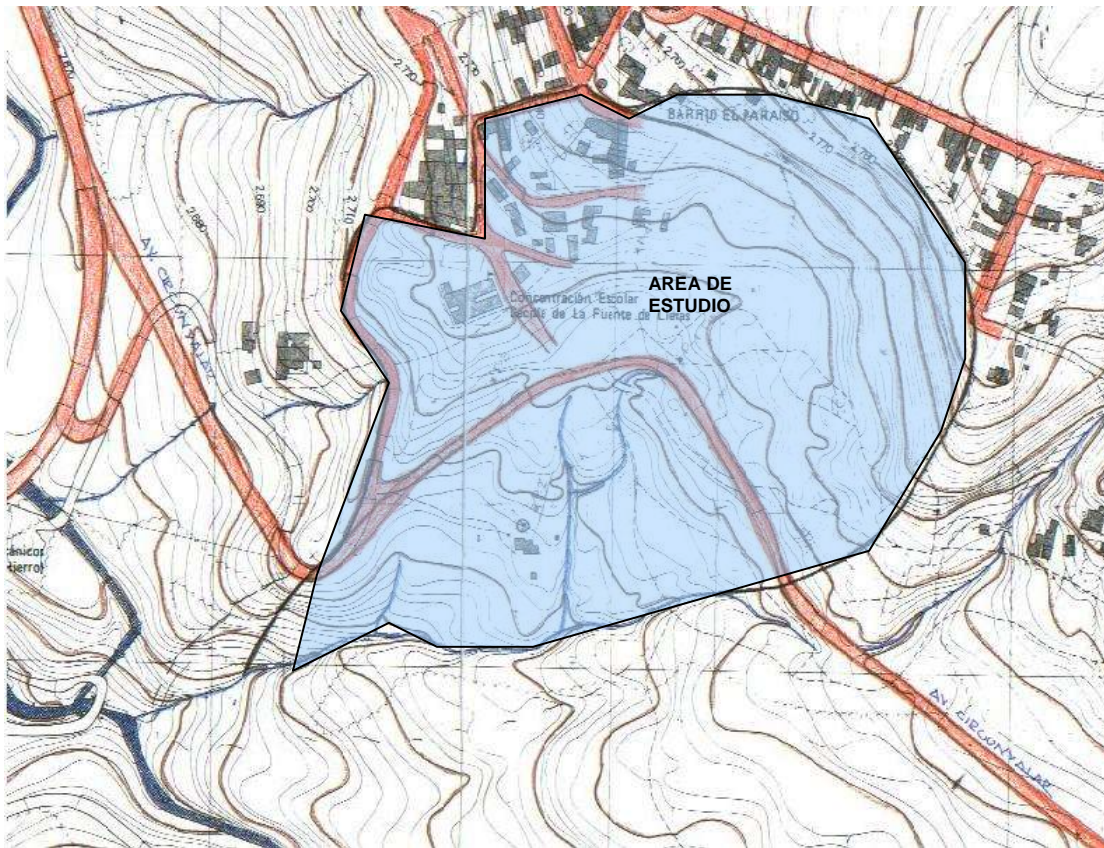


Figura No. 2.1. Delimitación de la zona de estudio.

Este marco de influencia, matizado por una condición cualitativa de media-alta a muy alta amenaza y un prominente grado de vulnerabilidad de las viviendas y de las líneas vitales, explicado por el alto grado de exposición, y de su bajo nivel de resistencia a movilizar como en el caso de las primeras, producto del tipo de estructura y de la calidad de la construcción de las mismas (de regular a pobre), resaltan el nivel de riesgo en la zona.

2.3 DELIMITACIÓN GEOMÉTRICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

La delimitación del área de estudio se efectuó mediante la visita técnica de iniciación, a la cual asistieron la DPAAE, la interventoría y el consultor. El área a estudiar se presenta en la figura No. 2.1

2.4 REQUERIMIENTOS DE TOPOGRAFÍA Y EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO.

2.4.1 Trabajos de Topografía

Para el levantamiento topográfico y a fin de obtener la cobertura total del área en estudio, se propuso efectuar dos etapas; la primera de ellas consistente en el levantamiento de las zonas abiertas, mediante secciones transversales y tomando todos los cambios de pendiente, los intervalos de las secciones variarían entre 1.0 m y 4.0 m dependiendo del terreno; la segunda etapa corresponde al levantamiento de zonas construidas y detalles, se levantarían los puntos necesarios para establecer las manzanas involucradas dentro del área en estudio, árboles, pozos, cercas, etc.

El levantamiento topográfico se amarraría a placas topográficas avaladas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, mediante las cuales se podría establecer las coordenadas del levantamiento topográfico.

Como resultado de esta labor se tendría el mapa base a escala 1:1000.

2.4.2 Exploración del Subsuelo

A fin de establecer el tipo de materiales presentes en la zona de estudio, su geometría o distribución en profundidad y las características geomecánicas de cada uno de los estratos presentes, se pensó en la ejecución de dos (2) secciones tomográficas, cuatro (4) perforaciones profundas, cuatro (4) apiques y ensayos de laboratorio.

Secciones tomográficas: Para la exploración del subsuelo se propuso inicialmente la ejecución de una sección tomográfica, la cual se ubicaría en la parte oriental de la Avenida Circunvalar. El objetivo de esta sección fue establecer el espesor y la geometría del depósito coluvial a lo largo de la sección. Si estimó que si la exploración tomográfica resultaba confiable, es decir, si se establecían contrastes de resistividad entre los diferentes materiales del subsuelo (especialmente entre el depósito coluvial y la roca), se programaría la ejecución de una segunda sección, la cual estaría ubicada en la zona occidental de la avenida Circunvalar. En la figura No. 1 se ilustra la ubicación aproximada inicialmente propuesta de las secciones tomográficas.

Perforaciones profundas: posteriormente y con base en los resultados de las secciones tomográficas, se propuso llevar a cabo la ejecución de una primera perforación (P1). La perforación estaría ubicada sobre el eje del movimiento principal que afecta la zona en estudio y sobre la línea de tomografía 1. con esta perforación se buscaba identificar la zona de falla, y, de ser posible, el espesor del depósito coluvial.

En función de los resultados de la primera perforación se ubicarían tres perforaciones adicionales. La secuencia de tales perforaciones, la ubicación y la profundidad de cada una de ellas, dependería de los resultados que se fuesen obteniendo de las perforaciones efectuadas previamente. Ver figura No. 1.

En total se previó la ejecución de sesenta metros (60 m) de perforación con lavado y veinte metros (20 m) de perforación por rotación.

Se planeaba la colocación de dos piezómetros sencillos, uno en el costado oriental de la circunvalar y el otro en el costado occidental de la misma. Para este fin y una vez finalizada la perforación, se procedería a la colocación de un tubo de PVC abierto a la atmósfera, ranurado en la punta y con un manto de gravilla en la misma. El objetivo de este dispositivo es medir niveles piezométricos y posibles inclinaciones o desplazamientos relativos del terreno.

Apiques: Se previó la ejecución de cuatro apiques, los cuales se ejecutarían en el costado nororiental. Los apiques permitirían la recuperación de muestras en bloque, las cuales serían sometidas a ensayos de corte directo; adicionalmente, con la ejecución de los apiques se buscaba la complementación de la caracterización de los materiales que se ven afectados por los movimientos presentes en la zona.

Ensayos de laboratorio: De las muestras recuperadas a lo largo de exploración del subsuelo se seleccionarían las más representativas, a las cuales, se le ejecutarían los siguientes ensayos:

- 10 límites de Atterberg.
- 10 humedades naturales
- 10 pesos unitarios
- 10 compresiones confinadas
- 3 cortes directos
- 5 gradaciones

El objetivo final de la exploración geotécnica es caracterizar los materiales presentes en la zona en estudio, haciendo énfasis en los que están siendo afectados por los movimientos descritos en el numeral 2.1.

2.5 DIAGNÓSTICO GEOLÓGICO

2.5.1 Rasgos Litológicos.

En el sector del barrio se identifican dos clases principales de materiales, a saber:

Rocas sedimentarias: El escarpe del costado sureste del área está representado por una secuencia potente de arcillolitas físciles, de color gris claro, intercaladas con un paquete de areniscas cuarzosas, de color gris claro a amarillo, con espesor aproximado de 5.0. El grado de meteorización de estas rocas es leve a moderado. El espesor observable de esta secuencia es del orden de 50.0 m

En el costado noroeste se observa un afloramiento de arcillolitas abigarradas, físciles, intercaladas con algunos estratos delgados de areniscas cuarzofeldespáticas de color amarillo a gris claro con impregnaciones de color morado; esta secuencia posee un grado de meteorización moderado.

De acuerdo con las características litológicas, esta secuencia parece pertenecer a la Formación Guaduas.

Suelos transportados: Estos depósitos recientes están recubriendo parcialmente las secuencias anteriormente descritas. Están representados por una acumulación de tipo gravitacional (coluvión) y por flujos. En lo que respecta a la masa coluvial, está conformada por material granular de diferentes tamaños, cuya granulometría varía entre: arena, grava, guijarros y bloque de arenisca cuarzosa; la forma de los clastos es preferencialmente angular; la matriz es

predominantemente limo arenosa con trazas de arcilla a limo arcillosa, localmente arcillosa.

El deslizamiento complejo objeto de este estudio ocurrió sobre el coluvión, y su desarrollo a través del tiempo ha mostrado una tendencia retrogresiva.

De otra parte, los flujos locales empiezan a ocurrir en la medida que los asentamientos humanos del sector, en forma progresiva, hacen vertimientos de aguas servidas, que al saturar la masa obligan a elevar la humedad del suelo por encima del límite plástico, provocan de esta manera, el flujo del material del deslizamiento; por tanto, su litología es similar a la del coluvión, más no su contenido de humedad.

Dado que el deslizamiento abarca un área extensa, pero no se conoce el espesor de la masa en movimiento, en este momento se avanza en la exploración que conduzca a cuantificarlo.

2.5.2 Rasgos estructurales.

Los análisis fotogeológicos y las observaciones de campo permiten afirmar que:

- El área esta ubicada sobre el flanco occidental del anticlinal de Bogotá, que está en posición invertida, por tanto, los planos de estratificación están buzando hacia el oriente y su buzamiento oscila entre 70° y 30°.
- El área está localizada sobre la franja de influencia de la Falla de Bogotá y probablemente la traza de una de las fallas que la conforman está ubicada en el sector del Barrio El Paraíso.

2.5.3 Procesos morfodinámicos.

Los principales procesos que se desarrollan actualmente en el área son movimientos de remoción en masa, representados por deslizamientos, flujos de tierras localizados y reptamientos; además, erosión concentrada en forma de cárcavas, observadas al suroccidente de la vía Circunvalar dentro del área del Parque Nacional.

2.6 MODELOS Y METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS

En el momento del diagnóstico se planteó que sólo a partir de la obtención de un modelo geotécnico (aproximado pero confiable) para cada zona homogénea, y de una adecuada presunción de los mecanismos de falla, se podría proceder a

la etapa de análisis. A continuación se bosquejan los modelos de análisis para las dos etapas más importantes (según el criterio del ingeniero geotecnista del estudio).

2.6.1 Análisis de Estabilidad y Evaluación de Amenaza

Modelo Geotécnico: Con base en la investigación de campo, en algunos principios básicos de la geología estructural y en los ensayos de laboratorio se propuso elaborar un modelo (aproximado) del subsuelo para la zona de estudio, que destacaría la secuencia estratigráfica de los cuaternarios, la disposición estructural del macizo y los parámetros geomecánicos obtenidos para cada horizonte de suelo o roca.

Se emplearía durante la elaboración de este ejercicio la base cartográfica obtenida del levantamiento topográfico, escala 1:1.000. La sección estratigráfica del cuerpo principal fallado (inestable), se levantaría en el mismo sentido del azimut de buzamiento de la estratificación promedio, de tal manera que tanto el buzamiento, como los espesores de la secuencia estratigráfica, se aprecien en verdadera magnitud, o bien, con el rumbo del vector de movimiento más probable. Igualmente, para cada proceso de inestabilidad se plantearía un modelo geotécnico en la dirección de movilización, para mostrar la secuencia estratigráfica, parámetros geomecánicos y posición probable de la superficie de falla. Los modelos serían de gran importancia para el desarrollo del análisis paramétrico y de estabilidad.

Zonificación Geotécnica: La definición de las zonas homogéneas se realizaría contemplando variables como: material, tipo y espesor de los depósitos de suelo, propiedades físico-mecánicas, áreas de aporte de agua y procesos de remoción en masa. Para este último tópico se recurriría al inventario de procesos actuales, gracias a las labores de campo, y antiguo, obtenido de interpretación de fotos de años anteriores.

En cuanto a la condición estructural, se formularía, gracias al trabajo de levantamiento estructural, una clasificación del sector en regiones estructurales, aunque se presumió que fuese una sola, basados en el número y características de las familias de discontinuidades.

Análisis Paramétrico (Caracterización Geomecánica): Con el ánimo de obtener el espectro probable de variación de los parámetros geomecánicos (c, ϕ) y de las variables aleatorias exógenas (nivel de agua, acción sísmica y factor

antrópico), se realizarían tanto para los diferentes cuerpos inestables (incluyendo el principal proceso de remoción en masa) como para las condiciones de las variables endógenas y exógenas, múltiples “corridos” con el fin de obtener factores de seguridad iguales a la unidad, para este propósito se propuso emplear modelos iterativos sustentados en análisis pseudoestáticos de estabilidad.

Los resultados de los análisis se graficarían y se les superpondrían los valores físico mecánicos (c, ϕ) reportados por el laboratorio. El resultado de esta actividad facilitaría: la obtención de las funciones de probabilidad a partir de la medida (μ_x) y la desviación estándar (σ_x), y la definición (o percepción) del grado aproximado de estabilidad, el cual se refinaría en el análisis mismo de estabilidad (tanto para los valores probables como máximo y mínimo).

Análisis de Estabilidad: Con los resultados de los trabajos previamente efectuados, se procedería a realizar para el (o los) mecanismo (s) de falla más importantes por cada zona homogénea, los análisis de estabilidad, contemplando las condiciones actuales y futuras.

Los análisis se llevarían a cabo en una primera etapa, en la cual se evaluarían las exposiciones del macizo rocoso (costado oriental); estos análisis se efectuarían en el sentido de los modos de falla a lo largo de los planos de debilidad estructural y en la determinación del modo probable de falla a partir de la aplicación del análisis cinemático y la teoría del bloque crítico. En una segunda etapa, se modelarían con ayuda de los métodos de equilibrio límite los modos de falla encontrados en campo, entre los que podrían estar: deslizamientos rotacionales, traslacionales y de superficie predeterminada; este último, de gran trascendencia para el deslizamiento principal.

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

Zonificación de Amenaza por Remoción en Masa: Como resultado de la superposición de la evaluación de la susceptibilidad y de los eventos detonantes, del inventario de fenómenos de remoción en masa, de la determinación de la magnitud, estado de actividad y tendencia a la propagación de los actuales procesos de

inestabilidad, se estimarán los niveles de amenaza actuales y futuros del sector.

Debido a la escala de trabajo del proyecto (1:1000) y al nivel de detalle que se espera obtener de la investigación geotécnica, se contemplará el uso de un método cuantitativo (técnica determinística) para la evaluación de la Amenaza; para lo cual, se recurrirá al método de eventos extremos, o en su defecto, al procedimiento de Montecarlo.

De esta manera, la amenaza se modelará como función de múltiples factores (internos o externos) los cuales se expresarán como variables aleatorias. En este sentido, con base en el trabajo descrito en el numeral anterior para el (o los) mecanismo(s) de falla por zona homogénea, o en su defecto, por proceso de inestabilidad independiente, para el movimiento general, y de acuerdo con las funciones de probabilidad de las fuentes de incertidumbre (o variables aleatorias como por ejemplo: parámetros de resistencia, aceleración sísmica y nivel de agua) se efectuarán diferentes corridas (proceso iterativo) que permitirá obtener las curvas de densidad de probabilidad del factor de seguridad, soporte para estimar la probabilidad de falla.

Con el ánimo de determinar la probabilidad de falla para cualquier talud del frente de explotación conocido su factor de seguridad, se estimará la mejor interpolación entre éste último y la probabilidad de falla. Para ello se calculará el factor de seguridad para diferentes taludes con el valor medio de las variables aleatorias; a éstos se les asignará la probabilidad condicional en el ambiente actual. El resultado de esta actividad se presentará en un plano escala 1:1000, donde el sector en estudio se dividirá en zonas de igual o similar probabilidad de falla.

2.6.2 Evaluación de Vulnerabilidad y Riesgo Actual y Futuro.

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

La evaluación de la vulnerabilidad se realizará teniendo como soporte la encuesta elaborada en cada vivienda; ésta constituirá base fundamental para estudiar las dos componentes de la vulnerabilidad: social y física. Para la vulnerabilidad social se tomarán en cuenta el nivel de ingresos, los daños sufridos por las viviendas,

las recomendaciones para medidas urgentes y los servicios públicos, con el fin de cualificar la conciencia de los pobladores ante los eventos amenazantes y su capacidad para reconstruirse. Aspectos como la edad y área de construcción, estructura de techo, cubierta, tipo de sistema estructural, calidad de la construcción y daños en la misma, serán 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 el modelo empleado en la evaluación del índice de vulnerabilidad física se basará en la propuesta realizada por Leone (1996). En este último sentido, se determinará, con base en la composición orgánica y estructural de las residencias y de la longitud potencial de viaje de las masas inestables, las zonas de afectación directa o indirecta para cada mecanismo de inestabilidad, los índices de exposición (IE) y de resistencia (IR). Estos elementos serán el soporte para la determinación del índice de vulnerabilidad física.

Las zonas de afectación por vivienda serán definidas por cada tipo de fenómeno, gracias a las evidencias de campo. El índice de exposición (IE) se estimará como la relación entre área afectada del predio (Aaf) y el área total del mismo (At). Por su parte, el índice de resistencia (IR) se estimará a partir del grado de contribución a la resistencia de los 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 asignará un aporte de forma cualitativa, intentando describir su contribución como elemento reductor de la energía cinética de las masas inestables.

Con los índices de resistencia y exposición hallados anteriormente, se calculará finalmente el índice de vulnerabilidad física (IVF), para lo cual, se utilizará la ecuación propuesta por Leone (1996), reemplazando los parámetros de resistencia y exposición por los índices reseñados.

Finalmente, el riesgo actual en la zona o elemento, se podrá expresar al combinar la probabilidad de ocurrencia de la solicitud (amenaza actual) con las pérdidas potenciales obtenidas del producto del índice de vulnerabilidad física por los costos de capital (Wu et al 1996). Por otra parte, la estimación del riesgo futuro, es decir el riesgo alcanzado incluyendo la participación de las alternativas de mitigación que se planteen, se adelantará bajo evaluación de la estabilidad de la ladera una vez implementadas algunas de las alternativas consideradas.

2.7 EVALUACIÓN CONCEPTUAL DE LA AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO

El sector se caracteriza por presentar un moderado a alto nivel de riesgo, producto de la alta condición de exposición de las viviendas, personas y líneas vitales que se encuentran en las zonas de exposición directa e indirecta del cuerpo principal del deslizamiento, además por la acción del hombre como agente detonante de los movimientos.

Por su parte la condición de amenaza actual, entendida como probabilidad de falla, es de media-alta a alta. Esto encuentra explicación en las evidencias morfológicas de inestabilidad como: cicatrices de antiguos movimientos, grietas de tracción, escarpes de deslizamiento, presencia de zonas húmedas y de concentración de agua, etc., por la tasa de movimiento del fenómeno detectada en el volcamiento y falla de las estructuras de gravedad (muros de gaviones y muros en concreto), dispuestas en el interior del talud para contener el empuje de las masas superficiales, por las deformaciones en el corredor vial, por las evidencias de las fotos aéreas de 1967 y por el conocimiento que el cuerpo técnico tiene de la evolución del problema desde el año 1.956. Estos elementos de juicio permiten concluir que se está enfrentando un proceso de falla general, de orden natural, y eminentes fallas locales superficiales; así mismo se puede afirmar, de antemano, que la probabilidad de falla de estos sitios es superior a 0.5.

La vulnerabilidad expresada como el nivel de respuesta de un elemento ante un evento, se puede considerar globalmente como moderada a alta, dado que tanto inmuebles como líneas de evacuación de aguas residuales y vías de primer orden se encuentran bien en la zona de influencia directa o indirecta de los fenómenos de remoción en masa; lo que se traduce en un alto grado de exposición. Adicionalmente, cabe resaltar que la valoración por resistencia varía a lo largo de la zona, bien por la existencia de diferentes tipologías de viviendas o bien por la variación de la estabilidad en el área de estudio; no obstante, según las apreciaciones de campo, ésta es en promedio media, lo que acentúa aún más la cualificación del índice de vulnerabilidad.

Resulta, entonces, claro a la luz de las apreciaciones anteriores que la condición de riesgo no tenga connotación diferente a la de alta. El mayor escenario de riesgo se encuentra a lo largo de la Avenida Circunvalar (no contemplada en los alcances del presente estudio) dadas las repercusiones económicas que tendría el cierre

parcial de esta arteria para el distrito, y las consecuencias directas en daños a vehículos y personas en caso de un desastre.

2.8 PLANTEAMIENTO PRELIMINAR DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

2.8.1 Ladera Principal

De acuerdo con los resultados que se obtengan en el análisis de estabilidad y de la evaluación de riesgo futuro, se plantearán diferentes tipos de alternativas de solución, los cuales podrán contemplar desde la conformación de los taludes (perfilado), hasta la definición de medidas específicas de contención. Las obras de este último tipo podrán corresponder bien a estructuras de contención o de aislamiento, drenaje, la remoción total de los rellenos y depósitos (como sería el caso del botadero de la franja occidental de la vía), y la reconfiguración de las zonas.

2.8.2 Avenida Circunvalar

Al respecto se revisarán posibles alternativas que propendan por la estabilidad de la vía y se dejará plasmado la necesidad de adelantar estudios detallados para tal fin.

2.8.3 Paisajismo y urbanismo

Sin entrar en diseños y planteamientos paisajísticos y urbanísticos, se buscará que las alternativas recomendadas mejoren el entorno ambiental del sector. Así se podrán contemplar la empedradización de las superficies de los taludes, la siembra de especies nativas, e incluso el replanteamiento de los planes urbanísticos actuales (esta medida podrá estar en relación con los programas de reubicación).

2.8.4 Áreas a reubicar

La posibilidad de reubicación se contempla como medida preventiva y correctiva. Se definirá con base en un análisis detallado de las condiciones actuales y futuras (con las alternativas propuestas) de dichas viviendas, y sólo podrá llevarse a cabo a la luz de una notable relación beneficio / costo, frente a las demás alternativas. Empero, es claro que actualmente existen nueve unidades residenciales en estado crítico, dos de las cuales, y de manera preliminar, requieren reubicación inmediata; las restantes se valorarán con el curso del estudio.

3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

3.1 LOCALIZACIÓN CARTOGRÁFICA DE LA ZONA EN ESTUDIO

La zona se localiza en un cuadrángulo que tiene como coordenadas planas:

N: 103350.00 m E: 101850.00 m
en el extremo suroccidental

N: 103500.00 m E: 102200.00 m
en el extremo nororiental

Con elevaciones entre 2630-2760 m.s.n.m.; ocupa un área aproximada de 7.4 Ha.. Los datos están referenciados a las coordenadas cartesianas con origen en la intersección del meridiano 74° 09' con el paralelo 4° 41', al cual se le asignaron la coordenadas planas N: 109320.965 m y E: 92334.879 m. Las cotas se encuentran referidas al nivel medio del mar en Buenaventura con el plano de proyección de 2550 m.s.n.m.

3.2 PUNTOS TOPOGRÁFICOS

Se tomó como punto de partida la placa topográfica **CD550**, la cual se encuentra localizada en el área verde del Instituto Neurológico, sobre la avenida circunvalar, a 3.0 m de la entrada de la diagonal 41 en un enrejado y al oriente del canal de aguas lluvias; este punto se identifica con las coordenadas planas N: 103654.346 m, E: 101672.018 m y elevación media de 2636.495 m.s.n.m, calculada por el IGAC sobre el plano de referencia. Desde el CD550 se dio vista a la placa topográfica **CD549** con un azimut plano Norte al Este de 024° 08' 18.233" y a una distancia de 488.06 m. Se anexa certificación.

3.3 EQUIPO

El levantamiento se realizó con una Estación Total Nikon DTM-300 de precisión angular a los 5 segundos, alcances de lectura (con prisma sencillo) de 1200 m de distancia y capacidad para almacenar hasta 500 puntos topográficos, lectura vertical cenital y el acompañamiento de dos prismas para la lectura de los puntos.

3.4 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Se realizó a partir de los puntos topográficos mencionados anteriormente; tomando como acimut verdadero la dirección de la placa **CD550** y mediante una poligonal cerrada con la cual se trasladaron las coordenadas y la elevación. Se tomó un punto en la carrera 1 Este, barrio El Paraíso, y de allí otro al área de estudio. Posteriormente procediendo a localizar tres (3) puntos de referencias, los cuales sirvieron como base para levantar la totalidad de la zona en estudio.

El levantamiento topográfico se realizó en dos etapas, así:

3.4.1 Zona Abierta:

Se tomaron secciones transversales del área despejada; para tal efecto se colocó el prisma en los cambios de pendiente hasta obtener un cubrimiento total de la zona en estudio. Los intervalos entre las secciones variaron entre 1.0 y 4.0 m, dependiendo de las condiciones del terreno. El tiempo que demandó este procedimiento fue de 9 días y se tomaron alrededor de 7700 puntos.

3.4.2 Zona de Construcciones y Detalles:

En esta etapa se levantaron los puntos topográficos de infraestructura como: paramentos, andenes, construcciones, postes, pozos, cercas, etc. Este procedimiento tuvo una duración de 2 días.

3.4.3 Colección de la información de campo

Para la colección de datos de campo se optó por consignar a diario y a veces dos veces por día la información tomada en la estación total, mediante un colector de datos serial **RS-232** y el programa de computadora Transit Vrsn. 2.11, propio de los fabricantes de la estación total.

3.4.4 Trabajo de Oficina

Una vez tomada la información de campo, se procedió al procesamiento de la misma mediante la georreferenciación de los puntos topográficos tomados en campo usando el programa Transit Versión. 2.11; ajuste de la poligonal de amarre mediante el programa de computadora Eagle Point Versin. 14.3 con el módulo Survey

Adjustment a partir de los puntos topográficos **CD550, RF1, RF2 y RF3** que dio como resultado de cierre y precisión los siguientes datos:

Error de Cierre: Nortes: 0.0431 m. Estes: 0.0417 m.

Error de Cierre en ángulo: 0° 5' 16.31"

Precisión: 1: 60.210

El procesamiento cartográfico del levantamiento topográfico se ejecutó empleando el módulo Surface Modeling del Programa de computadora EaglePoint Versión. 14.1, bajo un modelo de interpolación dirigida, que obligó a definir y respetar las barreras físicas actuales, condicionando 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.

Como resultado de la actividad anterior, se definió la salida gráfica del Plano Topográfico a escala 1: 1.000 con curvas de nivel cada metro.

El proceso así desarrollado puede entenderse como una conceptualización de un submodelo para un SIG, ya que primero se elaboraron las diferentes capas (coberturas) y posteriormente se hizo la interpolación. De esta manera se definió el manzaneamiento de manera completa, se seleccionaron los postes de alumbrado y los pozos de inspección, 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 no permitió la generación de errores, y así una mayor precisión y calibración para los límites y contornos. Con base en lo anterior y para terminar la generación del mapa base, se realizó la integración e interpretación final de todo el conjunto.

4 ESTUDIO GEOLÓGICO

4.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Las características geológicas regionales del área de estudio y sus alrededores están contenidas en el Mapa Geológico Regional (plano No. 2) y en los perfiles geológicos regionales 1-1 y 2-2, en el mismo plano, y se describen a continuación:

4.1.1 Litoestratigrafía.

Este sector del borde oriental de la Ciudad de Bogotá está constituido por rocas sedimentarias de edad Cretáceo superior y Terciario inferior. Las rocas que afloran son las Formaciones Plaeners y Arenisca Dura, que hacen parte del Grupo Guadalupe, y la Formación Guaduas. Además, recubriendo parcialmente las formaciones anteriormente mencionadas, hay suelos transportados, específicamente, coluviones o depósitos gravitacionales y flujos de detritos. Las características litológicas generales de cada una de estas unidades se describen a continuación

Formación Arenisca Dura (Ksgad). Está localizada en la parte alta y media del cordón montañoso que sirve de límite oriental a Bogotá.

Litológicamente está conformada por paquetes potentes de areniscas cuarzosas, con tamaño de grano fino a medio y cemento, preferencialmente, silíceo; su color es gris claro, pero por impregnaciones con óxidos de hierro, tipo limonita, su coloración varía a amarilla. Los estratos tienen espesor que oscilan entre 40 cm y superior a 2.0 m. Las areniscas están levemente meteorizadas, pero son bastante resistentes a la erosión.

El espesor total de la secuencia que aflora en el área de estudio es del orden de 320 m.

Su contacto con la Formación Plaeners (Ksgp), que le infrayace, es concordante pero invertido.

Formación Plaeners (Ksgp). Está localizada en la parte media baja de los cerros del borde oriental.

Litológicamente está conformada por una secuencia potente de arcillolitas grises claras, físciles; interestratificadas con capas muy delgadas de limolitas silíceas y limolitas cuarzofeldespáticas; su color es gris claro a amarillo. La meteorización de las arcillolitas es

moderada, en tanto que en las limolitas es leve.

El espesor que se observa de la secuencia es del orden de 120 m. El espesor total es del orden de 150 m, según Julivert (1963).

Su contacto con la Formación Guaduas (Ktgu) es fallado. Rasgo que se ilustra en el Perfil 1-1 del Plano 2.

Formación Guaduas (Ktgu). Está localizada en la parte baja de la montaña.

La litología general de esta formación está constituida por potentes paquetes de arcillolitas de color gris a pardo, físciles. Se encuentran algunos paquetes de areniscas cuarzosas y cuarzofeldespáticas. Se observan también eventuales estratos delgados y láminas de carbón. En el borde occidental del área hay paquetes potentes de arcillolitas abigarradas.

En general, los paquetes de arcillolitas de color gris a pardo, expuestas en la superficie del terreno están afectadas por meteorización, preferencialmente física, que produce la disgregación de la masa en pequeñas partículas. Las areniscas presentan una meteorización leve.

El espesor total de esta formación es del orden de 700 m. En el área aflora un espesor parcial de 280 m aproximadamente y parece corresponder a la parte media de la secuencia del Guaduas.

Esta formación, en el costado occidental, está recubierta por depósitos recientes.

Depósitos Recientes. Estas clases de depósitos son bastante frecuentes en el área de estudio y sus alrededores. Están representados por coluviones y flujos de detritos.

Coluviones (Qc). Se les encuentra ubicados en la parte baja del escarpe que existe en el costado oriental del área. En ese escarpe afloran estratos de las formaciones Arenisca Dura, Plaeners y Guaduas.

La litología del coluvión está ligada a las litologías de las rocas aflorantes en el escarpe; por tanto, el coluvión está constituido por grandes bloques, bloques, guijarros y gravas, todos de formas angulares a subangulares. Estos clastos son de arenisca cuarzosa, gris clara a amarilla, y están rodeados de una matriz limoarenosa de color gris

claro a amarillo, erodable, pero localmente, hacia el costado sureste, la matriz es arcillolimososa.

La parte superior de este depósito está recubierta por una capa de humus, producto de la meteorización de cenizas volcánicas; el espesor observado en el costado noreste del área, oscila entre 2.5 y 3.0 m.

El espesor total del coluvión en el sector nororiental del área es superior a 15.0 m.

La parte del coluvión ubicada en el costado sur del Barrio El Paraíso está en condición inestable por presencia de deslizamientos, reptamientos y flujos recientes. Dada la extensión superficial del deslizamiento, se le ha cartografiado como la unidad Coluvión Inestable(Qci). El detalle de sus características se puede consultar en el numeral 4.2.2

Flujos de Tierras (Qf). Esta clase de depósitos están localizados en terrenos aledaños a los cauces del drenaje actual, del costado oriental, como se aprecia en el Mapa Geológico Regional, en lo que respecta a la parte media del valle del Río Arzobispo.

Su litología está constituida por limos arcillosos y arcillas, grises, con frecuentes bloques, guijarros y gravas de areniscas y gravas de liditas silíceas.

El espesor de este depósito en las cañadas vecinas a la carretera Circunvalar es del orden de 8.0 m.

Rellenos Antrópicos (Qr). Se localizan en el costado noroeste del área cartografiada, sector del barrio Mariscal Sucre; allí en el pasado existieron explotaciones de arcilla que en fecha posterior al año 1974 se suspendieron y el terreno fue rellenado parcialmente.

4.1.2 Geología Estructural.

Este tramo del borde oriental de la Ciudad de Bogotá está ubicado sobre el flanco occidental del anticlinal de Bogotá que del Río San Francisco hacia el norte se encuentra en posición invertida, motivo por el cual los estratos de las formaciones Arenisca Dura, Plaeners y Guaduas están buzando hacia el noreste con inclinaciones que varían entre 20° y 40°, como se aprecia en el Mapa 2. Estas características son favorables desde el punto de vista de estabilidad de la ladera

Otra de los rasgos estructurales relevantes en el sector es la existencia de dos eventos de fallamiento. El más antiguo posee orientación noreste – suroeste y azimut de buzamiento hacia el noroeste; a este evento pertenece la Falla de

Bogotá, cuyo plano principal está localizada en el costado oriental del área cartografiada; esta falla es de tipo compresivo y parece ser inversa de acuerdo con lo que se visualiza en el Perfil 1-1 contenido en el Mapa 2, el plano de falla posee un buzamiento superior a 75° hacia el noroeste. Este plano de falla sirve de contacto entre las formaciones Plaeners, ubicada al oriente de la falla, y el Guaduas, localizada al occidente.

El evento de fallamiento más reciente está representado por varias fallas de rumbo, su orientación es de tendencia este – oeste y azimut de buzamiento hacia el sur; la inclinación del plano de falla es del orden de 75°. Como se aprecia en el Mapa 2, el sector donde se ubica el área de estudio está localizado en un bloque estructural limitado al norte y al sur por dos de estas fallas; la del costado sur, su plano principal ejerce control sobre el valle superior del Río Arzobispo.

Asociado a estos dos patrones de fallamiento se desarrollaron dos familias de diaclasas, sus características e incidencia sobre las características geotécnicas del sector serán detalladas en el numeral de Geología Local.

En lo que respecta a la eventual influencia sobre los procesos de inestabilidad del sector de actividad tectónica asociada a las fallas ,anteriormente descritas, no se existen reportes. Sin embargo, de acuerdo con la microzonificación sísmica de Bogotá (1997) el área en estudio se encuentra dentro de la zona sísmica de los cerros a la cual se le asigna una aceleración sísmica máxima igual a 0.24 y se recomienda estudios especiales de amplificación y estabilidad para la construcción de obras.

4.2 GEOLOGÍA LOCAL

Las características geológicas específicas del área de estudio, es decir del coluvión con los procesos de inestabilidad que lo afectan, como también de las rocas pertenecientes a la Formación Guaduas que afloran en el borde oriental, están contenidas en el Mapa Geológico Local (plano No. 3).

Las descripciones litológica y estructural, de interés para fines de la elaboración del modelo geológico para la realización de los análisis geotécnicos, se detallan a continuación.

4.2.1 Características Litológicas.

Las unidades litológicas que se encuentran aflorando en el sitio del estudio y en las zonas aledañas, son: la formación Guaduas (Ktgu) y

depósitos recientes, representados por el coluvión (Qc).

Formación Guaduas (Ktgu). Una parte de la secuencia de estratos que hacen parte de esta formación están expuestos en el escarpe que limita el área por el costado oriental; otra parte de la secuencia ubicada hacia el borde occidental está recubierta por la masa coluvial mencionados anteriormente.

La secuencia que aflora en el escarpe está conformada, de la parte alta hacia abajo, por las siguientes litologías:

Un paquete de areniscas cuarzosas, de color gris claro con impregnaciones de óxidos de hierro; los estratos son delgados y se observan intercalaciones frecuentes de láminas de arcillolita gris clara. El espesor de este paquete es de 6.0 m.

Inmediatamente debajo de las areniscas y hasta la base del escarpe se encuentra una secuencia potente de arcillolitas físciles, de color gris claro con algunas manchas moradas localizadas sobre los planos de diaclasa. Poseen un grado de meteorización III, de acuerdo con la clasificación de Dearman (1975); pero la meteorización predominante es física, por tanto, la superficie expuesta de la roca está disgregada en partícula tamaños grava, arena y limo, preferencialmente grava.

El espesor observable de esta secuencia es del orden de 25.0 m, pero de acuerdo con los resultados de la exploración del subsuelo, tanto geoelectrónica mediante dos perfiles tomográficos y cinco (5) sondeos por rotoperCUSión, esta secuencia continua debajo del coluvión. De acuerdo con los registros de los sondeos, se trata de arcillolitas limosas, de color gris a abigarradas que en los 2.0 m de espesor aledaños al contacto con el coluvión están bastante meteorizadas y su plasticidad es media a alta como consecuencia de la presencia del nivel freático en la superficie de contacto.

La cota a que el contacto coluvión-Guaduas fue intersecado en cada uno de los sondeos es la siguiente: Sondeo 1, 2671; Sondeo 2, 2675; Sondeo 3, 2678; Sondeo 4, 2678.5 y Sondeo 5, 2652: Como se observa en el Mapa 2, los cuatro primeros sondeos están ubicados al norte de la Circunvalar, el Sondeo 5 al sur.

Depósito coluvial (Qc). El desarrollo de esta clase de depósito de ladera está ligado a la presencia del escarpe de la Falla de Bogotá.

Con base en las observaciones de campo y lo encontrado en los sondeos exploratorios sea

definido su litología, así: está conformada por bloques, guijarros y gravas de arenisca cuarzosa de color gris claro a amarillo, algunos guijarros y gravas de arcillolitas limosas grises y gravas de liditas silíceas grises. Estos clastos poseen formas angulares. La matriz, en el sector de las viviendas del Barrio El Paraíso, es preferencialmente areno limosa a limosa en los 5.0 m superiores y de esta profundidad hacia abajo es arcillo limosa a arcillosa de color habano a gris claro. En los sectores central y occidental predominan los bloques de arenisca y la matriz es areno limosa a areno arcillosa. Al sur del área con viviendas la matriz, en general, es limo arcillosa a arcillosa de color habano; no obstante, localmente los 3.0 m superiores son limoarenosos, como ocurre en el sector del Sondeo 1 y sus alrededores, pero no se debe olvidar que a través del tiempo este sector ha sido reconformado en más de una ocasión. Es importante resaltar que, de acuerdo con lo reportado por el perforador, dentro del coluvión hay sectores bastante permeables, por tal motivo en algunos tramos perforados hubo pérdida continua del lodos de perforación; esto puede ser consecuencia de la ausencia de matriz o presencia de una matriz arenosa.

El espesor de este depósito, con base en la exploración geoelectrónica y mediante los sondeos, es bastante variable; de manera que en el sector norte, en el área construida, su espesor es del orden de 20.0 m, hacia el sur, en el área con problemas por inestabilidad, los espesores encontrados fueron: Sondeo 1, 8.8 m; Sondeo 2, 6.0 m; Sondeo 3, 12.9 m; Sondeo 4, 5.35 m y Sondeo 5, 15.8 m. Llama la atención el espesor encontrado en el Sondeo 5, ubicado al sur de la Circunvalar, con relación a los espesores encontrados en los Sondeos 1 y 3 localizados sobre el costado norte de la vía, como también la cota del contacto Guaduas- Coluvión. Y como muestra el Perfil Tomográfico 2-2, hacia el sureste hay un salto topográfico del contacto anteriormente mencionado. Las posibles explicaciones de este rasgo serán planteadas en el numeral 4.3.

Dentro del coluvión es necesario resaltar a nivel cartográfico la unidad Coluvión Inestable (Qci) que es un proceso de remoción en masa bastante antiguo, parece que en fecha anterior a 1950.

Su litología, como se mencionó anteriormente, está constituida por los mismos materiales que conforman el coluvión.

4.2.2 Características Estructurales.

Dentro del contexto de la geología local son destacable dos rasgos estructurales, estos son: el

escarpe de falla que limita el área por el costado oriental y las familias de discontinuidades que afectan la secuencia de arcillolitas y areniscas de la Formación Guaduas. Las principales característica de cada uno de estos rasgos se expone a continuación.

Escarpe de la falla de Bogotá. La geometría de esta estructura está controlada por una familia de diaclasas asociada a la Falla de Bogotá. Este escarpe tiene una altura de 55.0 m, longitud media de 190.0 m, orientación N-15°-W y su inclinación oscila entre 55° y 45° hacia el SW. En el siguiente numeral se precisa la familia de diaclasas que ejerce control sobre este escarpe.

Familias de discontinuidades. Las mediciones hechas en campo permitieron identificar tres familias principales de discontinuidades, estas discontinuidades son: la estratificación y dos familias de diaclasas, las cuales se detallan a continuación.

Estratificación. Como se mencionó en el numeral 4.2.1, los estratos predominantes son muy delgados a laminares. Los planos de estratificación poseen una orientación media N-31°-W y buzamiento de 28° hacia el NE.

Familias de diaclasas. Se identificaron dos familias principales de diaclasas; estas familias están muy correlacionadas con los dos patrones de fallas geológicas presentes en el sector. De esta manera la familia D-1 que posee una orientación e inclinación media de N-21°-W/ 75° SW está relacionado a la falla posiblemente inversas, conocida como la Falla de Bogotá. Esta familia ejerce control estructural sobre la orientación del escarpe descrito en el numeral 4.2.1. La familia D-2 tiene una orientación e inclinación media N-80°-E/ 76° SE; está muy relacionada a la falla de rumbo que ejerce control sobre el Río Arzobispo.

Las superficies de las diaclasas son lisas y están recubiertas por una película de óxidos de hierro; poseen abertura inferior a 2.0 mm; el espaciamiento para ambas familias es del orden de 5.0 cm; la continuidad es del orden de 1.0 m en el escarpe, en la superficie sin cobertura vegetal no se observa humedad a lo largo de estos planos; sin embargo, de acuerdo con la cota del nivel freático, medida en el Sondeo 1, es posible que se presente infiltraciones a lo largo de estos planos, de la cota 2670 hacia abajo, como consecuencia del espaciamiento estrecho que poseen, y la existencia de estratos de arenisca, intercalados entre las arcillolitas, lo cual permite plantear la presencia de permeabilidad en la masa rocosa y serían las diaclasas los caminos principales de acceso del agua subterránea hacia el sector con problemas de estabilidad.

Cambio brusco de espesor del coluvión. En lo que respecta al cambio brusco de espesor del coluvión y de la cota del contacto coluvión-arcillolitas meteorizadas, en el tramo de 80m de longitud, comprendido entre los Sondeos 1 y 3. El salto en la paleotopografía del sector puede estar asociado a una falla satélite de la que controla al Río Arzobispo o puede ser el resultado de un evento erosivo, por ejemplo una avalancha antigua, asociado a la dinámica del Río.

4.2.3 Geomorfología y procesos morfodinámicos

El análisis geomorfológico que se expone en este capítulo corresponde al área objeto de estudio. El análisis se hace con base en la génesis de los modelados que se observan en el terreno, los +procesos involucrados y las unidades geomorfológicas desarrolladas. El documento cartográfico correspondiente es el Mapa de Geología Local (Mapa 2), sobre el cual se han localizado las unidades y los Procesos.

Con base en este análisis, en el área se identificaron tres modelados principales, a saber: estructural, coluvial o torrencial, y por procesos morfodinámicos de remoción en masa y erosión concentrada. Las principales características de cada uno de ellos se exponen a continuación:

Modelado de origen estructural. De esta clase de modelado la unidad geomorfológica presente es el escarpe (Ed), que limita el área por el costado oriental. Este escarpe está controlado por la familia de diaclasas denominada D-1, descrita en el numeral 4.2.2. La pendiente de este escarpe oscila entre 45° y 55°. En los sectores donde no hay cobertura vegetal las arcillolitas se observan meteorizados por acción del proceso de desleimiento. Para mayor detalle consultar el numeral 4.2.1.

Modelado de origen coluvial o torrencial. En el desarrollo de este modelado ha tenido mucha influencia la presencia del escarpe y la existencia de las familias de diaclasas que afectan la masa rocosa con su alta densidad; como también el grado de meteorización de las rocas y la precipitación pluvial; todo lo cual ha facilitado el desprendimiento de fragmentos angulares de roca que progresivamente se acumularon en la base del escarpe. De esta manera se desarrolló la unidad geomorfológica coluvión (Qc).

Esta unidad está ubicada donde la inclinación de la ladera occidental de los Cerros Orientales disminuye su inclinación y el relieve adquiere una forma redondeada, de pendientes bajas, textura

de la superficie del terreno algo rugosa y con buen desarrollo de drenaje con presencia de cauces profundos de régimen intermitente. Esta unidad es la más extensa en el área de estudio, ocupa del orden de 8 ha; las laderas donde está aflorando tienen pendiente máxima de 35°. Sobre esta unidad está construido el Barrio El Paraíso

Modelados originados por procesos morfodinámicos. Los procesos morfodinámicos que afectan a algunos sectores del área básicamente son: movimientos de remoción en masa y erosión concentrada. Sus principales rasgos se exponen a continuación:

Movimientos de remoción en masa. Deslizamiento (Qci). Como se aprecia en el Mapa 3, el deslizamiento identificado como Qci presenta actividad importante y es el objeto central de este estudio. De acuerdo con versiones de habitantes del Barrio El Paraíso, que habitan en el sector desde hace más de 40 años, en el sitio actual del deslizamiento, antes de 1961 existió una pequeña laguna que por actividad antrópica, lentamente fue secada; de manera que en 1974 ya no existía. En la foto aérea C-1705 n° 102, de noviembre de 1976 (ver la Fig...), se aprecia el deslizamiento con abundantes señales de actividad. Posterior a 1976 la vía Circunvalar fue construida, y en un tramo de aproximadamente 200 m de longitud, fue elaborada sobre la masa inestable.

Este deslizamiento se desarrolló sobre el coluvión, en un área de aproximadamente 4.0 Ha. El sector afectado, a la fecha, es el resultado de un proceso complejo de inestabilidad con presencia de fallas rotacionales profundas, de tendencia retrogresiva, cuyos desplazamientos han generado varios pequeños escarpes, con altura media del orden de 6.0 m, por el desplazamiento escalonado de las rebanadas inestables, como se aprecia en el Mapa 3.

De acuerdo con los resultados del Sondeo 1, el espesor de la masa inestable en la Vía Circunvalar es del orden de 9.0 m y el nivel freático está 2.0 m debajo de la superficie del terreno. Se mantiene activo, en parte, por la presencia de una extensa superficie de desconfinamiento, que está representada por el valle profundo de la quebrada con orientación este-oeste, que está localizada, en el límite del área, al sur de la Circunvalar; además por la presencia, en forma abundante, de agua subsuperficial en la superficie de contacto coluvión-arcillolitas meteorizadas.

En este deslizamiento, la rebanada ubicada en el sector del muro de gaviones del costado oeste de la Circunvalar está bastante activa en este momento; los empujes han deformado el muro y destruido la cuneta interna de la vía y la caja de

una alcantarilla. Su actividad está asociada a la presencia de aguas servidas provenientes de una alcantarilla existente en la intersección de la Circunvalar con la vía de acceso al Barrio El Paraíso. Por tanto, se debe proceder a hacer las reparaciones de dicha alcantarilla.

Flujo de tierra y lodos (Qf). Se localiza sobre la masa del deslizamiento, y es consecuencia de la saturación extrema del material inestable, en sectores localizados, por vertimientos de aguas servidas. Este flujo es reciente y borra algunos de los pequeños escarpes producto del deslizamiento.

Reptamientos (Re). Se han desarrollado sobre la masa inestable y en algunas de las laderas en coluvión ubicadas al noreste de la masa inestable.

Los fisuramientos menores que presentan algunas viviendas podrían estar relacionados a este proceso.

Los flujos de tierras y reptamientos son movimientos superficiales, es decir involucran espesores de material hacia profundidad, inferiores a 2m.

Erosión concentrada. Este proceso se ha desarrollado, en forma importante, sobre el escarpe (Ed) y, localmente, sobre el coluvión (Qc), como se aprecia en el Mapa 3. Se trata, básicamente, de erosión laminar y de surcos. Los surcos presentan profundidad media de 10.0 cm y espaciamiento variable entre 10.0 cm y 30.0 cm. La superficie del escarpe afectada por este proceso es del orden de 150m². Su desarrollo y actividad actual ha sido posible por la ausencia de cobertura vegetal.

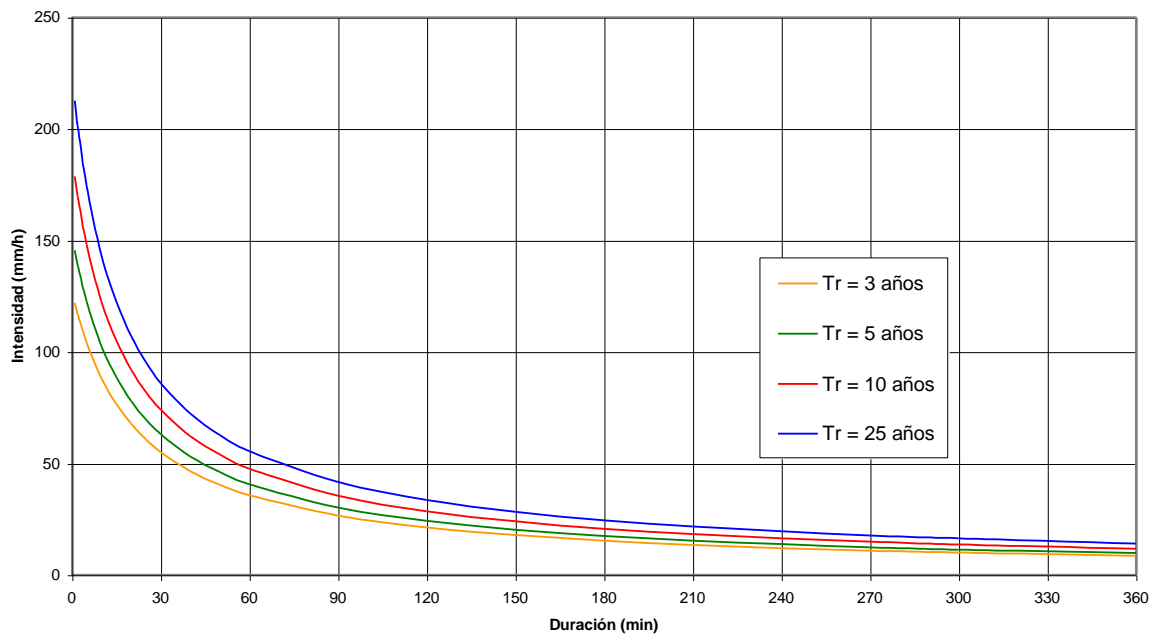
La otra unidad afectada, en forma local, es el Coluvión inestable (Qci); específicamente en dos lugares: el primero está ubicado en el costado suroriental del área, en el talud norte de la Circunvalar, allí hay erosión laminar y surcos. El segundo, el más importante, está localizado en el sitio de entrega de las aguas provenientes de tres cañadas a la quebrada localizadas en la parte terminal, por el sur, del deslizamiento. En esos sitios, como se muestra en el Mapa 3, hay erosión laminar, surcos y cárcavas que son consecuencia del proceso de profundización de cauce debido al cambio del nivel de base de esos cauces con relación al de la quebrada de orientación este-oeste que recibe sus aguas; este cambio de nivel es del orden de 14.0 m. Este proceso se debe controlar a corto plazo ya que su dinámica puede contribuir a acelerar la velocidad del deslizamiento (Qci).

5 ESTUDIO HIDROLÓGICO

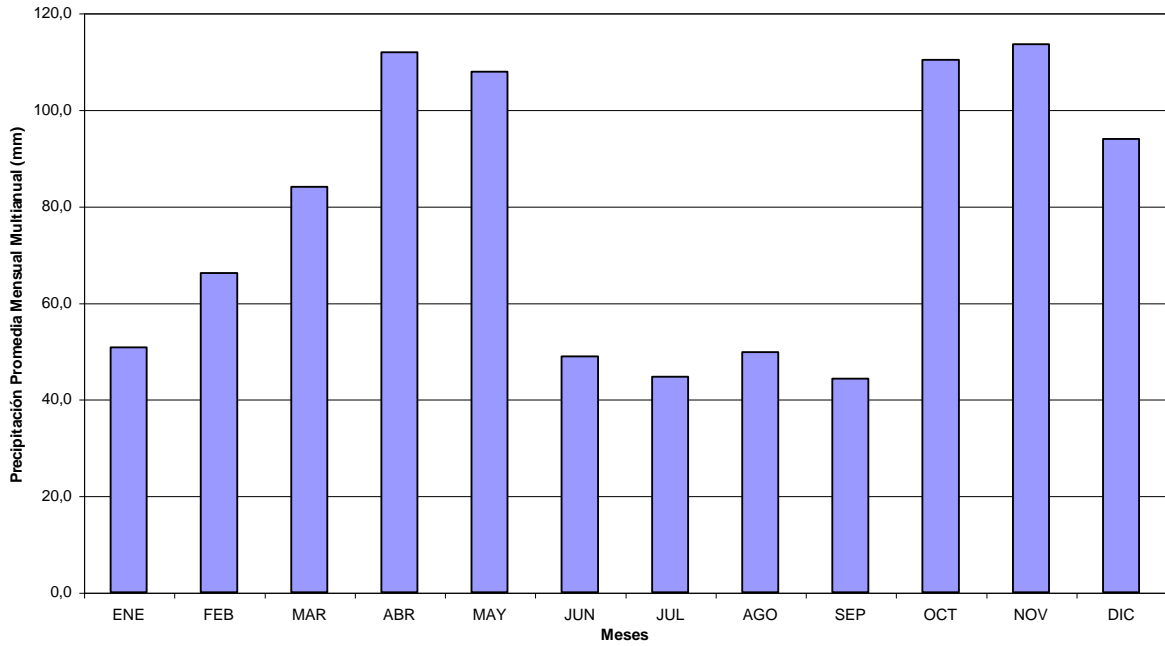
5.1 INFORMACIÓN BÁSICA

Para la estimación de los caudales de escorrentía directa en la zona del proyecto, se utilizó información secundaria representada en las funciones intensidad-duración-frecuencia, IDF, suministradas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB, para el nodo: Oeste: 1.002.500, Norte: 1.003.500 ubicado dentro de la zona del estudio, basadas en el estudio de caracterización de tormentas de la Sabana de Bogotá, realizado por la firma IRH LTDA. Dichas funciones se presentan en la figura No. 5.1. Además, con la cartografía general, adquirida en el IGAC, planchas J-62 a escala 1: 2000 y 228-III-C-3 a escala 1: 10.000 se definió la cuenca que incluye a la zona del estudio y se obtuvieron las características de la misma.

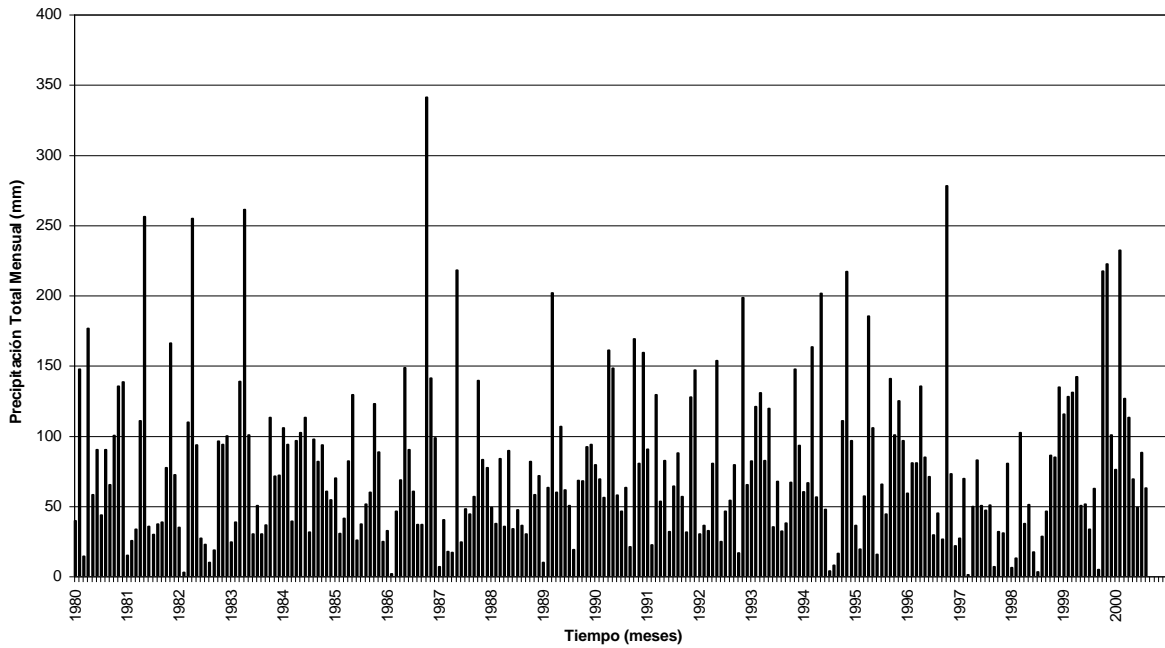
Con datos hidroclimatológicos provenientes de la estación pluviométrica San Diego, código 2120023, operada por la EAAB-ESP, se determinaron los valores promedio de precipitación, según se presenta en la tabla No. A del anexo 2, analizando el período 1980 - 2000. El régimen de precipitación para la zona es de característica bimodal, con mayores precipitaciones en los meses abril - mayo y octubre - diciembre. Para la estación se observa un nivel de exceso y un alto contenido de humedad del suelo a lo largo de 11 meses. La precipitación total anual promedio es de 904 mm, mientras que la promedio mensual es de 77,1 mm. En la figura 5.2 se presenta la serie de tiempo de la precipitación total mensual multianual para el período analizado, y en figura No. 5.3 se presenta el histograma de precipitación media total mensual.



Gráfica 5.1. Función de Intensidad -Duración Frecuencia. Nodo 1.002.500 W, 1.003.500 N; Barrio El Paraíso. Fuente EAAB-ESP.



Gráfica 5.2. Serie de tiempo. Precipitación total mensual (mm), Estación San Diego, Bogotá, 1980-2000.



Gráfica 5.3. Histograma de precipitación Total Mensual Multianual (mm), Estación San Diego, Bogotá, 1980-2000.

En el barrio El Paraíso existe alcantarillado legal, de tipo combinado; sin embargo, algunas de las viviendas ubicadas en la parte baja se encuentran por debajo de la cota mínima de dicho sistema, por lo cual, sus aguas residuales son vertidas directamente al talud

5.2 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

La zona del estudio se encuentra ubicada dentro de una cuenca afluente del río Arzobispo, la cual, hasta la zona inferior del estudio, tiene un área de 0,29 km², una longitud del cauce principal de 1,20 km y una pendiente media S=35,5%. La quebrada en su parte alta presenta discontinuidades en el cauce, presentándose diferentes sitios de infiltración y afloramientos, debido a las características geológicas de la zona. Los caudales estimados en la parte baja de la quebrada, con el método de Chow (1964), dentro de la zona del estudio se presentan a continuación y en el cuadro No. 5.1:

Período de Retorno Tr (años)	3	5	10
Caudal Q(m ³ /s)	0.20	0.27	0.41

Cuadro No. 5.1. Caudales de la quebrada afluente del Río Arzobispo.

Los caudales de la zona de estudio, correspondiente a una subcuenca inferior de la anteriormente descrita, no presentan un cauce definido sino que corresponde a escorrentía superficial y aguas abajo de la avenida Circunvalar se concentran algunos pequeños cauces, producto del paso por alcantarillas bajo dicha vía. Esta subcuenca presenta un área de 0,08 km², una pendiente del 35%, y recorre la zona del barrio el Paraíso. El caudal total generado por escorrentía en esta zona se presenta a continuación y en el cuadro No. 5.2:

Período de Retorno Tr (años)	3	5	10
Caudal Q(m ³ /s)	0.10	0.13	0.20

Cuadro No. 5.2. Caudales de escorrentía en la subcuenca donde se ubica el barrio El Paraíso.

5.3 DIAGNÓSTICO

Es evidente la permanente recarga de agua en la zona, desde la parte alta, como consecuencia de las características geológicas y morfológicas. La presencia de cauces interrumpidos es evidencia de zonas de infiltración.

La zona correspondiente al área bajo estudio en el barrio El Paraíso, presenta mayores caudales relativos al área en general, debido a la presencia de una zona urbanizada.

La ausencia de acueducto en las viviendas de la zona inferior del barrio, permitiendo el vertido incontrolado de aguas negras hacia el talud inferior, puede contribuir a la recarga del material.

6 ESTUDIO GEOTÉCNICO

6.1 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

6.1.1 Exploración indirecta (geoeléctrica)

Durante los días 1 y 5 de Agosto del presente año, se realizaron 2 Secciones Tomográficas de Resistividad Eléctrica, ERT, la zona verde frente al barrio El Paraíso, ubicada en la parte oriental de la ciudad de Bogotá, sobre el pie del Cerro de Monserrate.

El objeto de este estudio es determinar la distribución de unidades litológicas del subsuelo, para establecer su geometría, probable litología y continuidad. Particularmente se intenta definir espesores de materiales no consolidados que suprayacen la roca fresca en el sitio de interés.

Con el Método ERT se pueden ver las variaciones tanto verticales como horizontales de la resistividad eléctrica asociadas con cambios litológicos. El estudio geológico, junto con los rasgos morfológicos, determina un control indispensable a los resultados geoeléctricos.

Las conclusiones que se obtienen del estudio, corresponden a modelos físico-matemáticos, ajustados a los datos obtenidos en campo, y controlados por las observaciones geológicas.

Generalidades: Los métodos de Tomografía de Resistividad Eléctrica, ERT, se han diseñado para poder observar cambios de resistividad, asociados a contrastes litológicos en áreas de relativa complejidad. Un gran número de medidas, permite explorar a diferentes niveles de profundidad y sobre un continuo lateral, cambios de potencial eléctrico asociados a fuentes puntuales de corriente, cuando se encuentran presentes elementos de diferente resistividad.

Los métodos ERT permiten entonces obtener cortes verticales o secciones de elementos de resistividad, los cuales se han de interpretar como producidos por variaciones de litología que producen variación de parámetros eléctricos en superficie y que al interpretarlos permiten solucionar problemas de interés en geotecnia, ambiental, minería u otras aplicaciones.

El Método Geoeléctrico de Tomografía: La resistividad eléctrica de las rocas superficiales, 0-5

Km, depende en general de la cantidad y geometría de los poros presentes en ellas, así como del tipo de fluido contenido de dichos poros. Existen relaciones entre estos factores y la litología, notándose que a mayor compactación, mayor resistividad. De este modo, una caliza posee mayor resistividad que una arenisca, y dentro de éstas, las de grano fino tienen menor resistividad que las de grano grueso. Las arcillas constituyen un caso especial de baja resistividad, debido más a su distribución cristalina y composición atómica, que a su porosidad neta.

Si las distintas unidades litológicas se encuentran dispuestas en forma de capas, paralelas a la superficie, puede existir una equivalencia eléctrica y en tal caso, el potencial medido en superficie, producido por electrodos puntuales se puede expresar en función de las resistividades y espesores de cada unidad. Esta hipótesis permite resolver el problema inverso en geoelectricidad mediante los denominados Sondeos Eléctrico Verticales o SEV. Sin embargo, cuando se presentan variaciones laterales de resistividad no es apropiada la suposición de capas y hay que acudir a modelos de pequeños bloques, que se resuelve con ayuda de elementos o diferencias finitas y el número de observaciones para resolver el problema aumenta considerablemente, proporcional al número de bloques esperados para el modelo, se habla en este caso de Sondeo Eléctrico Continuo, SEC o **tomografía eléctrica**.

Las medidas que se realizan en superficie son de resistencia eléctrica para variadas posiciones de electrodos puntuales de corriente y voltaje, las cuales se transforman luego en resistividades mediante multiplicaciones por factores de geometría.

La figura 6.1 muestra la distribución de electrodos para un sondeo continuo lineal que emplea la configuración Wenner (igual distancia entre electrodos) para la toma de información. La línea de electrodos esta compuesta por 20 estacas espaciadas una distancia $a = 1 \text{ m}$ entre sí. Como se aprecia en la Figura, cada asterisco representa una lectura de corriente y potencial, por tanto un valor de resistividad aparente. La secuencia se realiza por niveles de datos, así para el primer nivel, la separación entre electrodos es de 1 m y se tienen un total de 17 lecturas que son tomadas generalmente de izquierda a derecha. Culminada la toma de información en el primer nivel, se prepara el equipo para realizar las lecturas del

segundo nivel, donde la separación entre electrodos debe ser igual a $2a$ y se tienen un total de **14** lecturas. El proceso se realiza nivel por nivel hasta que el número de electrodos colocados así lo permitan. Se debe notar que cada electrodo sirve como emisor de corriente o medidor de potencial, según la geometría de electrodos dispuesta. Por ejemplo, en la primera lectura del primer nivel, los electrodos de corriente son los #1 y #4, y los de potencial los #2 y #3; mientras que para la primera lectura del segundo nivel los de corriente son los electrodos #1 y #7, y los de potencial los #3 y #5. A medida que se avanza sobre un mismo nivel de datos, el electrodo que sirvió como emisor de corriente en la lectura

precedente se utiliza para medir potencial en la lectura siguiente.

La disposición geométrica para los demás tipos de arreglos se entiende con facilidad en la figura 6.2, si se tiene presente la separación entre electrodos y el nivel de datos sobre el cual se realiza la toma de información.

El avance tecnológico respecto a los equipos de georresistividad unido a las aplicaciones de computador han ayudado a que este método de modelación sea empleado satisfactoriamente en estudios geofísicos y de ingeniería.

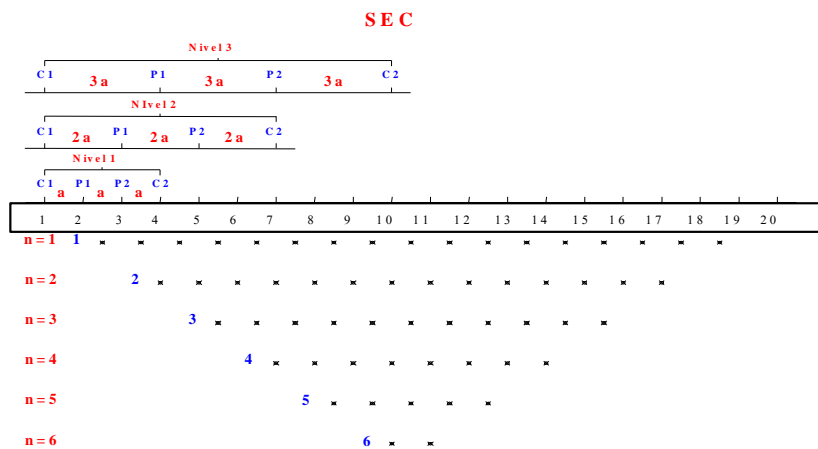


Figura 6.1. Arreglo lineal de electrodos (SEC), con configuración de electrodos Wenner.

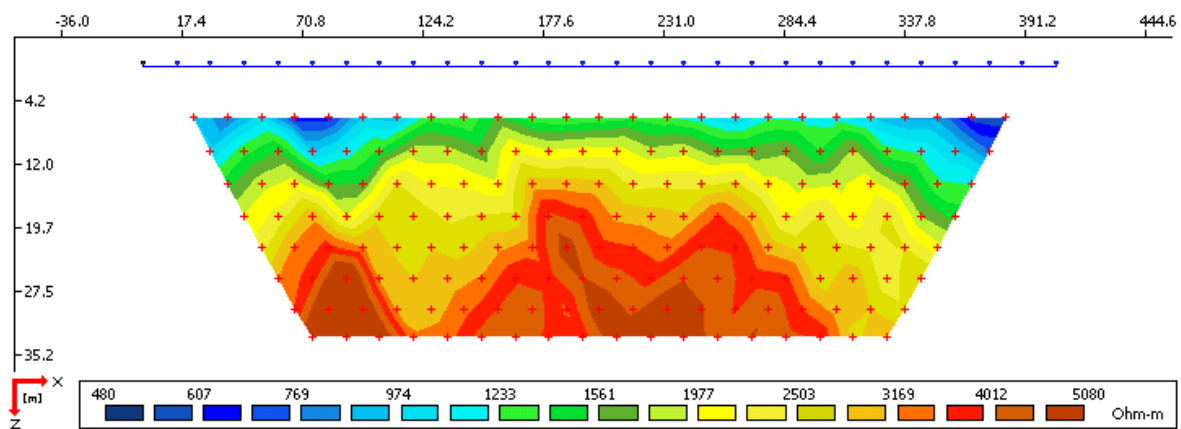


Figura 6.2 Ejemplo de una pseudosección de resistividades aparentes, los puntos rojos representan los datos medidos.

Con el juego de puntos obtenido se efectúa una interpolación de las resistividades aparentes, consiguiendo así la pseudosección de

resistividades medidas (figura 6.2). Si bien esta imagen no representa la geología real del subsuelo, si es una buena aproximación de ella.

Este mapa de resistividades depende del tipo de arreglo y de la distribución real de resistividades, y sirve como guía para el análisis interpretativo de los datos tomados, y para determinar que dato es o no confiable. En los sondeos geoelectrónicos, las fuentes de corriente son puntuales y el flujo se da en el espacio tridimensional, lo cual implica que el análisis se deba también hacer en tres dimensiones. Sin embargo, cuando existe una dirección en la cual no se presentan cambios en la resistividad, se realizan algunas operaciones matemáticas sobre la ecuación de campo, de tal forma que se permita el análisis en la sección de resistividad variable.

Interpretación de un mapa de resistividades:

Para interpretar un mapa de resistividades, solo se necesita conocer los valores típicos de resistividad de los materiales más comunes del subsuelo y un conocimiento básico de la geología del área en estudio.

La Práctica: Para el presente estudio se utilizó un equipo digital de multicable y cuarenta electrodos, que posee una caja central de conmutación. Los electrodos estaban separados cada dos metros (2 m), con lo cual la longitud total del tendido era de 80 m, que dada las condiciones topográficas del terreno constituía un máximo posible de apertura con buena resolución. Ver fotografía 6.1.



Foto No. 6.1. Sistema de adquisición de información, en el sitio central de la sección número 2.

Se realizaron dos secciones, la primera alrededor del punto de coordenadas geográficas:

Latitud 4° 37.762' Norte Longitud 74° 03.795' Oeste

La segunda, con coordenadas del punto central

Latitud 4° 37.711' Norte Longitud 74° 03.773 Oeste

Análisis de los resultados de las secciones tomográficas

Metodología: Los datos instrumentales, que se van almacenado en archivos con extensión .dat, corresponden a voltajes y corrientes, los cuales se multiplican por factores geométricos, que dependen de la posición relativa de los electrodos, para poder obtener valores de resistividad aparente para cada posición y nivel de datos. Los datos de resistividad y posición alimentan un programa de inversión que mediante diferencias finitas, permite calcular un modelo que produzca datos de resistividad aparente sobre una pseudosección, que comparados que comparados con los obtenidos en campo, haga mínima la diferencia. De este modo, para cada sección tomográfica se van a mostrar tres cortes: el primero corresponde a una pseudo sección de resistividades aparentes observadas, el segundo una pseudo sección de resistividades aparentes producidas por el modelo de resistividades verdaderas mostradas en el tercer corte o perfil. Se debe notar que el programa utiliza elementos cuyo espesor es menor en los niveles superiores, y por lo tanto, la resolución disminuye con la profundidad. Las escalas verticales están dadas en metros, son lineales, pero las marcas son proporcionales a los tamaños de las celdas o elementos. Los valores de resistividad vienen dados en Ohmios por metro (Ohm-m)

Hay que anotar que a los datos de entrada, se les puede adicionar la información topográfica de la línea, pero los modelos siempre muestran la distribución de resistividades, a partir de una superficie corregida

Modelos de resistividad obtenidos: A continuación se muestran los modelos de mejor ajuste obtenidos para las dos secciones .

Interpretación litológica de las secciones tomográficas: Basados en datos de laboratorio y múltiples medidas en afloramientos de la Sabana, se puede establecer la siguiente tabla de correlaciones de resistividad eléctrica y litología, para los valores de los modelos obtenidos en las dos tomografías.

Establecidos estos valores y con el control de una perforación proporcionada por el contratista, se pueden establecer las siguientes consideraciones:

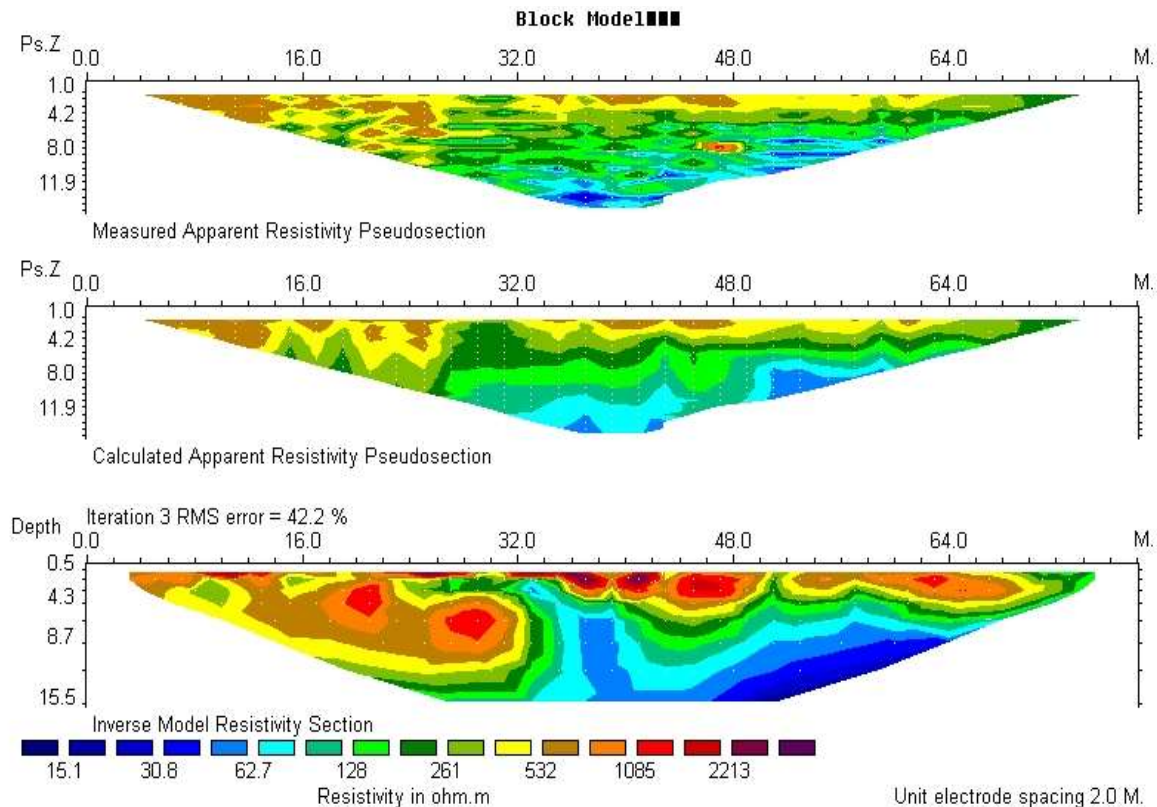
Para la sección 1, realizada en la parte más oriental y pendiente del área de estudio, los valores de resistividad del subsuelo varían entre unos 12 y 2500 Ohm-m.

Resistividad probable	Litología
12 – 65	Arcillas o rocas arcillolíticas
70 – 120	Unidades limosas
130 – 400	Arenas o aluviones en matriz arcillosa
450 – 1500	Arenas y gravas
>2000	Aluviones gruesos y bloques

Cuadro No. 6.1. Interpretación tomográfica

En un punto entre estacas 26 y 27 (52 – 54 m de la sección) se realizó una perforación de control, encontrándose roca arcillolita a una profundidad del orden de 9 m, lo que implica que la curva de 50 Ohm-m (de azul medio a intenso) corresponde a un contacto de arcillolita con sedimentos suprayacentes.

Esto implica, que bajo la sección 1, existe roca arcillolítica de la Formación Guaduas, que se aprecia en la parte sur de la sección y seguramente está inclinada o buzando hacia el noreste.



Inversion Completed

Figura No. 6.3. Sección tomográfica No. 1, del corte A-A`

Alrededor de la estaca 27, la arcillolita se superficializa hacia el sur y profundiza hacia el norte, zona mas escarpada.

Los valores más altos de resistividad se encuentran , en la parte central de la sección, 36 – 40 m, con valores de cota cercano a los 2680 m. Esto sugiere que hacia esta zona se encuentran los bloques o aluviones con mayor tamaño.

Con relación a la sección 2, realizada unos 60 m al sur oeste de la anterior, y con punto central 5 m por debajo de la cota del punto central de sección 1, se observa una distribución de valores de resistividad que corrobora el modelo litológico del área de estudio.

En esta sección los rangos de resistividad son parecidos a la anterior, pero con valores un poco mas bajos, desde 10 hasta 1800 Ohm-m. Lo cual

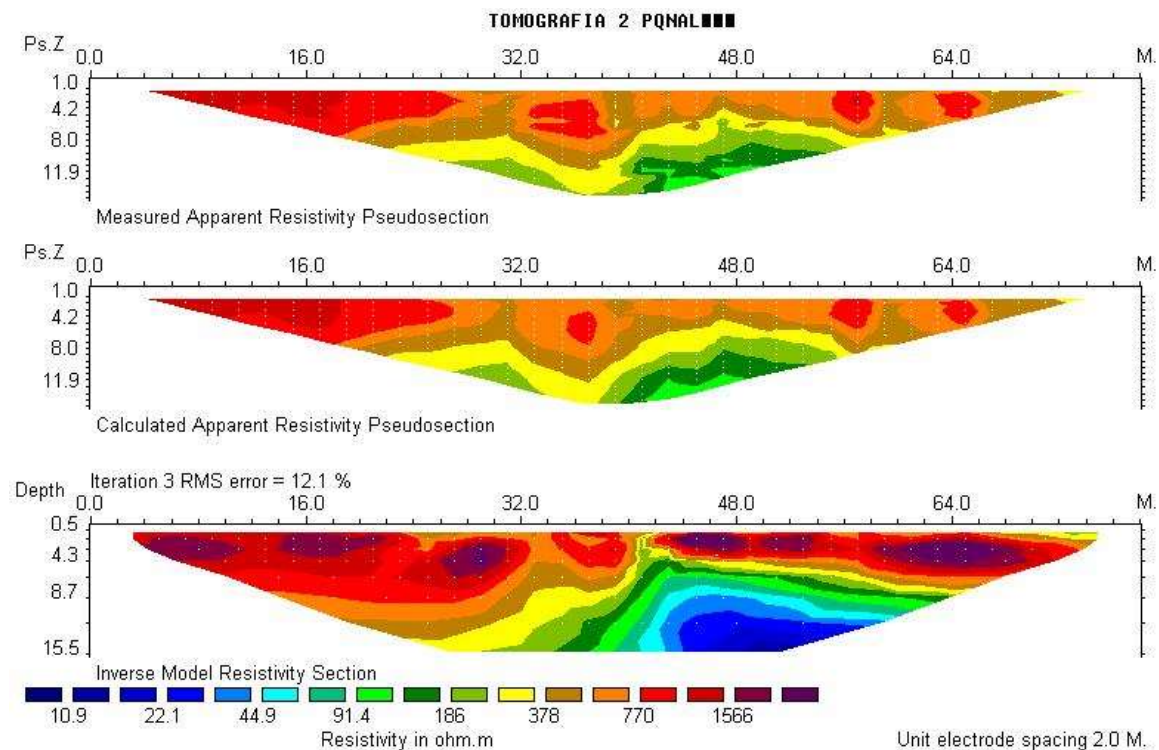
puede indicar en principio, unidades con mayor saturación hídrica.

En la parte central de la sección, entre 42 y 46 m, desde el extremo norte, se observa que a profundidades de unos 9 m estaría la arcillolita (color azul intenso), pero que al contrario de la sección anterior, no se superficializa hacia el extremo sur.

Hacia la parte norte de la sección se observa un cambio abrupto en la continuidad de esta unidad, lo cual puede deberse a la presencia de una falla. Los valores de sedimentos superficiales, en general, sugieren un mayor tamaño de los cantos, en la relación con la sección 1, lo cual era de esperar.

Conclusiones y recomendaciones: Del estudio de Tomografía de Resistividad Eléctrica, realizado en el barrio “El Paraíso”, para ver la distribución y geometría de sedimentos no consolidados, se concluye:

En el subsuelo del área de estudio los valores de resistividad eléctrica, por debajo de los efectos superficiales, varían entre 10 y 2500 Ohm - m, típicos de secuencias sedimentarias no consolidadas que incluyen coluviones, gravas y arenas en matriz arcillosa, suprayaciendo rocas arcillolíticas (muy posiblemente de la Formación Guaduas)



Inversion Completed

Figura No. 6.4. Sección tomográfica No. 2, del corte B-B`

La unidad inferior o basal que se encontró en todo el sector, posee resistividad eléctrica entre 15 y 60 Ohm-m, característica de una roca fresca de composición arcillosa.

El espesor de los sedimentos que suprayacen la roca es, en la parte central de las secciones realizadas, del orden de unos 9 m, hacia la parte

norte del área este espesor es mayor y el método no permitió ver su base.

Un cambio abrupto a la profundidad de la roca, observado en la sección 2, sugiere la presencia de una falla.

Coluviones reposando sobre unidades arcillosas, en zonas de altas pendientes y con posible presencia de fallas, constituyen un sistema de alta movilidad.

6.1.2 Exploración directa

Una vez finalizada la exploración geofísica, se ejecutaron 5 perforaciones mecánicas, 3 apiques y una trinchera. Mediante esta exploración se ajustó la interpretación geofísica; se establecieron los tipos de material presente, su espesor y profundidad; se identificó la profundidad de la roca basal y del nivel freático; se recuperaron muestras representativas de cada uno de los estratos y se practicaron ensayos en campo.

La ubicación de las perforaciones, trinchera y apiques efectuados se ilustra en la figura No 6.5.

6.1.3 Ensayos In-Situ y de laboratorio

En campo se llevaron a cabo ensayos de penetración estándar SPT, para el cual se consideró como rechazo cuando para 50 golpes con el martillo de 140 libras la cuchara no alcanzaba a penetrar 15.0 cm o se observaba rebote del martillo sobre el golpeador; y de

resistencia a la penetración inalterada RPI. Los resultados de estos análisis se encuentran consignados en los perfiles unitarios de exploración, anexo 3.

De las muestras recuperadas durante la exploración geotécnica se seleccionaron las más representativas, a las cuales se les practicaron, en laboratorio, los siguientes ensayos:

De clasificación y caracterización:

- 25 humedades naturales
- 15 límites de Atterberg
- 4 gradaciones
- 13 lavados sobre tamiz No. 200
- 1 peso unitario

De caracterización mecánica:

- 3 cortes directos

Los resultados de estos ensayos se encuentran consignados en el cuadro No. 6.2 y en el anexo 4, resultados de ensayos de laboratorio.

PERFORACION	S-1				S-2				S-3	
	2-3	5	6	10	2-3	4-5	8	10	3-4	5
MUESTRA	1.40-2.95	6.40-6.80	8.50-8.55	11.00-13.00	2.10-2.55	3.00-3.75	8.50-8.95	9.00-10.00	2.10-4.25	6.50-6.95
PROFUNDIDAD [m]										
HUMEDAD NATURAL w [%]	11,0	22,5	16,0	9,0	22,6	23,3	15,7	11,2	20,5	13,1
PESO UNITARIO γ_s [Ton/m ³]										
PESO UNITARIO SECO γ_d [Ton/m ³]										
LIMITE LIQUIDO		55,1		38,7	46,4		53,5	36,5		34,2
LIMITE PLASTICO		20,1		17,3	22,1		23,0	18,6		18,8
INDICE DE PLASTICIDAD		35,0		21,4	24,3		30,5	17,9		15,4
INDICE DE CONSISTENCIA		0,931		1,388	0,979		1,240	1,413		1,370
INDICE DE LIQUIDEZ		0,069		-0,388	0,021		-0,240	-0,413		-0,370
CLASIFICACION U.S.C.S.		CH		CL	CL		CH	CL		CL
% GRAVAS		22,7			14,0	17,2			42,5	
% ARENAS		46,0			25,0	40,9			46,6	
% FINOS	20,3	31,4			61,0	41,9			10,9	
c [Kg/cm ²]										
ϕ										

Cuadro No. 6.2. Cuadro resumen de resultados de laboratorio

PERFORACION	S-3		S-4A				S-5			
	9	1	2	4		8-9-10-11	12-13-14-15	15	17	
MUESTRA	12.00-13.00	1.00-1.45	3.10-3.55	2.80-6.25	7.70-7.80	4.05-6.70	6.70-12.50	11.00-12.00	14.00-16.00	16.20-16.40
PROFUNDIDAD [m]										
HUMEDAD NATURAL w [%]	5,5	10,8	14,2	18,2		20,9	23,0	26,7	27,2	
PESO UNITARIO γ_i [Ton/m ³]					2,29					2,09
PESO UNITARIO SECO γ_d [Ton/m ³]					2,06					1,70
LIMITE LIQUIDO	39,50	46,1		60,1		48,1		29,7		
LIMITE PLASTICO	13,6	11,8		14,1		15,5		14,7		
INDICE DE PLASTICIDAD	25,9	34,3		46,0		32,6		15,0		
INDICE DE CONSISTENCIA	1,312	1,029		0,911		0,834		0,200		
INDICE DE LIQUIDEZ	-0,312	-0,029		0,089		0,166		0,800		
CLASIFICACION U.S.C.S.	CL	CL		CH		CL		CL		
% GRAVAS										
% ARENAS										
% FINOS			39,5			20,3	36,1		24,4	
c [Kg/cm ²]					0,10					0,16
ϕ					17°					22°

PERFORACION	AP-1		AP-2			AP-3		
	2	3	2	3	4	2	3	4
MUESTRA	1.20-1.50	2.00-2.20	1.40-1.70	2.70-3.00	3.10-3.50	1.50-1.80	1.90-2.00	2.50-2.80
PROFUNDIDAD [m]								
HUMEDAD NATURAL w [%]	41,8	10,2	41,1	27,0	17,8	27,6		13,3
PESO UNITARIO γ_i [Ton/m ³]							1,47	
PESO UNITARIO SECO γ_d [Ton/m ³]							1,03	
LIMITE LIQUIDO	55,4		66,0	47,5		46,4		
LIMITE PLASTICO	23,6		19,8	15,0		18,0		
INDICE DE PLASTICIDAD	31,8		46,2	32,5		28,4		
INDICE DE CONSISTENCIA	0,428		0,539	0,631		0,662		
INDICE DE LIQUIDEZ	0,572		0,461	0,369		0,338		
CLASIFICACION U.S.C.S.	CH		CH	CL		CL		
% GRAVAS								
% ARENAS								
% FINOS	51,3	30,7		74,3	40,1			49,7
c [Kg/cm ²]							0,075	
ϕ							31°	

Cuadro No. 6.2. Cuadro resumen de resultados de laboratorio (continuación)

6.2 PERFIL DEL SUBSUELO DE LA ZONA EN ESTUDIO

6.2.1 Estratificación

Con base en la exploración descrita en el numeral anterior, se estableció para cada una de las perforaciones el siguiente perfil:

Perforación 1.

Profundidad	Descripción
0.00 - 1.00	Carpeta vegetal y relleno, limo orgánico con fragmentos de arenisca y basuras.
1.00 - 3.50	Relleno, limo arenoso habano carmelito con fragmentos de arenisca, húmedo y de compacidad baja.
3.50 - 7.70	Arcilla limosa carmelita con gravas de arenisca, húmeda de compacidad baja. A 4.50 m se presentan filtraciones de agua.
7.70 - 9.0	Suelo residual. En 8.30 m se presenta pérdida total de agua.
9.00 - 13.10	Arcillolita gris con tonos violetas, plasticidad media y consistencia dura a muy dura.

Cuadro No. 6.3. Perfil perforación 1.

Perforación 2.

Profundidad	Descripción
0.00 - 0.60	Limo arcilloso gris carmelito con algunos fragmentos de arenisca.
0.60 - 6.00	Fragmentos y bloques de arenisca en matriz arcillo-limosa con algo de arena fina, humedad media y compacidad media.
6.00 - 8.50	Suelo residual
8.50 - 11.00	Arcillolita gris con tonos violetas, de plasticidad alta y consistencia dura a muy dura.

Cuadro No. 6.4. Perfil perforación 2.

Perforación 3.

Profundidad	Descripción
0.00 - 3.00	Pastos y raíces, fragmentos de arenisca y algunos desechos de construcción en matriz de limo orgánico negruzco húmedo.
3.00 - 6.50	Fragmentos de arenisca y arcillolita en matriz areno-limosa habana amarillenta húmeda de compacidad baja.
6.50 - 7.00	Arcilla limosa gris algo verdosa de baja plasticidad.
7.00 - 8.65	Fragmentos de arcillolita y arenisca en matriz arcillo-limosa habana grisácea. Se presenta pérdida de agua a 8.00 m.
8.65 - 13.00	Fragmentos de arenisca en matriz arcillosa habana de consistencia blanda.
13.00 - 15.00	Arcillolita gris con tonos violetas.

Cuadro No. 6.5. Perfil perforación 3.

Perforación 4.

Profundidad	Descripción
0.00-1.00	Relleno de baja compacidad. Fragmentos y guijarros en matriz limosa gris oscura.
1.00 - 5.30	Coluvión. Fragmentos y bloques de arenisca en matriz arcillo-limosa gris habana, con manchas de oxidación y compacidad media a baja.
5.30 - 10.0	Arcillolita limosa gris con tonos violeta.

Cuadro No. 6.6. Perfil perforación 4.

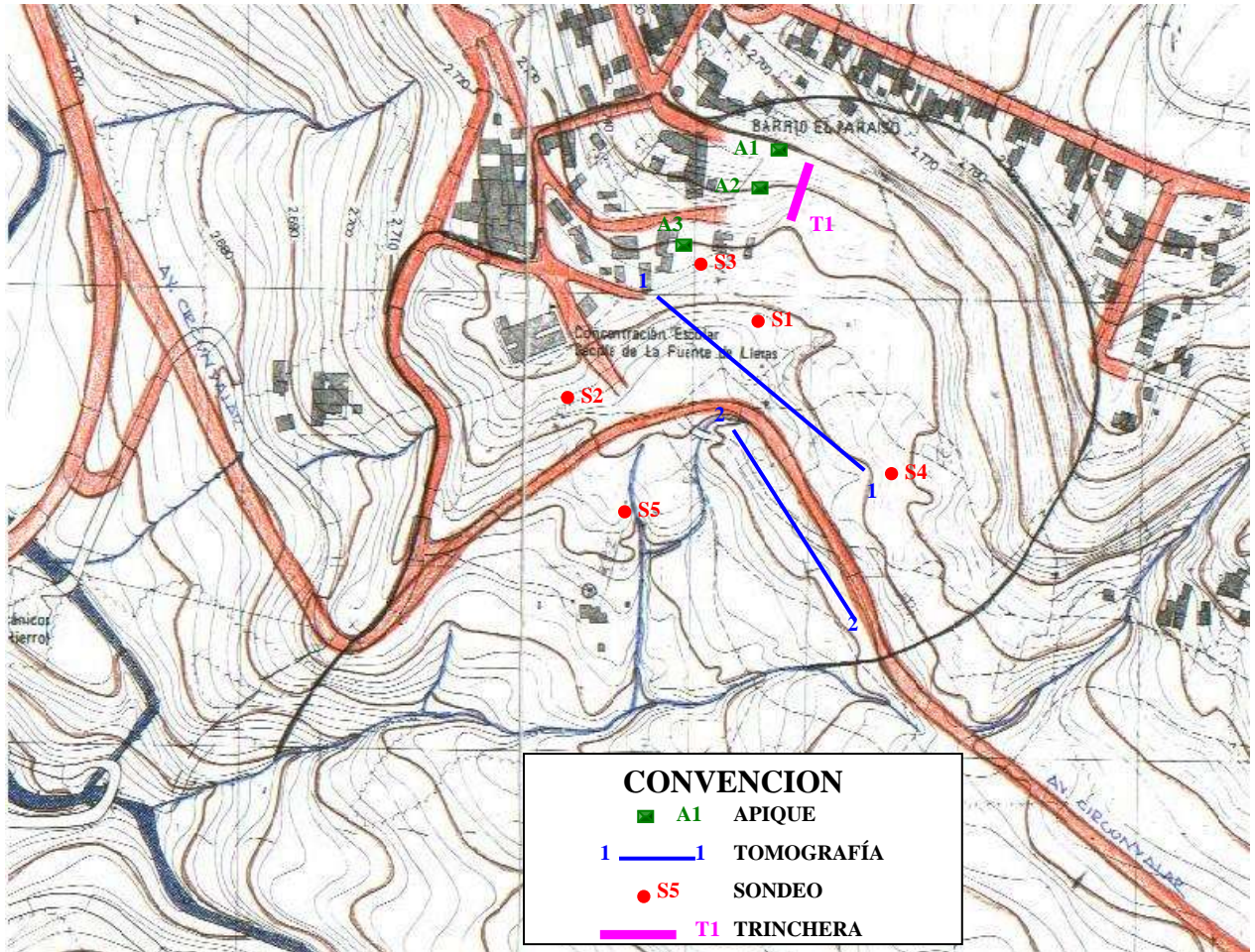


Figura No. 6.5. Localización de los puntos de exploración geotécnica

Perforación 5.

Profundidad	Descripción
0.00 – 2.00	Arcilla limosa habana oscura oxidada con algunas gravas.
2.00 – 5.00	Arena limosa con gravas y algo de arcilla habana grisácea de baja consistencia.
5.00 – 13.00	Gravas gruesas en matriz arcillo-limosa gris con tonos rojizos de oxidación.
13.00 – 16.00	Bloques y gravas de arenisca en matriz arcillo-arenosa gris habana.
16.00 – 19.00	Arcillolita limosa gris con tonos violetas.

Cuadro No. 6.6. Perfil perforación 4.

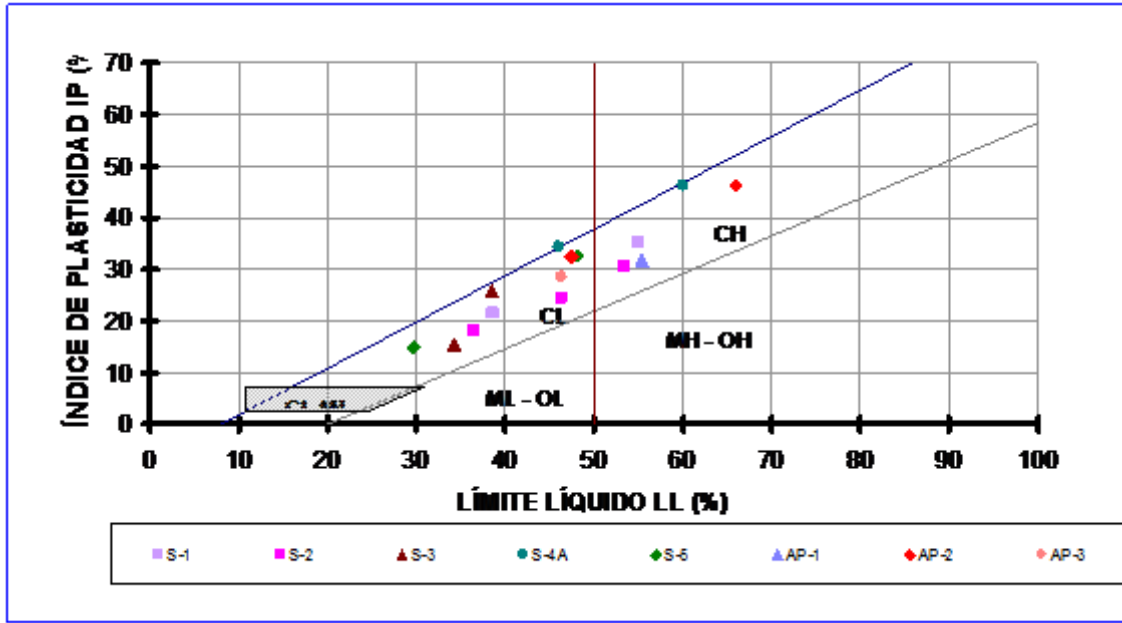
Profundidad	Descripción
1	Carpeta vegetal y limo orgánico con fragmentos de arenisca y en ocasiones basuras.
2	Coluvión. Fragmentos, guijarros y gravas de arenisca en matriz areno-arcillosa.
3	Suelo residual producto de la meteorización de la roca parental.
4	Arcillolita gris con tonos violáceos, de plasticidad media y compresibilidad baja.

Cuadro No. 6.7 Perfil promedio para la zona en estudio

Con base en los registros de perforación se puede establecer de manera general que el subsuelo de la zona en estudio está conformado por los estratos identificados en el cuadro No. 6.7

De manera complementaria y a fin de ilustrar la variación del número de golpes en el ensayo SPT, el peso unitario, el índice de plasticidad y la

humedad natural con la profundidad, se elaboró la Gráfica No. 6.2; la Gráfica No. 6.1, carta de plasticidad, permite establecer las características coloidales de la arcillolita de la formación Guaduas y de la fracción fina de la matriz del coluvión presente en la zona en estudio.



Gráfica No. 6.1. Carta de plasticidad para los suelos finos presentes en la zona en estudio.

6.2.2 Parámetros de clasificación y caracterización

De la revisión de las gráficas 6.1 y 6.2 se deduce:

Depósito coluvial:

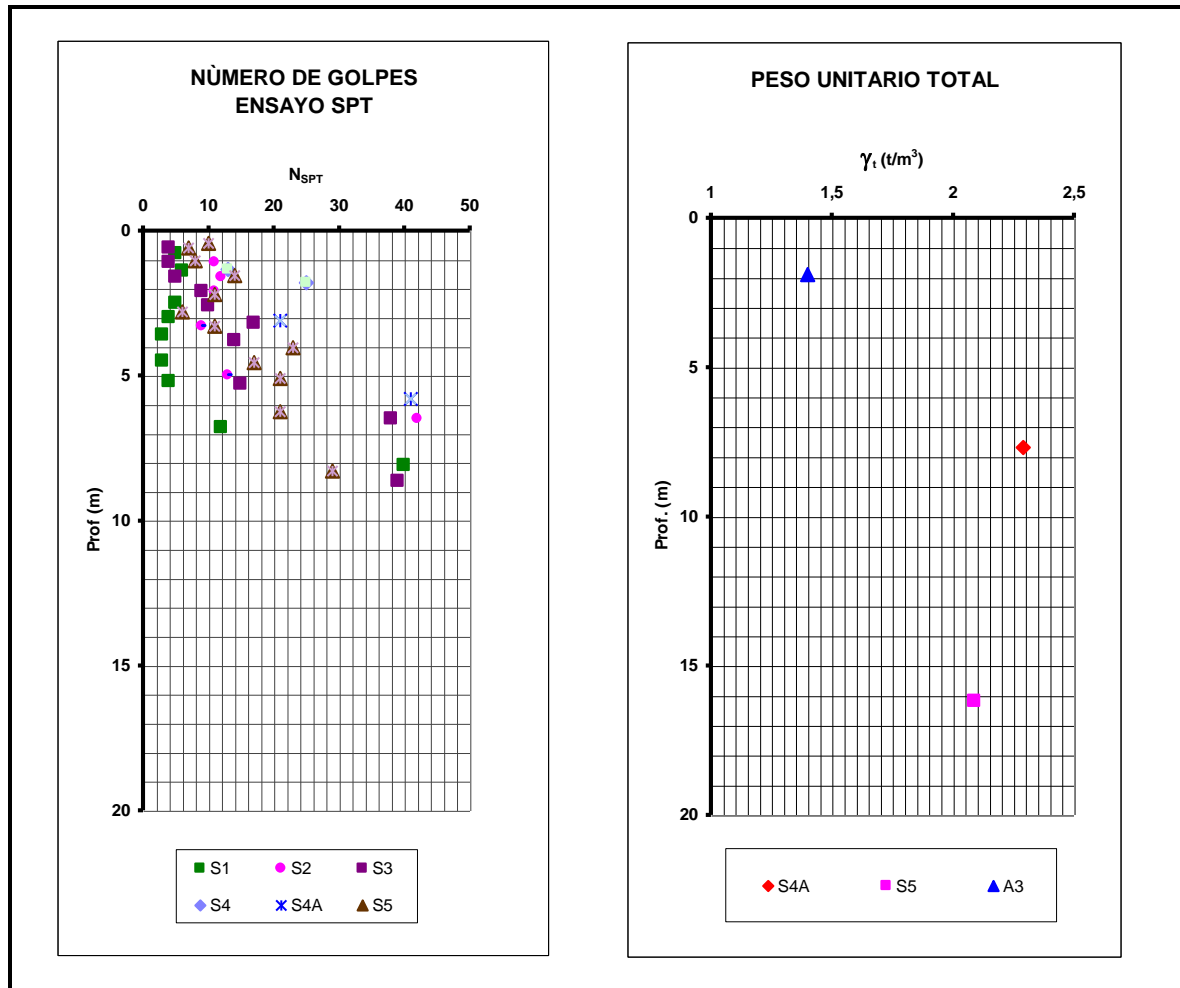
La matriz fina presenta dispersión en el índice de plasticidad entre 20% a 46%; la humedad natural varía entre 10% a 28%; para este material se encontró que se presenta una variación creciente en el número de golpes en el ensayo SPT a medida que aumenta la profundidad desde 4 golpes hasta 24 golpes.

Arcillolita de la Formación Guaduas:

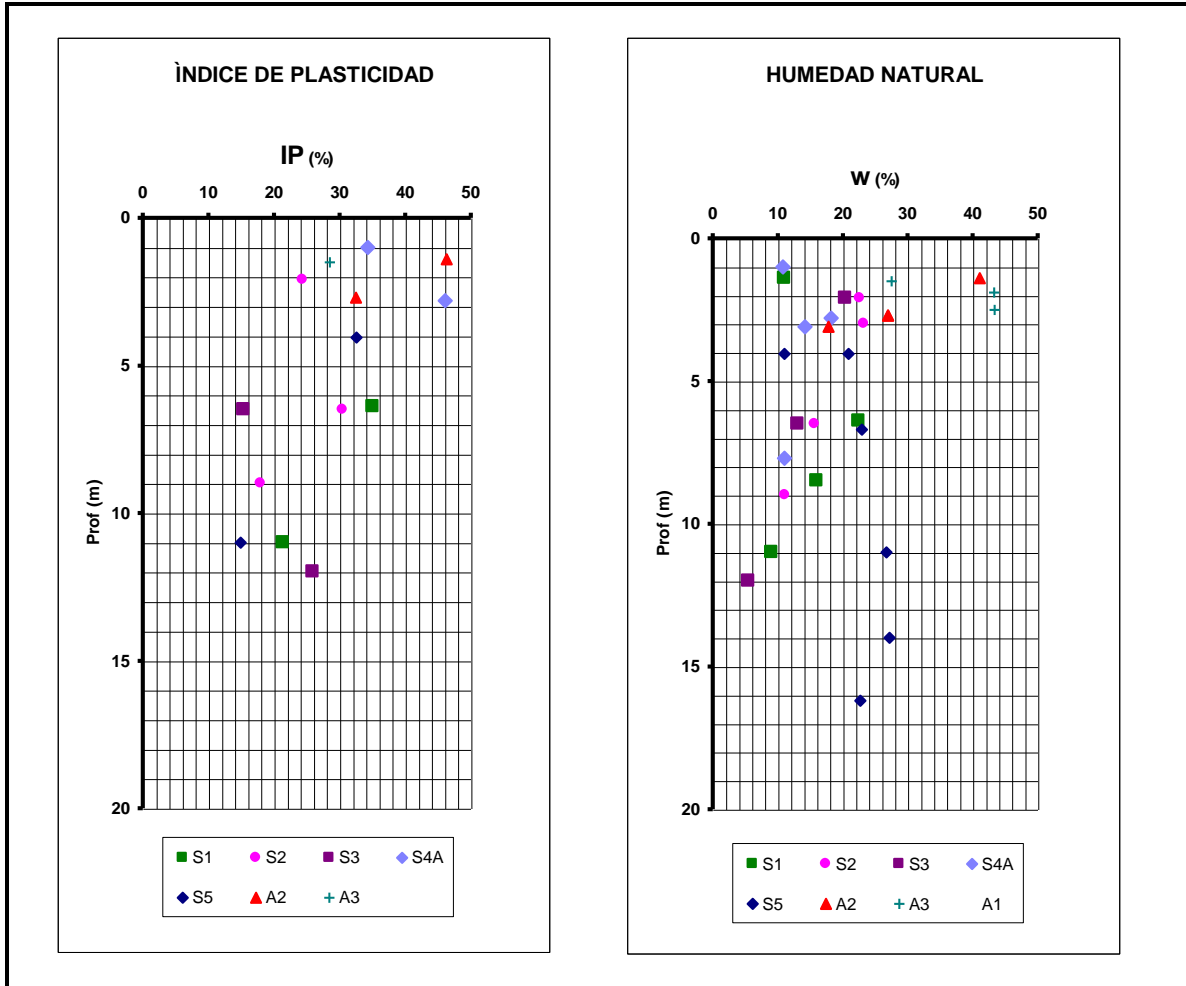
Para este material se observa que el Índice de Plasticidad varía de manera creciente a medida

que aumenta la profundidad desde valores de 15% a 5.5 m hasta 26% a 12.0 m; la humedad natural de esta material decrece a medida que se profundiza el material desde valores de 15% en el suelo residual hasta 5% en roca más sana. Con respecto al número de golpes en el ensayo SPT y para el suelo residual se establecieron valores alrededor de 42 golpes, para la arcillolita sana se presentó rechazo (50 o mas golpes para 15 cm o menos); el peso unitario total para este material es del orden de 2.2 t/m³.

Los materiales existentes en el sector en estudio, tanto la fracción fina de la matriz del coluvión como la arcillolita de la Formación Guaduas, de acuerdo con la carta de plasticidad, son esencialmente arcillas de plasticidad media y compresibilidad baja a media.



Gráfica No. 6.2. Número de golpes de la prueba SPT y peso unitario vs profundidad



Gráfica No. 6.3. Índice de Plasticidad (IP) y Humedad Natural vs profundidad

7 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE AMENAZA ACTUAL POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

7.1 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

Para la delimitación de las zonas homogéneas se tomó como punto de partida las unidades geomorfológicas, equivalentes en este caso particular, a los materiales superficiales que condensan unidades de ladera con materiales similares, condiciones de drenaje, tipos de procesos y morfometría semejante. En este sentido, su delimitación se enfocó a la determinación de las propiedades físico-mecánicas de los materiales propios de cada una. Para ello no sólo se contó con los resultados de los ensayos de laboratorio y las pruebas in situ, sino que además se realizaron análisis retrospectivos en los principales cuerpos de deslizamiento, con el fin de conocer los parámetros movilizados. El proceso involucró, en algunos casos, la extrapolación de la información condensada en ciertos sectores hacia otros donde la investigación geotécnica no pudo extenderse, labor, que se facilitó gracias a la demarcación previa de las unidades geomorfológicas.

La codificación de las zonas conservó el nombre de la unidad geológica original pero se le antepuso un identificador alfabético que designa su origen morfológico, clasificado según su grado de intervención antrópica en Ladera, L, o Talud, T. La convolución de los elementos anteriores dio como resultado la división del área de estudio en tres (3) zonas homogéneas, cada una considerada por lo menos por una sección de análisis a saber:

- LQC1** Ladera coluvial constituida por cantos subangulares de arenisca, embebidos en matriz areno-arcillosa, peso unitario entre 1.80 t/m³, y espesores estimados de 7 a 25 m. donde tienen lugar fenómenos locales de inestabilidad tanto rotacionales como traslacionales. Los parámetros de resistencia efectivos promedios en estos suelos son: $0.7 \leq c' \leq 0.9 \text{ t/m}^2$ y $18^\circ \leq \phi_{-} \leq 18.4^\circ$
- LQD1** Ladera coluvial de matriz areno-arcillosa, de media a baja plasticidad, peso unitario entre 1.80 Ton/m³, la humedad natural varía entre 10 % y 28 %, los espesores estimados son de 5.5 a 25 m., donde tienen lugar procesos activos rotacionales. Los parámetros de resistencia efectivos promedios en estos suelos son: $0 \leq c' \leq 0.4 \text{ t/m}^2$ y $14^\circ \leq \phi_{-} \leq 18^\circ$

Tkg1 Laderas antrópicas, predominantemente arcillosas con areniscas en el tope, resistencia a la compresión inconfiada de 750 y 1200 kg/cm² respectivamente. Se manifiestan los siguientes cuatro planos de discontinuidad, E1:N31W/28NE, D1:N21W/758SW, D2: N80E/76SE.

la conformación de las laderas de estudio (modelo geotécnico) por zona, se ilustra en el **Anexo 5**, y en el **Plano 3**.

7.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

En el análisis de estabilidad la primera etapa se enfocó al análisis direccional de los modos de falla a lo largo de los planos de debilidad estructural en los marcos de presentación de los macizos rocosos, y a la determinación del modo probable de falla, a partir de la aplicación del análisis cinemático, (Goodman 1989 y Hoek and Bray 1974). Por tanto, la relación geométrica entre las discontinuidades y la orientación del talud determinará si parte de él está libre de deslizarse o caer. Anexo 7.

Para el análisis cinemático, se consideró en forma conservativa, como ángulo de fricción de los planos de discontinuidad, el ángulo de fricción básico de la arenisca a lo largo del plano de diaclasa D₃ ($\theta \simeq 30^\circ$), puesto que representa el modelo más desfavorable para los taludes del frente del escarpe.

En una segunda etapa, se modelaron para cada zona homogénea, con la ayuda de los métodos de equilibrio límite y de acuerdo con las evidencias de campo los modos de falla críticos en las principales exposiciones del cuaternario. Particularmente, el fenómeno dominante correspondió a los deslizamientos rotacionales. Anexo 8.

En los modelos estáticos se realizaron diferentes "corridas" con el fin de estructurar un análisis paramétrico y de sensibilidad a partir de los valores físico - mecánicos obtenidos en el laboratorio y de las pruebas de campo, y de esta manera tener una percepción tanto del espectro probable de variación de parámetros de resistencia, como del grado de estabilidad. Anexo 9.

7.2.1 Análisis Cinemático

En este análisis se evaluaron los modos probables de falla para múltiples orientaciones de las laderas naturales entalladas principalmente en roca, zona homogénea Tkg1. De esta forma, se consideraron los taludes del límite suroriental, orientaciones dominantes al NE/SE , **Plano No. 3 y anexo 7.**

Bajo las condiciones geométricas mencionadas para los taludes, los cuales representan las superficies libres de movilización, y del patrón estructural reseñado en el **Capítulo 4., numeral 4.2.2**, el análisis cinemático permite concluir que para la mayor parte de las laderas no existe configuración de falla planar o en cuña. Este fenómeno tiene explicación por tres fundamentos básicos así:

- Algunas de las laderas no se encuentran direccionalmente paralelas a las familias promedio de discontinuidades.
- Los buzamientos de los planos estructurales, desfavorablemente orientados (p.e. con rumbo paralelo a las laderas) son superiores a las inclinaciones de las laderas.
- Los azimuts de buzamiento de las cuñas muestran variaciones superiores a los 90° con relación a los azimuts de buzamiento de las superficies libres.
- El buzamiento de las cuñas potencialmente inestables, es menor tanto a la inclinación de los cortes como al ángulo de fricción interna de los planos de movilización.

Finalmente, la falla por volteo está restringida. Este mecanismo de falla, presenta serios inconvenientes para su desarrollo. El primero de ellos está relacionado con la poca inclinación de los taludes, el segundo con la baja persistencia modal de las discontinuidades y el tercero, parte de la composición estratigráfica del relieve dominada, por secuencias arcillosas.

Los resultados mencionados pueden entenderse como una confirmación de las condiciones de estabilidad en las exposiciones del macizo rocoso, puesto que los bloques críticos se movilizan en conjunto como respuesta al avanzado estado de los frentes erosivos.

7.2.2 Análisis estático

Con este capítulo se pretende ilustrar el espectro de variación de la condición de estabilidad (análisis de sensibilidad) para las principales masas inestables y para las laderas que conforman las zonas homogéneas, según cambia la acción de los agentes exógenos agua y sismo.

Así, entonces, bajo el marco anterior el significado del factor de seguridad adquiere mayor dimensión asociado con la probabilidad de falla, que como valor numérico resultado de una condición unitemporal (p.e. con agua y sin sismo), sin una explicación física, en la mayor parte de los casos, apropiada. De otro lado, el factor de seguridad reportado (con frecuencia) en estudios geotécnicos está ligado normalmente con el efecto (condiciones) más crítico, no siempre válido, y para la única pareja de parámetros de resistencia , y no con las más probables a los que podría someterse una ladera, y desarrollar los materiales constitutivos de éstas, respectivamente.

Bajo los lineamientos anteriores, y con el fin de adelantar esta tarea, se definieron 4 secciones de análisis denominadas desde la 2-2 hasta la 6-6 (**Figuras 5.1 a 5.4 del Anexo 5; las secciones 1-1 y 3-3 no se tomaron pues se considera que las restantes son representativas de todas las laderas de la zona en estudio**), sobre las que se plantearon los modelos estratigráficos, encadenando los resultados de la geología local, tanto de superficie como estructural, y la exploración del subsuelo. Dichas secciones facilitaron el análisis de siete (7) laderas y doce (12) masas inestables y potencialmente inestables que cubren la totalidad de las zonas homogéneas (Véase Plano 3 – Geología Local).

El proceso de simulación tuvo un componente estrictamente iterativo, cuyo primer paso consistió en la definición de la geometría de las superficies críticas de movilización para cada sección y ladera, a partir de los parámetros promedios asignados con base en los resultados de la investigación geotécnica, pero en concordancia con el estado de actividad actual de los cuerpos.

Con el ánimo de dar fin a este primer cometido se realizaron múltiples “corridos”, con el empleo de métodos de equilibrio límite, contemplando dos periodos de estudio, el actual extraído del levantamiento topográfico realizado para este estudio y, el del año 1974 cuya fuente pertenece al obtenido por el IGAC, y respetando las evidencias de inestabilidad observadas en campo. Esto último se tradujo en la imposición de barreras geométricas (en distancia) y físicas para el desarrollo de los planos de movilización, y en la implementación de diversos mecanismos de falla

como: circular, compuesta, irregular, por bloque y finalmente predeterminada. Anexo 7.

Por su parte el análisis multitemporal tuvo como objetivos primordiales; primero determinar si previo a la construcción de la vía circunvalar existían superficies preferenciales de movilización que condicionaran la respuesta de los cuerpos inestables presentes, y segundo evaluar el papel de la vía misma como agente detonante o contribuyente de los procesos actuales.

En general, las conclusiones del ejercicio precedente destacan que los mecanismos de falla responden preferencialmente a modelos de falla rotacional que van desde superficiales o profundos, hasta locales y generales. Los materiales involucrados son: depósitos coluviales areno-arcillosos (Qc y Qd) cubiertos muy localmente por rellenos antrópicos. La profundidad máxima de los movimientos alcanza los 20 m y su movilización se realiza cerca al contacto con la roca, sobre planos de rotura que oscilan entre 12° y 20°, algunos de ellos presentes aún antes de la construcción de la Circunvalar. La pata (El pie) de un buen número de las masas inestables cierra, de manera notoria, en el flanco oeste del cajón vial (circunvalar), lo cual deja entrever (presumir) el papel del alivio de esfuerzos producto de las excavaciones para la conformación de la mencionada avenida, como catalizador de algunos de los procesos locales. Así mismo se deduce que el corte para la construcción de la avenida no ha contribuido al deslizamiento principal, pues el eje vial atraviesa la mitad del gran deslizamiento y la relajación de esfuerzos no es muy notoria.

El lector puede apreciar de los modelos planteados en las **Figuras de los Anexos 7 y 9**, además de las discernimientos mencionados, el limitado papel del patrón estructural en las condiciones de inestabilidad actual de los taludes, especialmente en los procesos recientes.

Definidos los tipos de falla por estudiar, el siguiente paso consistió en formular un análisis paramétrico y de sensibilidad para cada uno de las laderas en estudio, según los principales mecanismos (i. e. Falla rotacional). Es decir, para los casos que involucraban deslizamientos activos, estabilizados y potenciales avanzados, se determinaron los valores de cohesión y del ángulo de fricción movilizados en la falla, que permitieran obtener un factor de seguridad equivalente a la unidad. Las **Figuras 9.1 a 9.5 del Anexo 9**, ilustran los ábacos obtenidos en cada sección de análisis y para cada uno de los deslizamientos estudiados.

En cuanto a las unidades actualmente estables, con los parámetros de resistencia promedio, se

definieron el plano de falla críticos y el factor de seguridad asignado. Con la superficie hipotética se ajustaron los valores de cohesión y fricción, si los factores de seguridad asociados eran extremos. La conclusión de esta segunda actividad se encuentra condensada en las **tablas 9.1 a 9.5**, en la que cada ladera de estudio quedó definida por un espectro probable de distribución de parámetros con una media μ_x y una desviación estándar σ_x . El conjunto posible de valores de cohesión (c) y fricción (ϕ) sirvieron de soporte en la cuantificación de la condición de estabilidad.

La **Tabla 11.1** presenta, de igual manera, un resumen del análisis en términos de factores de seguridad para cada uno de los cuerpos activos y potencialmente activos, de acuerdo con los mecanismos de falla descritos anteriormente y dentro del intervalo probable de parámetros de cada material y niveles de agua y sismo. De ella se puede apreciar que las condiciones de estabilidad en casi la totalidad de las masas, Secciones 22A1, 22A2, 44A1, 44A2, 44A3, 44A4, 55A1 y 55A2, es marginal. Resultado apenas obvio dado que se tratan de deslizamientos activos o reactivados recientes y antiguos.

Los depósitos contemplados en las laderas 22, 44A1, 44A3, 44A4, 55A1 y 55A2 arrojan factores de seguridad inferiores a la unidad, (véase **Tabla 11.1**). Las masas pueden permanecer temporalmente estables en estado seco, si y solo si movilizan toda su resistencia (parámetros máximos), particularmente la fricción, y la activación de los mantos tiene lugar cuando se encuentran parcialmente saturados, sin sismo. El aporte del ángulo de fricción es muy importante, máxime si se toma en cuenta el carácter friccional de los depósitos, los bajos niveles de cohesión disponible ($c < 0.4 \text{ ton/m}^2$), y el hecho de que en algunos casos (secciones 44, 22 y 551) los parámetros de resistencia presentes en la superficie de falla se encuentran cerca de los residuales.

Las consecuencias de la reactivación de los sólidos inestables, sin contar claro está el efecto sobre la Circunvalar, salvo en las laderas 55A1 serían leves, pues no existen viviendas en las zonas de influencia de los procesos. Los únicos elementos físicos que podrían resultar averiados hacen parte de la red de alcantarillado del barrio. No obstante, desde ya queda explícita la necesidad de detener cualquier intento de construcción de edificación alguna allí.

Los ángulos de fricción que pueden desarrollar los cuerpos fallados ($14 < \phi < 18$), unido a las conclusiones del análisis multitemporal, y a la geometría de las superficies de falla ($\phi_f \leq 12$) y del contacto suelo-roca, parecen confirmar el

supuesto de que el cuerpo principal de la zona (Qd) es un deslizamiento muy antiguo con una tasa de movimiento lenta a muy lenta (mm/año), en donde sólo hay participación exclusiva de la resistencia por fricción en la superficie de falla, pero con valores muy pequeños (cercano a los 10°).

En las laderas restantes aunque muestran en estado seco aceptables márgenes de estabilidad (F.S. > 1.3), su activación puede tener lugar en condiciones extremas de agua y sismo, y aún sin la participación de este último. Sin embargo, esta unidades hacen parte de las áreas de menor aporte de aguas servidas, a diferencia de las inmediatamente anteriores donde el factor antrópico es determinante en su comportamiento, lo cual explica la poca presencia de procesos de inestabilidad.

7.3 EVALUACIÓN DE AMENAZA ACTUAL

La estimación de la amenaza, entendida como probabilidad de falla de que ocurra un evento, contempló el empleo de un método cuantitativo (técnica determinística). Ello con el fin de hacerla concordante con la escala de trabajo del proyecto (1:1000) y maximizar el uso de la investigación geotécnica (según los planteamientos de Van Westen, 1993). Así, la amenaza es función de múltiples factores que controlan la estabilidad de una ladera, ya sean internos o externos, los cuales están expresados como variables aleatorias, debido a que no son parámetros constantes y en ocasiones son desconocidos. En el segundo caso, los componentes se evalúan subjetivamente y se asignan rangos de intensidad.

Por lo tanto, la probabilidad de ocurrencia de un evento se evaluó apoyado tanto en los lineamientos presentados por Hoek (1996) en el curso teórico - práctico "Decisiones Prácticas y Riesgos Aceptables en Ingeniería de Rocas" y que se basa en el planteamiento de Montecarlo; como en la aproximación probabilística del Método de Estimación de Punto (PEM) propuesto por Rosenblueth (1975), a través de la ley de probabilidades totales. Este último marco empleado como sistema de verificación.

La evaluación de amenaza requirió como insumos: conocer los mecanismos de falla, en este sentido se recurrirá a los que fueron tratados en el numeral 7.2 (Análisis de Estabilidad), y las funciones de probabilidad de las variables involucradas. Dichos elementos coligados con el método de análisis de estabilidad más

conveniente, permiten determinar las curvas de probabilidad para cada uno de los taludes en estudio.

Si bien el análisis en principio se realizó para los casos individuales, la probabilidad condicional de falla obtenida en cada uno fue elemento fundamental en la definición de las curvas de probabilidad de falla de la zona de estudio. Estas gráficas constituyeron el último eslabón de la cadena que condujo a la elaboración de los Mapas de Amenaza.

7.3.1 Variables Aleatorias.

Las variables aleatorias o fuentes de incertidumbre para los mecanismos de rotura seleccionados, están relacionadas con los cambios espaciales de los materiales geológicos, coeficientes de resistencia al corte; y con las condiciones ambientales: aceleración del terreno para un sismo ($\alpha=0.2g$) dado y el nivel del agua, que de acuerdo con las condiciones del sitio se asumió a la mitad del espesor del depósito coluvial para las zonas donde no se detectó su presencia; en los lugares donde se detectó (perforación No. 1), se tomó la profundidad a la que se encontró y se siguió el criterio expuesto líneas atrás.

Cada variable aleatoria fue descrita por una función de probabilidad a partir de una media (μ) y la desviación estándar (σ). Así, para los coeficientes de resistencia, c , ϕ , las medias fueron tomadas del análisis de sensibilidad. En este sentido se adoptaron como valores promedio los registros del escenario probable actual para las condiciones de tabla de agua a la mitad del depósito sin sismo en cada unidad de ladera estudiada (**Tabla 11.1**), con lo que resultó una desviación estándar de 2° para el ángulo de fricción y de 0.2 t/m² en la cohesión, según fuere el material a analizar.

La función de densidad de probabilidad para la profundidad del agua se ajustó a una distribución exponencial, donde las menores profundidades poseen la más alta misma posibilidad de acontecer. Por último, la frecuencia de ocurrencia del sismo fue tomada de la curva de recurrencia sísmica de Colombia y presentada en el Manual de Amenaza Sísmica (1999).

7.3.2 Análisis De Resultados Y Zonificación.

Análisis de Resultados

Fijos los comportamientos de las fuentes incertidumbre, las funciones de probabilidad de las

variables se constituyeron en elementos fundamentales para la determinación de la función de probabilidad de falla de cada una de las laderas potencialmente inestables estudiados en el numeral anterior.

En este sentido se realizaron múltiples corridas, contemplando para el método de Hoek (1996) sólo los valores de las variables en el intervalo $\mu_x - \sigma_x$ y $\mu_x + \sigma_x$, con el fin de determinar el factor de seguridad (en cada caso) o para escenarios extremos de los parámetros de resistencia: C_{min} , ϕ_{min} , C_{max} , ϕ_{max} , entre otros; y de acuerdo con la acción individual o conjunta de los detonantes y para el tiempo de exposición considerado, si se trata del método de Rosenblueth.

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

Las funciones de distribución del factor de seguridad, y de la probabilidad acumulada para cada ladera (cortes desde 22A1 hasta 66A2) y condición de estudio se presentan en las Figuras 10.1 a 10.12 y en la Tabla 11.2. De los resultados obtenidos, se puede apreciar que la probabilidad de falla de las unidades para mecanismos de falla rotacional detonados por la conjugación de aguas lluvias y derivadas, varían desde el 40% hasta el 90%. Ésta representa un nivel de amenaza alto a muy alto que confirma la actividad de tales masas, conclusión presentada en el numeral 7.2.2 donde se exponía la crítica condición de estabilidad de las mismas.

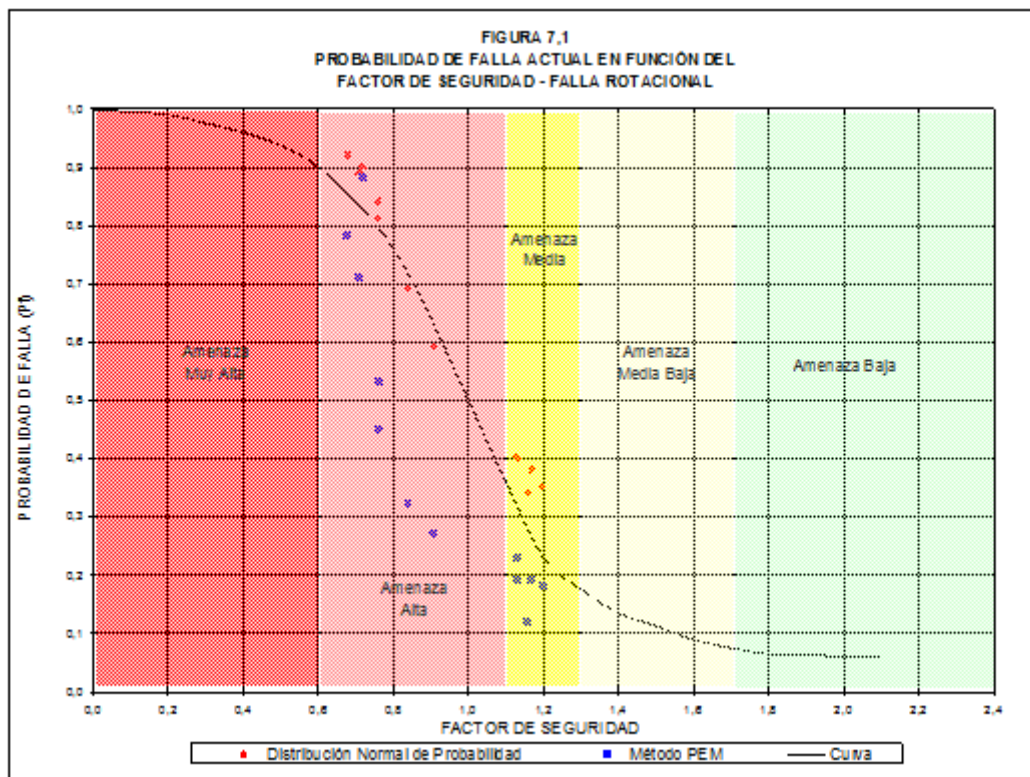


Figura No. 7.1. Probabilidad de falla actual en función del factor de seguridad.

Los más altos niveles de probabilidad de falla se aprecian en la sección 2-2' y en la ladera 55A1 con porcentajes superiores a 60 %. Particularmente, los modelos de simulación de falla general del deslizamiento principal (Secciones 44A1, 44A4 y 55A1) arrojan percentiles promedio de 50 % (desde 45 % hasta 60 %), lo cual evidencia el estado de reactivación del depósito en su contexto.

La **Tabla 11.2** presenta una compilación de las funciones de distribución de falla para las condiciones de trabajo actual, en los taludes estudiados, obtenidas por el Método de Estimación de Punto, de acuerdo con los valores extremos de los parámetros de resistencia (c y ϕ) y por el método de la distribución normal de probabilidad; en ella se pueden corroborar claramente las apreciaciones reseñadas en los párrafos anteriores.

De igual manera, se puede concluir que el método de la estimación de punto, en algunos casos, subestima la probabilidad condicional. Posiblemente los mejores reportes se consiguen con la puesta en marcha de la propuesta de la distribución normal de probabilidad.

Zonificación de Amenaza por FRM

Con el ánimo de determinar la probabilidad de falla para cualquier ladera en la zona, conocido su factor de seguridad, se estimó la mejor interpolación entre las dos variables. Para ello se calculó el factor de seguridad de los taludes con el valor medio de las variables aleatorias al que se le asignó la probabilidad condicional en el ambiente actual. La curva de relación de probabilidad de falla obtenida se presenta en la **Figura 7.1**.

Con ayuda de la curva de probabilidad y conocida la composición estratigráfica y geotécnica de cada ladera de estudio y las distancias de viaje de las masas potenciales, fue posible obtener uno de los productos más importantes de este trabajo, el Mapa de Zonificación por Amenaza Actual (**Planos 4**).

En este sentido la amenaza se presenta en cinco (5) categorías, catalogadas desde amenaza muy alta hasta baja, a partir del factor de seguridad con base en una adaptación realizada en el proyecto a las categorías de amenaza relativa planteadas por González y Millán (1999) en el estudio de Zonificación de Santa Fe de Bogotá, así:

FS	Categoría de Amenaza
>1.7	Baja
1.7 – 1.3	Media baja
1.3 – 1.1	Media
1.1 – 0.6	Alta
<0.6	Muy Alta

Cuadro No. 7.1. Categorización de la Amenaza.

La mayoría de sectores con amenaza alta (I), se localizan en la parte central, circunscritos a las masas de inestabilidad más activas, y en el costado nororiental, recinto de un deslizamiento rotacional local que pone en entredicho la permanencia de las viviendas 001 a 004 de la manzana 07. Es importante destacar que si la tasa de movilización de este último proceso se mantiene, no quedará otra alternativa que la reubicación de las familias; empero, se aconseja convertir dichas estructuras en sistemas artesanales de contención.

Tales fenómenos encierran el área con destino de uso restringido más grande en la zona de estudio, esta plataforma tiene origen en el extremo oriental de la manzana ocho y se extiende hacia el cauce de la quebrada, involucrando los flancos cercanos a la vía. La condición de amenaza (variando entre media alta y alta, zona II), sugiere enfatizar los trabajos de conducción de aguas superficial y subsuperficial, el mantenimiento de la red de alcantarillado y la puesta en marcha de sistemas locales de contención (posiblemente de cimentación profunda) que permitan estabilizar las masas locales.

No debe olvidarse sin embargo, que los alcances de las medidas planteadas son de tipo parcial (y local), ya que el trabajo de reducción de la amenaza general involucraría aumentar los niveles de seguridad (y por ende reducir la probabilidad condicional) del cuerpo principal del deslizamiento, tópico que no hace parte de los alcances de este trabajo, pero que es de gran relevancia y requiere pronta atención dada los porcentaje de falla obtenidos (Amenaza Actual).

Una tercera zona (III) se identificó como de amenaza baja, en la cual no hay evidencias de procesos de inestabilidad.

8 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO ACTUAL

La evaluación de vulnerabilidad física de los elementos expuestos, en este caso las viviendas, tiene como objetivo analizar la respuesta de los elementos amenazados frente a los diferentes fenómenos de remoción en masa presentes en la zona de estudio y, junto con la evaluación de amenaza, dilucidar el(los) tratamiento(s) por adelantar.

El estudio se realizó teniendo como fuente de información básica el "Formulario para la evaluación de daños en edificaciones en caso de deslizamiento", anexo 12, diligenciado para cada una de ellas. La información de cada lote, construido o no, se encuentra consignada en la base de datos y georreferenciada mediante la asignación de un código alfanumérico correspondiente a la letra de cada manzana y al número del lote dentro de la misma.

El citado formulario indaga sobre diferentes tópicos tendientes a establecer parámetros útiles para la evaluación tanto de la vulnerabilidad física como de la social. Para la primera, el análisis se realizó de manera semicuantitativa con algunas adaptaciones a la metodología propuesta por Leone (1996) en lo referente a la resistencia de los elementos y, a la determinación del índice de daño. Para la segunda, la vulnerabilidad social, el análisis es apenas cualitativo y se basa en la información de los formularios como: el nivel de ingresos, la percepción de peligro, las recomendaciones para medidas urgentes, la cobertura de los servicios públicos y el índice de carencia de vivienda.

8.1 VULNERABILIDAD SOCIAL

La vulnerabilidad social definida como la capacidad de respuesta de la población ante la ocurrencia de un evento que ocasione daños, fue cualificada tomando como componentes de análisis la capacidad económica de los pobladores, la cobertura de servicios públicos, las organizaciones cívicas, la tipología de viviendas y, el nivel de conocimiento que los habitantes tienen de los problemas de estabilidad y de las actuales y potenciales repercusiones que éstos ocasionan o puede ocasionar sobre sus viviendas.

Aunque la capacidad de respuesta de la comunidad involucra el estudio de otros aspectos como la organización del barrio en lo referente a juntas administradoras locales y juntas de acción comunal, puesto que son éstas las encargadas de actuar como intermediarias entre la comunidad y las entidades del Distrito, y de esa manera dar a conocer los procedimientos a seguir ante la ocurrencia de un desastre como un fenómeno de remoción en masa; la evaluación de su funcionamiento, eficacia e interacción con las entidades distritales, no fue contemplada por estar fuera de los alcances de este estudio. En los siguientes párrafos se hace una breve descripción de las condiciones relevantes en este aspecto:

Percepción del peligro

En general, la comunidad reconoce estados reales y potenciales de peligro pues los deslizamientos locales del borde oriental, asiento del procesos urbanístico, han afectado seriamente algunas residencias (p.e. 001 y 002, manzana 08), al punto de ser considerada inminente su reubicación.

Los programas de relocalización, responsabilidad de la DPAAE, generan desconcierto e incluso atemorizan a los vecindarios involucrados. Una de las variables más importantes en este proceso, consiste en que esta medida, la reubicación, es entendida por los pobladores como un mecanismo de reducción de su calidad de vida, dado que no consideran viable la recuperación de la gran inversión, descrita como la conjugación de tiempo y dinero, realizada en la más preciada de sus pertenencias. Su vivienda.

Lo anterior sumado al especial arraigo de los habitantes al barrio, explicada por su preferencial localización en las faldas de los cerros orientales, el amplio proceso de consolidación de sus líneas vitales: acueducto, energía eléctrica, vías, etc y la aceptable prestación de los servicios de transporte y aseo, entre otros; hace que la mayoría no esté dispuesta a abandonar sus lugares de habitación, aún cuando se le garantice alguna retribución (económica o física) por hacerlo.

Organizaciones cívicas

Si bien el barrio cuenta con una Junta de Acción Comunal que canaliza y gestiona la mayoría de las inquietudes de los residentes en cuanto a servicios públicos domiciliarios y comunitarios, los

problemas de inestabilidad de las casas, se han abordado como intereses individuales y particulares.

Estas organizaciones son estructuras concebidas como gestoras de los intereses colectivos de la índole mencionada, pero no como unidades de atención de las emergencias que pudieran suscitarse por la acción de los FRM. No obstante, pueden tener papel trascendental como soporte en la divulgación entre la comunidad de las particulares condiciones del entorno en el que residen y como ejecutores de programas de vigilancia (monitoreo visual), Alerta y alarma que faciliten la presta intervención de las entidades distritales pertinentes en caso de emergencias (específicamente desastres).

Capacidad económica de los pobladores

La contingencia o capacidad de respuesta económica para la población medida por los ingresos brutos familiares se puede catalogar como baja-media, pues se presenta un valor promedio de \$627.600 pesos, con una desviación estándar de \$481.000, superior al salario mínimo mensual vigente (\$266.100). En la **Figura 8.1** se observa el comportamiento de esta variable en el sector. Este generalizado nivel de ingresos permitiría a los habitantes, en caso de presentarse un desastre, una recuperación parcial a largo tiempo de su condición de vida actual, expresada en lote, vivienda y bienes.

No obstante, el espectro no es del todo homogéneo y debe verse en perspectiva, pues cerca del 20 % de las familias no tendrían posibilidad de respuesta aún a largo plazo; ello encuentra explicación en dos principios: el primero que tal porcentaje no percibe ingresos superiores al mínimo y, el segundo radica en que cerca de la mitad de las familias del barrio son no propietarias de las unidades donde residen. Lo anterior sólo indica la condición de vulnerabilidad de la mitad de la población bajo este precepto.

Cobertura de servicios

La carencia de los servicios públicos básicos es apenas aceptable (**Figura 8.2**): alrededor del 3% en el suministro legal de agua potable, para el sistema de alcantarillado 25%; luz eléctrica 11% y 17% en la red telefónica. La casi totalidad de las vías del sector cuenta con pavimento y el cubrimiento de gas domiciliario es nulo. El marco anterior resalta el grado de consolidación del sistema urbano del barrio, y la atención de la mayoría de entidades distritales en la mejora de la calidad de vida de la población.

Tipología de las viviendas

Si bien 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. La mayor parte de las viviendas (**Figuras 8.3**) se consideran con calidad de construcción regular. La clasificación de las viviendas por tipo de sistema estructural, muestra un amplio dominio de construcciones en muros simples con una notoria presencia de muros confinados, caracterizadas por una importante inversión en terminados. En el sector, un buen porcentaje de los habitantes viven en sus lotes hace más de diez (10) años, allí han construido sus lugares de habitación y los han mejorado dependiendo de sus posibilidades económicas, al punto de convertirse en moradas cómodas.

El panorama reseñado refleja claramente que en el sector, los habitantes en su mayoría son humildes, pero con ingresos suficientes para subsistir. En caso de desastre, la recuperación sería, a ciencia cierta, lenta a muy lenta sin el apoyo de alguna entidad institucional, la posibilidad de vivienda a corto plazo sería insostenible, el pago de un arriendo y la alimentación consumiría la totalidad de los ingresos por familia. Empero, sólo una pequeña proporción de las familias, 5 %, tendría una pronta capacidad de respuesta, pues sus ingresos se ubican entre 6 y 8 salarios mínimos.

Al considerar los tópicos anteriores es claro que las condiciones (difíciles) de vulnerabilidad socioeconómica son parcialmente homogéneas para los pobladores de El Paraíso. Y aunque no se cuenta en este proyecto, con elementos comparativos para cualificar la vulnerabilidad social, se estima que ella oscila desde media a baja, básicamente por la incapacidad de la comunidad de sobrellevar un desastre y de recuperar su condición de vida actual.

8.2 VULNERABILIDAD FÍSICA

En este trabajo, la vulnerabilidad física de las viviendas del sector, se expresa como una medida porcentual de los costos de las averías originadas por un agente destructor, en este caso los FRM. El porcentaje (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 estudiará con base en la ubicación de la vivienda en el proceso (representado en área) y el segundo, con la tipología de viviendas, como se explica a continuación.

8.2.1 Exposición

Esta variable cobra importancia dentro del análisis de vulnerabilidad física si se considera que si y solo si los elementos se encuentran dentro de la zona de influencia de los eventos (es decir, expuestos), pueden ser atacados por ellos.

En este sentido, todo movimiento está compuesto por tres grandes zonas que son: La Zona de Influencia Directa (ZID) definida como el área en la que tiene lugar el movimiento, la Zona de Influencia Indirecta (ZII) que corresponde a aquella que puede ser invadido o afectado por la masa deslizada y una última denominada Zona de Influencia Nula (ZIN), en donde no se espera ningún tipo de afectación. Esta división obedece a las diferentes solicitaciones a las que son sometidas las estructuras en cada zona de influencia, dependiendo del tipo de procesos de inestabilidad. El cuadro 8.2 relaciona el tipo de evento y la solicitación que recaería sobre las unidades físicas en cada una de las zonas de influencia.

De la evaluación geotécnica y, con base en la clasificación de los fenómenos de remoción en masa que afectan los elementos físicos del sector (exclusivamente de carácter rotacional), se determinaron las zonas de afectación directa (ZID) e indirecta (ZII) y las no afectadas (ZIN) para cada proceso. La primera fue definida considerando la proyección horizontal de la superficie crítica de estabilidad (secciones de análisis 2-2' a 6-6') y el límite externo de la zona de influencia indirecta (ZII) se obtuvo con base en las evidencias de campo de los fenómenos de remoción en masa desarrollados y en la distancia de viaje de los cuerpos inestables; esta última fue determinada a partir del patrón geométrico de las laderas estudiadas (mismas secciones) siguiendo los lineamientos presentados por Finlay et al (1999). A partir de este límite y alejándose del fenómeno, se considera que cualquier elemento se localiza fuera de la zona de influencia (ZIN). Y el inventario para cada lote, el tipo de evento que lo amenaza o podría hacerlo, la zona de influencia en la que se localiza y el porcentaje de área de afectación, PAA, se encuentra en los **cuadro 8.3**.

8.2.2 Resistencia (IR)

En términos generales, la importancia de evaluar la resistencia radica en que a mayor resistencia de los elementos, la vulnerabilidad física es menor. Aunque la resistencia de la vivienda como conjunto está determinada por la de sus componentes, en el presente estudio, se estimó un comportamiento integral asociado a la clase de

sistema estructural; no obstante lo anterior, éste es el reflejo, en alguna medida, de las partes. En la **Figura 8.3 - gráficas 3, 4, 5 y 6** - se muestran globalmente, los tipos de cobertura, estructura de techo, estructura de la placa de piso y el sistema estructural.

En lo que atañe al tipo de cubierta, las más frecuentes son de asbesto cemento y de placa (véase otro); éstas, como se puede inferir fácilmente, tienen poca participación en la resistencia del conjunto gracias a que la solicitud se realiza bien en la estructura o a nivel de la cimentación. En cuanto a la estructura de techo, la situación no es muy diferente puesto que casi el 63% es de madera. La mayoría de las estructuras de piso son elaboradas en concreto reforzado, sistemas éstos cuya resistencia tiene una alta incidencia en el comportamiento de las residencias y que de manera alguna han amortiguado la velocidad de deterioro de las unidades, ejemplo de ello se aprecia en las viviendas 001 a 003 de la manzana 07.

8.2.3 Intensidad e índice de daño (InD e ID)

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 (deslizamientos rotacionales y flujos), la localización de las viviendas con respecto al mismo y la solicitación que el proceso ejerza sobre los componentes; el segundo, la calidad, propiedades y atributos de las casas, que, como se ha expresado antes, se condensan en la tipología. La contribución de las variables ya expuestas se registra en la matriz de intensidad de daño (**cuadro 8.3**). Esta intensidad se cuantifica desde Muy Baja (I), hasta Muy Alta (V) y se formula con un índice de daño (ID) que representa el porcentaje de destrozos en la vivienda. La reciprocidad entre las dos variables, InD e ID, fue establecida por el DRM y se consigna en el **cuadro 8.3B**.

El costo de los daños, VD, expresado en pesos, se totaliza al sintetizar el valor inicial del inmueble, VII (también en pesos); el porcentaje de área de afectación, PAA y el índice de daño, ID, así:

$$VD = VII * PAA * ID$$

Figura No. 8.1. Ingreso mensual por familia .

Figura No. 8.2. Indicador del índice de vulnerabilidad social

Figura No. 8.3. Característica de la viviendas.

8.2.4 Índice de Vulnerabilidad Física (IVF)

Por último, al comparar el valor de daño con respecto al valor inicial del predio se obtiene el índice de vulnerabilidad física, IVF; la ecuación resultante es:

$$IVF=VD/VII$$

En ella se observa que mientras más cuantiosos sean los daños, la vulnerabilidad también lo será. En la **Tablas 8.1** se muestra los cálculos respectivos. La **Figura 8.4** exhibe el análisis de frecuencia de índice y de la cualificación de la vulnerabilidad con base en los siguientes criterios:

IVF	Categoría de vulnerabilidad
0 – 0.375	Baja
0.375 – 0.625	Media
0.625 - 1	Alta

Cuadro No. 8.1. Categorización de la vulnerabilidad.

De la **tabla 8.1** se deduce que las unidades físicas más vulnerables corresponden a los predios 001, 002, 003, 021A y 201B en el bloque 08, y las viviendas 001 a 004 de la manzana 07 (**Plano 5**), particularmente son ellas las que reflejan el mayor deterioro actual.

8.3 RIESGO ACTUAL

El riesgo incurrido en una zona o elemento, frente a una solicitud determinada, se puede expresar al combinar la probabilidad de ocurrencia de la solicitud (amenaza actual-Pf) con las pérdidas potenciales. Para el presente trabajo las pérdidas potenciales corresponden a las pérdidas directas en viviendas y enseres, las cuales 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.

$$\text{Riesgo} = Pf * VD$$

Con el fin obviar el subjetivo contexto de los costos de capital, no comparables en un marco global ya que ellos son el resultado de las diferencias de los montos de inversión en cada vivienda, es mejor recurrir al índice de riesgo puesto que esta situación podría conducir 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 con respecto a unas más modestas aunque su condición de riesgo fuera semejante. Por lo tanto, por simplicidad en la presentación de los resultados, se abstraieron los costos de capital.

Entonces, el índice de riesgo actual, IRA, corresponde a un valor entre 0 y 1, donde los menores niveles de riesgo son cantidades cercanas a cero (**Tablas 8.3**). Si bien el intervalo de valores del IRA posee como límite superior la unidad, la pérdida de la mitad de una vivienda puede asumirse como crítica. Ello permitió concluir que las bandas de categorización (**Figura 8.5**) no podrían expresarse de manera similar a las de los índices anteriores, por lo tanto se adoptaron como intervalos de cualificación de las pérdidas probables, las siguientes.

IRA	Categoría de Riesgo Actual
< 0.15	Bajo
0.15 – 0.25	Medio
>0.25	Alto

Cuadro No. 8.4. Categorización del riesgo.

El **Plano 6** ilustra el resultado obtenido. De él es claro que los mayores índices (relativos) de riesgo se concentran en las unidades más vulnerables, es decir en los predios 001, 002, 003, 004, 021A y 021B pertenecientes al bloque 08, y las residencias 001 a 004 de la manzana 07. En aras de reducir la amenaza y/o la vulnerabilidad en el sector, se discutirá por zona, en el Capítulo 7, una serie de alternativas de solución tendientes a mitigar de esta manera el riesgo.

Cuadro No. 8.2. Solicitaciones a partir del tipo de fenómeno y la localización de las viviendas.

Cuadro No. 8.3A. Matriz para la determinación de la intensidad de daño

Cuadro No. 8.3B. Determinación del índice de daño.

**Figura No. 8.4. Análisis de frecuencia Índice de
Vulnerabilidad Física**

Figura No. 8.5. Análisis de frecuencia Índice de Riesgo

Tabla No. 8.1. Determinación de los Índices de Vulnerabilidad Física y Riesgo.

9 ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN

9.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Los resultados de la evaluación del riesgo en el área en estudio muestran que los niveles de amenaza actual se asocian principalmente a dos eventos: el primero de ellos corresponde al gran deslizamiento que afecta toda el área en estudio; el segundo, corresponde a movimientos locales, que inciden en algunos sectores del área en estudio y que se desarrollan sobre el gran deslizamiento.

El gran deslizamiento, es una masa en movimiento de ya muchos años, que desde sus orígenes (de las misma época del deslizamiento del parque Nacional) ha presentado actividad, con tasas de movimiento bajas pero constantes.

Por su parte, los deslizamientos superficiales se han generado por intervención antrópica, de las cuales tal vez la más importante es la construcción de la avenida circunvalar. Debe también resaltarse que el deslizamiento local que afecta a las viviendas No. 001, 002 y 003 es un movimiento superficial muy puntual activado por la sobrecarga de las viviendas; por lo anterior, el deterioro de estas construcciones se atribuye tanto al movimiento como a la deficiencia estructural y de cimentación de las casas.

A pesar de detectarse tan solo en un sondeo nivel freático, se estima que debido a la génesis del depósito coluvial, prácticamente permeable, en épocas invernales se generan presiones de poros importantes que facilitan los movimientos del terreno por planos de discontinuidad prefallados.

En general, la condición de estabilidad de las laderas naturales que conforman el área en estudio es baja a muy baja con excepción del borde perimetral de la misma, la cual es alta.

Los procesos generadores de la amenaza se caracterizan por ser en su mayoría superficiales, salvo la gran masa cuyo espesor abarca todo el depósito coluvial. Los mecanismos de falla de los depósitos superficiales se caracterizan por ser circulares y más rápidos en las zonas de pendientes altas y lentos en los sectores de baja pendiente; el gran deslizamiento por su parte presenta un movimiento traslacional. El poder destructivo de los movimientos es bajo pero constante, situación por la cual, las edificaciones

afectadas no falla súbitamente sino de manera lenta y progresiva, claro está que los daños son directamente proporcionales a la vulnerabilidad de las viviendas. Como ejemplos de esta situación tenemos que la edificación identificada como 001 de la manzana 08 se encuentra totalmente agrietada y a punto de colapsar, mientras que las viviendas 001 a 003 de la manzana 07 aunque bastante afectadas no se encuentran en el mismo nivel de daño que la ya mencionada.

Todos los procesos que están afectando la avenida circunvalar están dentro del marco ya expuesto, de tasa de movimiento lento y poder destructivo bajo. Como reflejo de esta situación se tiene que aunque la vía sufre constantemente empujes sobre los muros en gaviones y cizallamiento de la carpeta asfáltica la vía no ha colapsado y que con intervenciones periódicas la vía cumple con su función.

9.2 PLAN GENERAL DE ACCIONES

El plan de acciones establece las medidas preventivas y de mitigación que buscan en primera instancia minimizar los niveles de riesgo a que está expuesta la comunidad controlando los procesos; y en segunda instancia, mejorando las condiciones del entorno físico y ambiental que favorecen la ocurrencia de los procesos de inestabilidad.

9.2.1 Medidas preventivas

Dentro de este grupo se encuentran:

Obras de protección y control: Con este tipo de medida se busca controlar básicamente la escorrentía subsuperficial mediante la arborización y la construcción de sistemas de drenaje que colecten y conduzcan las aguas subsuperficiales que se presenten, especialmente en el costado norte de la Avenida Circunvalar. Adicionalmente, con la arborización se busca restringir el uso del sector ya que cualquier tipo de asentamiento humano que se presente traería consigo aceleración de los movimientos que actualmente se presentan.

Reubicación: Esta medida busca prevenir desastres y/o pérdidas humanas a raíz de deslizamientos que afecten viviendas expuestas de manera directa a tales fenómenos, como

sucede con las viviendas No. 001 y 21 A y B, las cuales se encuentran en una zona de amenaza, vulnerabilidad y riesgo altos.

9.2.2 Medidas de mitigación

Estas medidas tienden a mitigar en forma directa el riesgo y buscan modificar las características de los eventos amenazantes o las características de los elementos expuestos.

Teniendo en cuenta las características de los eventos amenazantes en el área y que su afectación se limita a las áreas inmediatamente adyacentes, se establecen como medidas de mitigación las obras físicas para la intervención y control de los fenómenos de remoción en masa. Las medidas se subdividen en:

Pantalla de pilotes y/o anclajes:

Esta medida busca estabilizar deslizamientos puntuales como el que afecta las viviendas 001 a 003 de la manzana 07 y de manera incipiente a las viviendas 003 a 006 de la manzana 08.

Esta medida se puede subdividir en tres alternativas a saber: pantalla de pilotes, anclajes o una combinación de las dos, es decir, una pantalla de pilotes anclada. La recomendación de la más adecuada se hará con base en un análisis beneficio-costos.

Muro en Gaviones:

Esta medida se considera aplicable para estabilizar el deslizamiento local que se presenta en el costado occidental de la zona en estudio y que está afectando la avenida circunvalar, frente a la escuela del barrio.

Sellado de grietas:

Como complemento del manejo de la escorrentía subsuperficial el sellado de grietas es una medida que contribuye a evitar la entrada de agua al subsuelo.

9.3 PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS.

Dentro del esquema presentado anteriormente, el Consultor considera las siguientes medidas:

9.3.1 Medidas preventivas

Reubicación de familias.

Se consideró esta medida aplicable para los predios No. 001, 21A y 21B de la manzana 08. El predio No. 001 se encuentra en la cabeza de un deslizamiento de carácter rotacional mientras que

los predios 21A y 21B presentan un alto potencial de ser afectados por desprendimientos de material, ya que éstos se encuentran en la pata de un talud de alta pendiente, casi vertical.

Bajo las apreciaciones anteriores y considerando el alto nivel de vulnerabilidad de los predios enunciados, se recomienda que estas familias sean reubicadas.

Dentro del planteamiento de reubicación de familias se ha considerado la evacuación de las viviendas No. 001 a 003 de la manzana 07 y 003 a 006 de la manzana 08. Esta medida apunta a eliminar el riesgo que corren las familias que residen en estas viviendas a causa del deslizamiento que los está afectando. Esta medida deberá complementarse con la demolición de tales edificaciones, revisión del muro en concreto ciclópeo de la parte posterior, la evaluación del papel de contrafuertes que están haciendo los muros de las viviendas entre otras.

Sistema de drenaje.

Para la colección y conducción del agua subsuperficial que pueda presentarse en algunas zonas del área en estudio, sobre todo en el sector donde se detectó la presencia de nivel freático, se considera que sistemas de colección y conducción del agua subterránea mediante la construcción de un dren francés en espina de pescado es una medida que contribuyen a la estabilización de la ladera.

Como parte de las medidas de manejo de aguas subterráneas para la estabilización del deslizamiento puntual que se presenta en el costado oriental de la zona de estudio y que está afectando la Avenida Circunvalar, se recomienda implementar un sistema de drenaje que puede consistir en un batería de drenes horizontales que colecte y conduzca que agua que se infiltre en esta zona.

Rehabilitación de los sistemas de conducción de aguas.

Es importante y esencial la revisión y reparación de los sistemas de acueducto y alcantarillado de la zona ya que se han detectado fugas y roturas de un colector de alcantarillado que discurre por el costado norte de la Avenida Circunvalar y de la tubería de agua potable que abastece los lavaderos comunales del barrio.

De igual manera es esencial que se instale el sistema de alcantarillado a las viviendas que aún no lo poseen.

Para todas las tuberías que se instalen en la zona, deberá emplearse tubería y uniones flexibles a fin de que éstas se deformen y no se rompan ante la

ocurrencia de movimientos inevitables del terreno, sobre todo el gran deslizamiento.

Arborización.

Como ya se mencionó, la arborización de la zona no urbana del barrio y objeto del presente estudio mejorará la estabilidad de las laderas ya que los árboles mantendrán seco el coluvión y además, impedirán asentamientos humanos futuros que pongan nuevamente en inestabilidad las laderas.

Mantenimiento periódicos de la vía

Dadas las proporciones del gran deslizamiento, la contención de la masa es prácticamente imposible o en algunos casos demasiado costosa. Por lo tanto y dada la baja tasa de movimiento y poco poder destructivo, se recomienda prever mantenimientos periódicos de la vía.

9.3.2 Medidas de mitigación

Pantalla de pilotes

A fin de estabilizar el deslizamiento de la zona en la que se encuentran las viviendas No. 001 a 003 de la manzana No. 07 se considera que una pantalla conformada por 34 pilotes, 17 ubicados en la diagonal 40 A, frente a las viviendas enunciadas; los restantes 17 pilotes deberán ubicarse sobre el talud bajo las casas 003 a 006 de la manzana 08. Todos los pilotes deben ser anclados sobre la arcillolita con una profundidad de penetración adecuada que garantice la contención de la masa en movimiento.

Anclajes

Como medida alternativa a la antes expuesta se ha considerado cambiar las pantallas de pilotes por una única línea de anclajes en pata del deslizamiento a fin de contener la masa en movimiento, bajo las viviendas 003 a 006 de la manzana 08.

Pantalla de pilotes anclada

Se consideró esta alternativa en el caso en que las dos anteriores no alcanzaran los niveles de seguridad adecuados.

Evacuación de los predios 001 a 003 de la manzana 07.

Como alternativa para estabilizar la zona mencionada se consideró la posibilidad de reubicar las familias que residen en estas viviendas; sin embargo, esta medida se considera demasiado costosa y arriesgada, ya que las viviendas en la actualidad están actuando como contrafuertes del muro en concreto ciclópeo ubicado en la parte posterior. Este muro está conteniendo el terreno sobre el cual se encuentran cimentadas las viviendas No. 012 a 015 de la misma manzana, de tal manera que al retirar las

casas se debilita el muro y se genera la posibilidad de la falla del terreno adyacente y la afectación de las viviendas.

Muro en gaviones

Esta medida se recomienda para contener el deslizamiento ubicado en el costado occidental de la zona en estudio, frente a la escuela y sobre la Avenida Circunvalar.

Con la medida se busca estabilizar el deslizamiento, evitar que éste se convierta en un movimiento retrogresivo que pueda afectar la escuela y mejorar las condiciones de la vía, ya que con esta obra las deformaciones en la misma se detendrán.

Sellado de grietas.

Como ya se mencionó, esta medida debe aplicarse en todos aquellos lugares de la zona de estudio en los que se encuentren grietas de tracción. El sellado podrá ejecutarse con arcilla mezclada con cal.

9.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LAS MEDIDAS PROYECTADAS.

De las alternativas planteadas en el numeral anterior y dadas sus condiciones, se modelaron las siguientes alternativas:

- **Drenaje.** Para esta alternativa se empleó la sección No. 4 . Se consideró que la construcción del filtro francés evitaría la presencia de nivel freático. Así mismo, se consideró que se acomete la arborización en cuyo caso, los árboles también contribuye a mantener seco el coluvión. Las líneas de alcantarillado falladas deberán ser reparadas.
- **Muro en gaviones.** En esta alternativa se consideró el retiro del muro en gaviones existente en el costado oriental de la zona en estudio y sobre la Avenida Circunvalar y el reemplazo por un nuevo muro de mayores dimensiones, por ende mas peso, y cuya cimentación deberá colocarse por debajo de la superficie de falla por lo menos 1.0 m. En esa medida y bajo la modelación que se efectuó, se consideró que el depósito coluvial permanece drenado y seco, para lo cual se propuso la implementación de una batería de drenes horizontales.

- **Anclajes:** Para esta medida se empleó la sección de análisis 5 con la superficie de falla 2.

Los modelos empleados en los análisis de estabilidad, así como los resultados obtenidos se presentan en el anexo 13.

En el siguiente cuadro, se resumen los factores de seguridad establecidos para las medidas consideradas y la probabilidad de falla asociada.

Los análisis para evaluar la viabilidad del sistema de drenaje (filtro) se efectuaron para dos condiciones: la primera (1) contempla los valores medios, es decir aceleración de sismo igual a 0.1g y parámetros de resistencia del coluvión promedio ($c=0.2 \text{ t/m}^2$, $\phi=16^\circ$); la segunda alternativa (2) consideró una condición de resistencia para el coluvión más alta pero sin salirse de rangos establecidos en el análisis paramétrico, es decir ($c=0.4 \text{ t/m}^2$, $\phi=18^\circ$) y con aceleración sísmica igual a 0.1g.

La evaluación de estabilidad de la alternativa del muro en gaviones y de la pantalla de anclajes se realizó mediante el proceso establecido en el capítulo de amenaza, mediante el cual se establecieron los valores de factor de seguridad y probabilidad de falla que se presentan en el cuadro No. 9.3.

Alternativa	Condición	F.S.	P.F.
Gavión	1	1.68	0.07
Drenaje	1	0.88	0.67
	2	1.06	0.40
Anclajes	1	1.02	0.48

Cuadro No. 9.1. Factores de seguridad para las medidas de estabilización proyectadas.

De los resultados obtenidos se concluye que las alternativas de drenaje y anclajes se encontrarían en estado límite en tanto que la alternativa del muro en gaviones es estable. En este punto el consultor aclara que los análisis desarrollados para las alternativas consideradas envuelven muchas incertidumbres debido a la carencia de información respecto al modelo geotécnico específico para el sector donde se plantean las alternativas enunciadas. Debe ser claro también que la exploración y caracterización geotécnica efectuada dentro del marco del estudio estaba orientada por el alcance del estudio, que define una zonificación del área en estudio y no del diseño detallado de obras de estabilización.

Bajo las consideraciones anteriores, se recomienda que para el diseño detallado de las obras se lleve a cabo un estudio específico del

sitio que permita conocer con buen detalle el modelo geotécnico del sitio.

Sin embargo y dada la experiencia del consultor se considera que las alternativas presentadas garantizarán la estabilidad de los sectores con deslizamientos superficiales, situación que como ya se mencionó deberá corroborarse con un estudio detallado de las zonas de amenaza alta y para las cuales se proponen las alternativas enunciadas.

9.5 ANÁLISIS DE COSTOS DE LAS MEDIDAS PROYECTADAS Y DE LAS ALTERNATIVAS CONSIDERADAS

Para efectuar el análisis costo-beneficio se llevó a cabo una estimación aproximada de las cantidades de obra de cada una de las alternativas consideradas. De igual manera, se establecieron los costos aproximados en que se incurriría al efectuar las obras evaluadas.

El planteamiento de evacuación de viviendas se divide en dos: la primera consiste en una reubicación estrictamente necesaria de tres viviendas que se encuentran en un nivel de riesgo muy alto y que su estructura no es capaz de soportar un deslizamiento; la segunda corresponde a la reubicación de viviendas con mejores especificaciones técnicas de construcción, su evacuación obedece más a una evaluación de beneficio costo.

La reubicación que a criterio del consultor es estrictamente necesaria corresponde a las viviendas No. 001, 21A y 21B de la manzana 08, la cual tendría un costo aproximado de veinticuatro millones de pesos (\$ 24.000.000).

La evacuación de las viviendas No. 001 a 003 de la manzana No. 07 y 003 a 006 de la manzana No. 08 es la que correspondería a una evaluación costo beneficio; su costo aproximado es del orden de trescientos cinco millones de pesos (\$305.000.000). Debe aclararse que este costo solo incluye la compra de las viviendas y no involucra los trabajos que se deriven tanto de la revisión del muro en concreto ciclópeo y sus contrafuertes (las mismas casas) que contiene la cimentación de las viviendas 012 a 015 de la manzana 07, como del refuerzo de las mismas.

9.5.1 Cantidades de obra y presupuesto aproximados

Los siguientes valores aproximados fueron tomados de la gráfica No. 9.1 y con base en los análisis de estabilidad elaborados. Estos valores serán empleados en la estimación de los costos aproximados de las obras planteadas que conjuntamente con la información de estabilidad conjugarán la elaboración de los árboles de decisiones.

Con respecto a la pantalla anclada se aclara que el proceso constructivo considerado para la obtención de el precio unitario es:

- Excavación para la pantalla.
- Fundición de la pantalla.
- Excavación para instalar la maquina para instalar los anclajes.
- Perforación e instalación de los anclajes.
- Fundición de los dados.
- Tensionamiento de los cables.
- Reconformar la zona excavada.

Para las obras planteadas como alternativas de mitigación, presentadas en el numeral ...9.3..., se establecieron los valores aproximados en que se incurriría para la ejecución de cada una de ellas, ver cuadro No. 9.2 :

En el anexo No 13 se presenta una memoria de cálculo de los precios unitario estimados.

ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	V. Unitario	V. Total
1	Dren francés (Filtro)	ml	400	\$46.260	\$18.504.160
2	Dren horizontal	ml	207	\$83.053	\$17.192.006
3	Muro en gaviones	m ³	1700	\$67.700	\$115.090.000
4	Anclajes				\$106.769.900
4,1	Anclaje	ml	1020	\$95.350	\$97.257.000
4,2	Dado	m ³	2,8	\$451.750	\$1.264.900
4,3	pantalla	m ³	16	\$515.500	\$8.248.000
5	Arborización	UN	150	\$22.500	\$3.375.000
6	Pilotes				\$267.048.000
6,1	Ejecución excavación y fundida de pilote	m ³	460	\$499.500	\$229.770.000
6,2	Viga cabezal	m ³	90	\$414.200	\$37.278.000
7	Conformación superficial y sellado de grietas	m ²	50	\$2.850	\$142.500
TOTAL COSTOS DIRECTOS ALTERNATIVA CON ANCLAJES					\$261.073.566
AIU (30%)					\$78.322.070
IVA SOBRE UTILIDAD (15%)					\$1.958.052
TOTAL					\$341.353.688
TOTAL COSTOS DIRECTOS ALTERNATIVA CON PILOTES					\$421.351.666
AIU (30%)					\$126.405.500
IVA SOBRE UTILIDAD (15%)					\$3.160.137
TOTAL					\$550.917.304
TOTAL COSTOS DIRECTOS ALTERNATIVA DE PILOTES CON ANCLAJES					\$528.121.566
AIU (30%)					\$158.436.470
IVA SOBRE UTILIDAD (15%)					\$3.960.912
TOTAL					\$690.518.948

Cuadro No. 9.2. Costos aproximados de las obras.

Figura No. 9.1. Planteamiento de alternativas

9.5.2 Árbol de decisiones.

En este numeral se establecen los indicadores que desde el punto de vista de mitigación de riesgos por fenómenos de remoción en masa, se deben seguir para la atenuación de los efectos que puedan generar la ocurrencia de eventos amenazantes. Dentro de este contexto y desde el punto de probabilidad de falla, solo se tienen en cuenta las obras que buscan estabilizar los movimientos o mejorar los niveles de vulnerabilidad actual; en cambio desde el aspecto económico se tienen en cuenta todos los costos que implicaría cada una de las alternativas consideradas.

Para establecer los criterios de decisión se hace un análisis comparativo entre la situación actual sin obras, considerando sus posibles consecuencias, y en la condición bajo la cual se han implementado la obras consideradas anteriormente. La base de comparación de estos análisis, es el riesgo asumido en términos económicos y se analizó únicamente para el sector en el cual se localizan los predios 001 a 003 de la manzana No. 7, por ser esta la zona en la cual se ven afectadas las viviendas.

Se debe aclarar que en las zonas donde se recomienda la reubicación de las familias se considera ésta como la única alternativa posible, dada las condiciones actuales de las viviendas y su localización frente a los eventos amenazantes.

Los valores de probabilidad de falla empleados en el árbol de decisión se tomaron de los asignado a la zona de amenaza en la cual se localizaría la obra.

Los valores económicos o valor de la ruta considerados, se eligieron de la siguiente manera:

Para la situación actual sin obras, se tomó el valor del daño esperado en la eventualidad de ocurrir el movimiento (ver tabla No. 8.1); de no presentarse el deslizamiento este valor es cero.

Para la situación actual con obras se consideró como valor de la ruta la suma del daño esperado mas la mitad del valor de las obras si ocurre el deslizamiento, pues se considera que de presentarse el deslizamiento las obras no se verán afectadas en su totalidad. Si no ocurre el deslizamiento, el valor de la ruta será igual al valor de las obras.

Del árbol de decisión se concluye que resulta más conveniente efectuar la reubicación de las familias; sin embargo, se debe aclarar que evacuar las familias conlleva trabajos adicionales

no considerados en el presente análisis dado que no son posibles de establecer y cuantificar en este momento; tales factores son entre otros:

- Estado y competencia del muro que se encuentra en la parte posterior de las viviendas 001 a 003 de la manzana 07.
- El papel de las viviendas como contrafuertes del muro. De no encontrarse éstas que tipo de contrafuertes deberían emplearse.
- Estado de la cimentación del muro citado.
- Tipo de material de fundación del muro y condiciones de resistencia.

Los anteriores son tan solo algunos de los aspectos no cuantificados en el árbol de decisiones presentado, pero que dado el caso de acomete esta alternativa deberán ser evaluados y consideradas de manera rigurosa.

De contemplarse la ejecución de otra alternativa, el consultor recomienda considerar la de los anclajes.

10 DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAL DE LAS VIVIENDAS 001, 002 Y 003 DE LA MANAZANA 07

10.1 INTRODUCCIÓN

La recopilación de información se llevó a cabo en tres etapas: instrumentación y evolución del agrietamiento, nivelación e identificación de cimientos.

Para el seguimiento de las grietas se ubicaron testigos, consistentes en un grupo de cuatro puntillas, dos (2) a cada lado de las grietas, y ubicadas en tres (3) a cuatro (4) sitios de cada una de las casas evaluadas. Posteriormente y de manera periódica se tomaron lecturas de distancia entre las citadas puntillas. La información de distancias relativas entre ellas permite evaluar la magnitud y dirección de movimiento de los segmentos agrietados de muros.

La nivelación se realizó por vivienda a fin de identificar de forma aproximada los movimientos diferenciales relativos. Para este propósito se tomó un punto de referencia externo, el cual se trasladó por nivelación a las esquinas individuales internas de cada una de las viviendas; una vez efectuada la anterior labor, se procedió a verificar las diferencias existentes entre los diferentes puntos establecidos.

La identificación del tipo de cimentación se realizó mediante apiques efectuados en los perímetros de las viviendas.

10.2 EXPLORACIÓN ESTRUCTURAL

10.2.1 Descripción de la edificación

Vivienda 001 de la manzana 07

Esta vivienda, se enc

uentra localizada en la parte más alta de la zona afectada por el movimiento del terreno. Consta de un piso y cubierta en placa maciza con una abertura sobre la zona posterior; en el patio central, la cubierta es de tipo liviano.

Por el costado oriental, colinda con una ladera de gran pendiente y sin ningún tipo de edificación. Ver foto No. 10.1.

En fachada, se observa una vivienda de un piso y cubierta en placa, apoyada sobre un relleno soportado lateralmente en un muro de contención de concreto ciclópeo, reforzado en varios puntos mediante columnas intermedias. Para poder acceder a la vivienda, se requiere de una escalera que salva una altura aproximada de 5.0m y que se desarrolla a lo largo del muro de contención. Ver Foto No. 10.2.

Por el costado izquierdo limita con la vivienda 002; allí se observa que el nivel de primer piso se encuentran ligeramente por encima del nivel de primer piso de la casa 002. Ver Foto No. 10.2.



Foto No. 10.1 - CASA 1. FACHADA LATERAL IZQUIERDA, VISTA FRONTAL



Foto No. 10.2 - CASA 1. FACHADA PRINCIPAL

Vivienda 002 de la manzana 07

Esta vivienda colinda por el costado derecho con la vivienda No. 001, por el costado izquierdo, con la casa 003; consta de dos (2) pisos y cubierta en placa maciza.

En fachada, se observa una vivienda de dos pisos y cubierta en placa, apoyada sobre un relleno soportado lateralmente por un muro de contención en concreto ciclópeo. Para poder acceder a la vivienda, se requiere de una escalera que salva una altura aproximada de 5.50m y que se desarrolla a lo largo de la fachada. Ver Foto No. 10.3.

El nivel de primer piso se encuentra por debajo del nivel de cubierta del segundo piso de la casa 003.



Foto No. 10.3 - CASA 2. FACHADA PRINCIPAL

Vivienda 003 de la manzana 07

Esta vivienda está localizada entre la casa 002 y un lote vacío. El nivel de cubierta del tercer piso de esta vivienda se encuentra ligeramente por encima del primer piso de la casa vecina. El lote vacío presenta una gran pendiente y tan solo contiene una edificación de un piso y con estructura liviana. Ver fotos No. 10.4 y 10.5.

En fachada, se observa una vivienda de tres pisos y cubierta liviana, apoyada directamente sobre el terreno, en los diferentes niveles sobre la ladera del lote. El acceso a la vivienda se hace directamente sin ningún tipo de escaleras, contrario a lo que sucede en las casas 001 y 002. A diferencia de las otras casas, en esta no se ejecutó ningún relleno en el frente, por el contrario se construyó un cuarto y las escaleras para ingresar al segundo piso.



Foto No. 10.4 - CASA 3. FACHADA PRINCIPAL



Foto No. 10.5 - CASA 3. FACHADA LATERAL DERECHA

10.2.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

Vivienda 001 de la manzana 07

El sistema estructural empleado se asemeja bastante al de pórtico de concreto reforzado. Es importante aclarar que esta vivienda fue construida hace más de veinte años, lo cual marca una gran diferencia con lo que se conoce hoy en día como pórtico de concreto reforzado, en cuanto a diseño se refiere. Podría hablarse de un sistema combinado entre pórtico de concreto reforzado y mampostería confinada. Este sistema estructural, de acuerdo a las conversaciones con los propietarios, fue establecido y desarrollado por el maestro de obra que se encargó de la construcción.

Durante el estudio se efectuó un seguimiento de las grietas más sobresalientes, con lo cual se pudo establecer de manera aproximada y cuantitativa el direccionamiento del movimiento que afecta las viviendas (ver anexo No. 16). Para la grieta G.8-8' se obtuvo 6.0mm de separación y un movimiento máximo 0.15mm en los sentidos D1 y D3 (ver Foto No. 10.6); para la grieta G.9-9' se obtuvo 4.0mm de separación y para la G.Piso 5.5mm, en tanto que para estas grietas se estableció un movimiento máximo de 0.10 mm en la dirección D3 (ver Foto No. 10.7 y 10.8) y 0.35 mm en la dirección D2 (ver Foto No. 10.10) respectivamente. Estos registros fueron tomados a partir del 23 de agosto de 2000 hasta el 18 de octubre de 2000, de acuerdo a la posición de las puntillas colocadas alrededor de cada grieta. Para complementar el seguimiento, se realizó una nivelación básica en cada una de las esquinas de la vivienda, con el fin de establecer la dirección del movimiento en general que produce el rompimiento de la casa.



Foto No. 10.6 - CASA 1. DESARROLLO GRIETA 8-8'. FALLA POR TRACCIÓN DIAGONAL



Foto No. 10.7 - CASA 1. DESARROLLO GRIETA 9-9'. FALLA POR TENSIÓN DEBIDO A FLEXIÓN EN EL PLANO DEL MURO



Foto No. 10.8 - CASA 1. DESARROLLO GRIETA HORIZONTAL POR LA PARTE SUPERIOR DEL MURO EN ZONA G.9-9'



Foto No. 10.9 - CASA 1. CONTINUACIÓN G.PATIO EN MURO DE COCINA. FALLA POR TRACCIÓN DIAGONAL



Foto No. 10.10 - CASA 1. DESARROLLO DE GRIETA G.PATIO EN EL PISO ZONA DE PATIO CENTRAL. FALLA POR TENSIÓN AXIAL

A parte de las grietas a las que se les lleva control, se detectaron otra serie de fisuras en los muros que colindan con la casa 2, con el terreno vacío y en los elementos que marcan unión de la mampostería con las vigas de concreto. Ver foto No. 10.11 y 10.31.



Foto No. 10.11 - CASA 1. DESARROLLO GRIETA EN PATIO DE ROPAS. FALLA POR RESBALAMIENTO DE JUNTA

A continuación, se presenta un esquema de la vivienda con los datos obtenidos.

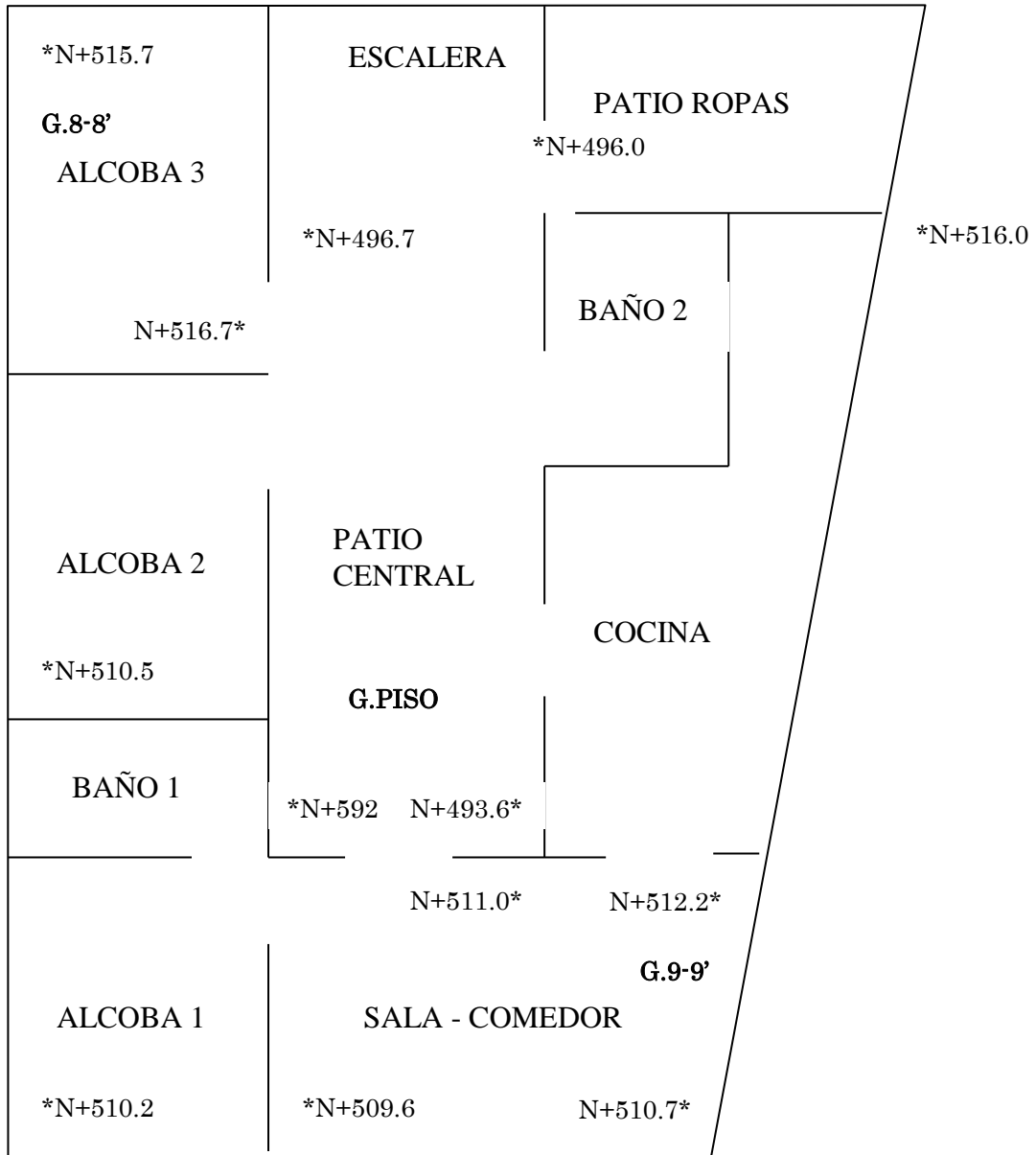


Figura No.10.1 Planta primer piso vivienda No. 001

De acuerdo con los registros de nivelación obtenidos para el primer piso, se deduce que la casa realmente ha presentado movimientos relativos diferenciales bastante grandes (asentamientos diferenciales del orden de 5.50 cm entre la parte posterior de la casa y su fachada); así mismo, se detectaron diferenciales del orden de 2.60cm en la sala comedor y 3.10cm en el patio central, valores que resultan demasiado elevados para una estructura de tan solo un piso, por lo cual, se descarta que estos movimientos se deban solamente a un asentamiento de la cimentación por consolidación del material de relleno. Se descarta esta posibilidad, ya que durante el tiempo de construcción de la edificación (mas de veinte años), este tipo de asentamiento ya tuvo que haberse presentado. En caso de haberse presentado, las grietas asociadas seguramente fueron resanadas en el momento de una remodelación.

Durante los dos últimos años se han venido desarrollando algunas fisuras en forma acelerada hasta el punto de ser realmente grietas, lo que permite pensar que el suelo de cimentación de las viviendas realmente se está desplazando sobre la zona de junta entre el terreno natural y el material de relleno.

Vivienda 002 de la manzana 07

El sistema estructural y el procedimiento seguido para su construcción es similar al de la vivienda No. 001. Al igual que con la vivienda No. 001, se llevó a cabo un seguimiento de las grietas mas importantes, encontrando los siguientes resultados:

La grieta G 1-1 presenta un movimiento relativo de 0.10 mm en los sentidos de D3 y D4 (ver Foto No. 10.12), con una abertura de 5.0 mm; la grieta G 2-2 presenta un desplazamiento de 0.15 mm en la dirección D4, con una abertura de 3.5 mm (ver Foto No. 10.13); la grieta G 3-3 presenta un desplazamiento de 0.1 mm y una abertura de 3.5 mm (ver Foto No. 10.14); la grieta G 7-7 presenta un desplazamiento de 0.30 mm en la dirección D1 y una abertura de 3.0 mm (ver Foto No. 10.13).



Foto No. 10.12 - CASA 2. DESARROLLO GRIETA 1-1'. FALLA POR TRACCIÓN DIAGONAL



Foto No. 10.13 - CASA 2. DESARROLLO GRIETA 2-2 Y 7-7'. FALLA POR TENSIÓN AXIAL DEBIDO A PÉRDIDA DE SOPORTE EN LA BASE DEL MURO



Foto No. 10.14 - CASA 2. DESARROLLO GRIETA G.3-3'. FALLA POR TRACCIÓN DIAGONAL

En esta vivienda también se observan fisuras aparte de las grietas instrumentadas. En las fotos 10.15 y 10.32 se ilustran algunas de ellas.



Foto No. 10.15 - CASA 2. DESARROLLO GRIETA EN MURO DIVISORIO SALA COMEDOR AUXILIAR

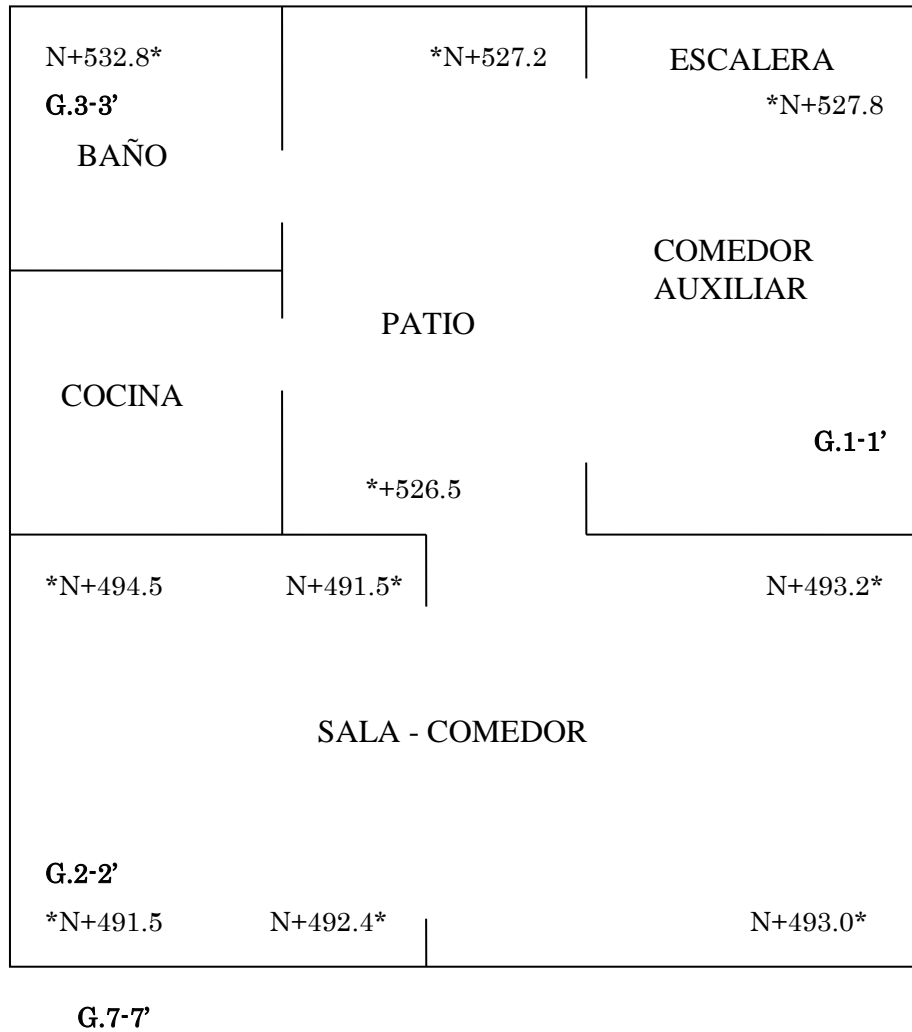


Figura No. 10.2 Planta primer piso vivienda No. 002

Al igual que para la vivienda 001 se establecieron asentamientos diferenciales del orden de 3.7 cm en la parte posterior y en su fachada, de 3.00 cm en la sala comedor y de 0.70 cm en el patio central.

Vivienda 003 de la manzana 07

En esta vivienda al igual que en las anteriores se monitoreó el desplazamiento de tres grietas encontrando que: la grieta G 4-4 presenta un desplazamiento de 0.5 mm en la dirección D2 (Foto No. 10.16) y una abertura de 4.5 mm; la grieta G 5-5 tiene un desplazamiento de 0.10 mm y una abertura de 2.0 mm (ver foto No. 10.17); la grieta G 6-6 tiene un desplazamiento de 0.15 mm en la dirección D2y una abertura de 1.10 mm (ver Foto No. 10.18); por último la grieta G A-A presenta una abertura de 2.50 cm.



Foto No. 10.16 - CASA 3. DESARROLLO GRIETA 4-4'. FALLA POR TRACCIÓN EN ZONA DE DILATACIÓN



Foto No. 10.17 - CASA 3. DESARROLLO GRIETA 9-9'. FALLA POR TENSIÓN



Foto No. 10.18 - CASA 3. DESARROLLO GRIETA HORIZONTAL POR LA PARTE SUPERIOR DEL MURO EN ZONA G.6-6'

En las fotos No. 28 y 29 se ilustran otras fisuras que no fueron monitoreadas.



Foto No. 10.19 - CASA 3. DESARROLLO GRIETA EN SEGUNDO PISO, DILATACIÓN



Foto No. 10.20 - CASA 3. DESARROLLO DE FISURAS EN ZONA INFERIOR PLACA MACIZA CON MURO MAMPOSTERÍA

A continuación, se presenta un esquema de la casa con los datos obtenidos.

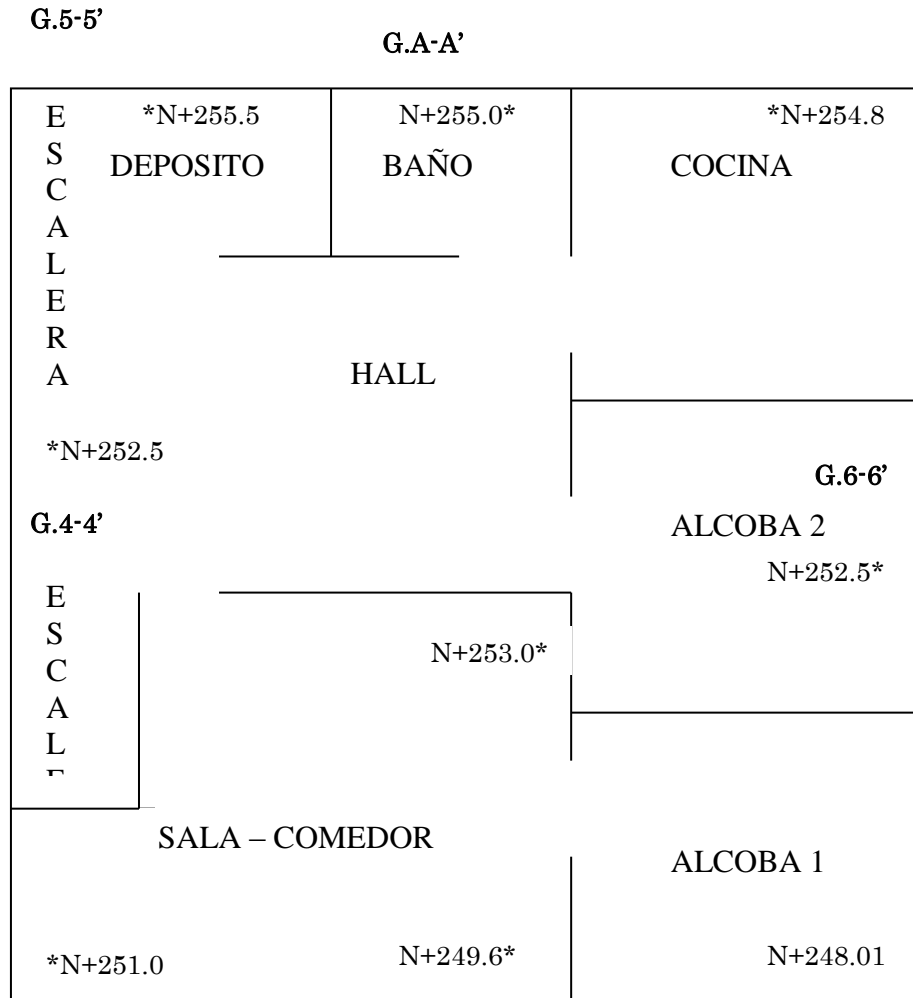


Figura No.10.3 Planta segundo piso vivienda 003

De acuerdo a los registros de nivelación obtenidos en campo para el segundo piso, se deduce que la casa realmente ha presentado movimientos relativos diferenciales grandes (asentamientos diferenciales de orden de 7.40cm entre la parte posterior de la casa y su fachada). Así mismo, se identificaron diferenciales del orden de 3.40cm en la sala comedor y de 2.50cm en el hall, valores demasiado altos para este tipo de estructura, por lo cual, se descarta que estos movimientos se deben solamente a un asentamiento de la cimentación

10.2.3 DESCRIPCIÓN DE LA CIMENTACIÓN

Vivienda 001 de la manzana 07

Con base en los apiques realizados, se concluye que el tipo de cimentación empleado para esta vivienda se encuentra conformado por dados en concreto ciclópeo de dimensiones aproximadas de 1.0m x 1.0m x 0.80m de alto para soportar las columnas que forman parte de los pórticos (ver fotos No. 10.21 y 10.22) y de una viga cimiento corrido de 0.40m de altura para apoyar los muros (ver foto No. 10.23). No se observa ningún tipo de refuerzo en los elementos de dados de la cimentación. En los apiques, se aprecia un suelo de apoyo de color amarillo quemado con rastros de material granular típico coluvión, encontrado en las exploraciones ejecutadas dentro de la zona en estudio.



Foto No. 10.21 - CASA 1. APIQUE No. 1, VISTA SUPERIOR

Dadas las condiciones topográficas en las que se ubicó la vivienda, los propietarios ejecutaron la cimentación en dos etapas constructivas. La primera etapa consistió en la construcción de un muro de concreto ciclópeo, el cual se amarró con

columnas de concreto reforzado, soportando los empujes laterales del relleno de cimentación, así como las cargas de placa del primer piso. Ver Foto No. 10.23. En la segunda etapa se construyó la viga perimetral que recibe la mampostería de cerramiento de la casa. Esta viga se encuentra apoyada en su extremo externo sobre el muro de concreto ciclópeo y en su parte interna descansa directamente sobre el terreno, tal como se observa en la foto No. 10.24.



Foto No. 10.22 - CASA 1. APIQUE No. 1, VISTA LATERAL



Foto No. 10.23 - CASA 1. VIGA DE AMARRE PERIMETRAL

El agrietamiento que se presenta sobre el muro que colinda con el lote, se debe a la pérdida de

soporte en la parte inferior del mismo. Inicialmente, el muro se encontraba apoyado sobre la viga de amarre que descansa sobre el muro de concreto ciclópeo. La viga de amarre se diseñó probablemente como un elemento de apoyo para la mampostería del tipo cimiento corrido sobre el terreno. En el momento de producirse una reacomodación del suelo de relleno, la viga pierde soporte y empieza a trabajar de manera aproximada como un elemento simplemente apoyado, para lo cual no se diseñó, produciéndose entonces grandes deflexiones verticales que traen como consecuencia la falla del muro. (Grieta No. 9-9', vista exterior). Ver foto No. 10.25.



FOTO No. 10.24 - CASA 1. DETALLE VIGA DE AMARRE PERIMETRAL Y MURO DE CONTENCIÓN EN CONCRETO CICLOPEO



FOTO No. 10.25 - CASA 1. GRIETA 9-9', FACHADA LATERAL IZQUIERDA, VISTA EXTERIOR

En la foto No. 10.25 se observa como la mampostería debido a esfuerzos de flexión causados por peso propio en su mismo plano, se desprende en la unión con la placa de concreto de la cubierta y se fisura verticalmente en la zona donde el esfuerzo de flexión es mayor. El asentamiento de la viga de amarre se puede apreciar en la foto No. 10.26, en donde se observan grandes deflexiones verticales de la viga.

Es importante aclarar, que la pérdida de soporte de la viga de amarre se debe a una reacomodación del suelo de fundación por los posibles movimientos en esta zona de la ladera.



FOTO No. 10.26 - CASA 1. ASENTAMIENTO EN VIGA DE AMARRE

Vivienda 002 de la manzana 07

A esta edificación no se le realizaron apiques, pero se puede decir que el tipo de cimentación empleado para esta vivienda es similar al de la casa 001, en donde las columnas se encuentran soportadas por dados en concreto ciclópeo y de una viga cimiento corrido para el apoyo de los muros.

Al igual que en la casa 001, por encontrarse sobre ladera, los propietarios de la vivienda ejecutaron la cimentación en dos etapas constructivas. La primera etapa consistió en la construcción de un muro de concreto ciclópeo, el cual recibe cargas de placa y empuje del relleno. Sobre la zona de sala comedor, el sistema de piso se encuentra soportado sobre el relleno y armado en madera, presentando hundimientos, lo cual se ve reflejado en los niveles tomados en la edificación.

La zona posterior del primer piso, se encuentra cimentada sobre el terreno natural y se observa un muro de contención en concreto ciclópeo de altura aproximada 2.50m, el cual permite la ampliación de la casa hacia la zona posterior en el segundo piso.

El comportamiento del agrietamiento en esta casa, parece seguir el mismo patrón observado en la casa 001 (grieta de piso G.Piso), ya que la fisura

atraviesa completamente la casa y su localización da a entender que hay continuidad con la grieta de la vivienda 001, al nivel de primer piso.

Vivienda 003 de la manzana 07

Con base en los apiques realizados, se puede decir que el tipo de cimentación empleado para esta vivienda se encuentra conformado por cimientos corridos en concreto ciclópeo de 0.80m de altura, las cuales reciben tanto las columnas como los muros de mampostería (ver fotos No. 10.27, 10.28 y 10.29). No se observa ningún tipo de refuerzo en los elementos de la cimentación. En los apiques, se aprecia un suelo de apoyo de color amarillo quemado con rastros de material granular, típico del material de coluvión encontrado en otras exploraciones de campo.



FOTO No. 10.27 - CASA 3. APIQUE No. 2, VISTA SUPERIOR

Por encontrarse sobre ladera, los propietarios de la vivienda ejecutaron la cimentación en tres etapas constructivas. La primera etapa consistió en la construcción de la parte posterior de la vivienda a nivel del tercer piso. Posteriormente y dentro de la segunda etapa, se construyó la parte delantera de la vivienda, es decir el primer y segundo piso; en este momento se construyó un muro en concreto ciclópeo en el primer piso para contener la ladera. La tercera etapa de construcción se desarrolló para la construcción de la parte más reciente de la vivienda, la parte delantera del tercer piso.

Del análisis del proceso constructivo de esta vivienda se establece que durante todo el tiempo de construcción, más de 20 años, se han ido dejando una serie de juntas o dilataciones que debido a los movimientos del terreno se han separado, generando grietas como las que se observan en las fotos No. 10.19 y 10.30.



FOTO No. 10.28 - CASA 3. APIQUE No. 2, VISTA LATERAL



FOTO No. 10.29 - CASA 3. APIQUE No. 2, DETALLE SUELO DE FUNDACIÓN

A diferencia de las dos placas de entrepiso, las cuales son de concreto reforzado, la cubierta del tercer nivel es en estructura de tipo liviano, pero aún siendo las cargas verticales relativamente bajas, se presenta agrietamiento de los muros de mampostería. Ver foto No. 10.30.

El agrietamiento que se presenta sobre el muro que colinda con el lote, se genera sobre la zona más débil de la mampostería (dilatación constructiva del muro) y se produce por el asentamiento de la edificación sobre la zona de

fachada (similar a un efecto de rotación de la vivienda en el sentido longitudinal), creando esfuerzos de tensión en la parte mas alta de la edificación, lo que se ve reflejado en todos los agrietamientos de los muros de costado. Esto se analiza mejor, si se compara los registros de medición entre las grietas G.4-4' y la grieta G.5-5', en donde la abertura producida y el aumento de tamaño es mayor que en la grieta G.4-4'.



FOTO No. 10.30 - CASA 3. DESARROLLO GRIETA G.5-5, VISTA EXTERNA

Es importante aclarar que la posición de la grieta G.5-5', coincide con el desarrollo del agrietamiento que se viene observando en las casas 001 y 002, tanto en su localización en planta como en altura.

10.2.4 Losa de entrepiso, estructura de cubierta y materiales empleados.

Vivienda 001 de la manzana 07

El tipo de estructura empleado para la losa de entrepiso, en este caso la misma losa de cubierta, se detectó que es una placa maciza con espesor de 0.15m apoyada directamente sobre la mampostería y sobre vigas de concreto en la zona del patio central. Dentro del estudio que se adelantó, se detectaron algunas fisuras en esta placa, debido a los movimientos que se han venido desarrollando. Las fisuras son

relativamente pequeñas en comparación con las encontradas en los muros. Las placas de piso son de concreto fundido sobre el terreno. No se tiene información de si éstas presentan algún tipo de refuerzo.

La cubierta de la vivienda se encuentra conformada por placa maciza de 0.15m de espesor y una cubierta liviana en marquesina sobre la zona del patio central (ver foto No. 10.31). El punto de unión entre los dos sistemas estructurales se encuentra completamente fisurado, debido a los movimientos relativos de la edificación.



FOTO No. 10.31 - CASA 1. DESARROLLO DE FISURAS EN LA ZONA INTERIOR, VIGA CABEZAL EN EL PATIO CENTRAL.

Dentro de los materiales empleados en esta construcción, se puede decir lo siguiente:

- La mampostería es de tipo ladrillo tolete macizo cocido, típico de la época de construcción de la edificación.
- El concreto, su resistencia puede estar alrededor de los 3000 psi, debido a la ganancia de resistencia con el tiempo.
- El acero de refuerzo, será del tipo liso con una resistencia $f_y = 34000$ psi, acero utilizado en la época de su construcción.

Vivienda 002 de la manzana 07

La losa de entrepiso, en este caso segundo piso y cubierta, se detectó que es una placa maciza de 0.15m de espesor apoyada sobre las columnas y los muros de mampostería. Dentro del estudio que se adelantó, se detectaron algunas fisuras en esta placa, debido a los movimientos que se han venido desarrollando. Las fisuras son relativamente pequeñas en comparación con las encontradas en los muros (ver foto No. 10.32). Sobre la zona de fachada en primer piso (sala – comedor), el piso es de madera armado sobre el relleno, y en la zona posterior (patio, cocina, baño y comedor auxiliar) se encuentra una placa de concreto fundido sobre el terreno. No se tiene

información de si éstas presentan algún tipo de refuerzo.

Tal como se explica en el numeral anterior, la losa de cubierta está compuesta por una placa maciza de 0.15m de espesor apoyada sobre los muros de mampostería y las columnas.

De los materiales empleados en esta construcción, se puede decir:



FOTO No. 10.32 - CASA 2. DESARROLLO DE FISURAS EN LA ZONA DE UNIÓN ENTRE EL MURO Y LA PLACA DE ENTRE PISO

- La mampostería es de tipo ladrillo tolete macizo.
- La resistencia del concreto puede estar alrededor de los 3000 psi, debido a la ganancia de resistencia con el tiempo.
- El acero de refuerzo, debe ser del tipo liso con una resistencia $f_y = 34000$ psi, acero utilizado en la época de su construcción.

Vivienda 003 de la manzana 07

El tipo de estructura empleado para las losas de entrepiso, consiste en una placa maciza con espesor de 0.15m apoyada directamente sobre la mampostería. Dentro del estudio que se adelantó, se detectaron algunas fisuras en esta placa, debido a los movimientos que se han venido desarrollando. Las fisuras son relativamente pequeñas en comparación con las encontradas en los muros. Las placas de piso son de concreto fundido sobre el terreno. No se tiene información de si éstas presentan algún tipo de refuerzo.

La cubierta de la vivienda se encuentra conformada por una estructura de tipo cubierta liviana en marquesina y teja sobre todo el tercer piso. El punto de unión entre los dos sistemas estructurales se encuentra completamente fisurado, debido a los movimientos relativos de la edificación.

Dentro de los materiales empleados en esta construcción, se podría decir lo siguiente:

- La mampostería es de tipo ladrillo tolete macizo cocido, típico de la época de construcción de la edificación.
- El concreto, su resistencia puede estar alrededor de los 3000 psi, debido a la ganancia de resistencia con el tiempo.
- El acero de refuerzo, será del tipo liso con una resistencia $f_y = 34000$ psi, acero utilizado en la época de su construcción.

10.3 DIAGNÓSTICO

10.3.1 Diseño estructural

De acuerdo a los análisis realizados se puede concluir que los sistemas estructurales de cada una de las viviendas son similares, lo que implica un comportamiento similar ante los posibles eventos de cargas tanto verticales como horizontales.

Por ser edificaciones construidas hace ya más de veinte años por maestros de obra, no se puede hablar de una construcción tecnificada y que obedece a un diseño estructural establecido por un código, pero a pesar de esto, las viviendas presentan en cierto modo unos parámetros básicos en su elaboración, los cuales han permitido que éstas hayan soportado los eventuales movimientos sísmicos, así como los asentamientos diferenciales a los cuales están sometidas.

No se ha detectado la presencia de vigas tanto longitudinales como transversales que estén amarrando las columnas del sistema estructural, pero muy seguramente en el sitio donde deberían existir estas vigas, existirá de alguna forma un aumento del refuerzo dentro de las placas de entrepiso, convirtiéndose ésta en el amarre del sistema estructural.

Este tipo de estructuras no transmite cargas tan altas a nivel de cimentación, si se considera que las luces que se manejan entre columnas no sobrepasan los 4.50m y que la mayoría de los muros se encuentran apoyados sobre cimientos corridos en concreto ciclópeo, se podría establecer que tenemos cargas máximas a nivel de pedestal del orden 35.0 t para las columnas y de 5.0 t/m para los muros. Es importante aclarar, que de acuerdo a los apiques realizados, las cimentaciones se están apoyando sobre el material coluvial y no sobre material de relleno, excepto la casa 001, en donde la viga de borde que colinda con el lote se encuentra apoyada sobre éste.

Es evidente que la mampostería no cumple con los requisitos establecidos por la Norma NSR-98 en cuanto a amarre de la misma se refiere, pero como se mencionó con anterioridad, podría decirse que esta se encuentra confinada por las columnas y placas de entrepiso, de acuerdo al sistema constructivo empleado.

Las dimensiones de las columnas existentes, en su mayoría, no cumplen con lo establecido por la Norma, sin embargo, si se analiza la estructura como un sistema compuesto (mampostería confinada), se concluye que la participación de los muros de mampostería es importante para soportar las cargas tanto verticales como horizontales aplicadas a cada una de las casas, haciendo parte del sistema de rigidez y resistencia sísmica. Es importante resaltar que la unidad de mampostería utilizada en estas viviendas corresponde al ladrillo macizo cocido, que de cierta manera presenta mayor resistencia que un bloque de arcilla de los que hoy en día se utilizan para este tipo de edificaciones.

10.3.2 Estado de las estructuras

Históricamente y de acuerdo con conversaciones con los propietarios, desde el momento de la construcción de las viviendas, se han observado algunas fisuras en los muros, normales para este tipo de estructuras y de acuerdo a la forma y proceso en que se construyeron (escalonada), ya pueden haberse generado por el acomodamiento del suelo al ser sometido a las nuevas cargas que se están aplicando. Estas fisuras no presentaron aumentos considerables al comienzo de la construcción, pero su distanciamiento se inicia con la construcción de la Avenida Circunvalación y después se incrementó con la construcción de las vías de acceso al barrio. El incremento más importante se inició hace dos años aproximadamente, después de la ocurrencia de un movimiento sísmico, en donde la mayoría de las fisuras de acuerdo a la abertura que presentan hoy día, se convirtieron realmente en grietas, pero lo más preocupante es que el movimiento y distanciamiento de éstas sigue siendo activo, hasta el punto que en un periodo de 40 días, se observa una incremento máximo 0.50mm en una de las grietas.

De acuerdo al seguimiento que se viene realizando a las tres viviendas, se puede concluir que éstas presentan un mismo patrón en su comportamiento, lo cual se corrobora en el momento de realizar la localización de la grieta que atraviesa las viviendas, tal como se ilustra a continuación:

De acuerdo a los resultados de la nivelación y del seguimiento efectuado a las grietas de las casas, se deduce que el movimiento es de cabeceo hacia la zona de fachada con una inclinación hacia la parte baja de la vía de acceso al sector.

Dentro de las posibles causas de la generación de la grieta en esta zona, se puede enumerar lo siguiente:

Existe una superficie de discontinuidad entre el terreno natural y el suelo de relleno utilizado para la nivelación de los pisos de las casas en el momento de su construcción. Probablemente esta discontinuidad se ve reflejada en la grieta que se describe a lo ancho de las tres casas y el lote vecino en la parte mas baja de esta zona, en donde se aprecia una grieta superficial que atraviesa el baño (ver fotos No. 10.33 Y 10.34). El tamaño de estas grietas está alrededor de 1.50cm a 2.0cm y es muy poco probable que haya ocurrido por efecto de cargas verticales, si se tiene en cuenta que esta estructura es de un solo piso y la carga actuante es solamente el peso de la mampostería más una cubierta liviana.

Es posible que los movimientos que se vienen observando en las tres casas, se deban a la acomodación del suelo de relleno por pérdida de material fino o por eventuales movimientos sísmicos en esta zona. Es importante aclarar que en los muros de concreto ciclópeo y mampostería no se observa ningún tipo de filtración, lo cual indica que es posible que el nivel freático a lo largo de la ladera es bajo.

Teniendo en cuenta los registros e información recopilada, se sugiere continuar con las mediciones que se vienen realizando hasta la fecha e iniciar el estudio de reubicación de las familias que residen en estas viviendas, ya que los daños estructurales que hasta la fecha se han registrado en estas edificaciones son bastante grandes y aplicar cualquier tipo de correctivo o reparación sería inútil, considerando que controlar el movimiento del suelo es bastante complicado, aún sabiendo que este aún está activo.

Se sugiere la reubicación, ya que en un eventual movimiento sísmico, se puede disparar el movimiento del suelo a través de la superficie de discontinuidad detectada y muy seguramente estas edificaciones no tendrán la suficiente capacidad de disipación de energía como para soportar mas deformaciones a la ya existentes, en un rango elevado



FOTO No. 10.33 - LOTE LINDERO CASA 3. GRIETA INTERNA EN PISO BAÑO



FOTO No. 10.34 - LOTE LINDERO CASA 3. GRIETA EXTERNA EN PISO BAÑO Y ESCALERA DE ACCESO

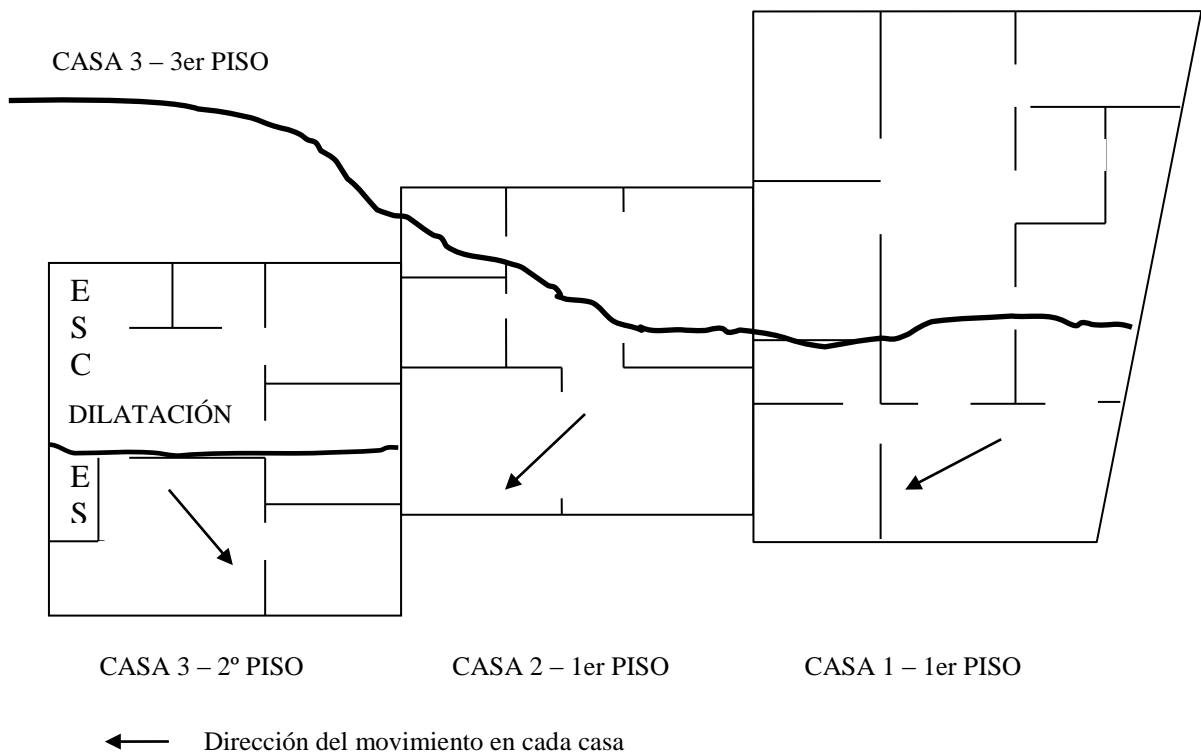


Figura No. 10.4 Trayectoria del agrietamiento de la viviendas

11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1 CONCLUSIONES

En la zona en estudio se identificó un gran deslizamiento sobre el material coluvial que está afectando algunas viviendas del barrio El Paraíso y la Avenida Circunvalar, la cual lo atraviesa por la porción media del cuerpo principal. De igual manera, se identificó una serie de deslizamientos locales y superficiales sobre la gran masa en movimiento ya descrita.

Mediante el trabajo de zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa se estableció que el sector que ocupa el gran deslizamiento corresponde a una zona de amenaza alta subdividida en dos.

La primera división corresponde a un nivel de amenaza alto y comprende dos áreas: la primera de ellas y la más amplia se localiza en la parte central de la zona de estudio y es la que contiene la mayoría de las masas inestable; la segunda se ubica en el costado occidental y es la que está afectando actualmente un muro en gaviones ubicado en la Avenida Circunvalar.

La segunda división del gran deslizamiento corresponde a un nivel de amenaza media alta e involucra el sector de la zona de estudio que se ubica en el Parque Nacional y un sector de la zona verde aleadaña al barrio.

El área restante de la zona en estudio, es decir la zona que no corresponde al gran deslizamiento, corresponde a una zona de amenaza baja.

Una vez evaluada la vulnerabilidad de las viviendas del barrio El Paraíso que se encuentra dentro de la zona de estudio, manzanas 7 y 8, se identificó que las casas 001, 002, 003, 021A y 021B en el bloque 08, y las viviendas 001 a 004 en el bloque 07 (plano No. 5) son las más vulnerables y además son las que mayor grado de deterioro presentan; a las anteriores viviendas se les asignó un nivel de amenaza alto. Las viviendas No. 004 a 006 de la manzana 8 presentan un nivel de amenaza medio en tanto que el resto de las viviendas consideradas presentan nivel bajo.

De la conjunción de los resultados obtenidos de la zonificación por amenaza y vulnerabilidad, se identificó que el sector sobre el que se encuentran las viviendas 001, 002, 003, 021A y 021B en la

manzana 08, y las viviendas 001 a 004 en la manzana 007, corresponden a la zona de mayor riesgo por fenómenos de remoción en masa. Así mismo, se identificó que el área sobre la cual se ubican las viviendas 004 a 008 de la manzana 08 corresponde a una zona de riesgo medio en tanto que el resto de las viviendas ubicadas dentro del área en estudio presenta un nivel de riesgo bajo.

Dentro del marco del presente estudio se desarrolló el planteamiento de alternativas tendientes a reducir los niveles de probabilidad de falla y/o a estabilizar los movimientos locales y superficiales de la zona en estudio. No se presentan alternativas para la estabilización de la gran masa pues se considera que debido a sus grandes proporciones es prácticamente imposible de estabilizar; en cuyo caso, resulta más eficiente y económico convivir con el problema y efectuar reparaciones periódicas de la banca de la Avenida Circunvalar. El anterior planteamiento es válido ya que la tasa de movimiento es baja.

11.2 RECOMENDACIONES

Dadas las condiciones de riesgo de la zona en estudio y el alcance de éste, el consultor recomienda llevar a cabo el diseño detallado e implementación de las alternativas presentadas en el presente estudio a fin de propender por la seguridad y el bienestar de las familias del sector estudiado.

Dentro de las alternativas presentadas existen algunas de carácter obligatorio que requieren de su implementación inmediata; tal es el caso de la reubicación de las familias de las viviendas 001 a 003, 021A y 021B de la manzana 08.

Como medida importante, en caso de no optar por programas adicionales de reubicación, se recomienda el diseño y construcción de sistemas de anclaje para estabilizar el deslizamiento local que afecta las viviendas 001 a 003 de la manzana 07. Con esta medida además de proteger las viviendas citadas se favorece la estabilidad de las que se ubican en la parte posterior, es decir las viviendas 012 a 015; lo cual resulta siendo un valor agregado a la solución propuesta. La medida tal como se plantea, también propende por la protección de las viviendas 003 a 006 de la manzana 08, las cuales también pueden verse

afectadas por el deslizamiento que afecta actualmente a las viviendas citadas.

La alternativa de reubicación de las familias que habitan los predios 001 a 003 de la manzana 07 también fue considerada como viable y necesaria, en caso de no optar por la protección de las viviendas citadas con medidas de contención. Sin embargo, esta solución involucra demasiadas incertidumbres, dado que la calidad y capacidad estructural del muro de contención posterior de las viviendas no se conoce, y se sospecha que su trabajo involucra las viviendas existentes a manera de contrafuertes, con lo cual la demolición de ellas implicaría la necesidad de refuerzo de la contención para mantener la estabilidad de las viviendas presentes en la parte alta de la ladera. Dado que no existe ninguna certidumbre sobre la naturaleza del muro y los sistemas estructurales, tales condiciones están por fuera del alcance del presente estudio y solo podrían dilucidarse después de demoler las viviendas 001 a 003.

Las demás medidas presentadas, aunque no tan inmediatas como las anteriores, son también de implementación necesaria, ya que con ellas se busca evitar que los deslizamientos activos actualmente continúen su movimiento y lleguen a afectar en mayor grado las viviendas e infraestructura de la zona.

De particular importancia se considera la necesidad de cambiar el posible uso del área que actualmente no presenta ocupación urbanística, dado que la estabilidad general no puede ser garantizada con medidas prácticas factibles. Por tal razón, debe verse como una medida imprescindible de planeación el uso de la tierra como zona de arborización y, de ninguna manera, de posible urbanización.

A este nivel, el consultor aclara que no se consideró la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo de la Avenida Circunvalar porque estos aspectos se encuentran por fuera del alcance del presente estudio. Sin embargo y a la luz de los resultados obtenidos, dado su emplazamiento actual atravesando el cuerpo principal del gran deslizamiento, se considera que tiene dos niveles de amenaza. El primero, está relacionado con los movimientos locales que afloran en los taludes viales, los cuales pueden ser corregidos. El gran movimiento, por resultar de corrección práctica imposible, constituye una amenaza permanente a la vía pero, dada su tasa lenta, se considera que puede ser manejada con mantenimientos periódicos frecuentes. De pendiente de las políticas oficiales, se recomienda adelantar un estudio detallado para la vía a fin de establecer la posibilidad de medidas de elusión, o estabilización local.

12 BIBLIOGRAFÍA

- ASIAN TECHNICAL COMMITTEE ON GEOTECHNOLOGY FOR NATURAL HAZARD IN ISSMFE, **Manual for Zonation on Areas Susceptible to Rain Induced Slope Failure**. Japón 1997.
- ASTÉ J. ET ALL, **Riegos Naturales y Vulnerabilidad**. I Simposio Panamericano de Deslizamientos de Tierras. Guayaquil, 1994.
- BRABB, E. E. **Innovative Approaches to Landslide Hazard and Risk Mapping**. Fourth International Symposium on Landslide, Canadian Geotechnical Society, Toronto Canada, 1984.
- D.N.P.A.P. **Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres**. Bogotá, 1998.
- FINLAY P. J, ET ALL. Landslide risk assessment: prediction of travel distance. Canada Geotechnic Journal Volumen 36: 556 – 562, 1999
- GONZALEZ G. A. J. **Conceptos sobre la Evaluación de Riesgo por Deslizamientos**. IV Jornadas Geotécnicas SCI. Memorias Tomo I. 1990a.
- GONZALEZ G. A. J. **Metodología para la Evaluación de Riesgo por Deslizamientos a Nivel Intermedio**, VI Jornadas Geotécnicas SCI. Memorias Tomo II, 1990b.
- GONZALEZ G. A. J y MILLÁN, L, JAVIER., **Procedimiento para la Evaluación de la Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa en Santafé de Bogotá, Colombia**. XI Conferencia Panamericana de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, Foz do Iguacu, Brasil, 1999.
- GONZALEZ G. A. J y MILLÁN, L, JAVIER., **Resultados de la Evaluación de la Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa en Santafé de Bogotá, Colombia**. XI Conferencia Panamericana de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, Foz do Iguacu, Brasil, 1999.
- INGENIERÍA DE RECURSOS HÍDRICOS LTDA. **Estudio para el Análisis y Caracterización de Tormentas en la Sabana de Bogotá**. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá E.S.P. 1996
- INGEOCIM Ltda. **Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para varias Localidades de Santa Fe de Bogotá**, UPES - FOPAE. 1998.
- INGEOMINAS, UPES, Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres. **Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá**. Convenio Interadministrativo 01-93. 1997.
- LEONE FRÉDERIC, **Concept de Vulnerabilite Applique a L. Evaluation Des Risques Generes par les Phenomenes de Mouvements de Terrain**. Université Joseph Fourier Grenoble; These de Doctorat, grenoble. 1996.
- MILLÁN, L, JAVIER. **Lineamientos Metodológicos para la Evaluación de la Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa**. Tesis de Maestría en Geotecnia, Universidad Nacional de Colombia. 1998.
- MILLÁN J. Y LOZANO J. **La contrastación de mapas en la Evaluación de la Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa**. IX Jornadas Geotécnicas, Sociedad Colombiana de ingenieros, Santa Fe de Bogotá 1997.
- MILLÁN J. Y LOZANO J. **La Erosión en los Estudios de Zonificación de Areas Urbanas por Fenómenos de Remoción en Masa**, VI Congreso Colombiano de Geotecnia, Bucaramanga 1996c.
- MILLÁN, L, JAVIER y VESGA LUIS F., **Inventario de Procesos de Remoción en Masa en los estudios de Amenaza y Riesgo**. XI Conferencia Panamericana de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, Foz do Iguacu, Brasil, 1999.
- SHUK T. Y GONZALEZ A. J., **Cuantificación de Parámetros de Riesgo por Inestabilidad de Taludes y de Costos para Aplicaciones Geotécnicas en una Carretera y un Sitio Regional**. Boletín Colombiano de Geotecnia, No. 5, 1993.

- INGEOCIM LTDA, **Zonificación de riesgo por inestabilidad del terreno para diferentes localidades de Bogotá, localidad de San Cristóbal**, UPES FOPAE, Santafé de Bogotá D.C., 1998.
- WINTERKON H. , FANG H., **Foundation Engineering Handbook**, Litton Education Publishing inc, U.S.A. 1975
- BOWLES Joseph, **Propiedades Geofísicas de los Materiales**, Ediciones Lerner Ltda, Bogotá-Colombia, 1982
- CHOW, VEN TE, **Open-Channel Hydraulics**, 1960.
- IRH LTDA., **Caracterización de tormentas de la Sabana de Bogotá**, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 1993.