CONTENIDO

INDICE GENERAL

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1 INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

1.1.2 Objetivos específicos

1.2 ALCANCE DEL ESTUDIO

1.3 GENERALIDADES

1.3.1 Localización

1.3.2 Antecedentes

1.4 DESCRIPCIÓN Y CAUSAS DEL PROBLEMA

1.5 REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN BASE

1.5.1 Levantamiento topográfico

1.5.2 Investigación del subsuelo

1.5.3 Estudio geológico y geomorfológico

1.5.4 Estudio Hidráulico e Hidrológico.

1.5.5 Sismología

1.5.6 Evaluación geotécnica

1.5.7 Inventario de viviendas e Infraestructura Urbana

1.5.8 Modelos y Metodologías de Análisis

1.6 ALTERNATIVAS DE SOLUCION

1.7 ORGANIZACIÓN DEL INFORME

CAPÍTULO 2

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO
2.1 INTRODUCCIÓN
2.2 CARTOGRAFÍA BASE
2.2.1 Levantamiento topográfico
2.2.2 Trabajo de oficina
2.3 CARTOGRAFIA EXISTENTE
2.3.1 Cartografia IGAC 1960
2.3.2 Cartografia IGAC 1981
2.4 INFORMACIÓN CATASTRAL

CAPÍTULO 3

ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

3 INTRODUCCIÓN
3.1 MÉTODO
3.2 MARCO GEOLÓGICO GENERAL.
3.2.1 Estratigrafía
3.2.2 Geología Estructural
3.3 GEOLOGÍA LOCAL
3.3.1 Estratigrafía Local
3.3.2 Geología Estructural Local
3.4 GEOLOGÍA APLICADA
3.5 GEOMORFOLOGÍA
3.5.1 Morfometría
3.5.2 Morfología
3.5.3 Inventario de Procesos Degradacionales
3.5.4 Unidades geomorfológicas

CAPÍTULO 4

CLIMA, HIDROLOGÍA, HIDROGEOLOGÍA Y SISMOLOGÍA

4 INTRODUCCIÓN

4.1 CLIMA

4.1.1 Temperatura

4.1.2 Precipitación

4.1.3 Evaporación potencial media mensual

4.1.4 Humedad Relativa

4.1.5 Vientos

4.2 HIDROLOGÍA

4.2.1 Curva de Intensidad- Duración – Frecuencia para lluvias de corta duración

4.3 METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS

4.4 ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN.

4.5 HIDROGEOLOGÍA

4.5.1 Consideraciones teóricas sobre el modelo hidrogeológico del talud del Callejón de Santa Bárbara

4.6 SISMOLOGÍA

4.6.1 Fuentes sismogénicas contribuyentes

4.6.2 Cuantificación de la amenaza sísmica

4.6.3 Cuantificación de la respuesta sísmica local en la Localidad Rafael Uribe Uribe

4.6.4 Respuesta sísmica local del subsuelo

CAPÍTULO 5

COBERTURA VEGETAL Y USOS DEL SUELO

5 INTRODUCCIÓN

5.1 VEGETACIÓN

5.2 USOS DEL SUELO

CAPÍTULO 6

CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

6.1 INVESTIGACION DEL SUBSUELO.
6.1.1. Exploración del subsuelo
6.1.2. Ensayos de Laboratorio.
6.1.3. Ensayos in situ.
6.2. CARACTERIZACION GEOMECANICA
6.2.1. Macizo Rocoso
6.2.2. Material rocoso
6.2.3 Roca meteorizada
6.2.4 Suelos
6.2.5 Rellenos Antrópicos (Qa)
6.3. MECANISMOS DE FALLA.
6.4 EVALUACION DE AGENTES DETONANTES.
6.4.4 Lluvias
6.4.5 Sismos

CAPITULO 7

FACTOR ANTRÓPICO

7.1 INVENTARIO DE VIVIENDAS
7.1.1 Metodología de trabajo
7.1.2 Ocupación de la vivienda
7.1.3 Cobertura de servicios públicos
7.1.4 Condiciones estructurales
7.1.5 Daños en las viviendas
7.1.6 Aspectos económicos
7.2 PROCESO DE URBANIZACIÓN Y CARTOGRAFÍA
7.3 ACTIVIDAD MINERA
7.4 VIAS
7.5 RELLENOS ANTROPICOS

7.6 REDES DE ALCANTARILLADO

CAPITULO 8

ANALISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

8. INTRODUCCION

8.1. ZONIFICACION GEOTECNICA

8.2. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

8.2.1 Análisis de Posibilidad Cinemática

8.2.2 Análisis de Posibilidad Estática

8.2.3 Probabilidades de falla

8.3 ZONIFICACION POR AMENAZA

CAPITULO 9.

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y EL RIESGO

9 INTRODUCCION

9.1 CONDICION ACTUAL

9.1.1 Estructura de las viviendas

9.1.2 Vulnerabilidad Social.

9.2. EVALUACION DE DAÑOS POSIBLES

9.2.3 Asignación de evento Amenazante.

9.2.4 Asignación de Solicitación

9.2.5 Evaluación de vulnerabilidad

9.3. EVALUACION DE RIESGO

CAPITULO 10.

MEDIDAS DE PREVENCION Y MITIGACION DEL RIESGO

10. INTRODUCCION

10.1 ANALISIS Y CONSIDERACIONES GENERALES

10.2 PLAN GENERAL DE ACCIONES

10.2.1 Medidas de mitigación – no estructurales

10.2.2 Medidas de prevención - estructurales

10.3 PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN.

10.3.1 Restricción del uso del suelo.

10.3.2 Reubicación de viviendas y compra de predios.

10.3.3 Áreas a establecer construcción de obras de prevencion y mitigación de riesgo por FRM.

10.3.4 Consolidación urbana

10.4 PLANTEAMIENTO Y ANALISIS DE ALTERNATIVAS

CAPÍTULO 11

ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN

11 INTRODUCCIÓN

11.1 ANÁLISIS Y CONSIDERACIONES GENERALES

11.1.1 Consideraciones técnicas

11.1.2 Consideraciones ambientales

11.1.3 Consideraciones urbanísticas

11.2 CRITERIOS DE DECISIÓN

11.2.1 Criterios técnicos

11.2.2 Criterios ambientales

11.2.3 Criterios urbanísticos

11.2.4 Criterios sociales

11.2.5 Criterios económicos

11.3 PLANTEAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE MANEJO

11.3.1 Primera alternativa: Situación actual (H1)

11.3.2 Segunda alternativa: Compra de predios (H2)

11.3.3 Tercera alternativa: Tratamiento de los taludes (H3)

11.3.4 Evaluación de las alternativas

11.4 PLAN GENERAL DE ACCIONES

11.4.1 Medidas de mitigación

11.4.2 Medidas de corrección

11.4.3 Medidas complementarias
11.5 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

CAPÍTULO 12
DISEÑO DETALLADO DE OBRAS
12 INTRODUCCIÓN
12.1 INTRODUCCIÓN
12.2 PLANTEAMIENTO DE OBRAS
12.3 DISEÑOS DE OBRAS
12.3.1 Diseño de obras de control de aguas sub superficiales
12.3.2 Diseño de obras de protección
12.3.3 Obras de contención y control de la erosión
12.3.4 Obras complementarias.
12.3.5 Diseño de obras de protección
12.4 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

CAPÍTULO 13
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

13 INTRODUCCIÓN
13.1 CONCLUSIONES
13.2 RECOMENDACIONES

CAPÍTULO 14
BIBLIOGRAFIA

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Localización General del Área de estudio

Figura 2.1 Cartografía IGAC 1960

Figura 2.2 Cartografía IGAC 1980

Figura 3.1 Geología Regional

Figura 4.1 Porcentaje de lluvia Media Mensual

Figura 4.2 Distribución espacial de la precipitación media anual en Bogotá

Figura 4.3 Curva de Intensidad Duración y Frecuencia

Figura 4.4 Deslizamiento Complejo con tres capas de arena y arcilla (Henkel, 1966)

Figura 4.5 Estabilidad Arena Lutita (Henkel, 1966)

Figura 4.6 Condiciones geológicas que controlas la falla en taludes con intercalaciones arena/arcilla

Figura 4.7 Espectros de respuesta escalonados para sismo de la fuente cercana

Figura 4.8 Espectros de respuesta escalonados para sismo de la fuente frontal

Figura 6.1 Localización de exploración del subsuelo

Figura 6.2 Envolventes de resistencia en función del SPT

Figura 7.1 Número de pisos por vivienda

Figura 7.2 Cobertura de servicios públicos

Figura 7.3 Nivel de exposición de viviendas a FRM

Figura 7.4 Daños en elementos

Figura **7.5** Distribución geográfica de los predios

Figura **8.1** Perfiles de análisis de estabilidad

Figura **9.1** Daño en toda la edificación

Figura **12.1** Cronograma de obra

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla **1.1** Información antecedente

Tabla **3.1** Relación de fotografías aéreas

Tabla **4.1** Estaciones climáticas

Tabla **4.2** Distribución porcentual de la velocidad del viento

Tabla **4.3** Determinación del coeficiente de escorrentía

Tabla **4.4** Parámetros para estimar la Intensidad máxima

Tabla **4.5** Valores de la lluvia de diseño

Tabla **4.6** Fuentes simogénicas para amenaza sísmica en Bogotá

Tabla **4.7** Acelerogramas de diseño para Eventos de la Fuente Local

Tabla **4.8** Acelerogramas de diseño para Eventos de la Fuente Cercana

Tabla **4.9** Acelerogramas de diseño para Eventos de la Fuente Lejana

Tabla **4.10** Valores de clasificación de amenaza por sismo

Tabla **6.1** Resumen de ensayos de laboratorio

Tabla **6.2** Mecanismos de falla por zona geomorfológica

Tabla **6.3** Relación entre la lluvia critica y la lluvia anual para la ciudad de Bogotá

Tabla **8.1** Parámetros de resistencia para análisis

Tabla **8.2** Mecanismos de falla para cada zona geotécnica

Tabla **8.3** Análisis cinemático de taludes por laderas

Tabla **8.4** Factor de seguridad Vs Probabilidad de Falla

Tabla **8.5** Categorización de los niveles de Amenaza

Tabla **9.1** Intensidad de daño

Tabla **9.2** Matriz de Indice de daños

Tabla **9.3** Categorización de los Niveles de Vulnerabilidad

Tabla **9.4** Categorización de los Niveles de Riesgo

Tabla **10.1** Matriz de Responsabilidad

Tabla **11.1** Valores de favorabilidad

Tabla **11.2** Evaluación de alternativas

Tabla **11.3** Lista de predios para compra

Tabla **11.4** Árbol de decisión Zona I

Tabla **11.5** Árbol de decisión Zona II

Tabla **12.1** Presupuesto de obra

ANEXOS

ANEXO TOPOGRÁFICO

T1 Fichas y planos Catastrales

T2 Plano Urbanístico DAPN

T3 Carteras de Campo

ANEXO GEOTÉCNICO

G1 Registros estratigráficos trincheras

G2 Registros estratigráficos de perforaciones

G3 Ensayos de laboratorio

G4 Información secundaria

G5 Evaluación de parámetros en función del SPT

G6 Modelos geotécnicos

ANEXO EVALUACIÓN DE AMENAZA

A1 Factores de seguridad promedio sin agua y sin sismo por zona para diferentes mecanismos de falla analizados

A2 Análisis de estabilidad para los taludes existentes sin obras

ANEXO EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO

V1 Inventario de Viviendas

V2 Evaluación del Índice de Factor Social

V3 Inventario de viviendas – Datos socioeconómicos

V4 Inventario de Viviendas – Evaluación estructural

V5 Inventario de Viviendas – Información Socioeconómica

V6 Evaluación de Vulnerabilidad y Riesgo

ANEXO MEMORIAS DE CÁLCULO

M1 Geotécnicas

M2 Hidráulicas

ANEXO ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ANEXO MEMORIA DE CANTIDADES DE OBRA

ANEXO CARTOGRAFICO

Plano 1 Topografia

Plano 2 Geología

Plano 3 Geomorfología

Plano 4 Amenaza

Plano 5 Vulnerabilidad

Plano 6 Riesgo

Plano 7 Planta de Obras

Plano 8 Detalles

Plano 9 Propuesta Urbanística

CONTENIDO

GENERALIDADES

1 INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES 1-1
1.1 OBJETIVOS 1-1
1.1.1 Objetivo general 1-1
1.1.2 Objetivos específicos 1-1
1.2 ALCANCE DEL ESTUDIO 1-2
1.3 GENERALIDADES 1-2
1.3.1 Localización 1-2
1.3.2 Antecedentes 1-3
1.4 DESCRIPCIÓN Y CAUSAS DEL PROBLEMA 1-4
1.5 REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN BASE 1-7
1.5.1 Levantamiento topográfico 1-7
1.5.2 Investigación del subsuelo 1-7
1.5.3 Estudio geológico y geomorfológico 1-8
1.5.4 Estudio Hidráulico e Hidrológico. 1-8
1.5.5 Sismología 1-9
1.5.6 Evaluación geotécnica 1-9
1.5.7 Inventario de viviendas e Infraestructura Urbana 1-9
1.5.8 Modelos y Metodologías de Análisis 1-10
1.6 ALTERNATIVAS DE SOLUCION 1-11
1.7 ORGANIZACIÓN DEL INFORME 1-13

1 INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

El objetivo general del estudio de riesgo por Remoción en Masa del barrio Mirador de Marrocos a escala 1:1000 y el diseño de obras de estabilización es el mejoramiento urbanístico y ambiental de la zona, que permita reducir el nivel de amenaza y riesgo; la ejecución de este proyecto servirá de instrumento de soporte en el proceso de toma de decisión en la planificación integral del sector, bajo el marco de la gestión del riesgo y la prevención de desastres.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Recopilar información primaria y secundaria.

2. Realizar el levantamiento topográfico detallado de la zona de estudio, tanto de la morfometría de las laderas como del componente urbanístico.

3. Hacer el Inventario de viviendas.

4. Adelantar el Inventario y cartografía de variables como: geología, geomorfología, ocupación del suelo y el factor Antrópico.

5. Producir el Inventario de los procesos morfodinámicos, con el fin de conocer los mecanismos de falla, los factores condicionantes y desencadenantes de ellos.

6. Evaluar la condición actual de estabilidad. Este tópico involucra por una parte, la elaboración del modelo estratigráfico del área de estudio y por otra investigar los cambios en la probabilidad de falla en relación con los intervalos de dominio o de variación de los parámetros geotécnicos.

7. Analizar la influencia de los parámetros anteriores en la estabilidad del terreno.

8. Cuantificar los niveles de amenaza y evaluación de la vulnerabilidad y riesgo del Barrio.

9. Formular medidas, obras y acciones tendientes a minimizar el riesgo potencial y a mejorar el entorno ambiental. Identificar los diferentes factores contribuyentes en la inestabilidad de la zona.

10. Diseñar desde el punto de vista técnico, económico, ambiental y paisajístico las obras de protección y control de los procesos degradacionales y las obras de manejo

hidráulico; y establecer las cantidades de obra, presupuesto y cronograma de las diferentes actividades de obras definidas para la materialización de los diseños.

1.2 ALCANCE DEL ESTUDIO

El estudio contempla la zonificación del área por amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa y los diseños de las obras de mitigación para el área de estudio, que contribuyan con el mejoramiento de la estabilidad de la zona.

1.3 GENERALIDADES

1.3.1 Localización

El Barrio Mirador de Marrocos se ubica en la parte central de la localidad Rafael Uribe Uribe, limita al norte con la urbanización Zarazota I, al oriente con el barrio Los Chircales de Los Molinos del Sur y al sur con el desarrollo La Carolina y por el sur occidente con el barrio Callejón de Santa Bárbara.

El estudio de “Zonificación por inestabilidad del terreno en diferentes localidades de Santa Fe de Bogotá” elaborado por INGEOCIM LTDA en 1998 para el FOPAE, definió para el sector amenaza alta. La **Figura No 1.1** muestra la ubicación geográfica del sector objeto de estudio y la zonificación de la amenaza establecida en el estudio en mención.

Figura 1.1 Localización general del área en estudio



Fuente: Tomado de "Estudio de Inestabilidad del terreno para diferentes localidades en Santafé de Bogotá - INGEOCIM 1998. Mapa de Inventario de procesos.

El área de estudio se encuentra afectada por fenómenos de remoción en masa los cuales se encuentran asociados a un antiguo frente de explotación de materiales para la fabricación de ladrillos y tejas en arcilla. En la parte central del Barrio Mirador de Marrocos, se observan escarpes de explotación abandonados que tiene una altura variable entre 10.0 y 12.0 m con una inclinación seudo vertical, donde se exponen materiales altamente meteorizados y afectados por erosión.

1.3.2 Antecedentes

Tabla 1.1 Información antecedente

Informe	Sitio	Fuente	Evento	Agentes detonantes/contribuyentes	Condición de Riesgo	Recomendaciones
Estudio de definición de factores de seguridad de taludes adecuados en la zona X de suspensión minera de la localidad Rafael Uribe Uribe. (2003)	Localidad Rafael Uribe Uribe	Universidad Nacional de Colombia	Deslizamiento planar, deslizamiento en cuña, volteo, erosión diferencial, caída de bloques, deslizamientos de tipo complejo retrogresivo, flujo lento, erosión hídrica en surcos y cárcavas, hundimientos	Configuración de las discontinuidades, agua producto de infiltraciones y escorrentía, el impacto producido por la explotación minera, ausencia de adecuada cobertura vegetal, inadecuado manejo de aguas, susceptibilidad de los materiales a erosión hídrica, agentes antrópicos	La caída de rocas sobre las viviendas en la pata de los taludes de corte ha ocasionado la muerte de algunas personas.	Terráceo de taludes, drenaje superficial y cobertura de vegetación, reubicación de familias, muros de gaviones, muro en tierra armada, pantalla anclada,
Estudio de Riesgos por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para estabilizar el Antiguo Escarpe de Explotación del Barrio Callejón de Santa Bárbara (2000)	Barrio Callejón de Santa Bárbara	Ingeniería y Geotecnia Ltda.	Deslizamientos de detritos, deslizamientos sobre rellenos, desprendimiento de bloques en cuña, deslizamientos rotacionales,	Estratos de roca muy meteorizados, erosión laminar en surcos, altas pendientes		Obras de drenaje superficial y subsuperficial, (baterias de drenes) recalce de casas, reeubicación de familias, obras de contención menores, calzas pernadas de submuración, aumentar la cobertura vegetal, revestimiento de cárcavas (bajantes escalonadas),
Problemas de Estabilidades en los Taludes de Barrio Playón Playitas, recomendaciones para la Estabilización de los sectores denominados 1 y 2. (1998)	Barrio Playón Playitas	Ingeniería y Geotecnia Ltda.		Los procesos de corte y relleno para la construcción de las vías y viviendas y hacinamiento de rellenos antrópicos, generan procesos de inestabilidad		

Informe	Sitio	Fuente	Evento	Agentes detonantes/contribuyentes	Condición de Riesgo	Recomendaciones
Estudio de Riesgo por Remoción en Masa y Diseño Detallado de Obras de Protección y Control en el Barrio Villas del Recuerdo, localidad de Rafael Uribe Uribe (2000)	Barrio Villas del Recuerdo	Investigaciones Geotécnicas Ltda..	Desizamientos tipo rotacionales y traslacionales	Avance anti-técnico de los frentes de explotación, Lluvias, procesos mineros que dejaron taludes subverticales, falta de manejo de aguas de escorrentía.	Deterioro del medio fisico por actividad minera, niveles de riesgo altos y localmente muy altos.	Reubicación de familias, obras de contención, manejo de la escorrentía., obras de protección contra erosión

1.4 DESCRIPCIÓN Y CAUSAS DEL PROBLEMA

En el barrio Mirador de Marrocos se presentan fenómenos de remoción en masa que podrían afectar las zonas ocupadas por viviendas en lo que era el antiguo patio de una explotación de cantera, conformando por grandes escarpes. En los escarpes se presentan caídas de bloques asociadas al grado de fracturamiento del macizo rocoso y a la existencia de procesos erosivos intensos, produciéndose áreas con taludes negativos dejando sin soporte al material superior. Los procesos se intensifican en la medida que los taludes no han sido tratados y además se les aporta aguas de escorrentía provenientes de las viviendas localizadas en las partes altas de los taludes.

Otro factor que favorece la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa y la intensidad de los procesos erosivos, es la condición intrínseca del entorno geológico que permite el desarrollo de perfiles de meteorización, que dan lugar a suelos residuales con alta susceptibilidad a procesos de erosión.

Los procesos de movimientos en masa que han afectado y están afectando el sector a estudiar se relacionan con:

1. Condición estructural del macizo rocoso (Factor necesario).

2. La deforestación del área y la falta de cobertura vegetal de la misma (factor contribuyente)

3. Presencia de procesos erosivos intensos (Factor contribuyente)

4. Morfometría de los cortes mineros (dirección y pendiente) (Factor contribuyente).

5. La sobrecarga que producen las viviendas. (Factor contribuyente).

6. El mal manejo de aguas servidas y de escorrentía, las cuales se han vertido y se vierten sobre la ladera sin ningún manejo. (Factor detonante).

Como primera aproximación se puede establecer que los procesos de movimientos en masa que afectan al sector corresponden a movimientos tipo deslizamientos

traslacionales, que por acción del agua se configuran en caídas, que afectan las viviendas de la parte alta por desconfinamiento de la cimentación de las mismas, y las viviendas de la parte baja por impacto sobre los techos o sobre sus muros.

Desde el punto de vista de vulnerabilidad el sector se puede categorizar como de alta vulnerabilidad, por su alto nivel de exposición, y por que el nivel de daño que producirían los desplazamientos verticales de las cimentaciones de las casas y los daños por impacto sobre los techos y muros de las viviendas es alto, dada la ubicación frente a los eventos amenazantes. Lo anterior configura altos niveles de riesgo para la comunidad directamente expuesta.

	
Foto 1. Las viviendas en la parte alta del talud favorecen la inestabilidad del talud, con el aporte de aguas de infiltración y la sobrecarga del talud en la corona.	**Foto 2.** El principal fenómeno de remoción en masa de la zona es la erosión laminar en surcos y cárcavas sobre talud en roca meteorizada.



Foto 3. A la izquierda la Urbanización El Pedregal del Conde, a la derecha el talud meteorizado de la fotografía 2.



Foto 4. Antiguo horno para fabricación de ladrillo, en esta zona la roca esta muy meteorizada y se presenta flujo de detritos.



Foto 5. En el talud puede apreciarse conos de deyección y la roca meteorizada y expuesta, además se aprecia la acumulación de material en la base del talud.



Foto 6. Pantalla de anclajes y aterrazamiento del terreno. Hacia la parte superior un puente en algunas partes en voladizo por pérdida de material en su base.

1.5 REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN BASE

1.5.1 Levantamiento topográfico

Dada la experiencia de JAM INGENIERIA Y MEDIO AMBIENTE, en trabajos similares, considera conveniente para el proyecto desarrollar la cartografía base y temática a una escala de 1:1000 con curvas de nivel cada 1 m. La cual permite identificar o distinguir los procesos de pequeña magnitud presentes, los aspectos del relieve local determinantes, las cicatrices o zonas en proceso de falla, conduciendo al diseño mismo de las alternativas de mitigación.

El levantamiento topográfico se realizó, destacando los aspectos del relieve local que involucran las franjas críticas de estabilidad, resaltando las geoformas existentes, para facilitar la definición del modelo estratigráfico y para adelantar los análisis de estabilidad e hidráulicos necesarios.

Se radiaron, además elementos como las vías y edificaciones que se encuentran dentro del área de estudio, con el fin de evaluar cualitativamente su grado de exposición ante el fenómeno amenazante. El levantamiento altimétrico y planimétrico es de precisión y se realizó con base en secciones transversales a lo largo de los taludes y sobre las cuales se adelantaron los análisis geotécnicos.

Teniendo en cuenta la importancia para el estudio de establecer la evolución morfométrica de las laderas que conforman las márgenes producida por la intervención del Hombre, se adelanta un análisis multitemporal con base en cartografías o planchas de tres épocas diferentes, que permiten establecer la morfología y la disposición de las zonas de relleno o corte. Para ello también se utilizaron las fotografías aéreas. Este proceso es muy importante para la obtención del modelo geotécnico del sector. Se utilizan planchas a escala 1:2000 del sector levantadas en 1977 aproximadamente.

Se hace énfasis en la contrastación de los planos de loteo del Barrio radicados en DACD y/o DAPD, con la cartografía levantada, y en establecer los niveles de ocupación y definiendo las diferencias encontradas y sus implicaciones desde el punto de vista de vulnerabilidad.

1.5.2 Investigación del subsuelo

Como parte inicial y base de la exploración del subsuelo se contempla la interpretación de fotografías aéreas de diferentes épocas y trabajo de campo de reconocimiento de la geología local, haciendo énfasis en geología para ingeniería, para ello se caracteriza en cada uno de los sitios de estudio: las unidades de roca, suelo y depósitos cuaternarios antrópicos que afloran. Este procedimiento se dificulta por la cobertura urbana que presenta la zona, por lo cual se apoya en una minuciosa revisión bibliográfica de estudios geotécnicos de estabilidad adelantados en el sector. Se consultan los factores tectónicos más sobresalientes a escala regional como fallas locales, lineamientos y pliegues, y se considera su influencia en la estabilidad.

La Fotointerpretación preliminar y el reconocimiento de campo están orientados a cartografiar detalladamente todos los componentes morfológicos del escarpe,

especialmente los cambios litológicos recientes. Como complemento a la definición de la geología local se determina un modelo hidrogeológico del área y se establece su influencia en los procesos de inestabilidad de la zona.

Con base en la etapa inicial, ya adelantado el modelo geológico de sector y definida la evolución morfométrica de las laderas, se establece un programa de exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio que contemplan la ejecución trincheras sobre los taludes expuestos, apiques y localmente perforaciones con equipo mecánico ; en cada una de éstas se determina un registro continuo del perfil estratigráfico y obtienen muestras representativas de los materiales encontrados para adelantar pruebas de clasificación y de resistencia al corte, y en lo posible identificar las zonas de falla o débiles sobre las cuales se desarrollan los fenómenos más importantes.

Las perforaciones de campo se complementan con ensayos in situ de resistencia al corte como el SPT, para establecer de manera cualitativa la variabilidad de los parámetros en los diferentes sectores y el perfil estratigráfico de la zona de estudio y el espesor de los rellenos.

Teniendo en cuenta las características geológicas del sector, dentro de la investigación del subsuelo se adelanta un levantamiento estructural del macizo rocoso, para su clasificación y zonificación de los taludes que configuran el área de estudio.

1.5.3 Estudio geológico y geomorfológico

Para el área que nos ocupa se contempla dentro de la cartografía base un trabajo geomorfológico que consiste en establecer la evolución de la ladera natural al paisaje actual a partir de los años 50 desde el punto de vista morfométrico, que permite establecer las condiciones actuales de estabilidad de la ladera sobre la cual se edificaron las viviendas. Paralelamente se adelanta un inventario actual de fenómenos de remoción en masa que han afectado y que afectan la ladera. El trabajo de inventario es rápido, sencillo y objetivo, por lo tanto se registra en los sitios de estudio los principales factores intrínsecos y extrínsecos que dan lugar a los movimientos en masa.

1.5.4 Estudio Hidráulico e Hidrológico.

Como complemento de la exploración del subsuelo se realiza una caracterización hidrológica del área, y el estudio y definición de las características de la escorrentía superficial y subsuperficial del área y su influencia en los procesos degradacionales que condiciona la estabilidad en el sector con base en información secundaria.

Igualmente este ítem busca entender la influencia de las aguas de escorrentía sobre la estabilidad del sector y está ligado al modelo hidrogeológico que se establece en la zona. Contempla el análisis de precipitaciones máximas, intensidad de lluvias. Se caracteriza el sector en función de lluvia crítica por deslizamientos con base en los estudios de riesgo que a escala 1:10000 ha adelantado la Dirección. Para esta labor es necesario contar con cartografía a menor escala, en lo posible 1:2000, que se toma de las planchas IGAC.

1.5.5 Sismología

Con base en el estudio de microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá efectuada por INGEOMINAS - UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, se realiza un análisis de la sismicidad como factor detonante de fenómenos de remoción en masa dentro del área de estudio haciendo la respectiva calibración de la aceleración horizontal utilizando los resultados del estudio geotécnico y el levantamiento topográfico.

Igualmente este aspecto se trata en función de los estudios similares realizados en la zona.

1.5.6 Evaluación geotécnica

Una vez establecida la evolución geomorfológica del área de estudio y su modelo geotécnico asociado, se adelanta la evaluación geotécnica de las laderas y se establecen las condiciones actuales de estabilidad de los taludes partiendo de los procesos que lo generan.

1.5.7 Inventario de viviendas e Infraestructura Urbana

Dentro de este tópico y teniendo en cuenta el área urbana, se define de manera detallada la cobertura del área, los suelos existentes en la misma y el uso del suelo por sectores, buscando establecer la influencia de la pérdida de cobertura y suelo por la actividad minera en los procesos degradacionales del área. Para la definición del uso del suelo se realiza el inventario de vivienda de manera detallada.

El inventario de viviendas como información base se utiliza en dos sentidos: Primero para determinar las zonas en movimiento mediante la identificación en campo de los daños de las viviendas, y en el segundo sentido para la evaluación de vulnerabilidad y riesgo.

La cartografía en planta de daños de las viviendas y obras de infraestructura con dirección de grietas y deformaciones de las estructuras permite establecer zonas de afectación por movimientos y la dirección de los mismos, permitiendo inferir con mayor detalle el inventario de fenómenos de remoción en masa en los sectores urbanizados.

Como base para la evaluación de la vulnerabilidad se adelanta un inventario de viviendas e infraestructura urbana teniendo en cuenta la tipología de viviendas. El inventario busca determinar el tipo de vivienda u obra de infraestructura teniendo como parámetro el tipo de construcción, con el fin de evaluar los posibles daños que puedan llegar a causar el evento amenazante (vulnerabilidad física). Para tal fin se utiliza la ficha para la toma sistemática de la información que ha venido aplicando la Unidad de Riesgos de la Dirección y que ha sido mejorada por este Consultor.

1.5.8 Modelos y Metodologías de Análisis

Como base de la evaluación de la amenaza se establece una cartografía geomorfológica que permite establecer zonas de comportamientos similares, estableciendo junto con los resultados de laboratorio una zonificación geotécnica a escala 1:1000. Como base metodológica para la evaluación de riesgo se aplica la propuesta de Escenarios de Riesgo, presentada por Millán y González, 2000, en el VIII congreso de geotecnia.

Análisis de Estabilidad y evaluación de la amenaza.

Una vez establecida la zonificación geomorfológica y su modelo geotécnico asociado, para cada zona se adelanta un análisis de estabilidad. La evaluación de estabilidad de taludes se enfoca al análisis de los mecanismos de falla establecidos en el modelo Geotécnico mediante la aplicación de métodos de análisis convencionales de la geotecnia clásica.

La evaluación de la amenaza se adelanta mediante análisis cuantitativos tipo determinísticos, en términos de factor de seguridad y se realiza para cada zona geotécnica definida, teniendo en cuenta la variación de las propiedades mecánicas de los diferentes materiales y de los factores detonantes como la lluvia y sismo, aspectos que se toman de los estudios regionales adelantados por la DPAE en la zona en estudio (Microzonificación sísmica de Santa fe de Bogotá y Zonificación por Riesgo por inestabilidad del Terreno en diferentes localidades de Santa fe de Bogotá).

La aproximación probabilística de la amenaza se adelanta por el método de estimación de punto (PEM) propuesto por Rosenblueth. Se establecen diferentes escenarios de acuerdo con los detonantes (lluvia y sismo), partiendo de una condición de falla sin lluvia y sin sismo hasta llegar a una falla con lluvia y con sismo. En esta etapa se desarrolla un proceso que permite llegar a delimitar los diferentes grados de amenaza (alta, media y baja) dentro del área de interés, integrando la información básica, hasta aquí obtenida. Para la categorización de la amenaza se tienen en cuenta los aspectos de magnitud, estado de actividad y tendencia a la propagación de los procesos que actualmente están afectando el área.

El grado de pérdida se determina combinando la probabilidad de falla o no falla con el costo esperado de daño. Este proceso de determinación de la probabilidad de falla se adelanta tanto para la condición actual como para un escenario futuro con obras y medidas de mitigación, permitiendo establecer los criterios para la toma de decisiones mediante los árboles de decisión.

Análisis de vulnerabilidad.

La evaluación de la vulnerabilidad y riesgo se realiza por tipo de movimiento y solicitación que éste someta al elemento expuesto (p.e. empujes laterales, impactos o desplazamientos verticales) de acuerdo con el trabajo presentado por LEONE, 1996 “CONCEPTE DE VULNERABILITE APPLIQUE A L’EVALUATION DES RISQUES GENERES POUR LES PHENOMENES DE MOUVEMENTS DE TERRAIN”, en su tesis

doctoral. Esencialmente la valoración de vulnerabilidad es cualitativa y de riesgo semi-cuantitativa. Por lo tanto, en lo posible, considera la vulnerabilidad humana (social, económica y cultural) y se evalúa la vulnerabilidad física por sectores homogéneos (características similares según la exposición), que permite analizar la susceptibilidad de los elementos amenazados.

Se hace la identificación y localización de los elementos en riesgo, así como grado exposición y resistencia. El resultado del análisis de vulnerabilidad está acompañado de una descripción de los criterios utilizados para delimitar las zonas de uno u otro grado de vulnerabilidad, en los diferentes sectores con problemas de inestabilidad, proyectados a un escenario de afectación.

Se realiza un análisis que involucre la calidad de vida ilustrada como la satisfacción de necesidades básicas. Se considera entre otros aspectos tipo de vivienda, salud, educación, fuentes y usos del agua, energía para usos domésticos, manejo de residuos, condiciones de saneamiento, etc. En caso de existir planes gubernamentales específicos para el área local, éstos se reseñan y analizan en este ítem. Igualmente, se indica si existen programas por parte de las juntas de acción comunal. Lo anterior se usa para definir en forma cualitativa la vulnerabilidad social del sector.

Se adelanta una evaluación de la vulnerabilidad social para cada uno de los predios, con base en la información levantada en el inventario de viviendas buscando definir variables que permitan diferenciar condiciones socio cultural diferentes y poder discriminar el sector desde el punto de vista social. Se utilizan criterios de densidad de ocupación, accesibilidad, edad promedio, ingresos promedios, etc. Igualmente se busca determinar la percepción de riesgo de la comunidad, su organización y la capacidad para emprender procesos participativos en busca de una solución integral y participativa de la problemática de riesgos del sector.

Riesgo específico frente a la ocurrencia del fenómeno.

En este aparte se define el riesgo con base en la amenaza y la vulnerabilidad definida en las fases anteriores. Este riesgo se representa espacialmente en un mapa a escala 1:1000, donde será representada su magnitud, de acuerdo con los niveles de amenaza y vulnerabilidad de los elementos expuestos. El área de afectación potencial y los elementos que se verían afectados en el evento de la ocurrencia de dicho fenómeno, constituyen los aspectos principales a este riesgo. Los criterios establecidos por el CONSORCIO COLECTIVO DE INGENIEROS para realizar la delimitación y asignar el grado de riesgo, serán discutidos con la Interventoría y funcionarios del DPAE.

1.6 ALTERNATIVAS DE SOLUCION

Con base en los análisis de estabilidad y condición de amenaza establecida y en el estudio de vulnerabilidad de las unidades de vivienda se plantean acciones y medidas de mitigación seleccionadas según un análisis básico de beneficio costo mediante árboles de decisión, sin dejar de lado la condición social o beneficio social de la comunidad a quien va dirigido el estudio, aspecto que resulta difícil de cuantificar. Igualmente se establecerá niveles de intervención de los diferentes actores de riesgo para

las diferentes alternativas de solución, de tal forma que permita o facilite a la Dirección la toma de decisiones, así se busca definir niveles de responsabilidad entre la Dirección, empresas de servicios públicos y la comunidad, entre otros.

Desde el punto de vista de medidas y obras de control de los procesos identificados y analizados en el área se hacen las recomendaciones y se plantea una serie de obras y medidas de mitigación y prevención que buscan mejorar la condición ambiental de los sitos de estudio.

Se plantean medidas y/o obras de tipo general y local, con el fin de cambiar y mejorar la actitud de los habitantes frente a su entorno físico; y de ejecución de obras de ingeniería tendientes a mejorar las condiciones de estabilidad de las laderas, así:

a. Cortes Mineros: De acuerdo con los resultados que se obtienen en el análisis de estabilidad se definen los tipos de medida a ejecutar, los cuales pueden ir desde la conformación de los taludes; labor que incluye inicialmente el retiro de materiales blandos, sueltos, hasta la definición de medidas específicas de contención, establecer áreas de aislamiento y protección de las viviendas localizadas en la parte alta y baja de los cortes como barreras vivas, etc.

b. Obras Complementarias: Teniendo en cuenta que uno de los principales agentes detonantes de los problemas de inestabilidad es el agua, las soluciones expuestas deben acompañarse con un adecuado manejo del agua de escorrentía y de las aguas servidas.

c. Recomendaciones de Estabilización Geotécnica: Las obras de este tipo pueden corresponder bien con estructuras de contención o de aislamiento, drenaje, subdrenaje o la remoción total de los rellenos y reconformación de las zonas. Dentro de esta se involucran las obras de control y protección del área contra la erosión, como son establecimiento de cobertura, trinchos, barreras vivas como postes y fajinas, etc.

d. Obras Paisajísticas: Estas obras mejorarán el entorno ambiental del sector y ayudarán a mantener la estabilidad que se logre con las medidas correctivas y preventivas expuestas. Así se contempla la empradización de las cimas de los taludes, la siembra de especies nativas en la pata de los taludes, e incluso el replanteamiento de los planes urbanísticos actuales como zonas duras longitudinalmente en la cresta del talud generando un aislamiento entre el talud y las viviendas. Igualmente establecer localmente la definición o implementación de equipamiento urbano como áreas de recreación pasiva parques infantiles entre otros.

Cualquiera que sea el plan de recuperación propuesto se contempla como mínimo las siguientes acciones:

- Reubicación de las viviendas.
- Localmente estructuras de Contención tipo muros.
- Propuestas de planes de recuperación ambiental y de programas de arborización.
- Planes de manejo del entorno físico para ser adelantado por la comunidad.

Como complemento y una vez identificado el movimiento que afectó las viviendas que han sido reportadas, con la misma ficha se adelanta un inventario de daños que permite calibrar el modelo de vulnerabilidad del sector. Adicionalmente se establece la cobertura y tipo de servicios públicos básicos en la zona (acueducto, alcantarillado, vías y basuras) tomando como base la cartografía de catastro como se mencionó en los aspectos topográficos.

1.7 ORGANIZACIÓN DEL INFORME

El presente informe plantea las posibles medidas de mitigación, expone el procedimiento seguido en el desarrollo del estudio, haciendo énfasis en la investigación o exploración básica efectuada y en los modelos, técnicas y métodos de análisis propios aplicados en el estudio. Finalmente, se plantean las posibles acciones y diseño de obras de mitigación y control.

El presente informe se encuentra organizado en 14 capítulos y 8 anexos distribuidos así:

CAPITULO 1: GENERALIDADES

En este capítulo se incluye la descripción muy general del estudio, su marco normativo, los objetivos generales y específicos del proyecto y la presentación del informe.

Se presenta una conceptualización de la problemática del sector con sus posibles causas, incluyendo modelos y metodologías de análisis.

CAPITULO 2: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Se presenta en este capítulo la descripción de la metodología y los resultados obtenidos del levantamiento topográfico del barrio, incluyendo las carteras de campo y el análisis multitemporal de cartografías de los años 1960, 1980 y la cartografía actual.

CAPITULO 3: ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

Incluye los resultados del levantamiento geológico detallado a nivel de unidad de roca y depósitos recientes. Se realiza una caracterización geomecánica del macizo rocoso y se define la dinámica actual de los procesos degradacionales que afectan el sector.

CAPITULO 4: CLIMA, HIDROLOGÍA, HIDROGEOLOGÍA Y SISMOLOGÍA

La información descrita en este capitulo corresponde a una recopilación de información bibliográfica de informes geotécnicos de áreas cercanas a la de estudio, que permiten caracterizar la zona y definir los agentes detonantes de los procesos de remoción en masa presentes.

CAPITULO 5: COBERTURA VEGETAL Y USOS DEL SUELO

Se presenta una descripción de la vegetación existente actualmente en la zona y de los usos del suelo de acuerdo con la zonificación realizada por el Estudio realizado por la

Universidad Nacional para la definición de factores de seguridad de taludes en la localidad de Rafael Uribe, y con base en las observaciones de campo.

CAPITULO 6: CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

Comprende los diversos estudios desarrollados a nivel del subsuelo, partiendo de una exploración detallada con sus respectivos ensayos in situ y de laboratorio, al igual que una evaluación de la estratigrafía de la zona.

CAPITULO 7: FACTOR ANTRÒPICO

En este capitulo se definen los factores antrópicos que permiten determinar el estado de ocupación del Barrio Mirador de Marrocos. Por otra parte presenta la tipificación de las viviendas y su grado de exposición frente a los procesos identificados y analizados en el área. Se presentan los resultados del inventario de vivienda y la evaluación de incidencia en la estabilidad del terreno.

CAPITULO 8: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

Contiene los análisis de la estabilidad de los diferentes tipos de taludes en las zonas geomorfológicas definidas y las metodologías empleadas para el establecimiento de la amenaza.

CAPITULO 9: EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y EL RIESGO

Expone un análisis de la información generada a partir del inventario de viviendas realizado en la zona, puntualizando en factores como condición actual, asignación de solicitación, evaluación de daños entre otros. Con base en lo anterior, se desarrolla una zonificación de la vulnerabilidad con su respectiva categorización.

En este capitulo se identificaron las zonas con intervención antrópica y se presentan los resultados del inventario de vivienda y la evaluación de incidencia en la estabilidad del terreno. Por otra parte presenta la tipificación de las viviendas y su grado de exposición frente a los procesos identificados y analizados en el área.

Se presentan los resultados del nivel de riesgo actual del área y la zonificación de riesgo de los elementos expuestos

CAPITULO 10: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE RIESGO

En este capitulo se exponen los lineamientos que enmarcan el planteamiento de las medidas planteadas para el área en estudio.

CAPITULO 11 ANÁLISIS ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN

En este capítulo se realiza el análisis de las posibles medidas de mitigación de los procesos de degradación. Se establecen diversos criterios de decisión, que conllevan la selección de la mejor alternativa técnica, ambiental, urbanística, social y financiera. Así

mismo se presenta la calificación y evaluación de cada alternativa que finalmente conlleve a la selección más beneficiosa desde los diferentes indicadores de viabilidad establecidos

CAPITULO 12 DISEÑO DETALLADO DE OBRAS

Se presentan las obras establecidas para la recuperación de los sectores inestables que permitan mejorar las condiciones de estabilidad de la zona. Se incluye el cronograma y el presupuesto de obra.

CAPITULO 13 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se dan las conclusiones sobre la problemática del sector y las recomendaciones generales para adelantar las obras de mitigación y control de los procesos de inestabilidad de los escarpes objeto de estudio.

CAPITULO 14 BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ANEXO TOPOGRÁFICO

ANEXO GEOTÉCNICO

ANEXO EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

ANEXO EVALUACION DE VULNERABILIDAD Y RIESGO

ANEXO MEMORIAS DE CÁLCULO

ANEXO ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ANEXO MEMORIAS CANTIDADES DE OBRA

ANEXO CARTOGRÁFICO

PLANOS

PLANO 1. Topografía

PLANO 2. Geología

PLANO 3 Geomorfología

PLANO 4. Amenaza

PLANO 5. Vulnerabilidad

PLANO 6. Riesgo

PLANO 7. Planta de diseño

PLANO 8. Perfiles de diseño

PLANO 9. Detalles

PLANO 10. Propuesta Urbanística

CONTENIDO

CAPÍTULO 2

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO 2-2
2.1 INTRODUCCIÓN 2-2
2.2 CARTOGRAFÍA BASE 2-2
2.2.1 Levantamiento topográfico 2-2
2.2.2 Trabajo de oficina 2-4
2.3 CARTOGRAFIA EXISTENTE 2-5
2.3.1 Cartografia IGAC 1960 2-5
2.3.2 Cartografia IGAC 1981 2-5
2.4 INFORMACIÓN CATASTRAL 2-5

2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

2.1 INTRODUCCIÓN

El levantamiento adelantado en el barrio el Mirador de Marrocos, ubicado en la zona entre la calle 48FSur y diagonal 48MSur y entre las transversales 5Q y 5U en la localidad de Rafael Uribe al sur-oriente de Bogotá D.C., permite describir en forma precisa la geomorfología del terreno, las áreas de mayor afectación, los predios y las obras civiles existentes, los elementos relevantes en la zona y para proyectar las medidas correctivas y de mitigación correspondientes.

El objeto del levantamiento es determinar la forma y el área general de los predios existentes en la zona de estudio, con la descripción detallada de la morfología del terreno que ocupan y cotejar la existencia de la información de los mismos existente en el DACD y el DAPD.

2.2 CARTOGRAFÍA BASE

Como elemento fundamental en la formulación de la cartografía geológica, geomorfológica, geotécnica, y para efectos del planteamiento y diseño de las medidas mitigación de procesos de inestabilidad, se realizó un levantamiento topográfico detallado, escala 1:1000, con el que se pretende registrar la morfometría actual del talud, las franjas críticas de estabilidad, los procesos morfodinámicos y todo tipo de estructura física presente en el sector de estudio (postes, pozos, escaleras, vías, entre otras). Dichas labores se adelantan tal y como se describen en los siguientes numerales.

2.2.1 Levantamiento topográfico

Se realizó el amarre a coordenadas (X, Y y Z) del distrito a partir de una base medida con GPS, desde la cual se trazo una poligonal con estación total sobre toda la zona de estudio como se muestra en la respectiva cartera de campo y de cálculo (Anexo Topografico). De los vértices de la poligonal se radiaron puntos que describen la geomorfología del predio y las construcciones de alrededor. Adicional a este trabajo se verificó en las respectivas Instituciones sobre la existencia de predios en la zona ya que por ser un área abierta sin urbanizar no es posible verificar en campo.

El levantamiento topográfico se realiza en dos etapas, como sigue:

Zona Abierta: Toma de información únicamente del área despejada mediante la toma de puntos sobre secciones transversales y espaciadas cada 5 a 10 m, colocando los prismas en los cambios de pendiente hasta obtener un cubrimiento total del área de estudio.

Zona de Construcciones y Detalles: Toma de información de los puntos topográficos de infraestructura como son paramentos, andenes, construcciones, postes, pozos, cercas, etc.

El barrido con nube de puntos se utiliza para la definición de los taludes de disección de los cursos de agua y de corte, y de elementos urbanísticos como: manzanas, pozos de inspección, vías y caminos peatonales. Complementariamente, se toman puntos adicionales en los vértices de las manzanas para la definición precisa de las mismas y el ajuste de los predios de cada una de ellas.

Se tomaron todos los elementos relevantes existentes como construcciones, árboles, taludes, anclajes, vías, andenes, redes de servicios, drenajes, cercas, cerramientos, etc.

DATOS TÉCNICOS

Propietarios: VARIOS (Ver boletines – Anexo Topográfico)

Direcciones del Predio: Entre Calle 48 F Sur y diagonal 48M Sur
Entre Transversales 5Q y 5U

Localización: Barrio Molinos y Marrocos, Localidad de Rafael Uribe, Bogotá D.C. (Cundinamarca)

Topografía: El 60% del área es ondulado y de media pendiente entre el 12 % y 25 % El 30 % es de alta pendiente escarpado entre el 25 % - 50 % y más El 10 % restante es de poca pendiente entre el 3 y el 7 %

Vegetación: En la gran mayoría del predio predominan las zonas de pastos, existe una zona de árboles (pinos) y el resto corresponde a zonas erosionadas

Otros: Debido al desarrollo de construcciones en la zona existen taludes verticales bastante erosionados con alto riesgo de vulnerabilidad.

EQUIPOS UTILIZADOS

Estación Electrónica Total Geodésica Leica TC1800

Es una estación de orden geodésico óptima para cualquier tipo de trabajos de alta precisión, que nos permite realizar medidas de altísima precisión tanto planimétrica como altimétricamente a 1/10 de mm. Tiene compensadores tanto horizontales como verticales para garantizar que los ángulos verticales se midan en relación de la línea de plomada y en las medidas horizontales corrige los errores de línea visual y de perpendicularidad, así como la inclinación del eje vertical. El offset del distanciómetro y la longitud de onda se ajustan automáticamente dentro del aparato permitiendo medidas especiales por encima de las medidas estándar. Una vez se toman los datos tienen todas las correcciones posibles y no requieren de ajustes posteriores ya que cada dato registrado lo ha procesado y promediado más de 1000 veces.

<u>Datos técnicos:</u>

Alcance : Con un prisma, entre 3500 y 4000 m. en condiciones malas y/ó buenas

Con tres prismas, entre 6000 y 8000 m en condiciones malas y/ó buenas

Falla en distancia: 3 mm / 7 Km

Falla en ángulos: 1”

Precisión: 1” de lectura directa

Los cálculos de coordenadas y los elementos para trazo de puntos son procesados por el computador integrado al aparato. Todos los datos ajustados internamente son memorizados y procesados en una tarjeta de memoria PCMCIA de 2 megas para 14000 puntos, los cuales se bajan mediante un cable directamente a una computadora personal y pueden ser trabajados en programas gráficos y de cálculo como Auto CAD y Microstation.

La estación cuenta con:

- dos (2) bastones con ojo de pollo de 2.5 m y dos (2) bastones de 7.5 m de altura con sus respectivos prismas, un bastón tiene una pacha de 3 prismas.

- trípode metálico, dos pilas, cargador

- estuches respectivos de los equipos y radios de comunicación con un alcance de 3.3 Km.

Navegador Garmin GPS12

Es un navegador de precisión pos-métrica que puede detectar hasta 12 satélites y que con seis (6) que capture nos da una buena precisión para localizar la base de salida de los trabajos topográficos.

En el Anexo topográfico se presentan las carteras de campo del levantamiento topográfico.

2.2.2 Trabajo de oficina

El trabajo consiste en georeferenciar los puntos topográficos tomados en campo y ajustar la poligonal de amarre mediante el programa de computador.

El procesamiento cartográfico del levantamiento se ejecuta empleando el módulo Surface Modeling del Programa de computadora EaglePoint Vrs. 14.1, bajo un modelo de interpolación dirigida, generando una malla TIN (Triangular Irregular Network) y realizando un proceso de líneas de discontinuidad y ruptura, lo que representa 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, los escarpes y los ejes de los drenajes del área.

Como resultado de la actividad anterior se define la salida gráfica del Plano Topográfico a escala 1: 1000 con intervalo de curvas de nivel cada metro. **Ver Plano No 1**. **Topografía**

2.3 CARTOGRAFIA EXISTENTE

Con el propósito de realizar un análisis multitemporal e identificar los niveles de intervención antrópica de la zona de estudio, se realizó el contraste entre la topografía actual y cartografía existente en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, cuyas planchas se describen a continuación.

2.3.1 Cartografia IGAC 1960

Esta cartografía corresponde a la contenida en las Planchas L-48, del año 1960 y L-38 del año 1967 a escala 1:2000, levantadas con fotografías aéreas tomadas en estos mismos años. Esta cartografiía se presenta en la **Figura 2.1**.

En esta cartografía puede apreciarse que en esta época no se presentaba actividad minera en el área del estudio actual y existían dos drenajes denominados Zanjón Las Zapatas y Zanjón La Popa, los cuales eran aproximadamente paralelos entre sí y se localizaban sobre las vías actuales que limitan el barrio Marrocos. La zona donde se presentan infiltraciones hoy, hacia el sur de la Urbanización Zarazota, corresponde con un antigua hondonada, que puede apreciarse en la **Figura 2.1.**

2.3.2 Cartografia IGAC 1981

Las planchas IGAC de 1981 del área de estudio son las L-38 y L-48, en escala 1:2000, levantadas con fotografías aéreas tomadas en 1977 (Ver **Figura 2.2**).

En la **figura 2.2** puede observarse la existencia de lagunas artificiales y hornos empleados en la fabricación de ladrillos; también se aprecian los cambios morfológicos del terreno con respecto a la cartografía de 1960, donde las líneas de drenaje naturales fueron rellenadas y convertidas en vías, y aumentaron las zonas urbanas.

2.4 INFORMACIÓN CATASTRAL

De acuerdo con la información consultada en los departamentos administrativos de Catastro Distrital (D.A.C.D) y Planeación Nacional (D.A.P.N), se tiene lo siguiente:

En el D.A.P.D. No existen planos topográficos incorporados en el área libre actual en la zona de estudio, solo se encuentra el plano urbanístico RU3/4-04 en escala 1:2000, presentado en el **Anexo Topográfico**. Según este plano el área de estudio actual esta comprende parte de los barrios Mirador de Marrocos y Mirador Bajo, y esta limitada hacia el norte por el barrio Providencia Alta.

En el D.A.C.D. según la plancha escala 1:5000, la zona comprende los Barrios Callejón de Santa Barbara y Molinos Sur. En el Anexo tipográfico se incluyen las manzanas y boletines catastrales de 32 predios. En el **Plano topográfico** se presentan los linderos digitalizados.

CONTENIDO

CAPÍTULO 3

ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

3 INTRODUCCIÓN 3-1
3.1 MÉTODO 3-1
3.2 MARCO GEOLÓGICO GENERAL. 3-2
3.2.1 Estratigrafía 3-2
3.2.2 Geología Estructural 3-3
3.3 GEOLOGÍA LOCAL 3-4
3.3.1 Estratigrafía Local 3-4
3.3.2 Geología Estructural Local 3-8
3.4 GEOLOGÍA APLICADA 3-9
3.5 GEOMORFOLOGÍA 3-12
3.5.1 Morfometría 3-12
3.5.2 Morfología 3-12
3.5.3 Inventario de Procesos Degradacionales 3-13
3.5.4 Unidades geomorfológicas 3-15

CAPÍTULO 3

ESTUDIO GEOLOGICO Y GEOMORFOLOGICO

3 INTRODUCCIÓN

El estudio geológico en el barrio Mirador de Marrocos de la Localidad Rafael Uribe Uribe permitió desarrollar el modelo geológico del sector el cual fue la base para el modelamiento geomorfológico y geotécnico.

El alcance del estudio también permitió realizar un reconocimiento regional de la geología con base en información secundaria y las visitas de campo para actualizaciones puntuales.

3.1 MÉTODO

Luego de definir el área de estudio con los Ingenieros de la DPAE y de la Interventoría se realizó un reconocimiento de campo y la interpretación geológica de las fotografías aéreas. El análisis temporal de las fotografías aéreas, de diferentes décadas, permitió observar la evolución del paisaje durante los últimos 25 años y reconocer, desde un punto de vista regional, las diversas formaciones que afloran en el área de interés. ***La Tabla 3.1*** relaciona las fotografías utilizadas.

Tabla 3.1 . Relación de Fotografías Aéreas.

Vuelo	Fotografía No	Escala	Año
C-35	847-849	1:22.000	1940
C-2323	125-126	1:21.500	1987
R-1183	187-188	1:13.700	1992

Con base en el mapa base topográfico y en la fotointerpretación, se generó un primer mapa geológico de las unidades aflorantes. Utilizando dicho mapa se programaron los sitios para las perforaciones y apiques. Se procuró localizarlas donde sirvieran para los siguientes propósitos:

- Lograr una buena representatividad de los materiales existentes en los taludes.
- Tener un conocimiento confiable de las condiciones geotécnicas del talud.
- Conseguir mayor información en áreas con problemas notorios o significativos.

Finalmente, utilizando la información obtenida y el análisis temporal del relieve a partir de restituciones de las décadas de los sesenta y setenta, se realizó una reinterpretación

geológica y elaboración del mapa final a escala 1:1000 del área de investigación específica.

Durante el reconocimiento de campo se levantaron diferentes columnas estratigráficas detalladas, tomando especial cuidado en los procesos de alteración físico-química y estructural. Siempre que fue posible se realizó un control detallado de las discontinuidades presentes en cada uno de los escarpes analizados. Las columnas estratigráficas se correlacionaron cuidadosamente teniendo en cuenta la actitud de los estratos y las estructuras del sector para elaborar la columna estratigráfica generalizada del área estudiada, ***Ver Plano 2***.

3.2 MARCO GEOLÓGICO GENERAL.

El sector se encuentra localizado al noreste del Sinclinal de Usme, en el cierre periclinal. El pliegue corresponde a la principal estructura geológica que condiciona, a escala regional, la disposición de los estratos de las unidades litoestratigráficas del área. Espacialmente descansan sobre esta unidad depósitos cuaternarios de pendiente, abanicos aluviales y sedimentos lacustres.

El sector se muestra afectado por actividad tectónica local y regional, presencia de plegamientos y fallas, lo que condicionó la evolución de la ladera y el comportamiento mecánico de los materiales que la conforman. ***Ver figura 3.1***

3.2.1 Estratigrafía

Estratigráficamente en el área afloran rocas terciarias desde el Paleoceno superior hasta el Mioceno superior y depósitos del Cuaternario. El Terciario está representado por la Formación Areniscas de La Regadera.

Formación Areniscas de La Regadera (Ter)

La Formación Areniscas de La Regadera, definida por Julivert (1963), está compuesta por areniscas de grano grueso y conglomerados con cantos de cuarzo en una matriz arenosa, areniscas cuarzosas de grano fino a grueso, friables, arcillolitas y lutitas. Según Julivert (op. cit.) las Areniscas de La Regadera es un nivel con un espesor de cerca de 400 metros. Las Areniscas de La Regadera conforman una serie de cerros muy resistentes a la erosión, y por lo tal, desarrollan crestones en ambos flancos del Sinclinal de Usme.



Foto 1. Vista al nor occidente. Obsérvese el nivel de litoarenitas completamente meteorizado y alterado.

De los diferentes afloramientos observados en campo se puede concluir que la Formación Areniscas de La Regadera se subdivide en dos conjuntos, un conjunto inferior formado principalmente por areniscas friables blancas amarillentas de grano grueso y un conjunto superior conformado por alternancia de niveles de arcillolita de color vinotinto a violáceo y areniscas amarillentas friables. En la roca alterada, los diferentes componentes líticos generan un color ocre a rojizo (***Ver Foto1***); estas capas de litoarenitas se intercalan con capas gruesas de cuarzoarenitas y conglomerados cuarzosos de moderada a alta consolidación. De igual forma, se presentan finas capas de arcillolitas grises con alto contenido de material caolinítico. El sector estudiado se localiza estratigráficamente en las capas más superiores del conjunto superior de la Formación.

El ambiente de acumulación de las Areniscas de La Regadera correspondió a un sistema fluvial migrante que tendía a pantanos con salinidad de media a alta durante el Eoceno Medio (Acosta & Beltrán, 1987).

Depósitos Recientes (Q)

Sobre las arcillolitas y las areniscas de las Formaciones de edad terciaria, se han acumulado en las laderas depósitos coluviales (Qc), eluviales, de remoción en masa (QdA) y rellenos antrópicos (QR) que han suavizado la morfología del sector.

3.2.2 Geología Estructural

La región se encuentra controlada por el pliegue Sinclinal de Usme, el cual tiene una orientación aproximada Norte–Sur y una longitud superior a los 30 kilómetros con un cierre periclinal al norte. Esta estructura amplia (6 kilómetros), asimétrica esta limitada al oriente por la Falla de Bogotá, al occidente por la Falla del mochuelo y el Anticlinal de

Cheba – Quiba y al norte por la Falla de San Cristóbal - Facatativa. Los flancos están conformados por las Formaciones Bogotá y Areniscas de la Regadera y el núcleo por la Formación Usme y depósitos recientes.

Asociados al pliegue, existen sistemas de falla de carácter Normal y de Rumbo (***Ver Plano No. 2***). Las fallas Normales son transversales e inciden de manera directa en la estabilidad de los taludes del sector.

El contacto entre la Formación Usme y la Arenisca de La Regadera es variable. Mientras que en el flanco occidental del Sinclinal de Usme las dos formaciones son concordantes, en el flanco oriental existe discordancia. Es precisamente el nivel superior de la Formación Usme el que entra en contacto con la Formación Arenisca de La regadera.

3.3 GEOLOGÍA LOCAL

Para el sitio evaluado se levantaron todos los taludes presentes a una escala 1:1000 tomándose los datos litológicos, estructurales y topográficos. En el sitio afloran litoarenitas con intercalaciones de arcillolitas, correspondientes a la Formación Areniscas de la Regadera Miembro Superior (Trs) que se depositaron durante el Eoceno medio (Van der Hammen, 1957), al igual que depósitos de pendiente conformados por limos, arenas, gravas y residuos de materiales de construcción asociados tanto a actividad antrópica (antiguos frentes de explotación de material) como a procesos denudativos.

El ambiente de depósito de esta Formación es de tipo continental conformado por la dinámica fluvial (ríos meándricos y trenzados) y por depósitos tipo transicional (paludales–lacustres). El predominio litológico es principalmente de arenas (tamaño muy fino a grueso), con estratificación plano-paralela (horizontal/diagonal) y cruzada (épsilon). Las intercalaciones de arcillolitas conforman el 52 % de la columna estratigráfica.

3.3.1 Estratigrafía Local

Con base en el levantamiento geológico de campo y en la geología estructural se elaboró un modelo del subsuelo para el área, el cual destaca la secuencia estratigráfica y la disposición estructural del macizo. De gran ayuda para la elaboración de este modelo fue la base cartográfica obtenida en el levantamiento topográfico, escala 1:1000.

Las diferentes secciones que se incluyen en el ***Plano No 2*** muestran el modelo estratigráfico generado, el cual permite apreciar que la secuencia estratigráfica presenta series cíclicas que oscilan desde arenas finas hasta arcillas. La secuencia, en el área estudiada, tiene un espesor de 26.62 m y está conformada por un nivel de arenisca y otro de arcillolita así:

Nivel 1 (TARa): constituido por litoarenitas friables, de grano medio a grueso, color blanco, de baja resistencia, meteorizadas, diaclasadas y masivas con coloraciones rojizas producto de la alteración de minerales de hierro, por areniscas gris clara de grano fino a medio, mal cementadas y un nivel de arcillolita abigarrada plástica de máximo un metro

de espesor. El nivel tiene un espesor total de 12.10 m (***Ver Foto. 2***). Está conformada por series grano decrecientes de tamaño arena fina a arcillolita. Hay un predominio de arenas amarillentas, friables, oxidadas, de baja resistencia, diaclasadas y de estratificación planar, pudiéndose observar costras ferruginosas en todo el paquete.

Nivel 2 (TARar): de 14.52 m de espesor total. Contiene lodolitas plásticas (arcillolitas) abigarradas, con presencia de minerales autigénicos de aluminio y un grado medio de meteorización.

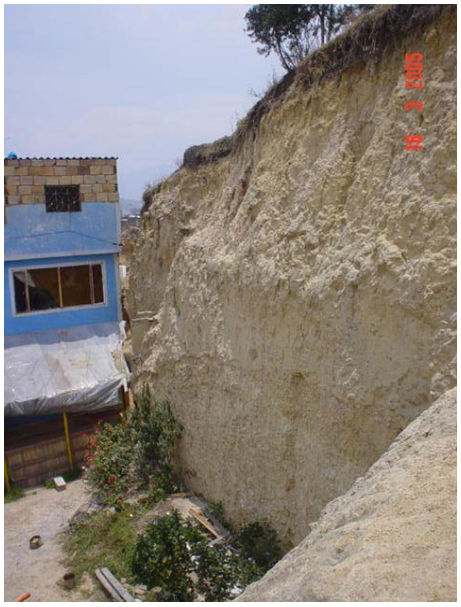


Foto 2. Vista al sur occidente. Obsérvese el nivel de litoarenitas afectado por la erosión hídrica.



Foto 3. Vista al norte. Obsérvese el nivel de arcillolitas afectado por el diaclasamiento y la filtración de agua con arena muy fina.

Depósitos Cuaternarios

Los depósitos Cuaternarios observados son principalmente de tipo antrópico y de acuerdo con sus características genéticas tienen una implicación directa con la estabilidad del terreno y los procesos erosivos. Estos rellenos fueron clasificados de la siguiente forma:

Deposito de Residuos (Qre). Relleno de escombros producto del botado de residuos de construcción y de basuras sin ningún control técnico. Se calcula un espesor entre 10 y 12 metros. ***Ver Foto 4*.**

Relleno De Residuos (Qb). Relleno conformado por residuos de la explanación y corte del terreno para la construcción de obras civiles. Espesor variable. ***Ver Foto 5 y 6.***

Deposito Mixto (Qm). Relleno conformado por materiales de construcción, basuras, depósitos coluviales y aluviales. Se encuentran sobre los taludes de pendiente moderada. Se calcula un espesor aproximado de 5 metros. ***Ver Foto .7.***



Foto 4. Vista al noroccidente. Relleno de escombros sobre un depósito mixto.

Depósito Antiguo (QdA). Depósitos provenientes de fenómenos de remoción en masa. ***Ver Foto 7.***

Suelo Residual (Qsr). Material originado a partir de la meteorización y alteración de las areniscas y arcillolitas, generalmente se encuentran cubiertos por una capa de suelo orgánico. ***Ver Foto8.***

Depósito Fluvioglaciar Torrencial (Qfg). En el Terciario Tardío, acompañando el levantamiento de la cordillera se originaron diferentes episodios torrenciales combinados con el retroceso de los glaciares que dieron origen a la depositación de materiales de origen glacial y fluvial de forma caótica, hetereométrica y hetereogenea, sobre la morfología existente.

En la zona sureste del área se cartografió parte de un depósito anisotrópico conformado por fragmentos de rocas de areniscas bien cementadas de grano medio a grueso con sedimentación paralela y minerales ferro-magnesianos, hasta con 2 metros de lado; fragmentos de arcilla varicoloreada, fragmentos de areniscas friables ferruginosas mal gradadas. La matriz de este depósito es principalmente arenosa. De acuerdo con las características observadas se cree que este depósito sea de origen mixto: fluvioglaciar con particularidades torrenciales. ***Ver Fotos 12 y 13.***



Foto 5. Vista al sur oriente. Residuos de explanación sobre areniscas meteorizadas.



Foto 6. Vista panorámica al sur oriente. Residuos de explanación sobre areniscas meteorizadas.



Foto 7. Vista panorámica al noroccidente. Deposito mixto y de material de fenómenos de remoción en masa.



Foto 8. Vista panorámica al oriente. Suelo Residual producto de la alteración de las Areniscas y Arcillolitas de la Formación Areniscas de La regadera.

3.3.2 Geología Estructural Local

Como se menciono anteriormente la estructura principal es un sinclinal con orientación aproximada Norte–Sur y una longitud superior a los 30 kilómetros con un cierre periclinal al norte. En el área evaluada se insinúa un cierre buzando al sur occidente en el monoclinal buzando suavemente al occidente, el cual corresponde a la parte norte del flanco oriental del Sinclinal de Usme. Aunque son muy pocos los sitios donde se pudieron tomar datos estructurales, el valor del acimut obtenido: entre 160 y 286 están delineando

el posible cierre de la estructura. Por lo tanto existen dos valores regionales para las capas: 286 inclinadas 6 a 10 grados y 160/20.

Las principales discontinuidades representadas por el diaclasamiento tienen las siguientes orientaciones:

55/64, 80/90 – 72/24, 150/50 - 153/59, 180/90 – 160/88, 224/85 - 260/37, 304/57.



Foto 9. Descripción: Obsérvese el nivel de arenitas afectado por planos de discontinuidades.

Las diaclasas se caracterizan por ser poco persistentes, tener un espaciamiento entre 20 y 5 centímetros, una abertura desde cerrada hasta abierta (2 cm.), secas a húmedas con superficies rugosas y relleno arcilloso. La rugosidad de las paredes es ondulada suave.

El análisis detallado del comportamiento, homogeneidad e influencia de las discontinuidades sobre el comportamiento y estabilidad del macizo se realiza en la evaluación geotécnica del área.

3.4 GEOLOGÍA APLICADA

El macizo rocoso del área en estudio ha sido degradado casi en su totalidad debido primero, a la explotación minera y luego al desarrollo urbano. Lo anterior originó que el macizo rocoso inicialmente conformado por arcillolitas macizas de color gris claro en muestra fresca, y rojizo a amarillo por alteración, con algunos niveles de limolitas y por litoarenitas con matriz arcillosa, de grano fino a medio, ocasionalmente conglomeráticas, de color gris y amarillo por alteración, bien seleccionada, con granos subangulares de cuarzo que predominan sobre los líticos y arcillolita alterada de color blanco, se encuentre reemplazado por depósitos de origen antrópico, Aumentando su heterogeneidad y anisotropía.



Foto 10. Vista al occidente. Obsérvese el nivel de arenitas afectado por la meteorización hasta convertirse en suelo residual.

En los pocos taludes en roca la geometría y disposición de los estratos no es clara, debido principalmente al grado de meteorización de las rocas expuestas. La zona de roca altamente meteorizada se puede clasificar como Zonas V a IV de acuerdo con Dearman (1976).

Por otra parte, la alteración de los feldespatos a minerales arcillosos permite que ante los procesos de erosión hídrica, las partículas finas sean lavadas quedándose la granulometría gruesa sin soporte. Los taludes 4, 5 y 6 (ver **Plano No. 2**) se encuentran en arenisca a excepción del 4 que también esta conformado en arcillolita. Estos taludes no presentan problemas de inestabilidad, pero si de erosión hídrica, especialmente el desarrollo de surcos. El talud 7 hace parte de una antigua corona de deslizamiento múltiple, la cual no muestra evidencias de reactivación, pero si de erosión.



Foto 11. Vista al occidente. Obsérvese la reptación del antiguo depósito de remoción en masa.

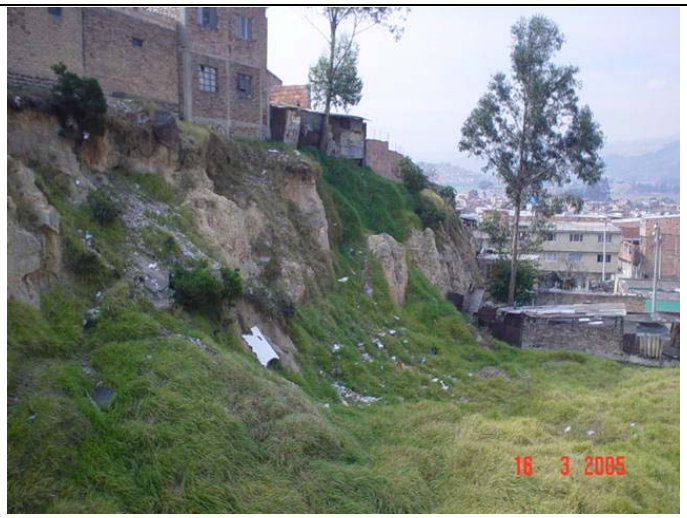


Foto 12. Vista al sur oriente. Obsérvese que el mal manejo de aguas ha originado una erosión hídrica muy marcada y pequeños flujos de lodo.

De acuerdo con los datos de las discontinuidades la influencia de las diaclasas y los planos de estratificación no es muy importante en la estabilidad del talud. Pero el grado de meteorización esta originando la creación de pequeños flujos de lodo en las épocas de lluvias.

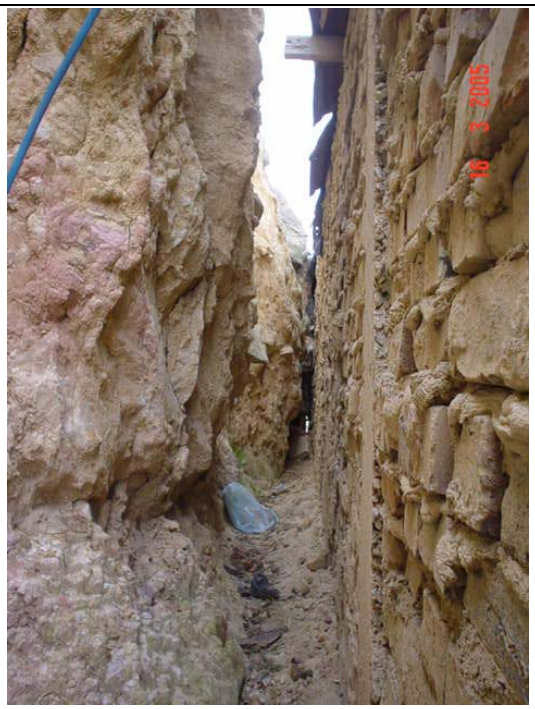


Foto 13. Vista al sur. Obsérvese el depósito afectado por la meteorización y la erosión hídrica.

Los taludes 1, 2, 3 y 8 (ver **Plano No. 2**) están conformados en depósitos antrópicos con muy bajas características geotécnicas. De los anteriores el talud 1 conformado por el depósito fluviotorrencial glacial se encuentra sobre las areniscas y arcillolitas de la Formación Areniscas de La Regadera. No muestra problemas de inestabilidad pero si de manejo de aguas servidas y de lluvia. Como el material se encuentra muy poco consolidado se erosiona fácilmente y ocasiona bastante caída de partículas, las cuales en época de lluvia se convierte en un flujo de lodo. ***Ver Fotos* No*. 10* , *12 y 13.***

3.5 GEOMORFOLOGÍA

En adelante se realiza la clasificación y descripción geomorfológica, basada en la interpretación de fotografías aéreas y en las observaciones de campo. La zonificación geomorfológica busca establecer las unidades en función de la dinámica de las pequeñas laderas naturales y antrópicas que configuran el relieve actual, que están determinadas principalmente por la direccionalidad de las mismas.

3.5.1 Morfometría

Las geoformas naturales corresponden a laderas rectilíneas con pendientes moderadas entre 10 y 15°. Las cuales se circunscribían sobre dos drenajes o valles de erosión. El sector nor oriental conservan las pendientes de las geoformas originales.

La intervención del hombre mediante la actividad minera, modifica la morfometría al configurar áreas de alta pendiente correspondientes a los cortes mineros y áreas planas o de baja pendiente en los patios o rellenos construidos.

Los valles de los drenajes fueron rellenados generando pendientes bajas a medias a lo largo de los mismos y hoy en día se utilizan como corredores viales de acceso.

3.5.2 Morfología

La clasificación de las principales formas del terreno se estableció como la expresión dinámica del relieve que ha sido modelado por agentes externos, especialmente de tipo climático y por la actividad minera.

Actualmente el relieve evidencia los efectos tanto tectónicos que ha sufrido parte de la corteza terrestre como los efectos por la acción del clima que lo ha degradado, generando valles de erosión. Tales efectos originaron un modelado denudativo natural característico del área.

El modelado denudativo corresponde al relieve originado por la meteorización y erosión diferencial de materiales rocosos arcillosos y de las areniscas friables de la Formación La Regadera.

Localmente en la parte sur del área se presenta un depósito de carácter agradacional correspondiente a un flujo torrencial que se relaciona con las dinámicas del cono del

Tunjuelo. Este sector define una zona de comportamiento diferente al área estructural denudativa.

El modelado agradacional del área se da especialmente por la intervención antrópica, por la acumulación artificial de materiales estériles producto de las explotaciones mineras, escombros y desechos de construcción.

3.5.3 Inventario de Procesos Degradacionales

La cobertura de suelos característica del área es de bajo espesor, lo que en condiciones naturales, representa que los procesos degradacionales se asocien a erosión de los niveles de roca blandos y de los depósitos cuaternarios localizados, y que las laderas se clasifiquen como estables.

En la actualidad los procesos degradacionales están asociados con la actividad antrópica, inicialmente con la actividad minera, y luego con el proceso mismo de urbanización del barrio. La erosión es un denominador común especialmente por las altas pendientes que dejaron los cortes mineros y por la concentración y canalización de las aguas de escorrentía a lo largo de la red vial.

Los procesos de movimientos en masa o deslizamientos se encuentran asociados a los frentes de explotación minera. En los demás sectores se identificaron pequeños procesos de deslizamientos tipo rotacionales y traslacionales sobre los rellenos antrópicos.

En los cortes realizados para la construcción de viviendas solo en el sector sur se encontró problemas de inestabilidad.

El ***Plano No 3*** muestra cartográficamente el inventario de procesos del área en estudio. Como parte de los procesos degradacionales que afectan el área se distinguen:

Erosión:

Además de la erosión en surcos y cárcavas por la concentración de las aguas de escorrentía, desarrolladas a lo largo de las vías del barrio que no se encuentran pavimentadas, se identificaron procesos erosivos en los cortes mineros y en la zona desprovista de vegetación de la parte alta donde afloran las rocas de la Formación La Regadera.

Los procesos erosivos son principalmente surcos y cárcavas con una mayor manifestación en los taludes conformados sobre el depósito fluviotorrencial y erosión diferencial en los taludes seudo verticales en areniscas con intercalaciones de arcillas, asociados a los suelos residuales del macizo rocoso.

En general todos los taludes por la falta de cobertura de su superficie se encuentran afectados por procesos erosivos de intensidad media a alta.

Como erosión antrópica se delimitaron los escarpes de los taludes de corte realizados por la actividad minera y para las excavaciones de las viviendas y de las vías. En general

presenta pendientes altas, casi verticales, y de alturas menores a los 5 m. Las zonas de relleno igualmente se caracterizan por presentar una alta susceptibilidad a la erosión debido principalmente a la baja calidad en su conformación.

Procesos de Remoción en Masa:

Tanto el reconocimiento de campo como la fotointerpretación de las fotos de los años 1960 y 1990 permitieron establecer que el área en sus condiciones naturales presentaba procesos intensos de erosión y no se evidenciaba inestabilidad de las laderas.

En la parte alta se encontró un tratamiento de estabilización de la ladera mediante dos filas de anclajes en una longitud aproximada de 30 m. Lo que evidencia que el área ha sufrido problemas de inestabilidad comprometiendo las viviendas de la Urbanización Zarazota localizada en la corona del corte minero. Las geoformas y escarpes mineros muestran la zona de afectación del proceso de inestabilidad.

Los procesos de remoción en masa, locales y puntuales, se relacionan con factores antrópicos como: cortes, rellenos, vertimientos, etc. Dentro de los procesos inventariados se encuentran:

Caídas de Rocas

Estos procesos se encontraron solo en los frentes o cortes mineros localizados sobre el depósito fluviotorrencial. Su ocurrencia se da por la erosión de la matriz que deja sin soporte en la base de los bloques embebidos en ella; la acción del hombre al excavar en la base del talud acelera los procesos y la concentración de aguas de escorrentía provenientes de las partes altas se configuran como los factores detonantes de estos.

Las caídas identificadas son de pequeña magnitud pero presentan un gran poder destructor en la medida que se encuentren elementos vulnerables muy cerca o en la pata del talud.

Deslizamientos rotacionales en suelo.

Este tipo de proceso se presenta en los rellenos antrópicos y son de pequeña magnitud. Su ocurrencia se debe principalmente a su bajo nivel de compactación y se asocian al área de acumulación o concentración de las aguas de escorrentía. En la zona de estudios se presentan en las áreas de disposición de estériles de la actividad minera, especialmente en la parte alta y sobre los valles de los antiguos drenajes.

Deslizamiento traslacional en roca.

Se enmarcan a los macizos rocosos que han sufrido un proceso de desconfinamiento por los cortes mineros. Se identificaron dos mecanismos de falla, uno planar a lo largo del plano de estratificación que se asocia a la zona inestable de la parte alta del sector que fue estabilizada con los anclajes. Y un mecanismo controlado por los sistemas de discontinuidades seudo verticales y donde se presenta la falla por pérdida de soporte en

la base; este mecanismo se identificó en un sector muy localizado sobre la parte central del área de estudio.

Flujo de detritos.

Están asociados a los frentes de explotación y son el producto del escurrimiento de materiales granulares dispuestos o botados en las partes altas, producto de las mismos frentes de explotación mineros y de las excavaciones para las viviendas y vías. Estos procesos de flujos de detritos se identificaron sobre los depósitos fluviotorrenciales y se asocian a fallas detonadas por la erosión intensa de la superficie del talud.

3.5.4 Unidades geomorfológicas

Teniendo en cuenta lo anterior y buscando obtener una zonificación en términos de estabilidad se optó por establecer unidades geomorfológicas en función de la direccionalidad de las laderas existentes, de los procesos degradacionales que son factibles de ocurrir en las mismas a partir de las divisorias de aguas, de los tipos litológicos predominantes y con base en la división de predios se establecieron las siguientes unidades geomorfológicas que son la base para los análisis de estabilidad. Ver ***Plano No 3***.

El área en estudio donde se emplaza en barrio Mirador de Marrocos, en su condición natural, no evidencia la presencia de procesos degradacionales que condicionen su morfometría actual. Los procesos que hoy la afectan están asociados a la actividad del hombre por una parte por la acción minera y por otra parte, por la inadecuada disposición de estériles y residuos de construcción realizados por la comunidad.

Por lo anterior, las unidades geomorfológicas definidas para la evaluación de la estabilidad del área y su amenaza se realizan desde un punto de vista predominantemente morfométrico como se explica a continuación. Para su nomenclatura se tuvo en cuenta:

Tipo de Modelado: denudativo o antrópico.

Tipo de material: que domina la estabilidad de la zona, areniscas, arcillolita, suelo residual, cuaternario o rellenos.

Tipo de procesos determinante: Erosión o deslizamientos.

Las diferentes unidades establecidas cartográficamente son:

ZUC	Zona Urbana consolidada.
ZAQfCed	Modelado antrópico sobre depósitos fluviotorrenciales, en corte y afectada con procesos de erosión y deslizamientos.
ZAQrRd	Modelado antrópico conformado por rellenos potencialmente inestables.
ZAMQrCd/e	Modelado antrópico conformado sobre cortes mineros y rellenos con procesos de deslizamientos o de erosión.
ZAMQdCe/d	Modelado antrópico conformado sobre un deslizamiento antiguo estabilizado, con procesos de erosión y pequeños deslizamientos

ZAQbRd	Modelado antrópico conformado por rellenos de basuras potencialmente inestables.
ZAMrCe/d	Modelado antrópico conformado sobre cortes mineros con procesos de erosión y deslizamientos.

CONTENIDO

CAPÍTULO 4

CLIMA, HIDROLOGÍA, HIDROGEOLOGÍA Y SISMOLOGÍA

4 INTRODUCCIÓN 4-1
4.1 CLIMA 4-1
4.1.1 Temperatura 4-2
4.1.2 Precipitación 4-2
4.1.3 Evaporación potencial media mensual 4-3
4.1.4 Humedad Relativa 4-4
4.1.5 Vientos 4-4
4.2 HIDROLOGÍA 4-4
4.2.1 Curva de Intensidad- Duración – Frecuencia para lluvias de corta duración 4-4
4.3 Metodología empleada para el cálculo de caudales máximos 4-5
4.4 Análisis de la precipitación. 4-8
4.5 HIDROGEOLOGÍA 4-10
4.5.1 Consideraciones teóricas sobre el modelo hidrogeológico del talud del Callejón de Santa Bárbara: 4-10
4.6 SISMOLOGÍA 4-14
4.6.1 Fuentes sismogénicas contribuyentes 4-14
4.6.2 Cuantificación de la amenaza sísmica 4-15
4.6.3 Cuantificación de la respuesta sísmica local en la Localidad Rafael Uribe Uribe 4-16
4.6.4 Respuesta sísmica local del subsuelo 4-19

CAPÍTULO 4

CLIMA, HIDROLOGÍA, HIDROGEOLOGÍA Y SISMOLOGÍA

4 INTRODUCCIÓN

La información contenida en este capítulo corresponde a la información secundaria tomada de informes de estudios geotécnicos de zonas cercanas a la zona, realizados por las firmas INGENIERIA Y GEOTECNIA Ltda., INVESTIGACIONES GEOTECNICAS , Ltda., JAM INGENIERIA Y MEDIO AMBIENTE, y por La UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.

El área en estudio se localiza hacia la parte baja de la subcuenca de la Quebrada Chiguaza. Su sistema de drenaje está determinado por la escorrentía superficial, producto de la lluvia, cuyo recorrido está definido por las características geomorfológicas de la zona, generando a su paso frentes erosivos y ablandamiento de la masa superficial del suelo. (INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA., (1998) "Estudio Problemas de Estabilidades en los Taludes de Barrio Playón Playitas, recomendaciones para la Estabilización de los sectores denominados 1 y 2.

4.1 CLIMA

El área de estudio pertenece al grupo de los climas tropicales fríos lluviosos, modificados por la altura de las montañas, sin variaciones significativas en los valores de la temperatura del aire.

Las estaciones empleadas en estos informes de los estudios de la UNIVERSIDAD NACIONAL (2003) *"Estudio de definición de factores de seguridad de taludes adecuados en la zona X de suspensión minera de la Localidad de Rafael Uribe*" y del Informe de INGENIERIA Y GEOTECNIA (2000) "*Estudio de Riesgos por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para estabilizar el Antiguo Escarpe de Explotación*" para la caracterización climática se presentan en la Tabla 4.1

Tabla 4.1 Estaciones Climáticas

CODIGO	ESTACION	ELEVACION (msm)	UBICACIÓN/COORDENADAS		PERIODO DE REGISTRO (Años)
			Norte	Este	
2120156	* La Picota	2580	995.500	994600	1980-1996
2120085	*El Bosque	2880	986.500	1.000.000	35 años
2120523	*Observatorio Meteorológico Nacional	2556	1.004.475	999.500	1961-1985

			UBICACIÓN/COORDENADAS	
	**Santa Lucia		Corriente Río Fucha	1970-2004
	**Doña Juana		Cuenca del Río Tunjuelo	1889-2001

* *INGENIERÍA Y GEOTECNIA (2000), Estudio Barrio Callejón de Santa Bárbara*
** *UNIVERSIDAD NACIONAL (2003), Estudio Localidad Rafael Uribe Uribe*

4.1.1 Temperatura

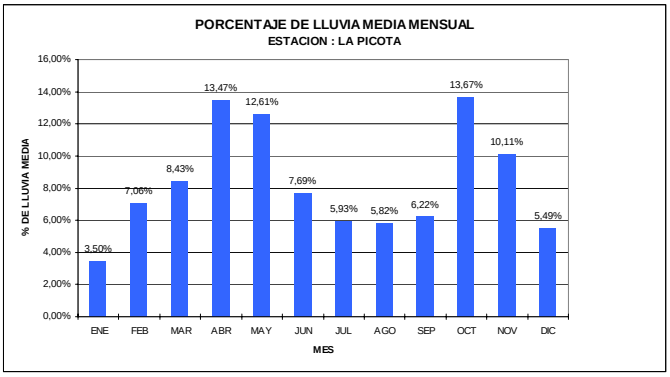
La temperatura media mensual tiene pocas variaciones a lo largo del año, está entre 14 y 15 °C, (INGENIERÍA Y GEOTECNIA, 2000).

4.1.2 Precipitación[1]

De acuerdo con el estudio del Barrio Playón Playitas, INGENIERIA y GEOTECNIA Ltda., (1998) la precipitación promedio multianual tomando como referencia la estación de la Picota cercana en altura y en cota a la zona de estudio, es de 632 mm comprendiendo el período desde 1980 a 1996.

En la grafica No. 4.1 se presenta una distribución bimodal con dos periodos lluviosos y dos secos, siendo los meses más secos Enero y Diciembre, y los húmedos Octubre y Abril.

Figura 4.1 Porcentaje de lluvia media mensual

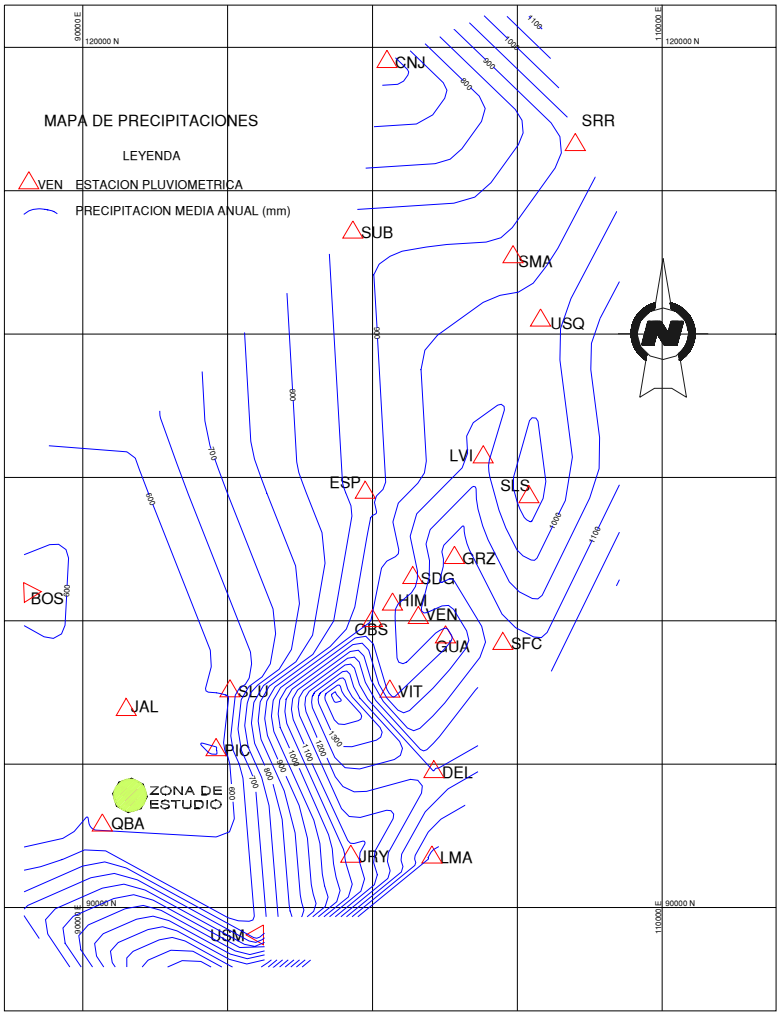


Fuente: INGENIERÍA Y GEOTECNIA (1998) Estudio Playón Playitas

[1] Tomado del estudio INGENIERIA Y GEOTECNIA Ltda (1998). "Estudio Problemas de Estabilidades en los Taludes de Barrio Playón Playitas, recomendaciones para la Estabilización de los sectores denominados 1 y 2.

En la **Figura No. 4.2** se presenta la distribución espacial de la precipitación, la localización del área de estudio corresponde al área del estudio de la firma JAM Ingeniería de Villas del Diamante de donde se tomó la figura.

Figura 4.2 Distribución espacial de la precipitación media anual en Bogotá



Fuente: JAM INGENIERIA Y MEDIO AMBIENTE (2003) Estudio de Zonificación de Amenaza por Remoción en Masa en el Barrio Villas del Diamante, en la localidad de Ciudad Bolívar, en la ciudad de Bogota D.C.

Es necesario aclarar que los regimenes de lluvia actuales han sido afectados por la influencia del fenómeno del Niño, el cual ha sido más frecuente los últimos años.

4.1.3 Evaporación potencial media mensual

El promedio anual de evaporación es de 741.6 mm. Los meses de Abril y Septiembre presentan las mayores tasas de evaporación; en Febrero y Julio se presentan las

menores tasas de evaporación. (Universidad Nacional, 2003 Estudio Localidad Rafael Uribe).

4.1.4 Humedad Relativa

La humedad relativa presenta poca variación a lo largo del año, con valores medios mensuales entre 68 y 75 % y un medio anual multianual del 73% para un período de 11 años, . con un valor máximo de 88% (Julio de 1991 y Noviembre de 1990) y un valor mínimo de 60% (diciembre de1997 y Enero y Agosto de 1998) *(INGENIERÍA y GEOTECNIA , 2000; Estudio Callejón de Santa Bárbara, Universidad Nacional, 2003, Estudio Localidad Rafael Uribe Uribe)*

4.1.5 Vientos

Los vientos tienen dirección predominante hacia el Sur, se presentan algunas variaciones ocasionales hacia el sur este y sur oeste. La mayor intensidad de vientos se presenta en el período comprendido entre Junio y Septiembre. Con base en la rosa de los vientos elaborada por el Estudio de la Universidad Nacional (2003), la distribución de velocidad del viento es la presentada en la **Tabla No. 4.2**

Tabla 4.2 Distribución porcentual de la velocidad del viento

Velocidad	**Porcentaje**
m/s	%
3.5 – 3.9	8%
4.0 - 4.4	50%
4.5 - 5	42%

4.2 HIDROLOGÍA

4.2.1 Curva de Intensidad- Duración – Frecuencia para lluvias de corta duración

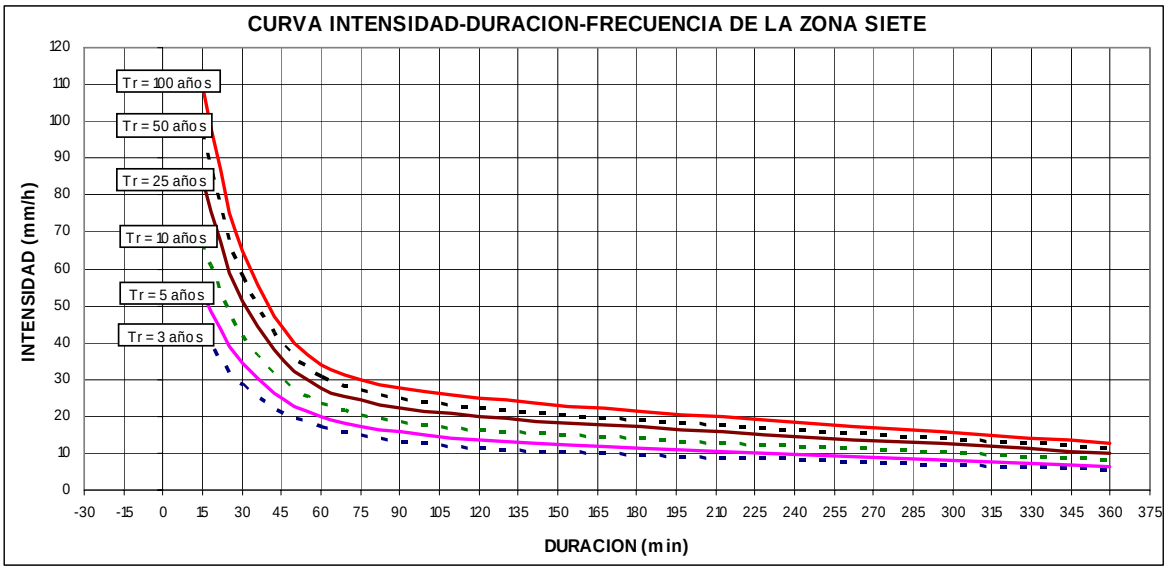
Para el análisis de los aguaceros de corta duración, que son los que generan los caudales máximos, se utilizó el informe "Estudio para el Análisis y Caracterización de tormentas en la Sabana de Bogotá", realizado por la firma consultora IRH para la E.A.A.B. - E.S.P. En este estudio se dividió la ciudad capital, en 7 zonas pluviográficas y a cada una se le asignó una curva IDF característica. Para tal efecto, se utilizó el estudio de Tormentas de la Sabana de Bogotá, elaborado por la firma IRH Ingeniería para la EAAB-ESP en 1995; para la determinación de la escorrentía.

Con base en el Estudio reseñado, el sector de análisis está ubicado en la Zona 7, cuya estación representativa de la ley de frecuencias es La Picota, operada por la Empresa de

Acueducto y Alcantarillado de Bogotá E.A.A.B - ESP; la curva IDF para esta franja se transcribe en la ***Figura No. 4.3*** ésta fue estimada con el modelo matemático de la Fórmula Racional, que genera caudales a partir de la intensidad máxima de la lluvia, el área de la cuenca y el coeficiente de escorrentía. Esta metodología es la más adecuada para este tipo de cuencas dado el tamaño y forma de distribución espacial de la lluvia que presentan (*JAM INGENIERIA Y MEDIO AMBIENTE (2003). "Estudio de Zonificación de Amenaza por Remoción en Masa en el Barrio Villas del Diamante, en la localidad de Ciudad Bolivar, en la ciudad de Bogota D.C*.)

La curva IDF de la zona de estudio se presenta en la **Figura No. 4.3** Tomada del Estudio de INGENIERIA y GEOTECNIA Ltda. del barrio Callejón de Santa Barbara

Figura 4.3 Curva IDF



Fuente: Tomado de Estudio de Riesgos por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar el Antiguo Escarpe de Explotación. Barrio Callejón de Santa Bárbara, IGL. 2000

4.3 Metodología empleada para el cálculo de caudales máximos[2]

Para el cálculo de los caudales máximos aportados por cada subcuenca en el punto exacto de cada sección transversal se utilizó la fórmula racional. El modelo de la fórmula racional considera la intensidad de la lluvia uniforme en toda el área de la cuenca, y es

[2] Tomado Estudio de Riesgo por Remoción en Masa y Diseño Detallado de Obras de Protección y Control en el Barrio Villas del Recuerdo, localidad de Rafael Uribe Uribe INVESTIGACIONES GEOTECNICAS Ltda.. (2000)

usado ampliamente en cuencas muy pequeñas, especialmente menores a 5 Km²; en éste caso, la cuenca del área aledaña de drenaje tiene un área de 0.0715 Km².

La ecuación de fórmula racional se puede presentar de la siguiente manera:

$$Qp\% = C * i * A$$

Donde,

C = Coeficiente de escorrentía, como parámetro adimensional.

I = Intensidad máxima de la lluvia para un período de retorno específico y expresada en mm/h.

A = Area de la cuenca en m² para cada sector.

En la formulación se consideran como constantes el área de drenaje en cada sector y el coeficiente de escorrentía, ya que se trata de una cuenca muy pequeña; además se considera que el agua precipitada durante los aguaceros en los cerros se distribuye uniformemente por toda la cuenca y el pico de la creciente va a salir o ser evacuado muy rápido de la cuenca y de igual manera se establecerá la condición de equilibrio con facilidad.

El coeficiente de escorrentía “C“ representa el porcentaje de agua que sale directamente de la cuenca respecto al volumen de agua precipitada, varía entre 0 y 1 está afectado por el tipo de suelo, de la cobertura vegetal y estado de humedad antecedente. Para la temporada seca, el valor de C es cercano a 0.50 y para la temporada lluviosa, este valor se incrementa por encima de 0.90.

El coeficiente de escorrentía se puede determinar de dos formas:

- Directa, mediante la relación de los valores históricos de lluvia y escorrentía, medidos en estaciones meteorológicas e hidrológicas respectivamente.
- Indirecta, mediante el uso de tablas, bajo la relación de tipo de suelo y cobertura vegetal.

Estas tablas se encuentran en la literatura técnica. Además, en otros países existen mapas del coeficiente, los cuales no tienen mucha variabilidad espacial, debido a la homogeneidad en el tipo de suelos y cobertura, por las mismas características que presenta el clima.

En el caso del presente estudio, se optó por estimar para el mes más lluvioso el coeficiente de escorrentía en una cuenca vecina a la del área aledaña de drenaje, ya que esta última no se halla instrumentada. La cuenca corresponde al Río San Cristóbal, el cual nace en el mismo cerro de donde nace la cuenca en estudio.

En la cuenca del Río San Cristóbal se encuentra instalada una estación hidrológica y una meteorológica, las cuales llevan el mismo nombre: El Delirio. Por ser cuencas vecinas y tener características muy similares en la lluvia, suelos y cobertura vegetal en la parte alta, se puede determinar el coeficiente de escorrentía en la cuenca del San Cristóbal y aplicarlo en la cuenca del área aledaña de drenaje.

La estación El Delirio es pluviográfica, fue instalada en el mes de mayo de 1933, manejada por la EAAB-ESP y referenciada con el código P-035 y en el IDEAM con el código 2120013, presentando un promedio multianual de 1196,9 mm. La estación limnigráfica llamada de la misma forma, la cual está referenciada con el código L-026 de la EAAB-ESP y 2120705 del IDEAM, fue instalada en marzo de 1952 y desde esta época cuenta con registros históricos, para un caudal medio multianual de 0.64 m³/seg.

Con la información de caudales de la estación hidrológica, se determinó la lámina de escorrentía de la cuenca, calculando primero el rendimiento promedio mensual R, en L/s*km²:

$$R_{med} = \frac{Q_{med} * 1000}{A}$$

Donde,

Qmed = Caudal medio en m^3/seg.

A = Área de la cuenca en Km².

1000 = Coeficiente para transformar los m^3 en litros.

Una vez calculado el rendimiento de cada uno de los meses, a nivel multianual, se determinó la lámina mensual de escorrentía, Y en mm:

$$Y = 2{,}63 * R_{med}$$

Donde,

Y = Lámina de escorrentía en mm.

R med = Rendimiento medio.

2,63 = Coeficiente de transformación.

El coeficiente de escorrentía es la relación entre los meses que llueve y lo que escurre, es decir, entre la lámina de lluvia en mm y la lámina de escorrentía en mm.

$$C = \frac{Y}{P}$$

Donde,

Y = Lámina de escorrentía en mm.

P = Lámina de lluvia o precipitación de la estación en mm.

El coeficiente de escorrentía se determinó con base en la lluvia de la estación meteorológica de El Delirio, mientras que la escorrentía fue determinada a partir de la información de la estación hidrológica que lleva el mismo nombre.

El coeficiente de escorrentía se determinó para el mes de agosto, así:

Tabla 4.3 Determinación del Coeficiente de Escorrentía

MES	El Delirio L-026 (m^3/seg)	R ($L/s*Km^2$)	Y (mm)	El Delirio P-035 (mm)	C
Agosto	1.00	42.37	111.4	118.8	0.94

Tomado INVESTIGACIONES GEOTECNICAS Ltda.. (2000) Estudio Villas del Recuerdo,

4.4 Análisis de la precipitación.

Del Estudio de Análisis y Caracterización de Tormentas en la Sabana de Bogotá, elaborado por IRH Ingeniería y Recursos Hídricos Ltda, para la EAAB-ESP en 1995, Anexo 6, denominado Curvas de Intensidad-Frecuencia-Duración de las Estaciones e Isolíneas de Intensidad, Volumen 11, se tomó la información de la lluvia de diseño para el nodo más cercano a la cuenca del área aledaña de drenaje.

La intensidad máxima para los diferentes períodos de retorno, se determinó con base en la expresión:

$$I_{\max} = C1 * \left(T_c + X_o\right)^{C2}$$

Donde,

Tc = Tiempo de concentración estimado por la fórmula de Kirpich.

C1 y C2 y Xo = Parámetros establecidos en el estudio de IRH

Los parámetros de la expresión para el nodo más cercano corresponden a las coordenadas: Norte: 996.357 y Este :996.357, los cuales se presentan en la **Tabla No. 4.4.**

Tabla 4.4 Parámetros para estimar la intensidad máxima.

Nodo norte: 996.357 y este:996.357

Tr en Años	C1	XO	C2

3	2607.7	25.1	-1.04
5	2921.1	23.1	-1.04
10	3284.6	21.3	-1.04
25	3661.1	19.5	-1.03
50	4135.7	19.0	-1.04
100	4412.0	18.2	-1.03

Tomado INVESTIGACIONES GEOTECNICAS Ltda.. (2000) Estudio Villas del Recuerdo,

Con los valores de la formulación en el nodo más cercano a la zona o área aledaña de drenaje, se estimó la intensidad. Se calculó el tiempo de concentración con la fórmula de Kirpich:

$$T_c = 0.000325 * \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde,

Tc = Tiempo de concentración

L = Longitud del cauce principal

S = Pendiente media del cauce principal

Con base en la formulación anterior, se halló la lluvia de diseño para períodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años, cuyos valores se presentan en la **Tabla No. 4.5**

Tabla 4.5 Valores de la Lluvia de Diseño

I max 3 años	I max 5 años	I max 10 años	I max 25 años	I max 50 años	I max 100 años
87.51	106.48	129.77	162.68	178.30	209.70

Tomado INVESTIGACIONES GEOTECNICAS Ltda.. (2000) Estudio Villas del Recuerdo,

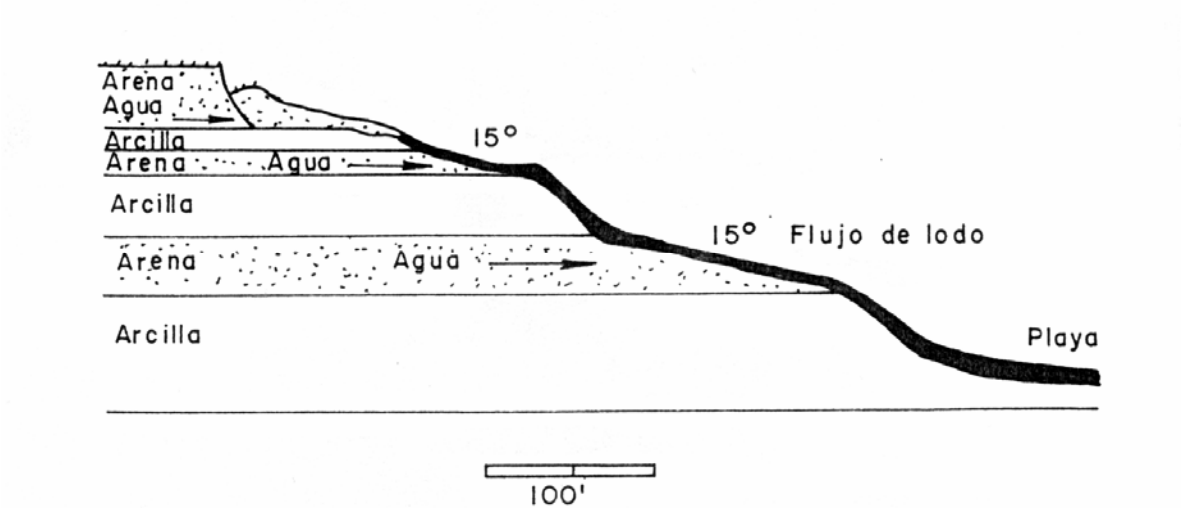
4.5 HIDROGEOLOGÍA[3]

En general, el agua infiltrada proviene tanto de recarga de estratos que descienden desde el norte y noreste, como de percolación local por grietas y otras discontinuidades

4.5.1 Consideraciones teóricas sobre el modelo hidrogeológico del talud del Callejón de Santa Bárbara:

El área de estudio está constituida por arcillolitas macizas con algunos niveles de arenisca habana con matriz arcillosa, ocasionalmente conglomerática. Estas capas presentan en general rumbo N20°E y buzamiento 10° NW. La ligera inclinación hacia el noroeste obedece a que el área en estudio se encuentra sobre el flanco oriental del Sinclinal de Usme, cerca al eje de este pliegue.

Figura 4.4 Deslizamiento complejo con tres capas de arena y arcilla (Henkel, 1966)



Tomado INGENIERIA Y GEOTECNIA Ltda. (2000) Estudio Callejón de Santa Bárbara

Desde el punto de vista hidrogeológico, en la literatura técnica de la estabilidad de taludes se acostumbra considerar las secuencias arenisca-arcillolita como una alternancia de

[3] Tomado INGENIERIA Y GEOTECNIA Ltda. (2000) Estudio de Riesgos por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para estabilizar el Antiguo Escarpe de Explotación del Barrio Callejón de Santa Bárbara

estratos permeables (acuíferos) e impermeables (confinantes o barreras) respectivamente. Henkel (1966) estudia el caso de la sucesión de capas de arena y arcilla que se muestra en la **Figura No. 4.4** Entre las muy interesantes consideraciones que hace se destacan las siguientes:

"Cuando los estratos buzan hacia la cara libre del talud, los ángulos estables en la arena superior serán mayores que los requeridos para producir falla por corte en la arcilla subyacente y la falla se concentrará en la capa de arcilla. El deslizamiento de la capa de arcilla llevará a una extensión en el talud de arena y automáticamente reducirá los ángulos de la superficie de la arena superior, hasta que se produce un talud de equilibrio en la superficie de la arena".

"En algunos casos el suministro de agua a las capas de arena superficiales puede no ser el adecuado para satisfacer la suposición de que en todos los puntos de la arena el flujo es paralelo a la capa de arcilla subyacente. Sin embargo, puede ocurrir deslizamiento con cantidades reducidas de agua sí los taludes en la arena son muy empinados".

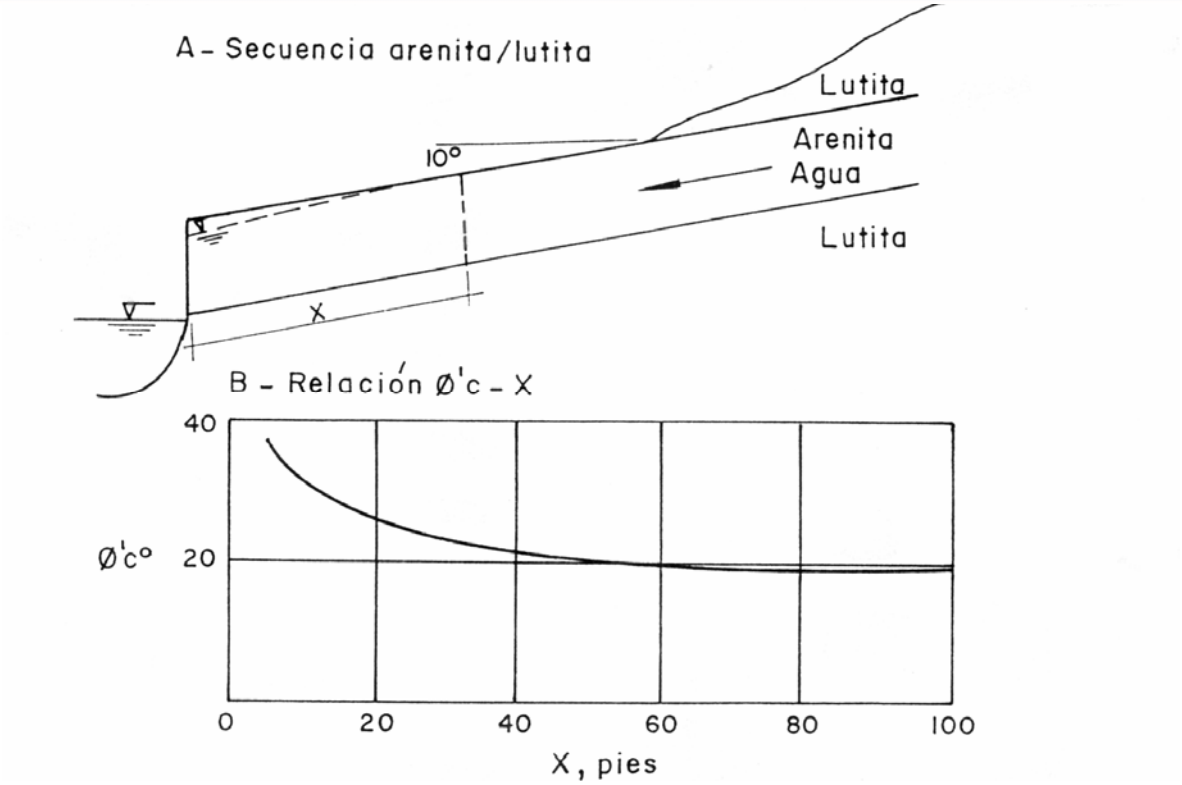
Cuando el talud general es de pendiente moderada como el de la **Figura 4.4**, "los detritos de las capas de arcilla se mezclan con el material arenoso, y además del deslizamiento de las arenas sobre las arcillas, se desarrolla una capa delgada de flujos de lodos sobre la superficie completa del deslizamiento". Agrega que "el comportamiento real en sitio representa un equilibrio precario entre falla en las arenas y falla en las arcillas".

Henkel analiza también las secuencias arenita/lutita. Dice que "los problemas asociados con estas secuencias no son muy diferentes en principio de los relacionados con las arenas y arcillas más débiles, ya descritos. La diferencia principal radica en que bajo la influencia del flujo de agua, las arenitas pueden mantener su forma original".

Se establece en un caso estudiado, que la arenita se caracteriza por la presencia de una serie de diaclasas y grietas de tracción y que entra el agua en ella desde la parte superior del valle, fluye a través del estrato y origina un nivel freático indicado en la **Figura 4.5**. "La estabilidad de la arenita que sobreyace a una capa de lutita puede ser examinada en cualquier punto en términos del peso del bloque, *W*, la fuerza hidrostática en la base del bloque *Ub* y en las grietas *Uh*. Si las diaclasas son verticales, pueden expresarse las condiciones de equilibrio mediante la igualdad siguiente:

$$\left(W\cos\beta - Ub - Uhsen\beta\right)\tan\phi'_c = Wsen\beta + Uh\cos\beta$$

Figura 4.5 Estabilidad arenisca lutita (Henkel, 1966)



Donde:

β = buzamiento del estrato

ϕ'_c = ángulo de resistencia al corte equivalente de la arcilla (el requerido para estabilidad en conjunto con la capa de arenita).

Para la condición mostrada en la **figura 4.5** con escarpe o acantilado sobre un río, se evaluó la expresión anterior para diversas distancias (x) desde la cara libre del acantilado. Teniendo en cuenta que *Uh* no cambia mayormente con la distancia desde dicha cara y que la relación *W/Ub* es sensiblemente constante, se encuentra que el valor de ϕ'_c requerido para estabilidad crece al acercarse a la cara libre. Esto implica que si en algún punto la resistencia al corte requerida para estabilidad es mayor que la resistencia de la lutita, habrá deslizamiento y separación en las diaclasas.

Lo anterior también indica que la existencia de presiones de poros en las diaclasas verticales tiene el efecto de imponer grandes esfuerzos cortantes bajo las porciones de arenisca cercanas a la cara libre del talud. Esas concentraciones locales de esfuerzo pueden sobrepasar los valores pico de resistencia de la lutita y llevarla a la residual. Además, debe notarse que la tasa del movimiento que puede tener lugar en estas circunstancias está limitada por la permeabilidad de la arenita si no hay una fuente externa de agua disponible. Al ocurrir movimiento de bloques de la arenita se abren las diaclasas y grietas de tracción, y en consecuencia baja el nivel del agua en éstas con la reducción consiguiente de las fuerzas cortantes en la base de los bloques deslizantes. El

agua en las diaclasas y grietas solo puede ser suministrada o reemplazada a la tasa correspondiente a la permeabilidad de la arenita; es necesario que vuelva a crecer la presión de poros en grietas y diaclasas para que haya nuevo movimiento.

En la medida en que se sobrepase la resistencia pico será posible el deslizamiento con valores menores de la presión de poros, y al acercarse a la residual aumentará la velocidad del movimiento y la abertura de grietas. Sólo puede ocurrir un movimiento rápido ("catastrófico") en casos de buzamientos moderados como el de la figura 4.5A , si hay gran suministro de agua, para mantener los niveles de agua en las grietas aunque éstas se vayan abriendo.

Deere y Patton (1971) dicen que las interestratificaciones de arenita y lutita (arcillolita) son muy comunes en el mundo y constituyen una unidad geológica muy propensa al deslizamiento. Las arenitas son más fuertes y permeables que las lutitas y permiten que se transmitan altas presiones de poros al frente del talud. Agregan que las limolitas silíceas, calizas y carbones intercalados con lutitas pueden ejercer la misma función adversa debido a la permeabilidad de las diaclasas.

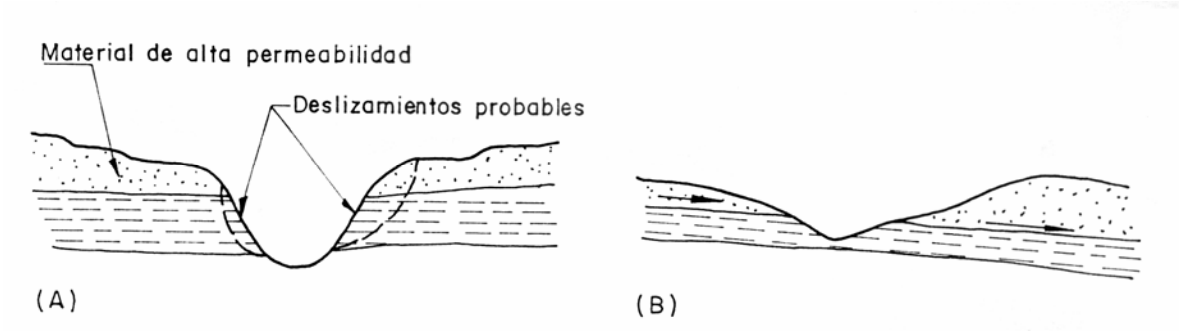
Agregan Deere y Patton que además de los deslizamientos relativamente superficiales, también pueden producirse deslizamientos profundos en sucesiones de arenita y lutita. Un deslizamiento como ese tendrá lugar debido a una combinación de condiciones geológicas desfavorables que pueden incluir la formación de una milonita a lo largo del tope de la arenita, altas presiones de poros en las arenita, y altos niveles de agua en la masa deslizante. Después de que ocurran los primeros movimientos pequeños de un deslizamiento profundo, se acelerará la meteorización y el ablandamiento de la masa inestable cerca de la superficie y se incrementará la permeabilidad de la parte más profunda de dicha masa.

B. Denness (1988) establece que es muy frecuente en nuestro medio la existencia de taludes con litología variable, por ejemplo la secuencia de materiales permeables/impermeables, como las de areniscas, calizas, algunos conglomerados y las arcillolitas y lutitas. De acuerdo con Denness (1988), normalmente los deslizamientos se presentan en estas últimas, debido a que el agua colectada en el material permeable que no se puede ir dentro del impermeable, sale como línea de manantiales en la interfaz. El suministro continuo de agua al material arcilloso en ladera (donde tienen lugar fuerzas gravitacionales que tienden a mover los materiales) produce ablandamiento, se debilita el material (pierde resistencia al corte) y por lo tanto ocurre el deslizamiento.

No todos los taludes en estas condiciones fallan, por tanto, hay algún control de la estructura geológica. En las condiciones mostradas en la **Figura .No. 4.6A** se tiene prácticamente una esponja sobre material impermeable. Cuando existe una ligera pendiente como en la **Figura No 4.6B**, hace que el agua corra en el sentido de la inclinación de los estratos. En este caso para definir donde ocurrirá el deslizamiento hay que tener en cuenta la estructura geológica, los plegamientos y fallas. El agua subterránea fluirá en los sinclinales y las líneas o trazas de falla (fracturas). Esta explicación simple tal vez abarca cerca del 50% de los deslizamientos en este tipo de entornos. La meteorización unida a la reptación contribuye a la inestabilidad, sobretodo en coluviones. En estos depósitos no es necesario que haya suelos arenosos; la arcilla

(en sus vacíos) puede actuar como almacenador del agua. Esto puede ser difícil de comprender pero puede abarcar un 20% de los casos. El 30% restante corresponde a fallas del coluvión mismo. Hay lentes permeables e impermeables cuya posición es muy difícil de predecir.

Figura 4.6 Condiciones geológicas que controlan la falla en taludes con intercalaciones arena/arcilla



4.6 SISMOLOGÍA[4]

4.6.1 Fuentes sismogénicas contribuyentes

La evaluación de las fuentes sismogénicas que afectan la zona se consideró la información existente de estudios regionales y locales recientes, relacionados a continuación:

- ESTUDIO GENERAL DE AMENAZA SÍSMICA DE COLOMBIA (AIS ET AL, 1996)

Este estudio califica el origen de la amenaza sísmica para toda el área de la ciudad de Bogotá, considerándola como un solo punto, según lo mostrado en la siguiente tabla:

Tabla 4.6 Fuentes Sismogénicas para amenaza sísmica en Bogotá

NOMBRE DE LA FUENTE ACTIVA	CARACTER DEL EVENTO	APORTE A LA AMENAZA
Frontal Cordillera Oriental	Intraplaca	67.60%
Salinas	Intraplaca	27.70%

[4] Estudio de definición de factores de seguridad de taludes adecuados en la zona X de suspensión Minera de la Localidad Rafael Uribe Uribe. Informe Final Contrato 285 de 2004. Universidad Nacional de Colombia.

Otras fallas	Intraplaca e interplaca	4.70%

Fuente: Tomado Estudio Universidad Nacional (2004) Localidad Rafael Uribe

Este estudio, incorporado a la norma NSR-98, ubica a Bogotá en la Región 5 como Amenaza Sísmica Intermedia, con aceleración máxima horizontal a nivel de roca Aa = 0.20 g, para eventos con un período de retorno del orden de 475 años.

- ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE BOGOTÁ (INGEOMINAS Y UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, 1997)

De acuerdo con este estudio la Sabana de Bogotá tiene una orientación aproximada de N30°E, siguiendo la misma tendencia que la cordillera oriental. Esta constituida por depósitos de consistencia principalmente blanda, edades recientes, localizadas sobre rocas sedimentarias de origen marino, de edad Cretácea, intensamente tectonizadas. En orden de edad desde la más antigua, las formaciones presentes son: Formación Chipaque, Grupo Guadalupe (compuesto por la Formación Arenisca Dura, Formación Plaeners y Formación Labor y Tierna), Formación Guaduas, Formación Cacho, Formación Bogotá, Formación Arenisca La Regadera, Formación Usme y Formación Sabana.

El marco tectónico regional está gobernado por la interacción de las placas de Nazca, Caribe y Sur América. La placa de Nazca se desplaza en sentido Occidente a Oriente a una velocidad de 60 a 80 mm/año. La placa Sur América se desplaza en sentido aproximado Oriente a Occidente con velocidad de 30 mm/año. Finalmente la placa de Caribe tiene un movimiento del NW hacia el SE con menor velocidad que las dos placas antes mencionadas. Como consecuencia de esta interacción se han generado todos los sistemas de fallas geológicas en el territorio colombiano, muchas de los cuales presentan diferentes niveles de actividad reciente.

4.6.2 Cuantificación de la amenaza sísmica

Los tres sistemas sismogénicos principales, con base en la información anterior, son:

Fuente cercana

Corresponde a un evento en el dominio del campo cercano proveniente de alguna de las fallas que circundan el suroriente y sur de la ciudad (La Cajita, Mochuelo o Tunjuelito) localizadas a distancias entre 15 y 25 Km del sitio proyectado, con foco de poca profundidad y cuya magnitud máxima probable es Ms=6.0 a 6.5. La aceleración máxima horizontal a nivel de roca que domina la señal es de 0.25 g. Los acelerogramas típicos son de corta duración y de período fundamental pequeño (T<0.30 s).

Fuente intermedia

Corresponde a un evento sísmico generado en el sistema de Falla Frontal de la Cordillera Oriental o sistema Guaicaramo, a una distancia media de 60 a 80 Km al frente de la ciudad , de profundidad entre superficial e intermedia variable entre 15 y 60 Km. Esta fuente contribuye con un 67.6% de la amenaza sísmica para eventos de campo

intermedio a Lejano y los sismos generados pueden alcanzar una magnitud máxima probable de Ms=7.5. A nivel de roca se esperan por esta fuente, aceleraciones horizontales máximas del orden de 0.20 g.

Fuente lejana

Corresponde a un evento generado en la Zona de Subducción de Pacífico , a una distancia del orden de 350 a 400 km del sistio y con una magnitud máxima probable de Ms>8.0. Este sismo alcanzaría en el susbsuelo de la ciudad una aceleración máxima horizontal en roca de 0.04 g.

4.6.3 Cuantificación de la respuesta sísmica local en la Localidad Rafael Uribe Uribe

Acelerogramas representativos de la amenaza sísmica

Para la evaluación de la respuesta dinámica del subsuelo la amenaza sísmica debe representarse como señales en el dominio del tiempo, para ello se emplearon familias de acelerogramas históricos provenientes de eventos fuertes generados por sistemas tectónicos similares (en forma de ruptura y contenido frecuencial) y eventos internacionales recientes que causaron grandes daños en ambientes tectónicos parecidos, de acuerdo con los criterios compilados por García H y Sierra E. (2003).

Para cumplir con el requerimiento mínimo del decreto 074, dentro de las familias mencionada también se emplearon los acelerogramas dados por el SIRE de la DPAE para representar a cada una de las fuentes sísmicas, es decir, Corralitos, Quetame, Guayabetal y México 1985.

Eventos de fuente cercana

No existen registros históricos de sismos fuertes propios en este sector del país ($Ah_{máx}$ = 0.25g), localizados entre 15 y 20 km y registrado sobre roca. Los parámetros de los acelerogramas que cumplieron estas condiciones se presentan en la **Tabla No. 4.7**

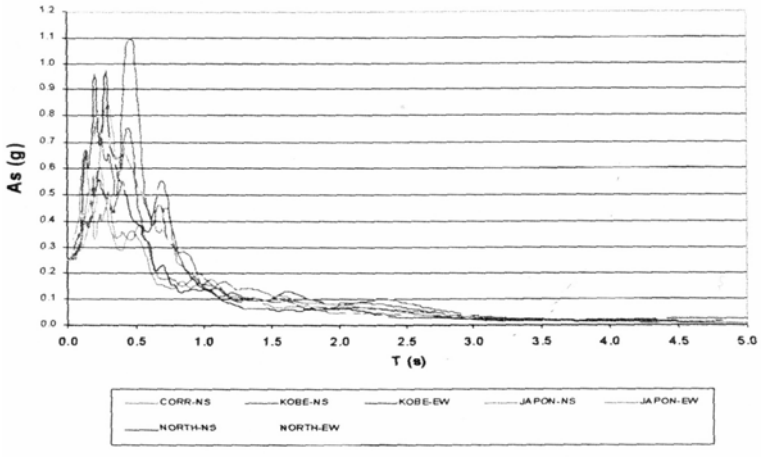
Tabla 4.7 Acelerogramas de Diseño para Eventos de la Fuente Local

Evento y fecha	Convención	Estación	Componente	A máx (g)	Período (s)	No. Puntos	ΔT (s)
Lomaprieta (USA), 1989	FC1	Corralitos	NS	0.63	0.30	2000	0.02
Northridge (17-10-94)	FC6	Burmbank	NS	0.002	0.23	3000	0.01
Northridge (17-10-94)	FC7	Burmbank	EW	0.122	0.19	3000	0.005

Fuente: Tomado Estudio Universidad Nacional (2003) Localidad Rafael Uribe

La forma de los correspondientes espectros de respuesta de los acelerogramas escalonados considerados para la fuente cercana, para un amortiguamiento del 5%, se presenta en la figura **4.7**

Figura 4.7 Espectros de respuesta escalonados para sismos de la fuente cercana



Fuente: Tomado Estudio Universidad Nacional (2003) Localidad Rafael Uribe

Eventos de fuente cercana de la cordillera Oriental

Los acelerogramas que cumplen las condiciones de Fuente frontal, localizados a una profundidad de 60 a 80 km, frente a la ciudad, registrados en roca o suelo muy firme para evitar el efecto de sitio, y $Ah_{máx}$ =0.20g, se presentan el la **Tabla No. 4.8** .

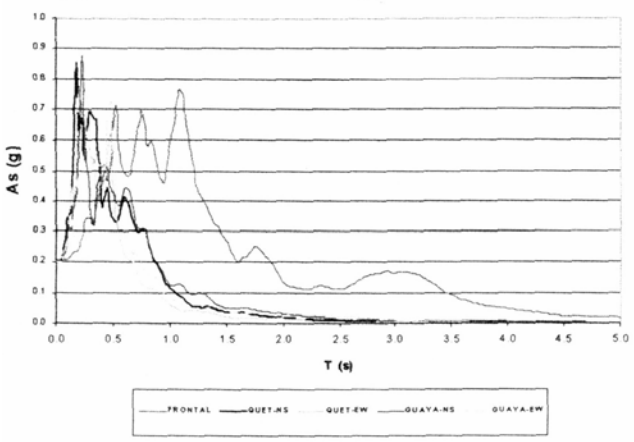
Tabla 4.8 Acelerogramas de diseño para eventos de la fuente frontal

Evento y fecha	Convención	Estación	Componente	A máx (g)	Período (s)	No. Puntos	ΔT (s)
Tauramena – Rosal Modificado	FF1	Rosal		0.0002	1.10	3800	0.015
Quetame (10-06-99)	FF2	San Bartolomé	NS	0.0006	0.18	6000	0.005
Guayabetal (01-06-99)	FF3	San Bartolomé	EW	0.0007	0.26	6000	0.005
Guayabetal (01-06-99)	FF4	San Bartolomé	EW	0.0026	0.22	8400	0.005
Guayabetal (01-06-99)	FF5	San Bartolomé	EW	0.002	0.47	8400	0.005

Fuente: Tomado Estudio Universidad Nacional (2003) Localidad Rafael Uribe

La forma de los correspondientes espectros de respuesta de los acelerogramas escalados considerados para la fuente Frontal, para un amortiguamientos de 5% se presentan en la **Figura No. 4.8**

Figura 4.8 Espectros de respuesta escalados para sismos de la Fuente Frontal



Fuente: Tomado Estudio Universidad Nacional (2003) Localidad Rafael Uribe

Eventos de fuente Lejana

Los parámetros del acelerograma que cumple las condiciones de fuente lejana se indican en la **Tabla 4.9**

Tabla 4.9 Acelerogramas de diseño para eventos de fuente lejana

Evento y fecha	Convención	Estación	Componente	A máx (g)	Período (s)	No. Puntos	ΔT (s)
Michoacán – México (17-09-85)	FL-1	UNAM		0.03	0.909	3800	0.03
Costa Pacifica – México (11-01-97)	FL-2	Coyuca	NS	0.007	0.15	7300	0.01
Costa Pacifica México-México (11-01-97)	FL-3	Coyuca	EW	0.007	0.15	7300	0.01

Fuente: Tomado Estudio Universidad Nacional (2003) Localidad Rafael Uribe

4.6.4 Respuesta sísmica local del subsuelo

Teniendo en cuenta la ubicación del país en el contacto de 3 grandes Placas Tectónicas (Nazca, Sudamérica y Caribe) que continuamente generan eventos sísmicos importantes, resulta necesario estimar el nivel de amenaza sísmica existente en el sitio del proyecto, factor contribuyente en la formación o activación de fenómenos de remoción en masa (FRM). Un primer análisis de los niveles de aceleración horizontal máxima (Ah_{max}), a nivel de roca, que pueden producirse en el sitio se evaluó con base en el Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá (INGEOMINAS y Universidad de Los Andes, 1997), el cual consideró el aporte de las mas importantes fuentes sísmicas activas: Fuente Cercana (fallas del sur de la ciudad, sismos de Lomaprieta y Nothridge), Fuente Regional (Falla Frontal de la Cordillera Oriental, sismos de Guayabetal y Quetame) y Fuente lejana (México UNAM). Por lo tanto, se tendrán 5 posibles eventos sísmicos de diseño.

Posteriormente, con base en las características locales del sitio del proyecto, en cuanto a formas topográficas, secuencia y geometría de los materiales geotécnicos, propiedades mecánicas estáticas y dinámicas de dichos materiales, y tipo de evento sísmico (representado por familias de acelerogramas) se determino la respuesta sísmica del subsuelo a nivel de superficie y sobre las masas susceptibles a la generación de FRM.

De los modelos desarrollados en el estudio de la Universidad Nacional se determinó la amenaza sísmica proyectada, a partir de la utilización de una aceleración de 0.12g, la cual se asocia a un período de retorno del evento de 50 años, junto a las condiciones de saturación, la amenaza sísmica proyectada, se determino a partir de la utilización de una aceleración de 0.12 g , la cual está asociada a un período de retorno del evento de 50 años, junto a la combinación de las condiciones de saturación, la ubicación de las viviendas analizadas dentro del talud (parte alta, intermedia o baja) la geometría del talud y el tipo de suelo que lo compone (relleno, arcilla, arenisca, roca, etc.). Cabe anotar que no reutilizaron las aceleraciones pico del sismo (0.40g y 0.25g) debido a que los parámetros para la evaluación de efectos por topografía utilizan las envolventes que dan los registros, por lo cuál se trabajo con las 2/3 partes de dicha aceleración. Está metodología es utilizada en la practica de cálculos de amenaza a nivel mundial.

Los niveles de amenaza sísmica definidos por el Informe del “Estudio de definición de factores de seguridad de taludes adecuados en la localidad Rafael Uribe Uribe” de la Universidad Nacional (2003) fueron establecidos de acuerdo a las aceleraciones máximas y mínimas, obtenidas del modelo bidimensional sísmico generado. En la **Tabla 4.10** se presenta la clasificación de amenaza por sismo.

Tabla 4.10 Valores de clasificación de amenaza por sismo

Rangos de aceleración máxima (g)	Rangos de aceleración efectiva promedio (g)	Niveles de amenaza por sismo
0 – 0.25	0-0.125	Bajo
0.25-0.40	0.125-0.20	Medio
0.40-0.53	0.20-0.30	Alto

Fuente: Tomado Estudio Universidad Nacional (2003) Localidad Rafael Uribe

CONTENIDO

CAPÍTULO 5

COBERTURA VEGETAL Y USOS DEL SUELO

5 INTRODUCCIÓN 5-1

5.1 VEGETACIÓN 5-1

5.2 USOS DEL SUELO 5-1

COBERTURA VEGETAL Y USOS DEL SUELO

CAPÍTULO 5

5 INTRODUCCIÓN

La descripción del uso del suelo se realiza con base en el trabajo de campo y la información secundaria obtenida de informe del "Estudio de definición de factores de seguridad de taludes adecuados en la zona X de suspensión Minera de la Localidad Rafael Uribe Uribe". (2003). Universidad Nacional de Colombia a partir del análisis de fotografías aéreas de diferentes épocas.

5.1 VEGETACIÓN

Hacia los años cuarenta la cobertura vegetal era total, con algunos sectores desprovistos de cobertura; con el incremento de las actividades mineras hacia los años sesenta y setenta disminuyó la vegetación hacia la parte baja. En los años ochenta debido a la presión urbana los trabajos mineros se desarrollan en sectores más altos y en la zona central del área, esto disminuyó aún más la cobertura vegetal de la zona.

Finalmente en la década de los noventa e inicio del nuevo milenio, la afección sobre la cobertura vegetal es total, en zonas aisladas presenta una cobertura de bosque plantado (eucalipto) de baja densidad, de bosque nativo de tipo arbustivo, rastrojo y algunos sectores con pasto.

En la zona se identifica baja densidad de vegetación, la vegetación predominante es la vegetación conformada por pastizales tipo kikuyo, le siguen los eucaliptos y los arbustos sembrados por la comunidad.

5.2 USOS DEL SUELO

El estudio de la Universidad Nacional clasifica los suelos según el grado de alteración por actividad minera siendo la Zona 1 la zona no intervenida por actividad minera, la Zona 2 la zona afectada por antiguas explotaciones con leve recuperación del suelo y la vegetación y Zona 3 la Zona de antiguas explotaciones mineras con moderada recuperación del suelo y la vegetación.

De acuerdo con esta clasificación el área del presente estudio se clasifica como Zona 2, que corresponde a una zona con perfil 0- 5 cm zona color beige, conformada por pasto kikuyo, 5- 25 cm suelos limoarcillosos con presencia de raíces, de 25 cm en adelante material parental; sin embargo en una gran proporción se presenta la roca expuesta en superficie sin el perfil de suelo.

Según el Estudio de La Nacional (2003), se definen algunos de los siguientes usos del suelo, los cuales coinciden en gran parte de su descripción con los usos actuales en la zona del presente estudio:

- Bosque artificial de eucalipto (Ba): Bosques planteados de eucalipto, con poca densidad dispersos.

- Zona de pastizales (Zpa): En estas áreas se evidencia la regeneración del suelo. Consiste de pasto kikuyo de 30 cm.

- Taludes producto de explotación minera (Tem): Taludes producto de la explotación antitécnica de materiales, las alturas superan los veinte metros y ángulos de talud subverticales, en algunos sectores exhiben taludes negativos.

- Zona Urbanizada de antiguas explotaciones (Zuae): Antiguos sectores mineros, de corte, zonas de transformación y almacenamiento de ladrillo abandonadas que han presentado un proceso de alta densificación urbanística.

- Zonas degradadas por antiguas explotaciones mineras (Zdae): Antiguos sectores mineros un poco más alejados de la zona urbana, la mayoría de hornos desmantelados, taludes de corte con alturas y ángulos inapropiados; algunos taludes reconformados.

CONTENIDO

CAPÍTULO 6

CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

6.1 INVESTIGACION DEL SUBSUELO. 1
6.1.1. Exploración del subsuelo 1
6.1.2. Ensayos de Laboratorio. 2
6.1.3. Ensayos in situ. 2
6.2. CARACTERIZACION GEOMECANICA 3
6.2.1. Macizo Rocoso 3
6.2.2. Material rocoso. 4
6.2.3. Roca meteorizada 5
6.2.4. Suelos 5
6.2.5. Rellenos Antrópicos (Qa) 6
6.3. MECANISMOS DE FALLA. 7
6.4. EVALUACION DE AGENTES DETONANTES. 9
6.4.1. Lluvias 9
6.4.2. Sismos 10

CAPÍTULO 6

CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

6. INTRODUCCIÓN

Con base en la información base descrita en el Capítulo anterior, se inició el Estudio Geotécnico del sector, para lo cual fue muy útil el conocimiento detallado de la geología y de los procesos geomorfológicos, así como la precisión del mapa base.

6.1 INVESTIGACION DEL SUBSUELO.

Como parte inicial y base de la exploración del subsuelo se aplicó el conocimiento adquirido durante el trabajo de campo de reconocimiento de la geología local. El levantamiento geológico siempre se desarrolló haciendo énfasis en geología para ingeniería, y una vez establecidas las unidades de roca, suelo y depósitos antrópicos que afloran en el área estudiada, al igual que los espesores aproximados y bancos de afloramiento, se estableció el programa de exploración.

De acuerdo con lo anterior, la exploración se llevó a cabo mediante tres etapas:

- La primera corresponde a una exploración basada en trincheras y apiques que cumple la doble función de afinar la cartografía geológica, ayudando a establecer tipos de material y espesores, y la otra con fines geotécnicos de caracterización del material diferenciado.
- La segunda etapa contempla el levantamiento del macizo rocoso en los cortes mineros y excavaciones existentes, identificando tipo, espesores y condición local del macizo rocoso.
- La tercera etapa busca establecer las características de los materiales superficiales mediante perforaciones con equipo mecánico de avance con percusión y lavado, y con ensayos *In situ* de penetración estándar.

El contexto estructural junto con la inspección geológica, y los resultados de la exploración del subsuelo permite definir el modelo Estratigráfico y Geotécnico, así como realizar una adecuada clasificación de las diferentes laderas.

6.1.1. Exploración del subsuelo

La exploración del subsuelo se realizó mediante la ejecución de 15 trincheras, 11 perforaciones y 7 estaciones para levantamiento estructural. Su localización se puede observar en la ***Figura No. 6.1***.

Mediante una detenida inspección de trincheras, se caracterizaron los materiales que afloran en taludes de corte minero y laderas. El procedimiento implementado consistió en

destapar y limpiar los taludes de corte seleccionados para exponer los materiales rocosos en condición fresca, tratando de establecer en profundidad la continuidad del perfil encontrado. En el ***Anexo Geotecnia, G1***, se presentan los registros estratigráficos de cada una de las trincheras levantadas y los datos estructurales levantados en las diferentes estaciones.

La condición estructural del macizo rocoso se obtuvo del levantamiento de los sistemas de diaclasas en las áreas donde el grado de meteorización es medio. En los estratos arcillosos la dificultad fue mayor.

Las 11 perforaciones se llevaron a cabo con equipo mecánico con avance de percusión y lavado y se complementaron con ensayos "in situ" de penetración estándar, igualmente se obtuvieron muestras de los materiales en tubo tipo cuchara partida. Principalmente se investigaron los rellenos dispuestos por la actividad minera y los suelos residuales y orgánicos que sirven de cobertura del macizo rocoso. En el ***Anexo Geotecnia, G2***, se presentan los registros de los perfiles estratigráficos levantados en cada una de las perforaciones realizadas.

6.1.2. Ensayos de Laboratorio.

Observando la variación del perfil del subsuelo en cada sitio de exploración, se definieron los puntos y niveles de muestreo de manera que se logró una representación de todos los materiales encontrados. Se tomaron muestras alteradas en bolsa, generalmente de la matriz de los depósitos y se recuperaron muestras del ensayo de Penetración estándar.

Las muestras obtenidas se identificaron visualmente y con base en la estratigrafía obtenida se llevó a cabo un programa de ensayos de laboratorio, el cual consistió en la ejecución de pruebas para clasificación (límites de consistencia) y determinación del contenido de humedad natural y el peso unitario. En la ***Tabla No. 6.1*** se presenta el resumen general de resultados y en el ***Anexo Geotecnia G3***, los Ensayos de laboratorio.

Igualmente, se adelantó una recopilación de información secundaria con base en estudios geotécnicos de similares características que presentaran datos de la caracterización Geomecánica de los materiales, especialmente los de resistencia al corte, de las areniscas y arcillolitas de la Formación La Regadera superior, así como de los suelos residuales. En el **Anexo Geotecnia G4** se muestran los parámetros geomecánicos de las diferentes fuentes consultadas entre las cuales se encuentran los estudios adelantados por Ingeniería y Geotécnica en el sector oriental de Mirador de Marrocos, Hidrogeología y Geotécnica en el sector Callejón de Santa Bárbara, Investigaciones Geotécnicas en el sector de Villas del Recuerdo y la Universidad Nacional en el sector de Marco Fidel Suárez. En el ***Anexo Geotecnia G4*** también se presenta la información secundaria consultada.

6.1.3. Ensayos in situ.

Teniendo en cuenta la heterogeneidad de los materiales que conforman el área de estudio y su dificultad de muestreo, se acudió al ensayo de penetración estándar para la caracterización geomecánica de los diferentes estratos superficiales, especialmente los

rellenos debidos a la actividad minera, adelantando pruebas de SPT en cada tipo de material identificado en el proceso de exploración y cartografía geológica.

Una vez establecidos los valores de campo, se realizaron las correcciones por confinamiento, longitud de varillaje y nivel de agua, y se normalizaron los valores de campo. Utilizando el método de estimación de parámetros efectivos de resistencia con SPT establecido por González 1997, fueron estimados los parámetros de resistencia para cada material. En el ***Anexo Geotécnico G5*** se presenta la evaluación de parámetros en función SPT y en las ***Figuras Nos. 6.2A a 6.2C*** muestran las envolventes de resistencia de los diferentes materiales superficiales.

6.2. CARACTERIZACION GEOMECANICA

El contexto estructural, junto con la inspección geológica, los resultados de la exploración del subsuelo, información geotécnica secundaria y ensayos de laboratorio permitió definir el modelo estratigráfico y Geotécnico del área en estudio y realizar una adecuada clasificación de los diferentes materiales. Así se determinó:

6.2.1. Macizo Rocoso

El macizo rocoso del área en estudio ha sido degradado casi en su totalidad debido primero, a la explotación minera y luego al desarrollo urbano. Con base en el levantamiento geológico de campo y en la geología estructural se elaboró un modelo del subsuelo para el área, el cual destaca la secuencia estratigráfica y la disposición estructural del macizo.

El **Plano 2 Geología** muestra el modelo estratigráfico generado, el cual permite apreciar que la secuencia estratigráfica presenta series cíclicas que oscilan desde arenas finas hasta arcillas. La secuencia tiene un espesor de 26.62 m y está conformada por un nivel de arenisca y otro de arcillolita.

En los pocos taludes en roca la geometría y disposición de los estratos no es clara, debido principalmente al grado de meteorización de las rocas expuestas.

Las características del macizo rocoso se tomaron del estudio de Hidrogeología y Geotecnia realizado en el Mirador de Marrocos, donde corresponde la misma estratigrafía de las unidades de la Formación Regadera. Su Caracterización geomecánica es:

Macizo en Arenisca

Peso Unitario	2-2.2 T/m^3
Indice de carga puntual	1-22 kg/cm^2
Resistencia a compresión	19 – 300 kg/cm^2
Cohesión (Envolvente Hoek)	11 – 41.2 T/m^2
Angulo de resistencia al corte	39.6-69.4 grados
GSI	40-66
Angulo de fricción	6.6º

La características geomecánicas a lo largo de las discontinuidades pude resumirse así:

Las diaclasas se caracterizan por ser poco persistentes, espaciamiento entre 20 y 5 centímetros, abertura desde cerrada hasta abierta (2 cm.), secas a húmedas con superficies rugosas y relleno arcilloso. La rugosidad de las paredes es ondulada suave.

Los ensayos de corte directo muestran los siguientes resultados:

Arcillolita meteorizada

Cohesión	0.215 kg/cm^2
Angulo de resistencia al corte	39 grados

Suelo residual arcillolita

Cohesión	0.27 kg/cm^2
Angulo de resistencia al corte	13 grados

Suelo residual arenisca

Cohesión	0.10 kg/cm^2
Angulo de resistencia al corte	37 grados

6.2.2. Material rocoso.

Se identifican los siguientes materiales rocosos: arcillolita y areniscas de la formación Regadera. Su caracterización se realiza en función de las unidades estratigráficas.

Para cada unidad litológica establecida en el modelo geológico se establece la caracterización geomecánica. Los valores de resistencia de los materiales rocosos son tomados de información secundaría de estudios similares en la zona objeto de estudio.

Arcillolita (TAr): Contiene lodolitas plásticas (arcillolitas) abigarradas, con presencia de minerales autigénicos de aluminio y un grado medio de meteorización

Sus características geomecánicas son:

Peso Unitario	2.17-2.34 T/m^3
SPT	5 pulgadas en 35 golpes

Areniscas (TARa): Constituido por litoarenitas friables, de grano medio a grueso, color blanco, de baja resistencia, meteorizadas, diaclasadas y masivas con coloraciones rojizas producto de la alteración de minerales de hierro,

Sus características geomecánicas son:

Peso Unitario	1.93 - 2.22 T/m^3
Humedad natural	1.30 -12.20%

6.2.3. Roca meteorizada

En el área aflora la roca meteorizada producto de la degradación de los niveles arcillolíticos y arenosos, distinguiéndose dos tipos: Arcilla amarilla habana y arenitas producto de la degradación de las rocas arenosas friables de baja cementación.

Arcillolita muy meteorizada:

Sus características geomecánicas son:

Peso Unitario	2.29 T/m^3
Humedad natural	31.40
Límite líquido	54%
Límite plástico	10.40%
Angulo de fricción	37 grados
Cohesión	0.1 kg/cm^2

Arenita amarilla y habana friable y deleznable:

Sus características geomecánicas son:

Peso Unitario	1.93 T/m^3
Humedad natural	1.30%
Angulo de fricción	37 grados
Cohesión	0.1 kg/cm^2

6.2.4. Suelos

En el área se identifican dos tipos de suelos, los de origen residual producto de la meteorización de la roca y un suelo trasportado correspondiente al depósito fluviotorrencial.

Los suelos originados a partir de la meteorización y alteración de las areniscas y arcillolitas, generalmente se encuentran cubiertos por una capa delgada de suelo orgánico. Dentro de este nivel se encuentran los limos orgánicos de consistencia firme.

Igualmente se identifica un deposito fluviotorrencial en la parte baja del área que cubre la formación Regadera.

Suelo residual arenisca – arena limoarcillosa:

Sus características geomecánicas son:

Peso Unitario	1.86- 2.2 T/m^3
Humedad natural	11 -16%
Límite líquido	57.9%
Límite plástico	20.2%
SPT	12-48 gol/pie
Angulo de fricción	24 Grados
Cohesión	0.1 kg/cm^2

Suelo residual Arcillolita: Arcilla algo arenosa

Sus características geomecánicas son:

Peso Unitario	2.07-2.34 T/m^3
Humedad natural	10.20 -19.4%
Límite líquido	62.81%
Límite plástico	25.22%
Clasificación USC	CH
SPT	8-17
Angulo de fricción	15-16 Grados
Cohesión	0.87-1.5 kg/cm^2

Deposito Fluviotorrencial:

Sus características geomecánicas son:

Peso Unitario	2.15-2.23 Tn/m^3
Humedad natural	6.2-14.30%
Límite líquido	37.40%
Límite plástico	16.60%
SPT	15-34 gol/pie
Angulo de fricción	35.8 Grados
Cohesión	0

6.2.5. Rellenos Antrópicos (Qa)

Corresponden a materiales estériles residuales del proceso de explotación y de depósitos de materiales heterogéneos con desechos de construcción y basuras. Se encuentran dispuestos en los sectores definidos como modelados antrópicos con rellenos.

En el proceso de caracterización de éstos materiales se identificaron 4 tipos de relleno:

Deposito de escombros (Qre):

Sus características geomecánicas son:

Peso Unitario	1.93 T/m^3
Humedad natural	5.8%

SPT	9-17 gol/pie
Angulo de fricción	28.8 Grados
Cohesión	0.003 kg/cm^2

Deposito de Relleno (Qr):

Sus características geomecánicas son:

Peso Unitario	2.14 T/m^3
Humedad natural	20.2%
Límite líquido	29.1%
Límite plástico	12.4%
Clasificación USC	CL
SPT	18-31 gol/pie
Angulo de fricción	30.9 Grados
Cohesión	0.15 kg/cm^2

Deposito Mixto (Qm1):

Sus características geomecánicas son:

Peso Unitario	1.98 T/m^3
Humedad natural	6.4-13.6%
SPT	6-13 gol/pie
Angulo de fricción	22 Grados
Cohesión	0.04 kg/cm^2

Deposito Mixto (Qm2):

Sus características geomecánicas son:

Peso Unitario	1.92 T/m^3
Humedad natural	6.5-13.2%
SPT	7-18 gol/pie
Angulo de fricción	21.2 Grados
Cohesión	0.076 kg/cm^2

Los modelos geotécnicos se presentan en el **Anexo Geotécnico G6.**

6.3. MECANISMOS DE FALLA.

Los procesos geomorfológicos identificados en el área son, por una parte, de erosión intensa sobre los suelos residuales y rellenos antrópicos y sobre los niveles arcillosos de los cortes mineros; y por otra parte procesos de deslizamientos rotacionales localizados en los rellenos antrópicos y deslizamientos traslacionales localizados en los cortes sobre

los depósitos fluviotorrenciales o en los cortes mineros conformados por suelos residuales y/o roca meteorizada.

Como mecanismo de falla especial en la zona se infieren un antiguo deslizamiento localizado en la parte norte del predio contra la urbanización Zarazota; el cual se encuentra estabilizado mediante conformación del terreno y un sistema de anclajes individuales.

Localmente se identifican procesos de deslizamientos de carácter traslacional en los frentes de las antiguas explotaciones mineras a cielo abierto, debidos principalmente a la pérdida de soporte en la base de los taludes por excavaciones o erosión diferencial.

Con base a lo anterior y al modelo geológico del área, se establecen escenarios con respecto a los modos o mecanismos de falla posibles que bajo solicitaciones de los agentes externos como lluvias y eventos sísmicos podrían desencadenarse, y que estarían favorecidos por la intensificación de los procesos de intemperización, denudación y acción del hombre por la inadecuada disposición de aguas de escorrentía y manejo de rellenos. La ***Tabla No. 6.2*** muestra los mecanismos de falla para cada zona geomorfológica definida en el **Plano 3.**

Tabla 6.2 Mecanismos de falla por zona geomorfológica

ZONA	PERFIL	Mecanismos de Falla					
		Rotacional General	Rotacional Corona	Rotacional Pata	Traslacional	Traslacional Corona	Caidas
ZAQfCed	3		X		X	X	X
ZAMQrCd	4	X		X			
ZAQrRd	5	X					
ZAMrCed	10	X					
ZAMrCed	12		X				
ZAMQrCe	13			X			
ZAMQdCd	17				X	X	
ZAMrCe	21	X					
ZAMrCe	23			X			
ZAMrCed	24			X			

Dentro de este marco se consideraron los siguientes mecanismos de falla:

- Tipo 1: La falla controlada por el macizo rocoso a lo largo de la estratificación, representa la falla general de las laderas, este mecanismo es posible en la parte alta, y se puede asociar a la zona deslizada.

- Tipo 2: Deslizamientos tipo rotacional o traslacional de los depósitos de relleno antrópicos o de los mismos suelos residuales. Representa mecanismos de falla local, son de pequeña magnitud y bajo poder destructor.

- Tipo 3: Deslizamientos traslacionales locales que involucrarían al macizo rocoso y que estarían controlados por la orientación de las diaclasas principales que coinciden con los taludes de corte de las explotaciones mineras. Son de pequeña magnitud y presentan un poder destructivo bajo a medio.

Para los mecanismos de falla tipo 1 y tipo 3 se adelantan los análisis de posibilidad cinemática de que se presenten movimientos o falla del macizo rocoso a lo largo de las discontinuidades o de sus intersecciones. Así se establecen las principales familias y se analizan las posibilidades de falla planar y en cuña para cada una de las laderas o zonas conformadas por material rocoso y para los taludes expuestos en las áreas mineras según los criterios establecidos por Hoek and Bray 1976. Los resultados se presentan en el capitulo de evaluación de estabilidad y amenaza.

6.4. EVALUACION DE AGENTES DETONANTES.

Para el caso en estudio se contempla los agentes detonantes de lluvia y sismo, agentes como la erosión y el factor antrópico se tienen en cuenta con los cambios morfométricos que vienen implícitos en la topografía.

6.4.1. Lluvias

La precipitación comúnmente se asocia con los fenómenos de remoción en masa, debido a que la mayoría de los deslizamientos ocurren después de aguaceros de gran magnitud o intensidad, o durante los periodos lluviosos prolongados, ya que al producirse la precipitación, el agua puede ser conducida por la superficie en forma de escorrentía o puede filtrarse a través de ella. El primero de estos dos fenómenos ocasiona problemas de erosión, principalmente en donde no hay cobertura vegetal, allí la presencia de surcos y cárcavas hace más susceptible a una superficie al deslizamiento; la infiltración, por su parte puede actuar en una ladera de varias formas:

- Aumenta la presión de poros y por consiguiente disminuyendo los esfuerzos efectivos y la resistencia al corte.
- Origina presiones hidrostáticas en las diaclasas de las masas rocosas.
- Produce fuerzas hidrodinámicas, especialmente cuando el agua fluye en sentido paralelo a la superficie del talud o ladera.
- Reduce la cohesión del material (ablandamiento).
- Acelera la meteorización.
- Genera erosión interna.
- Incrementa el peso total de la masa por humedecimiento de la misma.

El efecto adverso de los anteriores procesos en la estabilidad se incrementa por la ocurrencia de las lluvias durante varios días consecutivos o con pocos días de diferencia, gracias a que el talud no ha drenado el agua infiltrada cuando ocurre la siguiente precipitación, lo anterior no es otra cosa que un fenómeno de la acumulación progresiva hasta alcanzar los umbrales de inestabilidad.

Para evaluar el efecto de la lluvia en los procesos de inestabilidad del área se recurrió a los resultados del "Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para varias Localidades de Santafé de Bogotá" (INGEOCIM - UPES, 1998) con relación a la acción del agua como factor contribuyente y detonante de procesos de inestabilidad. En este estudio, basado en un inventario histórico de deslizamientos (en Bogota) detonados por lluvias y en registros históricos de precipitaciones diarias de

estaciones ubicadas en Bogota, se encontró que la ciudad, a partir de la lluvia crítica y de su duración, se puede dividir en dos zonas mediante las ecuaciones ilustradas en la **Tabla 6.3.**

Tabla 6.3 Relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual para la ciudad de Santafé de Bogotá (INGEOCIM - UPES, 1998).

ZONA	LLUVIA CRÍTICA (MM)	DURACIÓN (DÍAS)
Suroccidental	0.3609 x Lluvia anual (mm)	$3.2829 * LLcrit^{0.6157}$
Cerros orientales	12.6325 + 0.1816 x Lluvia anual (mm)	0.06923 * LLcrit

El barrio Mirador de Marrocos pertenecen a la zona de cerros orientales; lo que traduce para los valores de lluvia anual (632 mm aproximadamente), una precipitación acumulada crítica de 214.63 mm, con una duración de 30.6 días y un período de retorno de 25 - 30 años.

Según lo observado en el área del barrio Mirador de Marrocos, los procesos de inestabilidad se asocian directamente a las áreas de explotación de materiales.

Los procesos de escorrentía son mayores que los de infiltración debido a las pendientes del área, situación que se evidencia en la persistencia de procesos erosivos sobre los de inestabilidad. Por tanto para los análisis de estabilidad en el área se determina que los materiales naturales presentan bajos niveles de saturación mientras los depósitos tipo relleno aumenta su saturación por su mayor capacidad de infiltración, por lo que se asumen para los análisis valores para Ru (coeficiente de presión de poros) entre 0.10 y 0.20 para el macizo rocoso y depósito fluviotorrencial y valores de Ru mayores para los depósitos antrópicos. Para el análisis de probabilidad se asumen valores de Tr de 30 años para la lluvia crítica.

Las zonas de mayor concentración de agua y de infiltración se localizan sobre los antiguos drenajes naturales, los cuales fueron rellenados.

6.4.2. Sismos

Este parámetro se valora con base en los resultados del estudio de Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá, INGEOMINAS-UNIANDES, 1997 y el Estudio de Amenaza por deslizamientos del área realizado por la UNIVERSIDAD NACIONAL,2004, para el DAMA. Los estudios presentan en una forma más detallada las condiciones geológicas y tectónicas existentes desde el punto de vista regional y local para la ciudad de Bogotá y mas específicamente para el área en estudio.

Según el estudio del sector, el área presenta una mayor afectación debida a ocurrencia de sismos de fuentes locales, el caso más sobresaliente corresponde un movimiento sísmico generado en el sistema de fallas que circundan el suroriente de la ciudad.

De acuerdo con el Estudio de Microzonificación de Bogotá, el proyecto se localiza en la Zona 1 – Cerros, en zona de amenaza sísmica intermedia. En la zonificación de amenza sísmica realizada en el estudio de la Universidad Nacional a la zona de amenaza sísmica media le corresponde un rango de aceleración promedio efectiva de 0.125 a 0.20 g. Dentro del presente estudio, se empleó el valor límite 020 g para los análisis de estabilidad realizados; este valor de aceleración sísmica coincide con el definido en el decreto 074 para esta zona, además la amplificación por efectos locales de topografía no es significativa.

CONTENIDO

CAPITULO 7

FACTOR ANTRÓPICO

7.1 INVENTARIO DE VIVIENDAS 1
7.1.1 Metodología de trabajo 1
7.1.2 Ocupación de la vivienda 2
7.1.3 Cobertura de servicios públicos 3
7.1.4 Condiciones estructurales 3
7.1.5 Daños en las viviendas 4
7.1.6 Aspectos económicos 5
7.2 PROCESO DE URBANIZACIÓN Y CARTOGRAFÍA 5
7.3 ACTIVIDAD MINERA 6
7.4 VIAS 7
7.5 RELLENOS ANTROPICOS 7
7.6 REDES DE ALCANTARILLADO 8

CAPITULO 7

FACTOR ANTRÓPICO

7. INTRODUCCION

La ocupación de un territorio implica la modificación del mismo, la magnitud de su modificación y la forma como se hace, puede convertirse en un agente detonante o contribuyente de los procesos de inestabilidad del terreno.

El desarrollo de este capítulo tiene como fin analizar los factores antrópicos que permitan relacionar el estado de ocupación del Barrio Mirador de Marrocos y la amenaza actual por deslizamientos, se identificaron actividades de desarrollo urbano y actividades mineras como principales acciones del hombre.

Para establecer la degradación del medio físico debida al desarrollo urbanístico se realizó un inventario de viviendas que permitió reconocer las zonas de afectación por movimientos y establecer las características del desarrollo urbanístico del Barrio.

Para la actividad minera, por su gran impacto, se identificaron los frentes mineros y áreas de afectación de los mismos. Este aspecto se definió con la labor de inventario de procesos.

7.1 INVENTARIO DE VIVIENDAS

7.1.1 Metodología de trabajo

Como instrumento de recolección de la información se utilizó el "*Formulario para el inventario de edificaciones en zonas inestables*" de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE), este formulario se presenta en el ***Anexo Inventarios de Viviendas (A)***.

Este formulario cuenta con cuatro partes:

1. Datos Básicos: en esta parte se relacionan la identificación del predio, el propietario, la ocupación actual y la historia de ocupación, el número de pisos, el número de apartamentos, el número de familias, el número de residentes, el área de construcción, servicios públicos y la existencia de vías pavimentadas.
2. Condiciones Estructurales: Se consignan la ubicación de la vivienda en la ladera, el tipo de cimentación, el tipo de sistema estructural, la estructura de la placa del piso, la estructura del techo, el tipo de cubierta y estado actual de la construcción.
3. Daños: Tipo de daños sufridos anteriormente, la inestabilidad del suelo, localización de la vivienda en la zona de movimiento, el nivel de exposición, los

daños en elementos estructurales, daños en elementos no estructurales y daños en la construcción.

4. Aspecto Social: en éste aparte se busca conocer la valoración que dan los habitantes a su propiedad, el estado laboral de las personas del núcleo familiar, los ingresos que tienen por familia y la percepción de peligro de los habitantes.

Este instrumento se aplicó al 52.4% de las viviendas del barrio Mirador de Marrocos correspondientes a ciento uno predios (101). Evaluando lo relacionado con las condiciones estructurales y los daños mediante la inspección de los predios y en el caso de las variables sociales se entrevistaron directamente a los pobladores escogiendo una muestra dirigida (76), en donde se evaluaron de forma preferente las viviendas que presentaban una mayor vulnerabilidad.

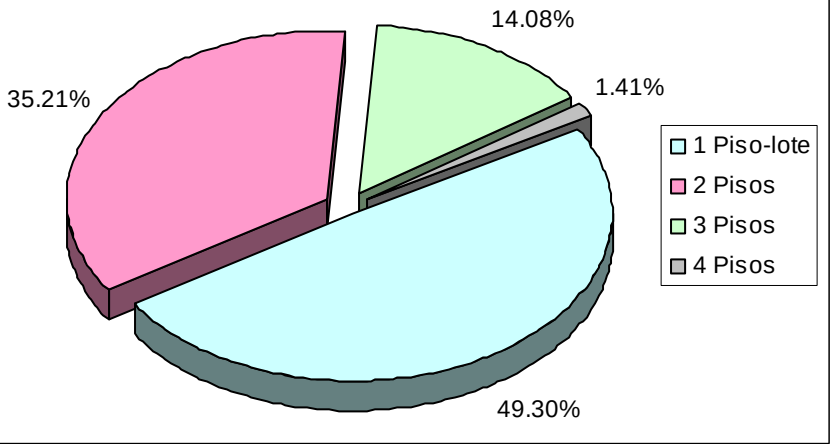
El cuadro resumen de las encuestas se adelantó en una base de datos en hoja electrónica, y su compilación se presenta en el ***Anexo Inventario de Viviendas***. Los resultados generales del inventario de vivienda se describen a continuación:

7.1.2 Ocupación de la vivienda

El Barrio Mirador de Marrocos, hace parte de una zona en procesos de consolidación de la ciudad, perteneciente al estrato socioeconómico 1 y 2. Según la información obtenida, se ha venido construyendo desde hace aproximadamente 25 años, y sus habitantes han permanecido en él, así lo demuestra el hecho de que alrededor del 43% de las familias encuestadas viven en el barrio desde hace mas de 10 años, con una permanencia igual en las casas que habitan.

La mayoría de las edificaciones son de 1 y 2 pisos, como puede verse en la ***Figura No 7.1***, en las que habitan como máximo cuatro familias pero en su mayoría contienen núcleos unifamiliares, de cuatro a seis personas. Se hallan también unidades habitacionales de 3 pisos que corresponde a la urbanización Pedregales del Conde, conformada por bloques de apartamentos. Las áreas construidas oscilan entre 20 y 250 m^2, predominando las de entre 20 y 72 m^2 (42%).

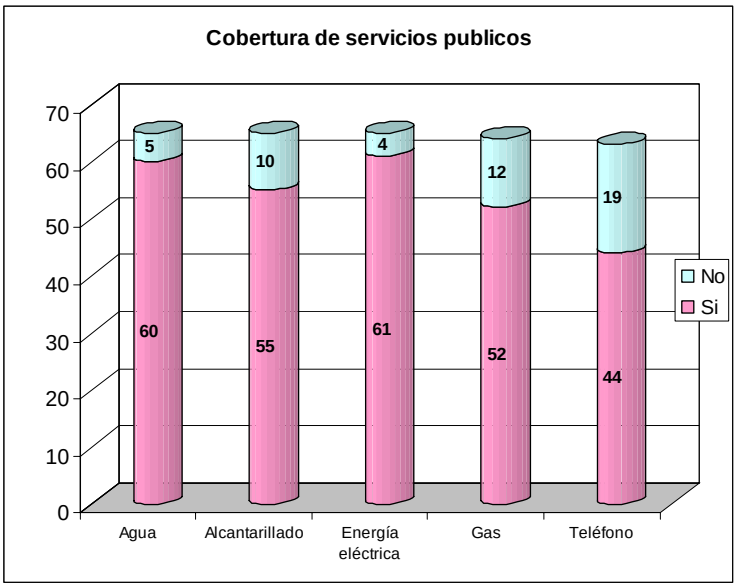
Figura 7.1 Número de pisos por vivienda



7.1.3 Cobertura de servicios públicos

El tipo de construcción presente indica un estado de consolidación avanzada, en el que predomina la cobertura de los servicios públicos domiciliarios básicos y completamentarios. La carencia de servicios públicos se reporta en un 6.15% energía eléctrica, 7.69% para agua, 15.38% alcantarillado, 18.75% gas y 30.16% de teléfono. Como se puede observar en la figura 7.2

Figura 7.2 Cobertura de Servicios Públicos



7.1.4 Condiciones estructurales

Las edificaciones del barrio Mirador de Marrocos se caracterizan por estar construidas mediante el sistema estructural de muros portantes, que representan un 43,24%, el uso de pórticos se encontró en el 31.08 % y el uso de confinamiento de los muros como sistema estructural se encontró en el 16,22% de las viviendas.

Las viviendas de recuperación y prefabricadas representan un 5.41%, mientras que la urbanización Pedregales del conde fue construida en mampostería estructural y representa un 4.05% de la muestra.

Las condiciones de construcción predominantes en las casas del barrio son: cimentación en concreto ciclópeo o piedra pegada, placa de entrepiso, placa de contrapiso y. cubierta en concreto. El 47.14% de las estructuras de techo son placas de concreto reforzado y el 45.71% son estructura en madera con teja, para un total del 92.86% de las cuales el 43,08% tienen como sistema estructural muros portantes, el 32,31% pórtico y el 16,92% muros confinados.

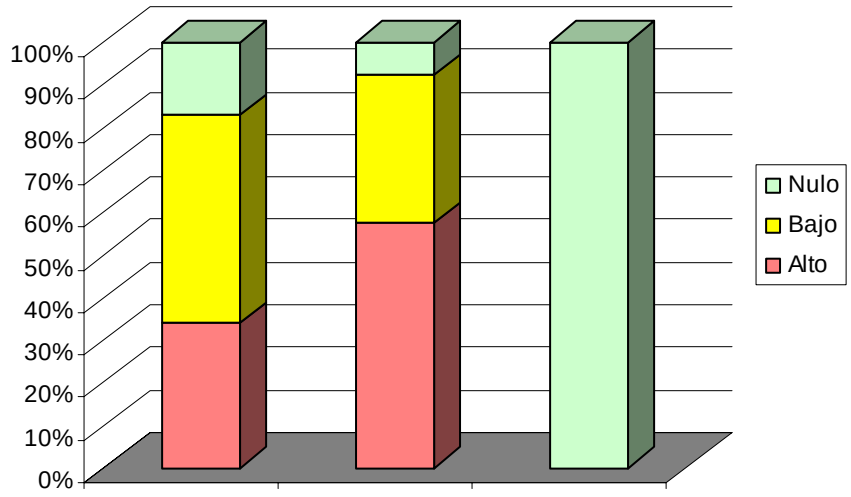
Con respecto a la implantación de los predios en la ladera, el 74.19% de las viviendas están frente a taludes en corte y el 25.19% están en relleno. Indicando que un 40.79 % de las viviendas presentan un nivel de exposición alto, .y el 42.11% un nivel medio.

En general, se puede decir que el estado de las viviendas es bueno (36.11%), con un 54.17% en regular estado y un 9.72% de las viviendas en mal estado. La calidad de las construcciones de más de 15 años tienen un nivel regular que corresponde a prácticas de construcción empíricas, que se realizan sin conocimientos técnicos, situación que se empeora por la escasez de recursos económicos y a las condiciones de marginalidad del área que ocupan. Algunas construcciones más recientes tienen sistemas estructurales con características de sismo resistencia.

7.1.5 Daños en las viviendas

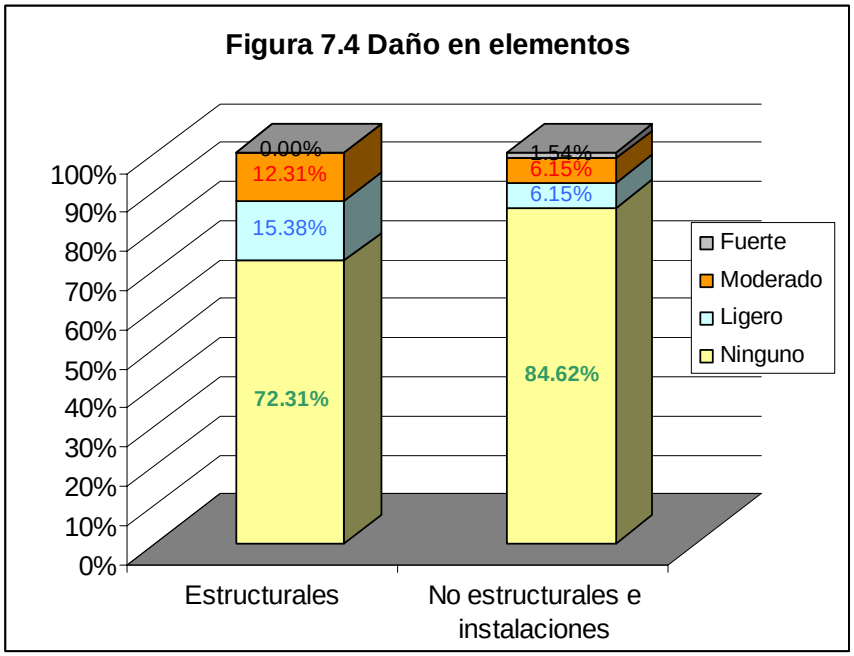
Las viviendas están localizadas en un 62.34% en la base de la ladera y el 82.98% tienen un nivel de exposición frente a fenómenos de remoción en masa entre medio-alto. (Ver ***Figura No 7.3***)

Figura 7.3 Nivel de exposición de viviendas a FRM



El 72.37% de las viviendas no han sufrido daños, mientras que el 10.52% reportó daños relacionados con la presencia de agua (humedad, filtraciones e inundaciones), el 17.11% ha sufrido daños por deslizamientos y caída de rocas.

Los daños que presentan los elementos estructurales como columnas, vigas, nudos de los pórticos, muros de cortante, escaleras, pisos y cubiertas son nulos en el 72.31% de las viviendas y de 84.62% no presenta daños en elementos no estructurales e instalaciones ***Figura No 7.4***.



Existen ocho viviendas con daños ocasionados por humedad e inundación, relacionados con la escorrentía superficial que se combina con la mala concepción y falta de mantenimiento del sistema de alcantarillado.

7.1.6 Aspectos económicos

Según los datos suministrados por los pobladores, el 40.98% de las predios tienen ingresos menores o iguales a 1 salario mínimo mensual vigente (smmv), el 31.15% tiene ingresos entre 1 y 2 smmv, el 14.75% tiene ingresos entre 2 y 3 smmv lo que indica unos bajos ingresos y poca capacidad de inversión. La valoración que hacen los habitantes de sus bienes (enseres) es en promedio de 6.7 millones y oscila entre $100.000 y $30´000.000 con el 50 % de los valores entre 2.0 y 9.0 millones.

Los bajos ingresos y la poca valoración de los bienes de los habitantes del barrio indican una incapacidad de respuesta de los pobladores ante un posible evento catastrófico.

7.2 PROCESO DE URBANIZACIÓN Y CARTOGRAFÍA

El proceso de urbanización del Barrio Mirador de Marrocos, se inició de forma atomizada hace mas de 40 años, en donde predominó la urbanización de la zona baja. La forma de poblamiento del barrio se vio influenciado por la explotación minera de materiales para

construcción y se ha caracterizado por el desarrollo en las laderas de pendiente media y las edificaciones sin el cumplimiento de las normas sismorresistentes.

El Departamento administrativo de Catastro Distrital indica que la zona de estudio comprende los barrios Callejón de Santa Bárbara y Molinos de Sur. En la ***Figura 7.5***.se muestra la distribución geográfica de los predios.

7.3 ACTIVIDAD MINERA

La minería en el barrio esta relacionada con áreas de explotación y de trasformación y se caracteriza por:

- Existencia de varios frentes de explotación minera a cielo abierto que en la actualidad se encuentra abandonados, están ubicados en el costado occidental de la parte central del área de estudio.
- Los frentes de explotación han causado problemas locales de caída de rocas, movimientos traslacionales y deslizamientos.
- Un frente de explotación se realizó sobre el depósito fluviotorrencial y sobre la cual se ha edificado viviendas, tanto en la base del mismo como en la corona.
- El sector también fue utilizado como zona de trasformación, como chircales para fabricación de materiales en arcilla, lo que implica la presencia de hornos, áreas de relleno y antiguas zonas de reservorios de agua hoy tapados con estériles y basuras.

La degradación del ambiente producida por la explotación de materiales se inicia desde el momento que el recurso suelo se destina para la explotación sin ningún manejo técnico, sin conciencia ambiental y más grave aún sin control por parte de las autoridades de regulación, vigilancia y control del estado. La degradación va desde los daños ocasionados a los ecosistemas de los cerros, afectación al habitad de la flora y de la fauna nativa de los mismos y de los recursos hídricos superficiales como quebradas y recurso subterráneo al aumentar la escorrentía, por su contribución a la erosión y desertificación, ahondando el pasivo ambiental y ecológico de la zona con los recursos naturales renovables y no renovables.

La forma como se realizó la explotación de materiales en el área, ha conducido a un deterioro de la red de drenajes del área, y con ello a los patrones de infiltración. Las dos quebradas que descendían de los cerros fueron tapadas con rellenos heterogéneos, hoy corresponden a los alineamientos de las vías de acceso.

Localmente la actividad minera ha cielo abierto a incrementado la posibilidad de falla de los macizos rocosos al realizar cortes verticales, colocando al intemperismo los materiales rocosos, acelerando su degradación y generando zonas de infiltración.

En general los cortes mineros existentes en el área han permanecido estables durante los últimos veinte años, su morfometría general no ha cambiado y los procesos de inestabilidad presentes en los mismos se asocian a pequeños desprendimientos y caídas de roca. Localmente en la parte alta se produjo un deslizamiento grande que involucró la estabilidad de la parte alta contra la Urbanización Zarazota.

Otro efecto que produjo la actividad minera fue la inadecuada disposición de los estériles, los cuales fueron dispuestos en las zonas bajas sin ningún control técnico. Estos depósitos con pendientes alta se vuelven inestables y no son aptos para la cimentación de edificaciones.

7.4 VIAS

La malla vial del barrio esta definida por la distribución geométrica de las manzanas prediales las cuales se distribuyeron en función de los lineamientos de las vías de acceso construidas para el acceso a los frentes de explotación. Ver mapa topográfico, **Plano No 1.**

La zona presenta un contraste urbanístico grande, el costado oriental esta consolidad urbanísticamente, mientras el costado occidental, aún presenta paisajes de actividad minera, la cual se encuentra abandonada. Esto se refleja en el sistema vial.

En la actualidad la red vial esta conformada por un vía principal que atraviesa por el costado oriental en barrio, y une la parte baja con la parte alta; se define como vía de tipo vehicular. Las demás calles que confluyen hacia esta, son vías tipo peatonal con acceso vehicular y presentan altas pendientes.

La vía de acceso al sector de explotación localizada sobre el costado occidental, en la actualidad de encuentra parcialmente construida, especialmente porque el sector presenta un bajo nivel de desarrollo urbanístico.

La red vial se encuentra en su mayoría a nivel de pavimento y existen calles que no presentan una definición vial como tal. Este abandono de las vías internas del barrio, conjuntamente con la poca cobertura de redes de recolección de aguas lluvias, la alta pendiente y el tipo de suelo, favorecen la formación de canales de escorrentía.

7.5 RELLENOS ANTROPICOS

La presencia generalizada de rellenos (botaderos) dispuestos de manera incontrolada por los mineros en las partes bajas y en los reservorios construidos para los chircales, se configura como uno de los elementos que degradan el medio y se convierten en frentes potenciales de inestabilidad, especialmente porque ninguno de ellos se ha realizado de manera técnica y más bien han obedecido al mal manejo y muy baja conciencia ambiental, en primera medida de las personas que explotaban materiales para construcción y en segunda instancia de la misma comunidad.

Los rellenos que se encuentran en la zona presentan espesores mayores a los 3 m y localmente su espesor pude ser muy delgado. El comportamiento geomecánico de estos materiales y su disposición en laderas (factores necesarios) hacen que presenten una alta susceptibilidad a la erosión y al movimiento. Su distribución geográfica se ve en el ***Plano No 2***, Geológico, y su caracterización geomecánica se describe en el Capítulo Anterior de Geotecnia.

El nivel de amenaza de los procesos que se generen en este tipo de materiales es medio, aunque la posibilidad de movimiento es alta, debido a su pequeña magnitud. El manejo técnico de los rellenos para la mitigación de la amenaza que pueden llegar a generar es relativamente sencillo y se logra mediante su retiro parcial o mediante obras menores de confinamiento con estructuras no convencionales que sirvan a la vez de tratamiento del espacio público.

Su influencia en la estimación de la amenaza del barrio se ve reflejada en los modelos geotécnicos utilizados para la evaluación de la estabilidad.

7.6 REDES DE ALCANTARILLADO

Las red de alcantarillado se incluye como factor antrópico teniendo en cuenta que es la responsable de la conducción de las aguas de escorrentía y servidas del barrio y su inexistencia genera que la disposición sea de manera directa sobre la ladera aumentando y/o concentrando los caudales de escorrentía así como aumentando los niveles de infiltración y por consiguiente convirtiéndose en un factor detonante tanto de los procesos erosivos como de la inestabilidad del área.

La zona de estudio presenta una cobertura adecuada sobre su costado oriental donde de ha desarrollado urbanísticamente el barrio, pero sobre el costado occidental, área de actividad minera abandonada, la cobertura del sistema de alcantarillado es baja, donde la escorrentía drena libremente generando frentes erosivos intensos. Estos flujos superficiales transportan partículas de los taludes descubiertos que se depositan en las alcantarillas y registros hasta taparlos completamente produciendo problemas de inundación este problema se agrava por la falta de mantenimiento.

CONTENIDO

CAPITULO 8

ANALISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

8. INTRODUCCION 1
8.1 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA 1
8.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD 2
8.2.1 Análisis de Posibilidad Cinemática 4
8.2.2 Análisis de Posibilidad Estática 4
8.2.3 Probabilidades de falla 7
8.3 ZONIFICACION POR AMENAZA 7

CAPITULO 8

ANALISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

8. INTRODUCCION

Con la información presentada en los capítulos anteriores se complementaron los datos necesarios para evaluar el comportamiento y respuesta de los diferentes materiales del sector estudiado frente a los factores geológicos y ambientales actuantes en la zona de estudio. La evaluación se realiza para cada una de las zonas geomorfológicas definidas tanto para la falla general como para las fallas locales. En los siguientes parágrafos se explica de manera resumida y clara la forma como se evalúo la estabilidad del área en términos de amenaza por fenómenos de remoción en masa y la zonificación hecha para la categorización de la misma.

8.1 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

Una vez establecidos los criterios geomorfológicos y antrópicos que condicionan la evolución de las laderas en el área en estudio, se establece una zonificación geomorfológico - geotécnica que determina zonas con comportamientos geotécnicos similares, con tipologías y dinámicas de movimientos característicos en cada zona.

Para la zonificación se tiene en cuenta la distribución urbanística del área y las divisorias de aguas que condicionan la escorrentía superficial. Las zonas se establecen con criterios dinámicos, sobre las cuales se asocia una condición predominante de estabilidad en términos de factor de seguridad o probabilidad de falla.

Por lo anterior las zonas geotécnicas establecidas son las mismas que se definieron en la evaluación geomorfológica y que se resumen a continuación:

ZUC	Zona Urbana consolidada.
ZAQfCed	Modelado antrópico sobre depósitos fluviotorrenciales, en corte y afectada con procesos de erosión y deslizamientos.
ZAQrRd	Modelado antrópico conformado por rellenos potencialmente inestables.
ZAMQrCd/e	Modelado antrópico conformado sobre cortes mineros y rellenos con procesos de deslizamientos o de erosión.
ZAMQdCe/d	Modelado antrópico conformado sobre un deslizamiento antiguo estabilizado, con procesos de erosión y pequeños deslizamientos
ZAQbRd	Modelado antrópico conformado por rellenos de basuras potencialmente inestables.
ZAMrCe/d	Modelado antrópico conformado sobre cortes mineros con procesos de erosión y deslizamientos.

Para cada una de las zonas y para efectos de los análisis de estabilidad se establecieron los modelos geotécnicos con base en las topografías de los años 1960, 1980 y 2005, con el modelo geológico y condición estructural del área y con base en las perforaciones y trincheras realizadas en los programas de exploración del subsuelo.

8.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Para evaluar las condiciones generales de estabilidad de las diferentes zonas geotécnicas, y para los mecanismos de falla considerados, se realizaron análisis de estabilidad de manera secuencial estableciendo en primera medida la posibilidad de falla cinemática del macizo rocoso y luego la posibilidad estática utilizando métodos de equilibrio límite sobre los modelos geotécnicos de cada una de las zonas que cubren el área en evaluación. Los lineamientos de los perfiles de análisis se presentan en la ***Figura No. 8.1*** y en el ***Anexo de Evaluación de Amenaza*** se presentan los modelos geotécnicos utilizados.

Se considera necesario establecer las condiciones de estabilidad de manera jerárquica, empezando por definir la estabilidad general de las laderas que conforman el área hasta definir la estabilidad local del área debida especialmente a la presencia de rellenos antrópicos y en las zonas de corte minero o de corte o excavaciones para la construcción de viviendas.

Para definir el mecanismo o superficie crítica del talud representativo de cada zona geomorfológica se adelanta un análisis de sensibilidad con los parámetros de resistencia promedio, como resultado, para el análisis de probabilidades, se toma el mecanismo de falla más crítico o la superficie de falla que implique menor factor de seguridad y mayor amenaza.

Los análisis de estabilidad se emplean en la determinación de las probabilidades de falla asociadas a la condición de estabilidad de las diferentes zonas, de tal forma que así se tiene en cuenta la variación de los parámetros de resistencia y eventos detonantes, mediante las combinaciones de ocurrencias o no de lluvias críticas y del sismo de diseño.

La valoración de los agentes detonantes se presentó en el capítulo de Geotecnia y en los capítulos de información base. Su inclusión en los análisis se realiza por la presencia o ausencia de las condiciones críticas de diseño. Se consideran cuatro posibles combinaciones de parámetros de resistencia y para cada condición se obtienen cuatro factores de seguridad, los cuales son:

Fs - - con C - Ø –

Fs - + con C - Ø +

Fs + - con C + Ø –

Fs + + con C + Ø +

Donde,

Fs - - Condición de estabilidad sin lluvia ni sismo.

Y (-) o (+) Parámetros de resistencia mínimos o máximos.

Desde el punto de vista geomecánico, las propiedades de los materiales superficiales interesados se establecieron a partir de las pruebas de resistencia ejecutadas en laboratorio y mediante la evaluación de parámetros en función de los resultados del SPT, los cuales se complementaron y compararon con datos reportados en otros estudios realizados en el sector y en estudios de áreas vecinas, como el Estudio de Amenaza del Callejón de Santa Bárbara, el Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para el sector de Marco Fidel Suárez, realizado por la Universidad Nacional (2004) y el Proyecto de Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá, realizado por la Universidad de Los Andes-Ingeominas en 1998.

Los parámetros de resistencia efectivos adoptados para los análisis de estabilidad se muestran en la ***Tabla No. 8.1***.

Las variaciones de los parámetros se establecieron mediante una selección a criterio de los evaluadores, según la base de datos obtenida en el desarrollo del presente estudio y complementado con información secundaria.

Para cada zona geotécnica y perfil geotécnico característico, se establecieron los posibles modos de falla como se muestra en la ***Tabla No. 8.2***.

Tabla No 8.2 Mecanismo De Falla Para Cada Zona Geotécnica

ZONA	PERFIL	Mecanismos de Falla					
		Rotacional General	Rotacional Corona	Rotacional Pata	Traslacional	Traslacional Corona	Caidas
ZAQfCed	3		X		X	X	X
ZAMQrCd	4	X		X			
ZAQrRd	5	X					
ZAMrCed	10	X					
ZAMrCed	12		X				
ZAMQrCe	13			X			
ZAMQdCd	17				X	X	
ZAMrCe	21	X					
ZAMrCe	23			X			
ZAMrCed	24			X			

8.2.1 Análisis de Posibilidad Cinemática

Se adelantan los análisis de posibilidad cinemática de falla del macizo rocoso (falla general) a lo largo de las discontinuidades para cada una de las zonas geotécnicas conformadas por la Formación Regadera, para lo cual en cada una de ellas se establecen los alineamientos de los taludes con sus pendientes y parámetros promedios. Los análisis se adelantan según los criterios establecidos por Hoek y Bray, 1974. Para efectos de cálculos se considera el ángulo de fricción del macizo rocoso entre 16° y 36° a lo largo de las discontinuidades.

Para el análisis se asocian las familias de discontinuidades características y la estratificación. En cada uno de ellos se adelanta de manera analítica las posibilidades de falla planar a lo largo de las discontinuidades, mientras para las fallas en cuña se establecen las diferentes intersecciones de discontinuidades para los respectivos análisis (Ver ***Anexo Evaluación de Estabilidad***); los cálculos mencionados se adelantan mediante una aplicación en hoja electrónica que permitió estimar las posibilidades de falla de manera ágil para la cantidad de combinaciones posibles. Los resultados del análisis cinemático de estabilidad se resumen en la ***Tabla No 8.3a y 8.3b.***

En general se puede establecer que las laderas sobre las cuales se fundo el barrio Mirador de Marrocos son estables y que las posibilidades de falla del macizo rocoso se limitan a los frentes mineros donde el hombre ha modificado la condición natural de las mismas.

De los análisis cinemáticos realizados bajo las condiciones morfométricas establecidas por los cortes mineros de excavación se puede definir que la posibilidad cinemática de falla aumenta para los planos de estratificación. Los mecanismos de falla se pueden asociar a fallas planares por desconfinamiento del macizo y eventualmente por acción local del agua.

Los resultados muestran que la posibilidad de falla a través de estratificación y de las diaclasas con buzamientos menores a los 50°, se presentan donde los cortes mineros son seudo verticales con orientación E-W, sector ZAMrCe. La posibilidad de falla en los sistemas de discontinuidades con buzamientos cercanos a la vertical es muy baja a nula y se limita cuando por erosión diferencial o por acción del hombre pierde soporte en la base del macizo.

El sector con mayor posibilidad de falla en cuña igualmente se asocia a los taludes de corte minero, seudo verticales, con orientación E-W.

8.2.2 Análisis de Posibilidad Estática

Los análisis de posibilidad de movimientos o de estabilidad estática se realizan para los mecanismos de falla tipo rotacional o traslacional que se pueden presentar sobre los rellenos antrópicos, suelos residuales, roca meteorizada o suelos superficiales y sobre las zonas donde el macizo presenta posibilidad de falla cinemática a lo largo de la estratificación. Estos análisis son la base para la estimación de las probabilidades de falla.

Reuniendo los datos topográficos, geológicos, geomorfológicos y la caracterización geotécnica se establecieron para la sección típica definida en cada zona geotécnica y para cada condición local de rellenos los modelos geotécnicos, y sobre estos se realizaron análisis generales de estabilidad.

Para la evaluación de estabilidad dada la presencia o ausencia de los agentes detonantes como el agua, se definió asumir valores de niveles de agua en la masa en términos de Ru entre 0,1 y 0,3; que significa que la masa puede llegar a saturarse de manera muy rápida ante eventos de lluvia de alta intensidad especialmente sobre los estratos arenosos del macizo rocoso, que poseen permeabilidades altas. En general en el área la escorrentía superficial en mayor que la infiltración y como se observó en la mayoría de los taludes de corte, la influencia del agua de escorrentía sub superficial es baja.

En el caso de los sismos se asume un coeficiente de aceleración para los rellenos de 0,24 y para el macizo rocoso de 0,20.

Con base en los estimativos de estabilidad estática de los taludes de corte, para cada mecanismo de falla posible, se definieron los mecanismos de falla con los menores factores de seguridad en condición seca, para ser usados en los análisis de probabilidad de falla. A continuación se presentan los resultados de los análisis sensibilidad:

Falla traslacional del macizo:

Falla General

El análisis cinemático muestra que las zonas con posibilidad cinemática a que se presente falla planar son el sector ZAMrCe, que corresponde a la media del área con taludes de corte seudo verticales y orientados E-W, y la parte alta sobre el talud inferior sobre el cual esta cimentada la urbanización Zarazota en el cierre de la estructura periclinal.

Los resultados de los análisis de estabilidad estática para este tipo de falla muestran que los factores de seguridad en condición seca son mayores a 1,7. Defiendo que el área es estable por este mecanismo y la falla del talud de la parte alta, contra la urbanización Zarazota debe estar ligada a un proceso de desconfinamiento y acción del agua.

Falla Local:

Para considerar la influencia de los cortes realizados para la actividad minera, para cada zona se definieron los sectores donde por direccionalidad de los cortes se podía establecer la posibilidad de falla local. Numeral 8.2.1

Dado el grado de degradación del macizo rocoso, por alto grado de fracturamiento y meteorización, localmente en los cortes mineros se pueden generar fallas traslacionales y/o rotacionales superficiales. Estos procesos son acelerados por la acción de la erosión diferencial que se presenta en los contactos arcillolita arenisca.

Este mecanismo presenta valores de estabilidad para condición seca mayores a 2, lo cual se encuentra acorde con las observaciones de campo, mostrando que los taludes

actuales mantienen su geometría a pesar de presentar niveles de exposición al medio mayores a los 15 años con evidencias de estar afectados por procesos erosivos intensos.

Falla rotacional macizo meteorizado:

Teniendo en cuenta el grado de meteorización del macizo rocoso representado en un alto fracturamiento y al alto nivel de degradación química del material rocoso, se modelo la falla rotacional a lo largo de este.

Los resultados de los análisis estáticos en condición seca muestran que la posibilidad de este mecanismo es alta. La falla típica es superficial, esta influenciada por las grietas de tracción y son más recurrentes en la corona del talud. Los factores de seguridad sin agua y sin sismo presentan valores cercanos a la unidad (1,05 a 1,33) cuando la falla es muy superficial, es decir de espesores menores a 1 m y el factor de seguridad aumenta en la medida que aumenta en profundidad la zona fallada.

Falla del depósito fluviotorrencial:

Para el análisis de estabilidad del depósito fluviotorrencial, se toma como base que el principal proceso actuante es la erosión y en sectores donde se recubrió el talud con suelo cemento, el comportamiento del macizo y del talud ha sido satisfactorio.

Para este material se modelaron fallas rotacionales y traslacionales. El talud presenta alta posibilidad de falla rotacional muy superficial y de corona, con factores de seguridad cercanos a 1, mientras la falla general del talud, tanto rotacional o traslacional, con factores de seguridad de 1,17 a 2, es menos probable como se puede demostrar con la permanencia del talud en condiciones similares por más de 20 años.

Falla de los rellenos:

Una vez establecidas las condiciones de estabilidad de los cortes mineros se pasa a estudiar la estabilidad de los rellenos antrópicos.

Para el análisis de estabilidad de los rellenos se establecen los modelos geotécnicos para los rellenos representativos de cada zona geomorfológica o laderas. En cada modelo se evalúan las diferentes tipologías de falla, y se sigue el procedimiento establecido al inicio de este capitulo para tener en cuenta el efecto de los agentes detonantes como agua y sismo; y así establecer las probabilidades de falla de este tipo de materiales.

Los modelos muestran que los rellenos conformados en las partes bajas o patios de los taludes presentan grados de estabilidad aceptables con factores de seguridad en condición seca de 1,6. La posibilidad de falla se asocia a la falla local de pie con factores de seguridad del orden de 1,1.

La posibilidad de falla de los depósitos a lo largo del contacto con la roca es baja, los factores de seguridad son mayores a 2. Los rellenos en ladera presentan grados de estabilidad bajos con factores de seguridad del orden de 1,1, asociados a fallas de pie.

Caída de rocas:

Este proceso se tiene en cuenta en los modelos de amenaza para las áreas locales correspondientes a los cortes mineros realizados sobre el depósito fluvitorrencial. Este proceso de falla esta altamente ligado a la erodabilidad de la matriz areno limosa del depósito y este a su vez a la acción erosiva de las aguas de escorrentía no captadas en la corona o parte alta del talud.

Por lo anterior y para el modelamiento de la vulnerabilidad y riesgo de las viviendas en la condición actual se asume que la probabilidad de falla es de Pf=0,5. Esto permite tener en cuenta la degradación progresiva de los taludes.

8.2.3 Probabilidades de falla

La aproximación probabilística de la amenaza se adelanta por el método de estimación de punto (PEM) propuesto por Rosenblueth. Se establecerán diferentes escenarios de acuerdo con los detonantes (lluvia y sismo), partiendo de una condición de falla sin lluvia y sin sismo hasta llegar a una falla con lluvia y con sismo. El procedimiento seguido es el presentado en el numeral 8.2.

La ***Tabla No 8.4*** muestra el resumen de los diferentes análisis realizados y los cálculos de probabilidades de falla para cada una de las zonas geomorfológicas con los mecanismos de falla evaluados y su respectiva categorización de amenaza. Los análisis de estabilidad para las diferentes hipótesis de agentes detonantes y con la variación de los parámetros de resistencia se presentan en el Anexo de Geotecnia – Análisis de estabilidad.

La ***Figura No 8.2*** muestra de manera gráfica los resultados de los análisis de la amenaza en términos de probabilidades de falla.

8.3 ZONIFICACION POR AMENAZA

Con base en la caracterización en términos de estabilidad (Fs y Pf), de cada una de las zonas geomorfológicas definidas, se continúa con la categorización de la amenaza por FRM. En esta etapa se desarrolló un proceso que permitió llegar a delimitar espacialmente los diferentes grados de amenaza (alta, media y baja) dentro del área de interés, integrando la información básica, hasta aquí obtenida.

Para la Categorización de la amenaza se tuvo en cuenta aspectos de magnitud, estado de actividad y tendencia a la propagación de los procesos que actualmente están afectando el área.

Para la Categorización de la Amenaza actual se estableció un período de corto plazo, el cual se considera adecuado para la evaluación del riesgo actual y se define su categoría en función del valor esperado de Fs para un escenario de ocurrencia del evento por influencia del agua y sin sismo; mientras la amenaza para un tiempo mayor de exposición se categoriza en función de la probabilidad de falla asociada a los condiciones críticas de

los eventos detonantes lluvia y sismo - en el caso del presente estudio- se toma como tiempo de exposición máximo de 25 años o de período de diseño.

Se toma como escala de categorización de la amenaza, la establecida en el estudio de INGEOCIM 1998, la cual permite partir de una misma referencia y unificar criterios al respecto. *Ver* ***Tabla No. 8.5***

Tabla No 8.5 Categorización De Los Niveles De Amenaza

FACTOR DE SEGURIDAD	PROBABILIDAD DE FALLA	NIVEL DE AMENAZA
<= 0.825	> 0.731	Muy Alta MA
> 0.825 - 1.328	0.731 - < 0.328	Alta A
> 1.328 - 1.938	0.328 - < 0.121	Media M
> 1.938 - 3.408	0.121 - < 0.004	Baja B
> 3.408	<= 0.0004	Muy Baja MB

Fuente*: González & Millán, 1999.*

Como resultado final de la zonificación por amenaza se presenta de manera cartográfica en el ***Plano No 4***, donde se muestra la definición de la amenaza para le barrio Mirador de Marrocos.

Las zonas de afectación minera, antiguos frentes de explotación, se caracterizan por presentar niveles de amenaza media, lo que refleja la condición general del área, las condiciones actuales se han mantenido mas o menos estables durante los últimos 10 años. Esta condición obedece a que los taludes presentan poca influencia del agua de escorrentía, el área de aporte es muy baja. Fácilmente estos frentes pueden degradar su condición actual por la actividad erosiva a que están expuestos los taludes y por la misma acción del hombre.

Dentro de la categoría de amenaza media se enmarca la parte alta del sector que delimita con el barrio Zarazota, condición que se ha logrado por las obras de estabilización ejecutadas.

Las áreas definidas con categoría de amenaza alta están asociadas directamente a los taludes de corte minero y a la zona de relleno del cauce antiguo del drenaje occidental. Los taludes presentan pendientes cercanas a la vertical y sin ningún tipo de protección contra la erosión. Localmente los rellenos presentan niveles de amenaza alta.

Las áreas con presencia de rellenos antrópicos en general presentan niveles de amenaza baja, especialmente debido a que dichos depósitos son conformados en áreas planas con materiales granulares principalmente de residuos de la actividad minera. Las áreas con

presencia de rellenos que se han cualificado como de amenaza alta, corresponden especialmente a las áreas de rellenos sobre los drenajes naturales.

Las áreas de pendiente media a baja, que corresponde a la mayor parte del área, se clasifican como de amenaza baja afectadas por procesos erosivos intensos por falta de cobertura vegetal.

El área urbanizada consolidada, presenta niveles de amenaza alta y media en los límites de los taludes de corte minero. Los demás sectores se categorizan de amenaza baja a nula.

CONTENIDO

CAPITULO 9

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y EL RIESGO

9 INTRODUCCION 9-1
9.1 CONDICION ACTUAL 9-1
9.1.1 Estructura de las viviendas 9-2
9.1.2 Vulnerabilidad Social. 9-3
9.2 EVALUACION DE DAÑOS POSIBLES 9-7
9.2.1 Asignación de evento Amenazante. 9-7
9.2.2 Asignación de Solicitación 9-8
9.2.3 Evaluación de vulnerabilidad 9-9
9.1. EVALUACION DE RIESGO 9-11

CAPITULO 9.0

EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD Y RIESGO ACTUAL

9 INTRODUCCION

La evaluación de vulnerabilidad se adelanta siguiendo los lineamientos metodológicos establecidos por LEONE, 1996. Así, en forma semi cuantitativa se establece el nivel de vulnerabilidad de las unidades de vivienda, en función de los posibles daños que pueden llegar a sufrir los elementos expuestos situados en la zona de afectación previsible por el fenómeno amenazante, modificada por un factor social.

El nivel de daño de los elementos expuestos se define tipificando las viviendas por su tipología establecida en el inventario y sus modos de daño asociados a la solicitación impuesta por los diferentes eventos amenazantes, los que a su vez dependen de los mecanismos de falla y de su distancia de viaje, establecidos en el Capítulo anterior.

El factor social ha sido estimado a partir de las condiciones de hábitat de cada una de las viviendas, que de alguna forma muestran la capacidad de respuesta que tienen los habitantes de la misma.

El modelo de vulnerabilidad y riesgo se adelanta con base en un algoritmo establecido bajo una hoja de cálculo, para lo cual se implemento un SIG con base en la cobertura de los predios de la urbanización, tanto los construidos como los proyectados por Catastro.

9.1 CONDICION ACTUAL

El inventario de viviendas presentado en el capítulo de Factor Antrópico, permite hacer una evaluación sobre el estado de cada una de las unidades habitacionales construidas, en aspectos relacionados con su capacidad de respuesta. Los predios que aún no han sido construidos y que se encuentran proyectados dentro de la distribución urbanística del barrio establecida por Catastro Distrital, son tenidos en cuenta dado su potencial uso, por lo cual se toman como lotes en el modelo de evaluación.

Sobre este aspecto, conviene agregar que en general, casi ninguna edificación y mucho menos las que ocupan la atención de este estudio son diseñadas, ni construidas específicamente para resistir empujes o fuerzas laterales generadas por fenómenos de remoción en masa y que por lo tanto, la evaluación que sobre el particular puede hacerse con base en el inventario es muy limitada. En conclusión, se busca definir de manera más sistemática una metodología de evaluación más específica, en cuanto a la capacidad intrínseca de la estructura existente a reaccionar ante eventos de tal naturaleza.

9.1.1 Estructura de las viviendas

La tipología de las estructuras se asocia de acuerdo a su naturaleza a la capacidad de resistencia ante la acción que produce sobre la misma una masa en movimiento producto de una falla o de la inestabilidad del terreno. Una estructura en concreto seguramente presenta una mayor capacidad de resistencia de una estructura con muros cargueros.

Es por esto, que la capacidad de respuesta o la vulnerabilidad física se evalúa de acuerdo al tipo de estructura definida para cada una de las viviendas mediante las características establecidas en la encuesta, se definen seis tipologías, así:

A - Viviendas con estructura en concreto o mampostería estructural.
B - Viviendas con muros cargueros, pero sin confinamiento adecuado.
C - Viviendas de muros cargueros y viviendas prefabricadas.
D - Viviendas informales.
E - Edificaciones en proceso de construcción.
F - Lotes vacíos

Nota: *Tomado de IRH, 1999.*

De ésta forma, las viviendas tipo **A** se consideran menos vulnerables que las viviendas tipo **D;** es decir, tienen una mayor capacidad de resistir. La clasificación **E** y **F** se tiene en cuenta porque se asume que estos predios hacen parte del loteo de los barrios en estudio y de alguna forma representan algún valor para sus propietarios.

En un primer nivel se incluyen las casas que de forma aparente cumplen con rasgos y parámetros mínimos de rigidez y solidez estructural, representados en una estructura aporticada, mampostería estructural o el empleo de muros cargueros confinados por columnas a distancias razonables y con placa de entrepiso en concreto. Lo anterior, sin entrar a establecer la existencia o no de cálculos estructurales y el cumplimiento de otros requisitos a nivel de distribución y refuerzo mínimo, lo que no estaba dentro del alcance del presente estudio.

En un segundo nivel, se clasifican las viviendas construidas con muros cargueros, tienen placa de entrepiso en concreto y la incorporación de columnas y elementos de amarre es local y esporádica, es decir, son viviendas que en su concepción tratan de adicionar algún tipo de refuerzo adicional a la metodología tradicional de muros y placas.

En un tercer nivel, se clasifican todas las demás tipologías de viviendas, es decir, viviendas con muros cargueros, fundados sobre cimiento ciclópeo y viviendas prefabricadas.

En un cuarto nivel, se incluyen las viviendas construidas con madera, cartón o tejas metálicas o sus combinaciones, es decir viviendas informales o viviendas que normalmente se llaman tuguriales.

Vale la pena anotar que las viviendas se encuentran referenciadas espacialmente en el área de estudio, de tal forma que resulta simple asignarles el tipo de evento amenazante al que están expuestas, según su localización en la ladera y el nivel de exposición asociado.

9.1.2 Vulnerabilidad Social.

La vulnerabilidad social, que ha sido definida por la CEPAL (2002), como una combinación de la exposición al riesgo y la incapacidad de respuesta. Se encuentra relacionada con las diferencias en los activos de los hogares que pueden estimarse valorando cinco dimensiones básicas: El hábitat (condiciones habitacionales), el capital humano, la económica (inserción laboral e ingresos), protección social, capital social.

Debido a que el grupo social estudiado cuenta con una cierta homogeneidad en las dimensiones de capital humano, económica, protección social y capital social, la valoración de la vulnerabilidad social se ha cuantificado por su relación con la dimensión del Hábitat.

Para ello, las variables indicativas que tenidas en cuenta fueron:

- Número de habitantes por vivienda, que nos indica el número de personas expuestas. Es un indicador de vulnerabilidad en el sentido de una mayor afectación sobre la unidad de medida que es el predio.
- Tipo de vivienda, que corresponde a la categorización hecha basados en el tipo de estructura. Este indicador se asocia directamente con la capacidad de ahorro y la capacidad adquisitiva, debido a que una vivienda cuyo sistema estructural es más sólido tiene un mayor costo de inversión.
- Posibilidad de acceso, que se ha relacionado con el tipo de vías que permiten la entrada y evacuación de las viviendas.
- Daños en la vivienda, nos indica el estado general de la vivienda, y es indicador de alguna manera de la capacidad de respuesta de los habitantes.
- Saneamiento básico, relacionado, en este caso, con cobertura de alcantarillado.

Estas variables, nos permiten establecer de manera cualitativa la capacidad de respuesta que tiene una familia en el momento de un evento catastrófico, ya que permite evaluar la falta de activos, fragilidad e indefensión ante los cambios en el entorno y el desamparo institucional.

Cada una de las variables fue calificada como un índice cuyos valores se encuentran entre cero y uno (0 y 1), y el factor social (Fs) se calculó como una suma ponderada de los mismos así,

$$Fsc = 0.40\ I_{hab} + 0.20\ I_{est} + 0.20\ I_{via} + 0.10\ I_{daños} + 0.10\ I_{sp}$$

En donde,

Fsc – Índice de factor social

I_n Corresponde a cada uno de las variables analizadas.

Cada uno de los coeficientes corresponde al peso asignado a cada variable estudiada y responde a la importancia en el nivel de respuesta que pueda tener una vivienda y sus ocupantes en el evento de un FRM.

9.1.2.1 Variables e Índices

La determinación del Fsc se realizó para cada uno de los predios, incluyendo los que se encuentran sin construir, para ello se utilizaron las variables mencionadas de la siguiente forma:

a. **Número de habitantes por vivienda (I_{hab})**

De acuerdo con la información recolectada, 34 de las viviendas son de un piso, y en ellas habita un núcleo familiar que en su mayoría es de 4 a 6 personas. En algunos casos hay dos o tres familias en una misma vivienda.

El estudio de este índice busca mostrar una mayor vulnerabilidad de aquellas viviendas en las que el número de habitantes es mayor y por ello, se asignaron los siguientes valores al índice:

Número de habitantes por vivienda	I_{hab}
0	0
1 – 3	0.25
4 – 6	0.50
7 – 9	0.95
> 10	1.00

La mayor vulnerabilidad se relaciona entonces, con el número de habitantes expuestos por cada vivienda, en caso de hacinamiento, será mayor la vulnerabilidad.

Debido a que la encuesta social fue realizada por muestreo y teniendo en cuanta que la muestra realizada indica un promedio de 5 habitantes por vivienda, se tomo este valor para las viviendas que no contaban con información, por tanto el índice asignado es de 0.5 en cada una de estas viviendas.

b. **Tipo de estructura de la vivienda (I_{est})**

Existe una clara correlación entre el tipo de estructura de vivienda y la capacidad de ahorro y los ingresos familiares, lo que además se refleja la capacidad de

respuesta de los habitantes en caso de un evento catastrófico. De esta forma una vivienda tipo A, refleja una mayor capacidad de respuesta asociada a su capacidad adquisitiva que una tipo D o E. Por ello, los valores índices asignados fueron los siguientes:

Tipo de Estructura	I_{est}
A	0.1
B	0.2
C	0.6
D	0.8
E	1.0

Para los lotes vacios (F) se tomo como valor índice de cero (0).

c. **Posibilidad de acceso (I_{via})**

Este índice se ha relacionado con el tipo de vías que permiten la entrada y evacuación de las viviendas, ello refleja la facilidad de acceso a una vivienda y demuestra además la dificultad que debe sortear un habitante para su desplazamiento diario.

La condición más crítica de acceso muestra una mayor vulnerabilidad de las personas que viven a distancias largas y sin acceso, y en general están asociadas a la capacidad adquisitiva de las familias.

Los predios con una mejor ubicación urbanísticamente son más costosos. Así según la ubicación de las unidades de vivienda en la red vial se asignaron los siguientes índices:

Vías de acceso	I_{via}
Principal	0
Secundaria	0.6
Peatonal	0.8
Sin Acceso	1.0

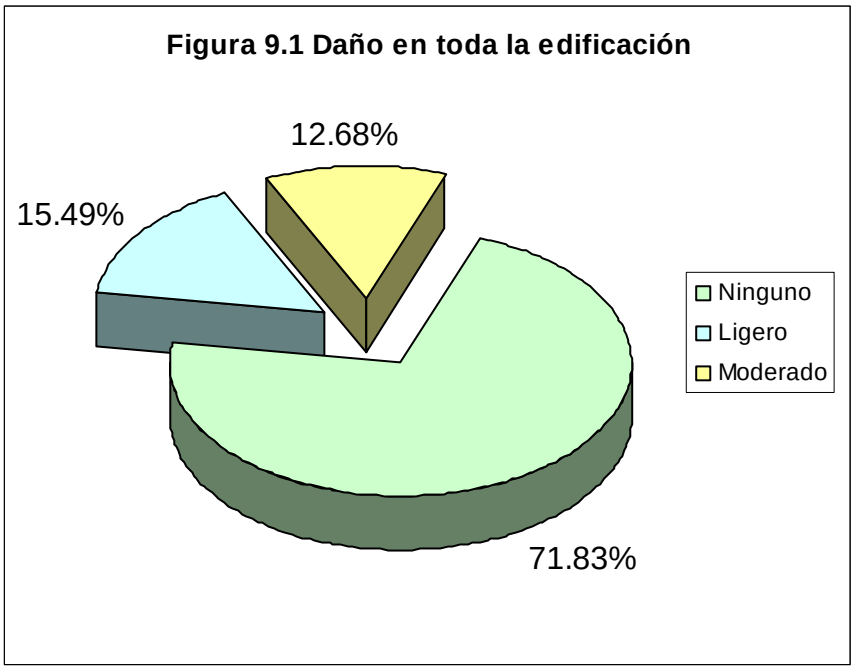
Las condiciones del acceso del Barrio Mirador de Marrocos son regulares de las viviendas encuestadas el 11.6% cuentan con un acceso por vía principal, las demás viviendas tienen acceso por vías secundarias en mal estado y por peatonales poco transitables.

d. **Daños en la vivienda ($I_{daño}$)**

La evaluación de los daños se realizó vivienda por vivienda en una inspección visual de todos sus elementos, tanto estructurales como no estructurales, permitiendo evaluar cualitativamente el estado de daño general que presenta una vivienda, mostrando la mayor o menor vulnerabilidad de la vivienda. Las

construcciones que presentan algún tipo de daño representan una mayor vulnerabilidad física que las que no, adicionalmente si estos daños no han sido reparados es por que no existe la capacidad económica para su reparación.

El inventario de viviendas refleja que el 90.5% de las viviendas no presentan daño alguno y que sólo 5 viviendas presentan daños fuertes y severos, como se ve en la ***Figura No.9.1***.



A las identificadas sin daños se les asocia un índice de cero (0) mientras las de daño severo se les asocia un índice de uno (1). Las viviendas con daños ligeros se les asocia un índice de 0,25 y de daño fuerte un índice de 0,95.

e. **Saneamiento básico (I_{sp})**

Saneamiento básico, se relaciona directamente con la cobertura del alcantarillado, que indica la presencia institucional de las empresas de servicios públicos y refleja también la consolidación de la vivienda y de la infraestructura urbana.

La calificación de este índice se realizó con la existencia o no del servicio en la vivienda, así:

Alcantarillado	I_{sp}
SI	0
NO	1.0

9.1.2.2 Determinación del Índice de Factor Social

El Índice de Factor Social (Fsc) representa la mayor o menor vulnerabilidad de los habitantes de una vivienda y se aplica a cada predio como un modificador de la vulnerabilidad física, habrá una modificación del valor obtenido para la vulnerabilidad física, en función de la población que allí habita.

En el ***Anexo Evaluación de Vulnerabilidad*** se presentan los resultados obtenidos para cada una de las viviendas y para los lotes vacíos.

9.2 EVALUACION DE DAÑOS POSIBLES

La evaluación de los daños se realizó predio a predio para lo cual se parte del mapa de amenaza presentado en el capítulo anterior.

9.2.1 Asignación de evento Amenazante.

Según el grado de amenaza de la zona donde se localizará el predio y con base a los procesos identificados se realizó la asignación de eventos amenazantes a cada uno de los predios, el cual involucra una tipología de evento amenazante y su consiguiente nivel de amenaza en términos de factores de seguridad y probabilidades de falla. Así se generó en mapa de asignación de eventos amenazantes a cada predio como unidad básica de evaluación y se representa de igual forma que el mapa de amenaza por intensidad que se muestra en el ***Plano 4***.

Como base de este procedimiento se utilizó el mapa de inventario de procesos, especialmente para tener en cuenta el efecto de los cortes o excavaciones realizadas para la construcción de las viviendas y el efecto local de los rellenos antrópicos.

La estimación cuantitativa de daños posibles se adelanta para cada tipo de vivienda en función de la asignación de una solicitación impuesta por un determinado proceso generador de daño, que a su vez depende del grado de exposición del elemento expuesto.

Este procedimiento se realiza a criterio del experto en evaluación de riesgos por fenómenos de remoción en masa, tomando como base la siguiente Tabla de Clasificación de daños propuesta por DRM {DELEGATION AUX RISQUES MAJEURS} y presentada por LEONE, 1996. (*Ver* ***Tabla No. 9.1***).

Tabla No. 9.1 Intensidad de Daño

INTENSIDAD DE DAÑO	MODOS DE DAÑO	PORCENTAJE DE DAÑO
1	Daños ligeros no estructurales. Estabilidad no afectada	0,01 – 0,1

INTENSIDAD DE DAÑO	MODOS DE DAÑO	PORCENTAJE DE DAÑO
2	Fisuración de muros. Reparaciones no urgentes	0,2 – 0,3
3	Deformaciones importantes, fisuras en elementos estructurales	0,4 –0,6
4	Fracturación de la estructura, evacuación inmediata	0,7 – 0,8
5	Derrumbe parcial o total de la estructura	0,9 – 1,0

Tomada de Leone, 1996

Donde el porcentaje de daño se define como la diferencia entre el valor inicial del bien antes del evento y el valor final del bien después del evento, dividida por el valor inicial del bien.

9.2.2 Asignación de Solicitación

La asignación de solicitaciones se realiza, para el mecanismo de falla que arroje la condición más crítica en los análisis de estabilidad, definiendo una zona de interacción entre el fenómeno y el elemento expuesto.

9.2.2.1 Tipo de Movimientos y Solicitaciones

Para el modelo de vulnerabilidad es necesario establecer, las caídas de rocas, los hundimientos y los deslizamientos rotacionales y traslacionales como los eventos generadores de daño, para los cuales, en cada zona geotécnica o condición local, de manera cualitativa, se define su área de afectación. Para ello, se tiene en cuenta la magnitud del evento, la morfometría del frente de viaje del movimiento y su influencia en el retroceso de la corona del movimiento.

Para el Barrio Mirador de Marrocos, se definieron tres tipos de solicitaciones:

- Desplazamientos verticales – DV.
- Empujes o presión lateral – E.
- Impactos – I.

Los desplazamientos verticales son experimentados por los elementos localizados sobre la corona de los deslizamientos y su posible área de retroceso; su valoración se hace a partir de la dinámica de los movimientos, que para este caso específico se considera que se desencadenarían de manera súbita y rápida. Este tipo de solicitación principalmente se asocian en el barrio a los predios localizados en las coronas de los escarpes mineros y su nivel de afectación o daño es alto.

Los empujes o presiones laterales se presentan en las viviendas ubicadas en los cortes realizados debido a las altas pendientes del terreno y a las áreas de canteras anteriormente explotadas. Estas solicitaciones son experimentadas por los elementos que se encuentran al frente de la masa en movimiento sobre la dirección de avance; su

magnitud se establece con criterios geométricos en función de la relación entre la altura de la acumulación del material movido y la del elemento expuesto, sobre la base de tres niveles:

Alta Altura de acumulación mayor a los 2/3 de la altura del elemento.

Media Altura de acumulación entre 1/3 y 2/3 de la altura del elemento.

Baja Altura de acumulación menor a 1/3 de altura del elemento.

Los impactos se presentan en aquellas viviendas ubicadas en áreas cercanas a antiguos frentes de explotación de las canteras que no fueron debidamente estabilizados y que pueden generar caídas de rocas o desprendimientos súbitos de material rocoso. Por el tipo de viviendas que caracterizan la zona la capacidad de daño de este tipo de evento es alta por lo que en general se cualifican con un índice de daño 5.

9.2.2.2 Calificación de los Daños

La calificación de los daños se realiza generando una matriz que permite adelantar la asignación de los índices correspondientes en función de la tipología de las viviendas y el tipo de solicitación. La tipología de las viviendas representa la capacidad de asimilación de la estructura a solicitaciones impuestas por el fenómeno amenazante. Con estos criterios se define la siguiente matriz: (*Ver* ***Tabla No. 9.2***).

Tabla No.9.2 Matriz De Índices De Daños

	TIPOLOGIA					
SOLICITACION	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
Desplazamiento Vertical	5	5	5	5	5	5
Empujes	2	3	3	4	5	1
Impactos	3	4	5	5	5	1
Hundimiento – Desplazamiento vertical	5	5	5	5	5	5
No Solicitación						

Nota: Índice de daño asociado según la Tabla No. 9.1

La no asignación de daños, no solicitación, se le define a los predios o viviendas que no se encuentran expuestos a eventos generadores de daño que corresponden a la mayoría de los predios del barrio.

9.2.3 Evaluación de vulnerabilidad

Con base en la matriz de daños se establece el algoritmo de asignación en cada caso en particular, definiendo el índice de vulnerabilidad como el porcentaje de pérdida esperado, evaluado en función del valor inicial de la vivienda antes del evento y el valor final una vez que ocurre el daño, con base en el área construida de cada predio tomado como dato básico en el formulario de inventario.

Como variable discriminante en este proceso se introduce el área de afectación del predio por efectos de la solicitación, teniendo en cuenta que los procesos en su mayoría son de pequeña magnitud, el área de afectación resulta una variable que permite racionalizar el modelo de vulnerabilidad.

Adicionalmente se modifica la vulnerabilidad obtenida por el índice de vulnerabilidad social establecido para cada uno de los predios como una manera de evaluar el efecto social de manera discriminada e individual en cada caso. Los resultados se muestran en el Anexo de Vulnerabilidad donde se presentan de manera tabulada los resultados del modelo aplicado.

Los intervalos de clasificación se establecen según la información contenida en la ***Tabla No. 9.3.***

Tabla No. 9.3 Categorización Niveles De Vulnerabilidad

NIVELES	VULNERABILIDAD
MB Muy Bajo	MB < 0.1
B Bajo	0.1 <= B < 0.3
M Medio	0.3 <= M < 0.6
A Alto	0.6 <= A < 0.8
MA Muy Alto	MA >= 0.8

Tomada de UPES / INGEOCIM, 1998

La representación de estos resultados sobre la base cartográfica se presenta en el ***Plano 5***, empleando el criterio semáforo, esto es:

Tono rojo Niveles de vulnerabilidad alto
Tono amarillo Niveles de vulnerabilidad medio.
Tono verde Niveles de vulnerabilidad bajo

Las viviendas sin color representan que no están expuestas a ningún proceso de fenómeno de remoción en masa, por lo tanto no son vulnerables a estos eventos.

En general las zonas de alta vulnerabilidad se concentran con las viviendas o predios que presentan un alto grado de exposición y se asocian directamente con la actividad minera. Localmente las áreas de cortes pueden generar altos grados de vulnerabilidad por exposición pero la intensidad de daños de los eventos es baja por lo que los posibles eventos no pueden generar energías cinéticas altas, traduciéndose en solicitaciones por empujes y no de impactos, de menor poder de daño.

Los predios con una vulnerabilidad baja a muy baja se concentran en la parte baja contra los antiguos valles de los drenajes rellenados y que hoy se encuentra parcialmente construida.

9.1. EVALUACION DE RIESGO

Una vez definida la amenaza en términos de probabilidad de ocurrencia y establecidos los índices de vulnerabilidad en términos de costo de daño, el riesgo por fenómenos de remoción en masa en términos de costo esperado de falla se define como el producto de la amenaza por la vulnerabilidad *(Ver **Plano 6***).

Adicionalmente se establece un índice de riesgo **IR** definido como el porcentaje de daño esperado, el cual permite establecer intervalos de riesgo para su espacialización y representación cartográfica.

La categorización de los niveles de riesgo se realiza según la ***Tabla No 9.4***, la cual se estableció en el estudio de riesgo por fenómenos de remoción en masa para Bogotá a escala 1:5.000, y que sirve como línea base para los demás estudios que se adelanten en la ciudad y permita establecer un nivel de referencia para la gestión de riesgos.

Tabla No. 9.4 Categorización Niveles De Riesgo

NIVELES	INDICE DE RIESGO
MB Muy Bajo	MB < 0.01
B Bajo	0.01 <= B < 0.10
M Medio	0.10 <= M < 0.30
A Alto	0.30 <= A < 0.50
MA Muy Alto	MA >= 0,50

Tomada de UPES / INGEOCIM, 1998

El mapa de riesgo actual por fenómenos de remoción en masa muestra como zonas de riesgo alto y medio el área de influencia de la explotación minera.

Los predios de alto y muy alto riesgo se localizan en los frentes de explotación de materiales tanto en la corona como en los patios de los mismos. Los niveles de riesgo se asocian por la falta de manejo técnico en el abandono de la actividad de los cortes mineros y del entorno mismo, amplificando la problemática por la disposición incontrolada de desechos de construcción y basuras sobre los taludes y áreas aledañas a los mismos cortes mineros.

CONTENIDO

CAPITULO 10.

MEDIDAS DE PREVENCION Y MITIGACION DEL RIESGO

10. INTRODUCCION 1

10.1 ANALISIS Y CONSIDERACIONES GENERALES 1

10.2 PLAN GENERAL DE ACCIONES 2

10.2.1 Medidas de mitigación – no estructurales 2

10.2.2 Medidas de prevención - estructurales 3

10.3 PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN. 4

10.3.1 Restricción del uso del suelo. 5

10.3.2 Reubicación de viviendas y compra de predios. 6

10.3.3 Áreas a establecer construcción de obras de prevencion y mitigación de riesgo por FRM. 6

10.3.4 Consolidación urbana 7

10.4 PLANTEAMIENTO Y ANALISIS DE ALTERNATIVAS 7

CAPITULO 10

MEDIDAS DE PREVENCION Y MITIGACION DEL RIESGO

10. INTRODUCCION

Con los diferentes factores y elementos que se evaluaron en la determinación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa en el barrio Mirador de Marrocos, especialmente con el conocimiento adquirido de cada uno de los procesos degradacionales y del grado de inestabilidad de las laderas que conforman el barrio, se plantean las diferentes alternativas de prevención, mitigación y control. Entre los parámetros más importantes que se tienen presentes en el planteamiento de las acciones y de las obras de mitigación estuvo la funcionalidad de las mismas frente al desarrollo social sostenible, la factibilidad de la medida mitigante y la relación costo/beneficio.

Otro aspecto que redunda en el planteamiento de mejoramiento de las condiciones de habitabilidad a partir de las áreas de restricción de uso por inestabilidad del terreno, es el aspecto ambiental. Este cambio de uso busca mitigar los efectos negativos al que han estado expuestos los habitantes del sector por la actividad minera y el inadecuado planeamiento y desarrollo urbano con que se ha venido construyendo el barrio.

10.1 ANALISIS Y CONSIDERACIONES GENERALES

La evaluación de la Amenaza y Riesgo actual en el área estudiada permite concluir que la problemática de riesgo ha sido generada por la alta intervención del hombre sobre el medio físico. En general, la condición natural de estabilidad de las laderas que conforman el sector es de ser estables y los procesos naturales se asocian a erosión intensa. Las zonas inestables están asociadas principalmente a dos actividades antrópicas: los cortes mineros producto de la explotación de materiales a cielo abierto y las áreas conformadas con depósitos de rellenos en materiales tipo estéril, desechos de construcción y basuras, conformados sin un control técnico adecuado.

La alteración de la red de drenaje natural mediante el relleno de sus valles, desapareciendo la red natural, además del deterioro ambiental, han generado o intensificado los procesos de escorrentía que se concentran en las vías. La capacidad erosiva se ve maximizada por las altas pendientes de las calles y de los taludes mineros expuestos. La interrupción de las zonas bajas por rellenos o por viviendas posibilita la concentración de aguas localmente, produciendo problemas de humedad a las viviendas y aumentando el contenido de humedad de los materiales superficiales.

La baja consolidación urbana y el poco desarrollo urbanístico al costado occidental del área, con la ausencia de manejo de las aguas de escorrentía, junto con el mal uso que la comunidad da a las áreas comunales del barrio (botadero de basuras, tapado de cunetas), configuran agentes aceleradores de los pequeños procesos de inestabilidad de

los depósitos fluviotorrenciales y de los rellenos y en ocasiones magnifican los eventos generadores de daño.

El costado oriental del área de estudio presenta una alta consolidación urbana, lo que ha mejorado las condiciones locales de estabilidad, definiendo el área como estable. Geomorfológicamente estas áreas se denominaron como ZUC.

Los procesos generadores de la amenaza por fenómenos de remoción en masa en el sector estudiado se caracterizan por ser superficiales y de pequeña magnitud; los eventos mayores se enmarcan en la parte alta del sector contra el barrio Zarazota. Zona que ha sido tratada mediante anclajes y hoy no se evidencian movimientos recientes del terreno.

Los mecanismos de falla de los depósitos son de carácter progresivo y de poca velocidad. Los procesos presentan bajo poder destructivo de acuerdo con las características de los mecanismos de falla, especialmente su baja energía potencial como se deduce de los eventos que ocasionaron las últimas emergencias en el barrio, los cuales se debieron a la alta vulnerabilidad de las viviendas afectadas.

El riesgo asociado a los eventos amenazantes en las antiguas áreas de minería, se presenta por la alta exposición de las viviendas construidas, bien sea en la base de los taludes (muy próximas al pie del talud), o sobre el escarpe de los taludes de corte, sin haber dejado el aislamiento mínimo necesario como franja de seguridad.

10.2 PLAN GENERAL DE ACCIONES

El plan de acciones establece las medidas preventivas, correctivas y de mitigación que buscan en primera instancia, bajar al mínimo los niveles de amenaza y riesgo a que está expuesta la comunidad, bien sea controlando los procesos o anulando los niveles de exposición de las viviendas y, en segunda instancia, busca corregir las condiciones del entorno físico y ambiental que favorecen la ocurrencia de los procesos de inestabilidad.

Cada una de las medidas se debe convertir en planes y proyectos, los cuales en su conjunto se consideran esenciales para un manejo integral y sistemático de la problemática de riesgo actual del sector estudiado. En la medida en que los proyectos no sean llevados a cabo el problema se puede magnificar de tal forma que la población afectada podrá multiplicarse considerablemente.

El plan general de acciones se establece como escenario básico la restricción de uso por inestabilidad del terreno y a partir de este el planteamiento del mejoramiento del entorno urbano y ambiental del barrio Mirador de Marrocos.

10.2.1 Medidas de mitigación – no estructurales

Dentro de este grupo se proponen las siguientes acciones:

Restricción del uso del suelo: Se refiere a la restricción de uso del suelo que se debe aplicar en las áreas no urbanizadas aún y en los predios y áreas donde se debe adelantar

programas de reubicación de familias porque se localizan en zonas de alta amenaza y en áreas de restricción geomorfológica.

Las zonas de restricción de uso para vivienda se definen como zonas comunales de uso recreativo para el beneficio de toda la comunidad del Barrio Mirador de Marrocos y Barrios vecinos.

Reubicación de familias: Comprende la reubicación de las familias y adquisición de predios que se localizan en áreas de alta amenaza o alto riesgo.

Esta acción debe ser complementada con el cambio de uso del suelo por las restricciones enunciadas en el numeral anterior.

Obras de protección y control: Este grupo de medidas busca la consolidación urbana, mediante obras en el ámbito de infraestructura, como la conformación de las vías de acceso y el manejo de aguas de escorrentía a lo largo del sistema vial, el control de erosión y reforestación de las áreas aledañas.

Dentro de este grupo se presenta la necesidad de implementar a la mayor brevedad el sistema de alcantarillado de aguas lluvias en el costado occidental del área. Igualmente la inversión en pavimentos locales a nivel de vías de acceso y vías peatonales.

Definición de zonas de aislamiento: Esta acción esta encaminada a establecer dentro del barrio las áreas que por su localización geográfica limitan con las zonas degradadas por la minería, corresponden a los frentes mineros abandonados y a las áreas que hacen parte del valle de los cursos de agua que han sido rellenados.

Información pública: Esta actividad busca suministrar mediante campañas educativas la información y capacitación necesaria para mejorar la actitud de la comunidad frente a su medio físico, su entorno habitacional y ambiental.

10.2.2 Medidas de prevención - estructurales

Este tipo de medidas tienden a mejorar las condiciones de estabilidad del sector disminuyendo en forma directa el riesgo y modificando las características de los eventos amenazantes o las características de los elementos expuestos.

En el Barrio Mirador de Marrocos los eventos amenazantes como deslizamientos y caídas de rocas se caracterizan por tener un área de afectación reducida y enmarcada a las áreas inmediatamente adyacentes, es por ello que las medidas de mitigación planteadas, factibles de adelantar en el barrio, son esencialmente obras físicas de intervención y control de los fenómenos de remoción en masa. Dichas medidas pueden explicarse de la siguiente manera:

I. Control de Erosión

- Obras para el control de la escorrentía Superficial.
- Conducción de aguas de escorrentía superficial.

- Protección superficies del talud con revestimientos
- Recuperación de cobertura vegetal.

II. Estabilización

- Retiro de masas pequeñas inestables.
- Construcción de obras de drenaje superficial.
- Estabilización mediante estructuras de contención sencillas.
- Confinamiento de los taludes rocosos expuestos por la actividad minera.

Es evidente que la puesta en marcha y la ejecución de este esquema de medidas de prevención y mitigación debe ser compartida por las diferentes entidades del orden Distrital además del DPAE y naturalmente, como actor principal, la comunidad interesada. Dentro de este contexto se establecen niveles de responsabilidad para la ejecución de las medidas planteadas. En la ***Tabla No. 10.1*** se presenta una matriz en la que a cada proyecto se le asigna los responsables directos e indirectos y su nivel de injerencia. Esta matriz ha sido, igualmente, la base para que esta consultoría haya definido los proyectos y planes que podrían ser atendidos por la DPAE y planes que deben ser ejecutados por otras entidades o en forma conjunta entre ellas o con la misma DPAE.

Como se puede apreciar a nivel de proyectos, aquellos que involucran la ejecución de obras físicas de mitigación, son: el control y conducción de la escorrentía superficial y la estabilización de los sitios críticos. Mientras a nivel de acciones la principal actividad que se presenta es la reubicación de familias y definición de nuevos usos a las áreas con restricciones de uso.

10.3 PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN.

Como planteamiento de medidas se presenta una propuesta esquemática de manejo urbanístico del barrio desde la perspectiva de la prevención y mitigación del riesgo a que esta sometida la comunidad del barrio Mirador de Marrocos, los cuales implícitamente llevan las acciones y/o obras que mejoran las condiciones de inestabilidad del área.

Con base en el plan general de acciones presentado se ha generado una propuesta de manejo integral de la problemática del riesgo que involucra el mejoramiento de los espacios urbanos del barrio, la recuperación ambiental del sector y la construcción de las obras de infraestructura que redunden en beneficio de la estabilidad del área y por supuesto de la mejora de la calidad de vida de la comunidad. Cabe resaltar que el barrio y sus vecindades no cuentan con áreas de uso recreativo para la comunidad .

La propuesta urbanística contempla (ver Plano 9):

A) La conformación de áreas de recreación pasiva, haciendo énfasis en los jóvenes y niños en la parte alta del sector donde se encuentra altamente influenciado por la inestabilidad de los cortes mineros y se requirió de la estabilización mediante anclajes. Este

sector presenta una amenaza media a baja y actualmente se utiliza como zona de disposición de escombros.

La conformación del área debe buscar por una parte la estabilidad de los frentes mineros y por la otra, se generan características geométricas propias para el uso recreativo, evitando así futuras invasiones o ocupación para uso de vivienda.

B) La definición de un corredor peatonal que trascurra de la parte baja a la parte alta del sector definiendo el área de aislamiento que debe existir entre el talud minero y el patio del mismo, con el tratamiento y/o la estabilización de los taludes de corte y rellenos que se encuentran a lo largo del mismo. Este corredor conectaría el parque infantil localizado en la parte baja con la zona de recreación pasiva propuesta para la parte alta.

El planteamiento urbanístico del corredor requiere un diseño detallado donde además del urbanismo se involucre la estabilidad de los rellenos y cortes actuales y proyectados con su correspondiente manejo de las aguas de escorrentía.

D) Como base del manejo urbanístico se debe adelantar la implementación total de la red de alcantarillado de agua servidas y de la red de manejo de aguas lluvias y de escorrentía en la totalidad del sector. Junto a este manejo se debe adelantar un programa de pavimentos locales.

Es de anotar que todos los predios localizados en la zona de estudio corresponden a predios privados y puesto que la propuesta urbanística considera la utilización de algunos de estos para su implementación, se requiere adelantar acciones jurídicas para comprar o desapropiar los predios que se compromenten en la propuesta.

Para la implementación de propuesta de manejo urbanístico se requiere realizar las siguientes acciones:

10.3.1 Restricción del uso del suelo.

La restricción del uso busca que el uso del suelo para vivienda sea limitado en el barrio en beneficio de la estabilidad física y ambiental del sector y cuya responsabilidad principal recae en el DPAE. El uso recomendado para estas áreas es de zonas verdes y de recreación, y han sido restringidas no sólo por el grado de amenaza y riesgo establecido, sino por su importancia en el establecimiento de la estructura urbanística del barrio.

Estas restricciones de uso para vivienda son diferenciadas según el riesgo existente o potencial y pueden definir con diferentes criterios a saber:

- Zonas de restricción de uso por estabilidad
- Zonas de restricción de uso por zonas mineras.
- Zonas de restricción de uso por pendientes.

La restricción por estabilidad está asociada a las zonas de actividad minera, bien sea en los frentes mineros abandonados o en las zonas límites del barrio que fueron afectados por esta actividad.

La restricción por zonas mineras se asocia a las áreas donde la actividad minera generó rellenos con material estéril y escombros, inclusive en las áreas donde se construyeron reservorios de agua para el laboreo minero.

Localmente se definen zonas de restricción de uso para vivienda por las altas pendientes de las laderas intervenidas localizadas en la parte alta contra la urbanización Zarazota. Aunque estos taludes fueron estabilizados y hoy presentan una condición estable, su intervención inadecuada, mediante cortes técnicamente mal construido o rellenos mal conformados, generan frentes de inestabilidad y por consiguiente riesgo para la comunidad de la urbanización Zarazota. Si se requiere dar uso urbanístico a esta zona se tendrá que adelantar un estudio de riesgo según el Artículo 2 de la Resolución 364 de octubre de 2000.

La intervención técnica para la construcción de viviendas en dichos sectores involucra recursos que se salen del alcance de la capacidad adquisitiva del habitante común del barrio, por tal razón y en mira de establecer medidas de prevención y mitigación del riesgo se recomienda clasificar dichas zonas como de uso restrictivo para vivienda.

10.3.2 Reubicación de viviendas y compra de predios.

La compra de predios se contempla para las áreas que presentan una influencia directa por los eventos amenazantes. Dichos predios presentan niveles de amenaza alta y alta vulnerabilidad por exposición.

Localmente se presentan propuestas de reubicación de viviendas especialmente para consolidar el manejo urbano del barrio, aunque estas viviendas no presenten niveles de riesgo alto o medio.

10.3.3 Áreas a establecer construcción de obras de prevencion y mitigación de riesgo por FRM.

Estas áreas se ubican principalmente en las zonas de minería que dejaron cortes inestables con categoría de amenaza alta y donde la condición de vulnerabilidad se ha manifestado mediante la construcción de las viviendas muy cerca o contra el talud.

Para las zonas mineras de explotación que no se encuentran urbanizadas que presentan una degradación continua del medio, se plantea la necesidad de definir diseños detallados de obras de recuperación morfológica y de estabilización de los cortes mineros como planes de manejo ambiental para su recuperación paisajística cuyo fin sea el control de procesos y mitigación de las amenazas y riesgos asociados, dentro del esquema de la restauración morfológica de áreas degradadas por minería establecido por el Dama.

Las obras planteadas contemplan entre otras, actividades de:

- Perfilado y corte de taludes.
- Construcción de obras de drenaje.
- Construcción de obras de estabilización de cortes o llenos.

- Recuperación y adecuación paisajística del área.

Como obras complementarias corresponden a las obras de equipamiento urbano y paisajístico necesario para la adecuación de la zona de aislamiento que debe existir entre el talud y los predios, y a las obras hidráulicas.

10.3.4 Consolidación urbana

El plan de obras de prevención y control contempla acciones tendientes a consolidar el barrio como un área residencial con los servicios mínimos requeridos y el establecimiento de unas normas, también mínimas, que permitan un ordenamiento urbanístico tendiente a erradicar los agentes físicos de riesgo, permitiendo la regularización del barrio dentro de los parámetros exigidos por la oficina de Planeación Distrital, la preservación del entorno y la mejor convivencia ciudadana.

A continuación se relacionan las obras y medidas que cumplen los objetivos expuestos:

- Construcción de la vía de acceso y pavimentos locales, cuya implementación mejorará la conducción de las aguas superficiales y de infiltración, disminuyendo de esta forma, el aporte de agua a las zonas inestables. En la realización de esta obra el IDU tiene una mayor injerencia dentro de su Programa de Pavimentos Locales.
- La construcción de la red de alcantarillado de aguas lluvias en el costado occidental del área, la cual disminuiría o eliminaría las descargas inadecuadas a la redes de drenaje natural, mejorando la condición ambiental del barrio.
- La implementación del sistema de drenaje de las aguas de escorrentía.
- Establecimiento de campañas educativas participativas que lleven a la comunidad a entender y apropiar los conceptos de:

    1) El nivel de riesgo a que están expuestos, especialmente en las áreas de afectación por las explotaciones mineras.
    2) Identificación de agentes detonantes y cómo debe ser el comportamiento frente a los mismos.
    3) Beneficios de las obras recomendadas para la mitigación del riesgo y cómo debe ser la construcción y el mantenimiento de las mismas.
    4) Manejo ambiental y mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes.

Estas campañas deben ser realizadas por la DPAE a través del CLE correspondiente, mediante charlas, talleres participativos y/o cartillas de fácil entendimiento y divulgación.

10.4 PLANTEAMIENTO Y ANALISIS DE ALTERNATIVAS

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 sólo se tienen en cuenta las obras que buscan estabilizar los movimientos o disminuir la vulnerabilidad actual.

Para éste ejercicio la consultoría se apoyó en la técnica de los árboles de decisión. Estos permiten establecer un análisis beneficio/costo de las diferentes alternativas y con base en los resultados obtenidos, se puede definir o recomendar la línea de acción que debe entrar a seguir la DPAE. Lo anterior no significa que se deje de lado en la toma de decisiones, los aspectos sociales como elementos básicos de la función pública.

El numeral correspondiente a las obras planteadas para la consolidación urbana se considera básico para el manejo integral del problema, pero no se tiene en cuenta como variable decisoria, ya que la responsabilidad principal no recae en la DPAE. Además, entran en el juego entidades como el IDU, Juntas de Acción Local (JAL) y los Fondos de Desarrollo Local (FDL).

Para establecer los criterios de decisión se realizó un análisis prospectivo comparativo entre la condición actual y escenarios con la implementación de obras y reubicación de viviendas, y se compararon los riesgos asumidos en términos de los costos de cada alternativa. Para hacer el análisis comparativo se empleo la misma subdivisión empleada para la definición de las obras, Zona I , parte baja de la zona de estudio, Zona II parte media de la zona de estudio, y Zona III parte alta del área de estudio, en los planos de obras pueden distinguirse estas zonas.

Para la Zona I se plantearon las siguientes hipótesis:

H_1 Condición actual.
H_2 Compra de predios.
H_3 Muro en gaviones.

Las hipótesis planteadas para la Zona II son:

H_1 Condición actual.
H_2 Compra de predios.
H_3 Corte de taludes.

Para la zona III no se plantean hipótesis, sino alternativas de solución, que consisten en el empleo de muro en llantas o de muro en gaviones, ambas como sistemas de control de erosión.

Para la condición actual se cuenta con los resultados obtenidos en los numerales de amenaza, vulnerabilidad y riesgo. Para la condición de compra de predios se mantiene la amenaza obtenida bajo la situación actual y se recalcula el índice de daño contemplando el tipo de edificación como tipo F (Lotes) y se considera como costo inicial el costo del lote, con lo que se obtiene un costo de daño asociado a la nueva condición. Para la condición con obras se modifica la probabilidad de falla según los análisis de estabilidad con obras y la **Figura 8.2** de Probabilidad de falla contra Factor de seguridad, lo cual modifica el costo de daño con la reducción de la probabilidad de falla.

En la Zona III el tratamiento de la zona corresponde más a un tratamiento de control de erosión que a obras de estabilización por lo que no se incluye esta en el análisis del árbol de decisión.

CAPÍTULO 11

ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN

11 INTRODUCCIÓN 1
11.1 ANÁLISIS Y CONSIDERACIONES GENERALES 1
11.1.1 Consideraciones técnicas 1
11.1.2 Consideraciones ambientales 1
11.1.3 Consideraciones urbanísticas 1
11.2 CRITERIOS DE DECISIÓN 2
11.2.1 Criterios técnicos 2
11.2.2 Criterios ambientales 3
11.2.3 Criterios urbanísticos 4
11.2.4 Criterios sociales 4
11.2.5 Criterios económicos 4
11.3 PLANTEAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE MANEJO 5
11.3.1 Primera alternativa: Situación actual (H_1) 5
11.3.2 Segunda alternativa: Compra de predios (H_2) 5
11.3.3 Tercera alternativa: Tratamiento de los taludes (H_3) 5
11.3.4 Evaluación de las alternativas 6
11.4 PLAN GENERAL DE ACCIONES 7
11.4.1 Medidas de mitigación 7
11.4.2 Medidas de corrección 8
11.4.3 Medidas complementarias 8
11.5 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS 8

ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN

CAPÍTULO 11

11 INTRODUCCIÓN

Con base en los análisis geotécnicos adelantados y teniendo en cuenta la necesidad de proteger las viviendas adyacentes a los taludes evaluados ante la ocurrencia de movimientos del terreno se plantearon las diferentes alternativas de mitigación y protección.

Entre los parámetros más importantes que se tuvieron presentes en la escogencia de las obras y medidas de mitigación se encuentra la generación de zonas de aislamiento entre los taludes y las viviendas, la funcionalidad de las obras propuestas para prevenir la ocurrencia de algún tipo de fenómeno de remoción en masa.

Para la definición de las obras de mitigación, se subdividió el área de estudio en tres Zonas, la Zona I que corresponde a la parte baja de la zona de estudio, comprendiendo el depósito fluviotorrencial (Qfg) y el depósito de relleno (Qre), la Zona II que comprende los taludes escarpados en roca y los rellenos en la parte media del área de estudio, y la Zona III que cubre el área Sur de la Urbanización Zarazota.

11.1 ANÁLISIS Y CONSIDERACIONES GENERALES

11.1.1 Consideraciones técnicas

El barrio Mirador de Marrocos en el área de estudio corresponde a un antiguo frente de explotación minera para fabricación de tejas y ladrillos; esta actividad produjo el desconfinamiento de taludes, la generación de depósitos de relleno, la pérdida de la cobertura vegetal con la consecuente erosión y meteorización sobre los taludes expuestos a los agentes atmosféricos, principalmente agua y vientos. La degradación de los taludes, sumado a sus altos ángulos y al proceso de urbanización de la zona con deficiencias en el sistema de drenaje y los corte para la implantación de las viviendas ha generado los problemas de inestabilidad que se presentan hoy en la zona.

11.1.2 Consideraciones ambientales

El deterioro ambiental de la zona es notorio por la escasez de cobertura vegetal de la zona y los intensos procesos de erosión hídrica y eólica, lo anterior impone un contraste entre la zona urbana y la zona de utilización minera, implicando una degradación en la calidad de vida de los habitantes del sector de los barrios aledaños a la zona de estudio.

11.1.3 Consideraciones urbanísticas

Las vías internas de la zona de estudio son principalmente vías sin pavimentar y senderos que no presentan un buen grado de integración entre ellas. Las zonas de recreación son reducidas y están destinadas básicamente a la población infantil, sin contar con espacios de encuentro para gran parte de la comunidad que habita la zona. Las condiciones del alcantarillado de la zona no son las mejores, puesto que en época de invierno las calles y

casas se inundan, esto ocasionado por el taponamiento de las alcantarillas con el aporte de sedimentos de la parte alta de la zona.

Según la información de Catastro Distrital, el barrio Mirador de Marrocos en la parte actualmente no urbanizada, define los lotes vacíos como predios privados.

11.2 CRITERIOS DE DECISIÓN

La definición de la solución de manejo de los problemas de estabilidad dentro de la zona de estudio, se ha determinado de forma integral para lo cual se realiza un análisis multivariado en los que se han integrado criterios técnicos, ambientales, urbanísticos, sociales y económicos.

A continuación se presentan la definición de los criterios utilizados para la evaluación de las alternativas de manejo de la problemática como tal, la cual se desarrolla en el numeral 11.3 del presente documento.

11.2.1 Criterios técnicos

Una vez establecidas las causas asociadas a los problemas de inestabilidad, se busca establecer las mejores adecuaciones e intervenciones del área y de los diseños de la obra civil de estabilización.

Evaluación de estabilidad

Zona I

En esta zona los procesos de inestabilidad generados son principalmente la caída de rocas debido a la por la pérdida del material rocoso meteorizado en el que están embebidos los bloques de roca, y fallas rotacionales y/o traslacionales superficiales. Para controlar estos procesos se propone disponer un muro de gaviones que cumpla la doble función de confinar la pata del talud reconformado, el cual a su vez sirve de protección contra erosión reduciendo la posibilidad de falla del depósito (Qfg), y servir como elemento que defina la franja de aislamiento que se plantea en la zona. La solución planteada contempla la implantación de sistemas de drenaje superficial y subsuperficial y recubrimiento del talud con vegetación ornamental generando franjas.

La otra alternativa planteada para esta zona es la compra de predios de la parte alta y baja de la zona, los cuales se encuentran en un nivel de riesgo medio.

Zona II

En los taludes escapados en roca, se propone reducir el ángulo de los taludes a ángulos de 60 grados para los más empinados y de 45 grados para los taludes de roca meteorizada; en el parqueadero se propone eliminar la elevación en roca que existe actualmente. En los depósitos de relleno se propone retirar el material depositado y/o reducir el ángulo de los taludes.

Para manejar el drenaje superficial se localizan cunetas en la base de los taludes reconformados. Los recubrimientos de los taludes diseñados que se encuentran en zona privada se proponen en cespedón, debido a que se posible que se construya en estos predios en un futuro cercano. Para los taludes más empinados en roca, se propone que

el recubrimiento de la zona sea en celdas en madera puesto que estos taludes pueden ser más permanentes.

En la alternativa de compra de predios se propone comprar el predio que se encuentra en alto riesgo.

Zona III

Las alternativas planteadas en esta zona consisten en medidas de contención para los depósitos de relleno de la parte Occidental de la zona mediante la implantación de trinchos en madera, y retiro del depósito de relleno de la parte Oriental. Para los taludes en roca se propone implementar obras que sirvan de control ante la erosión como son los tinchos en madera, los muros en llantas y/o los gaviones, incorporando filtros en la base en el contacto arenisca arcillolita. En el área de baja pendiente, donde queda expuesta la roca, se propone revestir el talud con fajinas en guadua, que sirvan como disipador de la energía erosiva del agua y como cortacorrientes que dirijan el agua hacia las cunetas laterales. En la zona de los anclajes se propone un programa de monitoreo del talud, que considere el retensionamiento de los anclajes cuando sea necesario.

Las alternativas de contención y control planteadas deben adicionalmente detener los procesos de inestabilidad, garantizar la estabilidad en el tiempo. Esto implica que el mantenimiento de las obras planteadas debe ser mínimo en el tiempo; en este sentido, para la evaluación de las alternativas, se define la alternativa altamente favorable (3) si se garantiza estabilidad en el tiempo y la alternativa poco favorable (1) si requiere un mayor mantenimiento en el tiempo.

Desde el punto de vista técnico las alternativas deben buscar compensar el material excavado con el material de relleno de las obras; en general se busca retirar los depósitos de rellenos antrópicos dispuestos en forma antitécnica.

11.2.2 Criterios ambientales

Mitigación de los procesos de degradación

El impacto ambiental general de la medida de estabilización o mitigación propuesta está dado en función de la utilidad ambiental general de la obra. Es así como su calificación se ha determinado en:

Altamente Favorable: Si la implementación de la alternativa conlleva eficazmente en la detención de los procesos de inestabilidad y mejoramiento del entorno (3)

Favorable: Cumple de forma limitada con el propósito de conservación ambiental del sector (2)

Poco favorable: No ayuda a la sostenibilidad ambiental de sector. (1)

Cambios morfométricos

Altamente Favorable: Las obras presentan una forma adaptable al terreno procurando rehabilitar al máximo la morfometría natural de la ladera (3)

Favorable: Las obras propuestas se adaptan medianamente a la forma del terreno cumpliendo con la funcionalidad técnica propuesta (2)

Poco favorable: Cumple técnicamente pero su morfología rompe el esquema morfométrico del área (1)

Cambios paisajísticos

Altamente Favorable: Corresponde a la obra que se adapta mejor tanto por escena color, rugosidad, forma.

Favorable: Aunque cumple técnicamente su adaptabilidad paisajística es menor (2)

Poco Favorable: Cumple técnicamente pero su presentación paisajística (escena, color rugosidad) rompe el esquema natural del área (1)

11.2.3 Criterios urbanísticos

Geometría

Muy Favorable: Corresponde a la alternativa que técnicamente es funcional para la solución del problema y se aprovecha para mejorar el espacio urbano del sector. (3)

Favorable: Estabiliza el talud y permite la conservación de las actuales condiciones de la vía y no se mejora el espacio urbano. (2)

Poco Favorable: Alternativa que permite la solución de estabilidad pero no da opción al mejoramiento del área. (1)

11.2.4 Criterios sociales

Tránsito Peatonal y vehicular: El contar con acceso de buenas características en condiciones seguras se califica con (3) y disminuye según la oportunidad de transito aportada por la vía, (2), (1).

Riesgo Comunidad: Hace referencia al soporte que la obra de mitigación puede suministrar a las viviendas adyacentes al talud. En este sentido la alternativa que ofrece mejores condiciones de disminución en el riesgo sobre la comunidad tendrá el mayor puntaje y disminuirá en las alternativas menos eficaces en este sentido.

11.2.5 Criterios económicos

Costo de la Obra: Entendiéndose este como el costo que representaría la construcción de las obras de estabilización.

Costo de mantenimiento (en función de la periodicidad): visto desde que tan frecuentes serian los mantenimientos para el correcto funcionamiento de las obras construidas.

Costo del riesgo (en función de la probabilidad de falla)

Una vez definidos los criterios arriba presentados se ha procedido a la calificación de cada una de las alternativas de solución utilizando una matriz en la que se ha otorgado valores de favorabilidad así:

Tabla 11.1 Valores de Favorabilidad

Calificación	Puntaje
Altamente Favorable	3
Favorable	2
Poco Favorable	1

11.3 PLANTEAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE MANEJO

11.3.1 Primera alternativa: Situación actual (H_1)

Esta alternativa consiste no realizar acciones para mitigar el riesgo de la zona, y dejar los taludes y zonas como están actualmente.

La condición actual se caracteriza por presentar un Índice de Vulnerabilidad promedio Iv=0.23 y un Índice de Riesgo máximo de 0.34.

11.3.2 Segunda alternativa: Compra de predios (H_2)

Esta alternativa busca la mitigación mediante la reubicación de familias y demolición de construcciones que se encuentran en niveles de riesgo alto a medio, para reducirlo a niveles aceptables, sin recurrir a un masivo programa de reubicación. Esta solución aplica solo para las Zonas I y II.

Para la Zona I se plantea la adquisición de los predios que se encuentran en la corona y en la base del depósito fluviotorrencial; para la zona II solo se considera la adqusición del predio 16 de la Manzana 07, que se encuentra en alto riesgo y es muy vulnerable física y socialmente.

Esta solución tiene el inconveniente de que al no eliminar la amenaza y dadas las condiciones de exposición de los taludes, la meteorización progresiva de estos puede ocasionar mayores perjuicios a la comunidad.

11.3.3 Tercera alternativa: Tratamiento de los taludes (H_3)

Muro de gravedad en gaviones.

Esta alternativa consiste en la construcción de un muro de contención en la base del escarpe, con un relleno conformado por material de sitio seleccionado y compactado en las Zonas I y III.

En la Zona I el muro de gravedad tiene como función estabilizar el escarpe y protegerlo contra los agentes atmosféricos para reducir su tasa de meteorización, en la Zona III la alternativa de los gaviones funciona como una medida de protección contra erosión. El muro en gaviones esta conformado por 3 niveles, el primer nivel empotrado de 50 cm a 1 m en el depósito de relleno (Qm), en la parte superior del gavión se rellena con material de sitio seleccionado y compactado, formando ángulos con la horizontal que varían de 40 a 45 grados.

En la Zona III el muro en gaviones es de tres niveles, empotrado 50 cm en arenisca, con un relleno que forma 45 grados con la horizontal, esta alternativa se considera para la parte más escarpada de la zona, en el área aledaña a donde actualmente esta en voladizo el puente peatonal.

Muro en llantas

Esta alternativa contempla la construcción de un muro de llantas para protección contra erosión a lo largo de todo el talud superior en la Zona III. En niveles de 6 filas de llantas, formado ángulos de 45 grados con la horizontal y con trinchos en la parte superior del muro que sirvan como anclaje para las llantas. Como mejora paisajística de la zona se propone que se siembre vegetación en los escalones formados en el muro generando algo similar a graderias.

11.3.4 Evaluación de las alternativas

Para las Zonas I y II el análisis de alternativas se realiza en el numeral 11.5 a partir del árbol de decisión y teniendo en cuenta las consideraciones técnicas, ambientales, económicas, urbanísticas y sociales descritas anteriormente. Para la Zona III se evalúan las alternativas de muro en llantas y muro en gaviones para la parte alta de la zona siguiendo la metodología presentada en el numeral 11.2 del presente documento. Según esta metodología se incluye el análisis de las características técnicas, las ventajas y debilidades ambientales de cada alternativa, los aspectos urbanísticos de acuerdo a la funcionalidad de acceso, y las implicaciones sociales incluida la disminución del riesgo por cada alternativa seleccionada. Ver **Tabla 11.2.**

.

Tabla 11.2 Evaluación de Alternativas

ALTERNATIVAS	Zona III	
	1	**2**
Criterios técnicos	3	3
Criterios ambientales	2	3
Criterios urbanísticos	1	1
Criterios sociales	1	1
Criterios económicos	2	3
Calificación	1.8	2,2

Siguiendo el criterio de definición de alternativas seleccionado, se ha determinado que la alternativa más favorable es la **alternativa 2 para la Zona III,** es decir, el muro en llantas.

Técnica:

Ambas alternativas mejoran las condiciones de estabilidad de la ladera.

Ambiental:

Desde el punto de vista ambiental, ambas alternativas cumplen con el objetivo global de mitigar los procesos de degradación ya que aunque son de diferente naturaleza permiten el reestablecimiento de la estabilidad.

La alternativa 2 en la zona III tiene la ventaja de permitir generar terrazas de vegetación que contribuyen con el mejoramiento del aspecto visual de la zona.

Urbanística

Este criterio no se ve significativamente afectado por las obras.

Social

Desde el punto de vista de riesgos de afectación a la comunidad, ambas alternativas ofrecen una estabilidad en el largo plazo, minimizan el grado de amenaza.

Económica

Costo obra

En cuanto a los costos de las alternativas propuestas la alternativa del muro en llantas representa un costo comparativo más económico que el muro en gaviones.

Mantenimiento

En general ambas alternativas presentan la misma necesidad de mantenimiento y especialmente de limpieza.

Costo del riesgo (Probabilidad de falla)

En este aspecto ambas alternativas presentan niveles de riesgo muy cercanos, debido a que la probabilidad de falla es similar.

11.4 PLAN GENERAL DE ACCIONES

El plan de acciones establece las medidas correctivas y de mitigación que buscan en primera instancia mejorar la estabilidad del talud y mitigar el riesgo que este representa tanto para la vía como para las viviendas localizadas en la base del talud fallado.

Este grupo de medidas busca la protección del sector mediante la implementación de las siguientes acciones:

11.4.1 Medidas de mitigación

Este tipo de medidas tiende a disminuir en forma directa la inestabilidad. Se establecieron como medidas de mitigación obras físicas de intervención y control de los mismos.

La principal medida es la construcción de un muro de contención en la base del talud del depósito fluvioglacial. Mejorando las condiciones de la masa pasiva y disminuyendo la pendiente del talud.

11.4.2 Medidas de corrección

Esta tipo de medidas involucra la recuperación de la cobertura del talud tratado utilizando vegetación acorde con la zona y que a su vez tendrá la función de trabajar como barreras vivas ante la erosión y arrastre de material por la escorrentía superficial de la parte alta del talud.

11.4.3 Medidas complementarias

Dentro de este grupo se plantean las siguientes:

1. Teniendo en cuenta que uno de los principales agentes detonantes de los problemas de inestabilidad es el agua, las soluciones expuestas deberán acompañarse con un adecuado manejo del agua de escorrentía sub superficial mediante la construcción de filtros, especialmente en la parte alta del talud y en la parte baja (Zonas I y Zona III).
2. Como medida complementaria se presenta la recuperación del espacio público mediante la construcción de un acceso peatonal de la parte baja a la parte alta del sector, obra que define un aislamiento físico frente al talud minero y mejora la calidad de vida de los habitantes del sector.

11.5 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Para efectuar el análisis de alternativas para las Zonas I y II, se estimaron en forma aproximada los costos y cantidades de obra de cada una de las alternativas de tratamiento consideradas.

Los predios considerados para compra en las Alternativas H_2 y H_3 para las Zonas I y II definidas en el capitulo 10, se relacionan en la siguiente tabla:

Tabla 11.3 Lista de predios para compra

Alternativa H_2 – Compra de predios				**Alternativa H_3 – Tratamiento de taludes**			
Zona I		**Zona II**		**Zona I**		**Zona II**	
MZ	Pd	MZ	Pd	MZ	Pd	MZ	Pd
03	10	07	16	03	10	-	-
22	01	-	-	05	05	-	-
22	02	-	-	05	06	-	-
22	05	-	-	05	07	-	-

El costo de daño obtenido para las diferentes hipótesis considera el costo de daño si se presentaran todos los tipos de falla analizados en el **Anexo de Evaluación de Vulnerabilidad y Riesgo**. Aunque no es factible que se presenten todos los casos al

tiempo, para fines comparativos resulta conveniente, debido a que se analizan las mismas variables en todas las alternativas y no es fácil asociar un solo tipo de falla a cada zona.

A partir de los árboles de decisión en términos de costo de riesgo asumido, se compararon la condición base o inicial con los 2 escenarios o alternativas de solución a la problemática de riesgos. Los resultados se presentan en las **Tablas 11.4 y 11.5**, y se describen a continuación:

Los datos obtenidos en el árbol de decisión indican que la condición de menor costo asumido o riesgo es la de no Intervención H_1, sin embargo esta solución no protege los elementos expuestos y no modifica la amenaza, con lo que la comunidad puede verse afectada por la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa mayorados con el tiempo por el deterioro del medio. Los criterios sociales, ambientales y urbanísticos tampoco se favorecen positivamente con esta medida.

La alternativa de compra de predios y reubicación de familias (H_2) en ambas Zonas resulta ser el de mayor costo asumido, aunque los costos de daños se reducen con respecto a la situación actual el costo de adquisición de predios resulta elevado con respecto a la realización de obras (H_3). Esta alternativa (H_2) implica que los taludes continúen degradándose y no representa una reducción en los niveles de amenaza, ni un beneficio significativo para los habitantes del barrio.

Las alternativas que consideran tratamiento de los taludes (H_3) y la compra de predios (H_2) en ambas zonas, representan una significativa reducción en los costos de daño con respecto a la situación actual (H_1), sin embargo la alternativa de corte de los taludes y muro en gaviones (H_3) tienen asociada una menor probabilidad de falla (2% y 5%) respectivamente con respecto a las primeras alternativas y representan un beneficio más general que el que se puede generar implementando las alternativas H_1 y H_2 a futuro.

A continuación se realiza una descripción de los beneficios de cada alternativa frente a diferentes criterios:

Técnica:

La única alternativa que mejora la estabilidad de la zona es la de tratamiento de los taludes.

Ambiental:

Desde el punto de vista ambiental, las alternativas H_1 y H_2 permiten que los taludes continúen degradándose, con la consecuente erosión y arrastre de sedimentos hacia los sistemas de drenaje, con lo que el beneficio ambiental proporcionado por estas alternativas es casi nulo.

El tratamiento de los taludes mitiga un poco los impactos ambientales sobre la zona, por cuanto mitiga la degradación de los mismos, pero no se elimina la posibilidad de arrastre de sedimentos para las zonas no tratadas.

Urbanística

El urbanismo de la zona no se ve afectado por las dos primeras alternativas por cuanto no tienen asociadas mejoras para el sector, la reubicación de predios puede tener un efecto positivo por cuanto sirve como medida de control para restricción de uso del suelo.

La alternativa de obras, principalmente la de gaviones plantea generar zonas de aislamiento que se conviertan en senderos lo que favorece la integración de la zona.

Social

La alternativa de obras reduce los niveles de amenaza y riesgo de la zona, reduciendo la probabilidad de falla casi un 20% respecto de la situación actual.

La reubicación de familias beneficia a quienes se les compra los predios, pero no se reducen los niveles de amenaza, convirtiéndose esta solución en una medida de mitigación particular.

Económico

La alternativa que genera un menor costo esperado es la de conservar las condiciones actuales (6 millones de pesos Zona II, 62 millones en la zona I), seguido de la ejecución de obras (48 millones Zona II y 150 millones en la zona III) , opción de compra de predios representa el mayor en ambas zonas, a pesar de que en la zona II solo se compra un predio.

CONTENIDO

CAPÍTULO 12

DISEÑO DETALLADO DE OBRAS

12.1 INTRODUCCIÓN 2
12.2 PLANTEAMIENTO DE OBRAS 2
12.3 DISEÑOS DE OBRAS 2
12.3.1 Diseño de obras de control de aguas sub superficiales 2
12.3.2 Diseño de obras de protección 3
12.3.3 Obras de contención y control de la erosión 3
12.3.4 Obras complementarias. 4
12.3.5 Diseño de obras de protección 4
12.4 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO 4

CAPÍTULO 12

DISEÑO DETALLADO DE OBRAS

12.1 INTRODUCCIÓN

De acuerdo con lo establecido en los capítulos anteriores y del planteamiento de medidas, la intervención en el área de estudio contempla la implementación de obras y medidas correctivas, preventivas y de mitigación que tienden a mejorar la estabilidad del área y en general del entorno.

Este capítulo presenta los resultados de los diseños detallados de las obras planteadas en el capítulo anterior y que deben ser implementadas en el área de estudio. Las obras contemplan estructuras de contención, obras de protección contra erosión, la conformación de taludes, obras de drenaje y la conformación de cobertura vegetal de parte de la zona de estudio.

12.2 PLANTEAMIENTO DE OBRAS

El planteamiento general de obras se presenta en el Plano No. 7 Planta de Obras, Plano No. 8 Perfiles de Obra y Plano No. 9 Detalles de obras, y contemplan las actividades presentadas en los cuadros de presupuesto correspondientes.

12.3 DISEÑOS DE OBRAS

El diseño de las obras en detalle, guarda los conceptos presentados en el capítulo 11; por lo tanto, en este numeral se presentan los aspectos adicionales que se consideran importantes dentro del proceso del diseño. En el Anexo Memorias de Cálculo se presentan los resultados de los análisis de ingeniería realizados para cada una de las obras planteadas.

12.3.1 Diseño de obras de control de aguas sub superficiales

Cunetas:

El diseño de la alternativa seleccionada involucra taludes sobre los cuales escurrirá el agua lluvia, por lo tanto en los cambios de pendiente se requieren cunetas colectoras para el manejo de esta agua y que puedan ser conducidas adecuadamente hacia el sistema oficial de aguas lluvias. Las cunetas diseñadas tienen una sección mayor a la sección calculada de acuerdo con los cálculos hidráulicos debido a eventuales aportes de sedimentos sobre ellas y para facilitar su limpieza.

Filtro:

Su función es drenar las aguas procedentes del proceso de infiltración en el suelo, de las aguas infiltradas de la escorrentía subsuperficial y posibles fugas de las redes de alcantarillado y acueducto de la parte alta de los taludes.

El filtro se construirá embebido en el primer nivel del muro en gaviones y del muro en llantas y entregará sus aguas mediante una caja de paso a la red de alcantarillado existente. Este consiste de una tubería flexible perforada de 4" de diámetro instalado en en la base del primer nivel de gaviones o llantas, embebido en una matriz de material granular con un geotextil que impida la colmatación del filtro.

Geotextil:

La base y espaldón del muro en gaviones deberá ir con un geotextil no tejido para el manejo del agua que se infiltre y evitar el aporte de finos en la estructura interna del muro.

12.3.2 Diseño de obras de protección

Como obras de protección se contempla la homogenización de taludes en roca y relleno, mediante el corte y perfilado de estos y la cobertura de los mismos empleando sistemas empradización con malla, cespedón, celdas en madera, unidades de materas, e hileras de vegetación ornamental que reduzcan el potencial erosivo del agua sobre los taludes. La distribución en planta se presenta en el Plano No. 7.

Las celdas en madera se emplean en los taludes en roca con ángulos superiores a 45 grados , para confinar la tierra negra y facilitar el arraigo y crecimiento de vegetación.

En la propuesta de manejo urbanístico de la zona se propone la siembra de árboles y la implantación de zonas duras, senderos y plazoletas, que sirven de control contra el deterioro paisajístico y ambiental de la zona (Ver Plano 9 de Propuesta Urbanística).

Para la Zona III en la parte plana se propone un tratamiento de revegetalización mediante fajinas en guadua, que consiste en hileras de palos de guadua de 60 cm de altura que tienen como función servir de barrera contra la escorrentía y retener la vegetación que se coloca entre barreras.

12.3.3 Obras de contención y control de la erosión

Zona I

Muro en gaviones:

El muro de contención en gaviones en el pie del talud presenta una altura libre de 0.5 a 2 m y altura total de 1 a 3 m cimentado sobre el depósito de relleno limoarenoso (Qm) y a una profundidad aproximada de 0.50 m con relación al nivel final del terreno. El talud del depósito fluviotorrencial será cubierto por material de sitio seleccionado y compactado, formando ángulos de 40 a 45 grados con la horizontal. La parte más alta y empinada de

este talud se debe revestir con malla mortero para impedir infiltraciones y la meteorización del material.

Zona III

Muro en llantas:

Los muros en llantas tienen la función de servir como sistema de protección contra la erosión de los taludes en roca más escarpados, estos muros consisten de varios niveles de llantas dispuestas horizontalmente, intercaladas y entrelazadas entre si. El muro en llantas se conforma en ángulos de 45 grados, dejando terrazas de 1 metro de altura libre entre niveles. (ver Planos 8 y 9).

Cada nivel de llantas va anclado al terreno mediante dos llantas instaladas cada metro longitudinalmente y en diferentes alturas. Todos los niveles de llantas están empotrados 20 cm (1 llanta) en el relleno dispuesto detrás del muro. El primer nivel de llantas consta de dos hileras de llantas (en todas las filas del nivel) a lo largo del talud para aumentar la masa pasiva del muro, los últimos niveles del muro en llantas se anclan al terreno amarrando las llantas a los trinchos en madera indicados en los planos. En la parte superior de cada nivel se propone la siembra de vegetación.

Trinchos en madera:

Los trinchos de madera consisten en palos de madera rolliza de 4 pulgadas de diámetro amarrados entre si y escalonados para garantizar la estabilidad de la estructura y de los depósitos de relleno y como medida de protección contra erosión en los taludes rocosos. Estos trinchos deben ir empotrados en terreno firme por lo menos 0.50 m y la altura libre en lo posible no debe ser mayor de 0.50 m. el material interno de los trinchos consiste de material de sitio compactado y en la parte superior tiene una capa de tierra negra que permita la generación de vegetación. Es necesario que el relleno se coloque sobre una superficie escalonada y compactada. Los trinchos empleados como obra de contención son de tres metros y los trinchos empleados como protección contra erosión son de 1 metro de altura y conforman terrazas sucesivas con vegetación.

12.3.4 Obras complementarias.

Dentro de las obras complementarias se encuentran los revestimientos de los taludes, para evitar el deterioro progresivo de los taludes reconformados. Los revestimientos contemplados consisten en revestimiento con malla para los taludes en roca meteorizada con ángulos cercanos a los 45 grados, y empradización con céspedon para las zonas de relleno combinado con materas y líneas de vegetación. Adicionalmente para el talud aledaño a la Urbanización Pedregales del Conde, se propone dar continuidad a la zona dura mediante un sendero en piedra pegada con una baranda al final.

12.3.5 Diseño de obras de protección

12.4 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

Las cantidades de obra se obtuvieron a partir de los planos de construcción, planta y detalles, empleando las unidades de medidas establecidas y adoptadas. El cálculo de

cantidades de obra se adelantó en forma ordenada y sistemática como se muestra en las memorias correspondientes. Ver **Anexo de Cantidades de Obra.**

En las **Tabla No. 12.1** se presentan las cantidades de obra por ítem establecido y el presupuesto estimado para la construcción de las diferentes tipos de obras contempladas en los diseños; los precios unitarios, han sido generados de acuerdo con las condiciones que imponen las características del sector y de las mismas obras. Los análisis de precios unitarios se presentan en el **Anexo de Precios Unitarios**

En la **Figura No. 12.1** se muestra el cronograma de obra. Los tiempos establecidos y la secuencia constructiva deben considerar que la mayoría de las actividades deben realizarse a mano o con equipo pequeño y en temporada seca.

El planteamiento general de obras en planta y perfil se presentan en los **Planos No. 7, 8 y 9** y contemplan las actividades presentadas en los cuadros de presupuesto correspondientes.

CONTENIDO

CAPÍTULO 13

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

13 INTRODUCCIÓN 13-1

13.1 CONCLUSIONES 13-1

13.2 RECOMENDACIONES 13-2

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO 13

13 INTRODUCCIÓN

Este capítulo busca dejar plasmadas una serie de conclusiones y recomendaciones que han surgido en el desarrollo del estudio de riesgo y que deben ser tenidas en cuenta tanto en la etapa de formulación de la construcción, como en el desarrollo de la obra y durante su vida útil.

13.1 CONCLUSIONES

El barrio Mirador de Marrocos esta asentado sobre un antiguo frente de explotación minera, con deficiencias en los sistemas de drenaje, y en los accesos del barrio, no se cuenta con espacios de encuentro para la población en general, y la depresión ambiental de la zona se hace evidente con las zonas erosionadas, descubiertas y escarpadas.

La colmatación del sistema de alcantarillado de la zona es permanente, ocasionando inundaciones y problemas de humedad a los habitantes del barrio Mirador de Marrocos, siendo este el fenómeno que más representa preocupación para la comunidad según lo manifestado durante la realización de las encuestas. Por ello importante adelantar acciones y medidas en miras a evitar que el aporte de sedimentos de la zona minera desprovista de vegetación, continúe afectando el sistema de alcantarillado del barrio.

Los procesos de inestabilidad en los taludes de la zona de estudio están asociados a los cortes y rellenos producto de la antigua actividad minera sobre la formación La Regadera y actualmente se asocian a los procesos de erosión y meteorización de los taludes expuestos. Los fenómenos de inestabilidad potenciales correspondientes a caídas de rocas, movimientos rotacionales y/o traslacionales y flujos superficiales, en algunos casos representan riesgo para las viviendas de la base y la corona del talud, lo que justifica la implementación de obras de estabilización.

Los materiales que predominan en el área de estudio son principalmente areniscas en paquete y arcillolitas de la Formación La Regadera, suelos residuales y rocas meteorizadas, un depósito fluvioglaciar-torrencial con bloques de areniscas, y fragmentos de arenisca y arcillolitas; y depósitos de relleno antrópico producto de las actividades mineras y de la implantación de la viviendas.

Del mapa de amenaza se indica que la amenaza alta se asocia a los depósitos de relleno de la parte alta y media del área de estudio (Qre y Qb), al depósito fluviotorrencial y a los escarpes en roca de la parte media del área de estudio. La vulnerabilidad asociada a esta amenaza es alta para las viviendas que limitan con el escarpe del depósito Qfg, baja para las viviendas vecinas a los escarpes rocosos aunque el predio 16 de la manzana 07 tiene

asociada una vulnerabilidad alta por las condiciones estructurales, la cercanía al escarpe y la cantidad de familias que habitan el predio; y la vulnerabilidad de las viviendas de la parte baja de la zona del depósito Qre en la parte alta del área de estudio es baja para las viviendas 01 y 02 de la Manzana 16 pero es alta para la vivienda 03 de la misma Manzana debido a que tiene asociada una amenaza mayor a la de los otros predios.

La zonificación de riesgo establece que los predios que colindan con el depósito fluviotorrencial se encuentran en riesgo medio, el único predio en alto riesgo es el 16 de la manzana 07.

Las obras propuestas tienen por objeto disminuir la probabilidad de falla de los taludes que representan riesgo para las viviendas del sector, sin embargo el carácter privado de la zona condiciona el área en el que pueden adelantarse obras, y en algunas de las alternativas consideradas se requiere de la compra de predios para su materialización.

Las obras planteadas para estabilización se enmarcan en las zonas I y II, para la zona III las obras están enfocadas al control de la erosión, recomendando que los anclajes existentes sean mantenidos y monitoreados.

Del análisis de alternativas realizado se concluye que para las Zonas I y II la alternativa que representa un beneficio general para la comunidad es la alternativa de tratamiento de los taludes, frente a las alternativas de no realizar acciones y la compra de predios y reubicación de familias, las cuales no eliminan la amenaza, aunque la segunda contribuye en parte a mitigar el riesgo de las zonas. Para la zona III el análisis de alternativas define como alternativa más favorable la alternativa de muro en llantas, frente a la alternativa de muro en gaviones, de acuerdo con criterios económicos y ambientales principalmente.

De los análisis de estabilidad realizados a la implementación de las obras se obtuvo un factor de seguridad de 1.24 para la estabilidad general del muro en gaviones y un factor de seguridad de 3 para probabilidad de falla a niveles de 0.02 a 0.05.

Según el modelo geotécnico de la Zona III se presentan intercalaciones de arenisca y arcillolita que permiten la generación de niveles freáticos colgados, por ello para manejar el agua infiltrada en esta zona se propone instalar un filtro en el contacto entre la arcillolita y la arenisca, para mejorar la estabilidad de las obras propuestas.

En la zona húmeda señalada en el plano geomorfológico se propone sembrar vegetación tipo arbustivo de gran desarrollo radicular como eucaliptos que absorban el agua y contribuyan a dar mayor estabilidad a la zona. Esta zona, de acuerdo con el análisis multitemporal de cartografía corresponde a una antigua hondonada que servia de drenaje natural.

13.2 RECOMENDACIONES

Las obras planteadas en el presente informe consisten en soluciones puntuales las cuales deben obedecer a una solución más integral que favorezca las condiciones de estabilidad del sector, minimizando la erosión de la zona y aprovechando el espacio existente, para

lograr esto es necesario adelantar labores de gestión con las entidades que tienen ingerencia sobre el tratamiento que pueda adelantarse en la zona y con la comunidad.

En la parte alta del área de estudio, en la zona donde existen los anclajes, según lo observado en campo se aprecia que los anclajes están funcionando y que pueden conservarse bajo las condiciones actuales pero es importante adelantar un programa de monitoreo que permita garantizar el funcionamiento del sistema con el tiempo y así las condiciones de estabilidad de talud.

Es necesario implementar a la mayor brevedad el sistema de alcantarillado de aguas lluvias en el costado occidental del área y realizar inversión en pavimentos locales a nivel de vías de acceso y vías peatonales.

Para conservar las obras es importante que la comunidad se apropie de estas y contribuya con su cuidado, mantenimiento y mejoramiento, sobre todo de la vegetación implantada que es la que mayor atención requiere, así como la limpieza de las cunetas. Para ello es conveniente suministrar campañas educativas de información y capacitación para mejorar la actitud de la comunidad frente a su medio físico, su entorno habitacional y ambiental.

La propuesta urbanística definida para el área de estudio contempla la adecuación de senderos y recorridos animados que sirvan de conexión entre las zonas propuestas de recreación pasiva, principalmente miradores y estaciones de descanso, y de recreación activa que corresponde a canchas y plazoletas de juegos. Además de considerar el manejo de agua como elemento que de vitalidad a la zona así como la siembra de vegetación. Esta propuesta sirve como mejora el entorno ambiental y la calidad de vida de los habitantes del sector y de los sectores aledaños, puesto que en los alrededores de este barrio no existen zonas de este tipo.

BIBLIOGRAFÍA

ASIAN TECHNICAL COMMITTEE ON GEOTECHNOLOGY FOR NATURAL HAZARD IN ISSMFE, 1997. Manual for Zonation on Areas Susceptibles to Rain Induced Slope Failure. Japón.

ASTÉ J. et al., 1994. Riegos Naturales y Vulnerabilidad. I Simposio Panamericano de Deslizamientos de Tierras, Guayaquil.

BRABB E.E., 1984. Innovative Approaches to Landslide Hazard and Risk Mapping. Fourth International Symposium on Landslide, Canadian Geotechnical Society, Toronto Canadá.

CENICAFE, (2002). Avances técnicos 291. Manejo y estabilización de taludes en zonas de ladera mediante tratamientos de bioingeniería.

DPAE, (2003). Diagnostico de emergencia No. DI-1033

DPAE (2002). Diagnostico de emergencia No. DI-1636

DPAE (2003). Diagnostico de emergencia No. DI-1376

HOEK & BRAY, J., (1977). Rock Slope Engineering.

GONZÁLEZ A. (1990). Conceptos sobre la Evaluación de Riesgo por Deslizamientos. IV Jornadas Geotécnicas SCI. Memorias Tomo I.

GONZÁLEZ A., (1990). Metodología para la Evaluación de Riesgo por Deslizamientos a Nivel Intermedio, VI Jornadas Geotécnicas SCI. Memorias Tomo II.

GONZÁLEZ A. & MILLÁN J., (1999). 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.

GONZÁLEZ A. & MILLÁN J., (1999). 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.

GONZÁLEZ A. & MILLÁN J., (1999). Evaluación de Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa en Santafé de Bogotá–Colombia. X Jornadas Geotécnicas, Santafé de Bogotá.

GONZÁLEZ de VALLEJO, L., (2002). Ingeniería Geológica. Prentice Hall. España.

HIDROGEOLOGÍA Y GEOTÉCNIA AMBIENTAL LTDA. (1999). Identificación y Evaluación de Riesgos por Remoción en masa y diseños detallados para estabilizar el antiguo escarpe de explotación. Barrio Carolina-Mirador de Marrocos.

INGENIERÍA DE RECURSOS HÍDRICOS LTDA., (1996). Estudio para el Análisis y Caracterización de Tormentas en la Sabana de Bogotá. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá E.S.P.

INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA (1997). Estudio de inestabilidad en el sector sur oriental de urbanización Zarazota.

INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA (1998). Estudio Problemas de Estabilidades en los Taludes del Barrio Playón Playitas, Recomendaciones para la Estabilización de los Sectores denominados 1 y 2.

INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA (2000). Estudio de Riesgos por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar el Antiguo Escarpe de Explotación. Barrio Callejón de Santa Bárbara.

INGEOCIM Ltda., (1998). Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para varias Localidades de Santa Fe de Bogotá, UPES-FOPAE. Contrato 1314-107-97.

INGEOMINAS (1997), Estudio Geológico para el estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá, Escala.

INGEOMINAS, UPES, Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres., (1997). Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá. Convenio Ínter administrativo 01-93.

INVESTIGACIONES GEOTECNICAS LTDA. (2000). Estudio de Riesgo por Remoción en Masa y Diseño Detallado de Obras de Protección y Control en el Barrio Villas del Recuerdo, Localidad de Rafael Uribe Uribe. Vol. 1 Para la UPES**.**

JAM INGENIERIA Y MEDIO AMBIENTE (2003). Estudio de Zonificación de Amenaza por Remoción en Masa en el Barrio Villas del Diamante, en la localidad de Ciudad Bolívar, en la ciudad de Bogota.

LEONE F., **(1996)**. 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.

MILLÁN J. Y LOZANO J., (1996). La Erosión en los Estudios de Zonificación de Áreas Urbanas por Fenómenos de Remoción en Masa, VI Congreso Colombiano de Geotecnia, Bucaramanga.

MILLÁN J. & LOZANO J., (1997). La contrastación de mapas en la Evaluación de la Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa. IX Jornadas Geotécnicas, Sociedad Colombiana de ingenieros.

MILLÁN, J., (1998). Lineamientos Metodológicos para la Evaluación de la Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa. Tesis de Maestría en Geotecnia, Universidad Nacional de Colombia.

MILLÁN J. & Otros., (1999). Cartografía de procesos en los estudios de amenaza y riesgo por fenómenos de remoción en masa para Santafé de Bogotá. X Jornadas Geotécnicas.

MILLÁN J., **(1999)**. Lineamientos metodológicos para la evaluación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa. X Jornadas Geotécnicas, Santafé de Bogotá.

MOYA Y GARCÍA LTDA. Ingenieros consultores Informe No. 037-3. Diagnóstico técnico No. DI-1582

OROZCO LUÍS FERNANDO & CIA. (1993). Informe Geológico y de estabilidad-Proyecto Urbanístico Providencia Alta.

SILVA GUSTAVO. Hidrología Básica

SHUK T. & GONZALEZ A., 1993. 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.

SUAREZ J., (1992). Manual de Ingeniería para el Control de la Erosión. UIS.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (2004). Estudio de definición de factores de seguridad de taludes adecuados en la zona X de suspensión Minera de la Localidad Rafael Uribe Uribe. Informe Final Contrato 285 de 2004.

VEN Te CHOW., (1982). Hidráulica de Canales Abiertos. Mc. Graw Hill.

VEN Te CHOW., (1964). Handbook of Applied Hydrology. Mc. Graw Hill.