TABLA DE CONTENIDO

1 GLOSARIO 17

2 GENERALIDADES 19

2.1 INTRODUCCIÓN 19

2.2 JUSTIFICACIÓN 21

2.3 OBJETIVOS 23

2.4 RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA 24

3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO 26

3.1 GENERALIDADES 26

3.1.1 Alcance específico del trabajo topográfico 26

3.1.2 Metodología de campo 26

3.1.3 Traslado de coordenadas reales 27

3.2 MÉTODO DE TRABAJO 28

3.2.1 Trabajo de campo 28

4 ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO 30

4.1 OBJETO Y ALCANCE 30

4.2 METODOLOGÍA Y ACTIVIDADES REALIZADAS 31

4.2.1 Antecedentes: Recopilación y Análisis de la información secundaria 32

5 ASPECTOS GEOLÓGICOS 34

5.1 GEOLOGÍA REGIONAL 34

5.1.1 Estratigrafía 35

5.1.2 Condiciones Geológicas Locales 36

6 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS....43

6.1 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL....43

6.1.1 Geomorfología Local....44

6.1.2 Antecedentes históricos de las condiciones geomorfológicas....48

6.1.3 Análisis Multitemporal de Aerofotografías....48

6.2 CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS....53

6.3 CONSIDERACIONES SOBRE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD....54

6.4 PROCESOS DE INESTABILIDAD....59

7 CONSIDERACIONES SOBRE LAS EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS (TÚNELES Y/O SOCAVONES).63

7.1 CONSIDERACIONES SOBRE EL AMBIENTE DE SEDIMENTACIÓN Y PROPIEDADES DE LA FORMACIÓN REGADERA. 66

7.1.1 Propiedades de las Rocas....67

7.2 INTERPRETACIÓN DE LAS TOMOGRAFÍAS....72

7.2.1 Generalidades....72

7.2.2 Interpretación....74

8 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO....82

8.1 EXPLORACIÓN DIRECTA....82

8.2 EXPLORACIÓN INDIRECTA....83

8.3 EXPLORACIÓN GEOFÍSICA....85

8.3.1 Prospección Geoeléctrica....85

8.3.2 Adquisición Geofísica....86

8.4 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE RESISTIVIDAD....89

8.4.1 Imagen de Resistividad TE 01-1....89

8.4.2 Imagen de Resistividad TE 01-2 90
8.4.3 Imagen de Resistividad TE 02-1 91
8.4.4 Imagen de Resistividad TE 02-2 92
8.4.5 Imagen de Resistividad TE 03-1 93
8.4.6 Imagen de Resistividad TE 03-2 94
8.4.7 Imagen de Resistividad TE 04 95
8.4.8 Imagen de Resistividad TE 05 96
8.5 INTERPRETACIÓN 97
8.6 ENSAYOS DE LABORATORIO 102
8.7 INVESTIGACIÓN DE LABORATORIO 102
9 ASPECTOS HIDROLÓGICOS 104
9.1 OBJETIVOS 104
9.2 METODOLOGÍA 104
9.3 MARCO HIDROLÓGICO GENERAL 104
9.3.1 Precipitación 105
9.3.2 Condiciones del agua subsuperficial 107
9.3.3 Evaluación del drenaje superficial 107
9.3.4 Coeficiente de escorrentía 107
9.3.5 Determinación del tiempo de concentración de la lluvia 108
9.3.6 Cálculos de intensidades máximas 109
9.3.7 Caudal máximo por escorrentía en la zona de estudio 109
9.3.8 Obras de drenaje superficial 110

10 ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS SISMOLÓGICAS DEL SUBSUELO....112
10.1 ASPECTOS SÍSMICOS DEL SUBSUELO....112
10.2 SEÑALES DE DISEÑO....112
11 COBERTURA Y USOS DEL SUELO....116
11.1 CONSTRUCCIÓN (ZU)....117
11.2 COBERTURA ERIAL....117
11.3 PASTOS (PA)....118
12 INVENTARIO DE VIVIENDAS....119
13 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA....121
13.1 RESULTADOS DE LABORATORIO....121
13.1.1 Arcillolita....121
13.1.2 Arenisca Blanda....122
13.1.3 Arenisca Dura....123
14 ZONIFICACIÓN Y MODELO GEOTÉCNICO....126
14.1 DELIMITACIÓN DE ZONAS DE COMPORTAMIENTO HOMOGÉNEO....128
14.1.1 Zona I....128
14.1.2 Zona II....128
14.1.3 Zona III....128
15 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD....129
15.1 ANÁLISIS ESCENARIO CONDICIÓN ACTUAL....130
15.1.1 Análisis Falla Rotacional....130
15.1.2 Análisis Falla Planar....136

15.1.3 Análisis para Flujos superficiales 139
15.2 ANÁLISIS ESCENARIO CON OBRAS ALTERNATIVA 1 142
15.3 ANÁLISIS ESCENARIO CON OBRAS ALTERNATIVA 2 146
15.4 ANÁLISIS ESCENARIO CON OBRAS ALTERNATIVA 3 150
15.5 ANÁLISIS CINEMÁTICO 154
16 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA 158
16.1 GENERALIDADES 158
16.2 RESULTADO DE ANÁLISIS 159
16.3 ESCENARIO ACTUAL 159
16.3.1 Falla Rotacional 159
16.3.2 Falla Planar o Traslacional 160
16.3.3 Flujo Superficial 160
16.4 SUSCEPTIBILIDAD POR EROSIÓN 162
17 EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO 164
17.1 ANÁLISIS DEL INVENTARIO DE VIVIENDAS 164
17.2 VULNERABILIDAD 164
17.2.1 Tipificación de las estructuras 165
17.2.2 Calificación de los daños 166
17.2.3 Tipos de movimientos y solicitaciones 168
17.2.4 Matriz de daño 169
17.3 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FÍSICA (IVF) 170
17.3.1 Vulnerabilidad Edificaciones 173

17.3.2 Vulnerabilidad Vías e infraestructuras aledañas 174
17.4 RIESGO 175
17.4.1 Método de análisis 175
17.4.2 Criterios aplicados y resultados obtenidos 180
18 VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL 182
18.1 GENERALIDADES 182
18.2 OBJETIVO 183
18.3 DATOS GENERALES 183
18.3.1 Datos específicos del paciente 01 185
18.4 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA 186
18.4.1 Descripción general 186
18.4.2 Descripción arquitectónica 187
18.4.3 Descripción estructural 187
18.5 VISITAS A OBRA 187
18.6 MEMORIA DE CÁLCULO 192
18.7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 194
19 PLAN DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DEL RIESGO 198
19.1 DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO 198
19.1.1 Medidas estructurales 198
19.1.2 Medidas no estructurales 198
19.2 MEDIDAS ESTRUCTURALES 199
19.2.1 Excavación 199

19.2.2 Muro de concreto 199

19.2.3 Obras de manejo de aguas 200

19.3 MEDIDAS NO ESTRUCTURALES 202

19.3.1 Delimitación de las áreas de protección y aislamiento 202

19.3.2 Empradización y recuperación de las zonas intervenidas 202

19.4 PLANTEAMIENTO DE OPCIONES DE DISEÑO OBRAS DE MITIGACIÓN 203

19.4.1 Opción De Diseño 1 203

19.4.2 Opción De Diseño 2 205

19.4.3 Opción De Diseño 3 206

19.5 ANÁLISIS DE RIESGO DE LAS OPCIONES DE DISEÑOS EVALUADAS 207

19.6 PLAN DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO 207

19.7 PRESUPUESTO Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN 208

19.7.1 Zona Norte 208

19.7.2 Zona Oriental 210

19.7.3 Zona Central (incluye Talud central interiores 11 a 15 y 16 a 20 y talud centro – oriental interiores 1 a 5 y 6 a 10). 213

19.7.4 Zona Occidental 216

19.7.5 Obras Complementarias 217

19.8 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS FAVORABLE 219

20 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 220

21 BIBLIOGRAFIA 225

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización General del área de estudio 19

Figura 2. Geología Regional, tomado del estudio de Zonificación de riesgo por inestabilidad del terreno para diferentes localidades de Santa Fe Bogotá INGEOCING -1998 35

Figura 3. Geomorfología Regional, tomado del estudio de Zonificación de riesgo por inestabilidad del terreno para diferentes localidades de Santa Fe Bogotá INGEOCING -1998. 44

Figura 4 Distribución de trabajos de exploración geofísica. 74

Figura 5 Interpretación tomografía TE01-1. 76

Figura 6 Interpretación tomografía TE01-2 77

Figura 7 Interpretación tomografía TE02-1 77

Figura 8 Interpretación tomografía TE02-2 78

Figura 9 Interpretación tomografía TE03-1 79

Figura 10 Interpretación tomografía TE03-2 79

Figura 11 Interpretación tomografía TE04 80

Figura 12 Interpretación tomografía TE05 81

Figura 13. Arreglo Dipolo – Dipolo 85

Figura 14 Distribución de trabajos de exploración 89

Figura 15 Modelo inverso de resistividad tomografía TE01-1 90

Figura 16 Modelo inverso de resistividad tomografía TE01-2 91

Figura 17 Modelo inverso de resistividad tomografía TE02-1 92

Figura 18 Modelo inverso de resistividad tomografía TE02-2 93

Figura 19 Modelo inverso de resistividad tomografía TE03-1 94

Figura 20 Modelo inverso de resistividad tomografía TE03-2 95

Figura 21 Modelo inverso de resistividad tomografía TE04 96

Figura 22 Modelo inverso de resistividad tomografía TE05 97

Figura 23 Interpretación tomografía TE01-1 98

Figura 24 Interpretación tomografía TE01-2 98

Figura 25 Interpretación tomografía TE02-1 99

Figura 26 Interpretación tomografía TE02-2 99

Figura 27 Interpretación tomografía TE03-1 100

Figura 28 Interpretación tomografía TE03-2 100

Figura 29 Interpretación tomografía TE04 101

Figura 30 Interpretación tomografía TE05 101

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas del sitio de estudio origen Bogotá 20

Tabla 2 Puntos referenciados en campo 27

Tabla 3. Listado de coordenadas del puntos de amarre 28

Tabla 4. Relación de equipos y recursos utilizados en el levantamiento topográfico 28

Tabla 5. Unidades Geológicas Superficiales 38

Tabla 6 CLASIFICACIÓN DE LAS PENDIENTES 46

Tabla 7 Subunidades y Elementos Geomorfológicos. 47

Tabla 8 Relación de Aerofotografías del sitio de estudio. 48

Tabla 9 Especificaciones de imágenes de resistividad ejecutadas 88

Tabla 10 Ensayos de laboratorio realizados. 102

Tabla 11. Relación ensayos de laboratorio efectuados 103

Tabla 12. Relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual para la ciudad de Bogotá (INGEOCIM – UPES, 1998). 106

Tabla 13. Parámetros y cálculo del tiempo de concentración 108

Tabla 14. Valores de intensidad máxima – duración de 10 minutos.....109

Tabla 15. Caudal máximo por escorrentía en la zona de estudio en un periodo de 50 años. 110

Tabla 16. Valores del coeficiente Fv y Fa 112

Tabla 17. Acelerogramas de diseño 113

Tabla 18 Resumen resultados trinchera 2 muestra 2 122

Tabla 19 Resumen resultados trinchera 1 muestra 1 123

Tabla 20 Resumen resultados estrato túnel “duro” muestra 2 parte inferior.....124

Tabla 21 Parámetro de resistencia de la roca 125

Tabla 22 Zonificación geotécnica 126

Tabla 23. Categorización de Amenaza por FRM. 130

Tabla 24 Factor de seguridad escenario actual.....130

Tabla 25 Factor de seguridad escenario actual.....136

Tabla 26 Factor de seguridad escenario actual.....139

Tabla 27 Factor de seguridad condición proyectada cumpliendo lo estipulado en el Decreto 227 del 13 de julio de 2006 143

Tabla 28 Factor de seguridad condición proyectada cumpliendo lo estipulado en el Decreto 227 del 13 de julio de 2006 147

Tabla 29 Factor de seguridad condición proyectada cumpliendo lo estipulado en el Decreto 227 del 13 de julio de 2006 151

Tabla 30. Sistemas de Discontinuidades en los taludes y sistemas rocosos.....155

Tabla 31. Categorización de Amenaza por FRM. 159

Tabla 32 Resumen de Amenaza Sección 1.....161

Tabla 33 Resumen de Amenaza Sección 2.....161

Tabla 34 Resumen de Amenaza Sección 4.....161

Tabla 35 Criterios de resistencia de la estructura 165

Tabla 36 Clasificación de la tipología de vivienda 165

Tabla 37 Clasificación de los daños según el DRM 166

Tabla 38 Tipo de solicitación 168

Tabla 39 Rangos de velocidad utilizadas en el estudio 169

Tabla 40 Categorías de las presiones laterales utilizadas en el estudio 169

Tabla 41 Matriz de daño utilizada en el estudio 170

Tabla 42 Valores de IP utilizados para valorar el ID en el estudio 171

Tabla 43 Selección del valor de alfa 173

Tabla 44 Criterios de categorización de la vulnerabilidad 173

Tabla 45 Vulnerabilidad de la vía aledaña 174

Tabla 46 Rangos de velocidad utilizadas en el estudio 175

Tabla 47 Clasificación de la tipología de vías 175

Tabla 48 Categorización del riesgo 180

Tabla 49 Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo por deslizamiento 181

Tabla 50 Costo Obra Alternativa 1 Zona Norte 209

Tabla 51 Costo Obra Alternativa 2 y 3 Zona Norte 210

Tabla 52 Costo Obra Alternativa 1 Zona Oriental 211

Tabla 53 Costo Obra Alternativa 2 Zona Oriental 212

Tabla 54 Costo Obra Alternativa 3 Zona Oriental 213

Tabla 55 Costo Obra Alternativa 1 Zona Central 214

Tabla 56 Costo Obra Alternativa 2 Zona Central 215

Tabla 57 Costo Obra Alternativa 3 Zona Central 216

Tabla 58 Costo Obra Alternativa 1, 2 y 3 Zona Occidental 217

Tabla 59 Costo Obra Alternativa 1, 2 y 3 Obras Complementarias.....218

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización de la zona del polígono de estudio. 21

Ilustración 2. Curva Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) para la zona de estudio.....107

Ilustración 3. Espectros promedio de señales y uniformes de amenaza. 113

Ilustración 4. Rangos aproximados del coeficiente sísmico pseudo-estático “k” para factores de seguridad mínimos propuestos en la literatura (referencias sobre el diagrama) 115

Ilustración 5. Cobertura y Uso del suelo según”Ingeocim”. 116

Ilustración 6 Sección 1 típico de la zona de estudio 127

Ilustración 7 Sección 2 típico de la zona de estudio 127

Ilustración 8 Sección 3 típico de la zona de estudio 127

Ilustración 9 Sección 4 típico de la zona de estudio 128

Ilustración 10 Sección 1 Estado Actual Condición Normal 131

Ilustración 11 Sección 1 Estado Actual Condición Extrema.....131

Ilustración 12 Sección 2 Estado Actual Condición Normal 132

Ilustración 13 Sección 2 Estado Actual Condición Extrema.....132

Ilustración 14 Sección 4 Estado Actual Condición Normal 133

Ilustración 15 Sección 4 Estado Actual Condición Extrema.....133

Ilustración 16 Sección 4 Estado Actual Condición Normal Sector Sur Sin Obra 134

Ilustración 17 Sección 4 Estado Actual Condición Extrema Sector Sur Sin Obra.....134

Ilustración 18 Sección 4 Estado Actual Condición Normal Sector Sur Con Obra 135

Ilustración 19 Sección 4 Estado Actual Condición Extrema Sector Sur Con Obra 135

Ilustración 20 Sección 1 Estado Actual Condición Normal ángulo 135-45 137

Ilustración 21 Sección 1 Estado Actual Condición Extrema ángulo 135-45 137

Ilustración 22 Sección 2 Estado Actual Condición Normal ángulo 135-45 138

Ilustración 23 Sección 2 Estado Actual Condición Extrema ángulo 135-45 138

Ilustración 24 Sección 1 Estado Actual Condición Normal 139

Ilustración 25 Sección 1 Estado Actual Condición Extrema.....140

Ilustración 26 Sección 2 Estado Actual Condición Normal 140

Ilustración 27 Sección 2 Estado Actual Condición Extrema.....141

Ilustración 28 Sección 4 Estado Actual Condición Normal 141

Ilustración 29 Sección 4 Estado Actual Condición Extrema.....142

Ilustración 30 Sección 1 con obras normatividad distrital condición normal.....143

Ilustración 31 Sección 1 con obras normatividad distrital condición extrema.....144

Ilustración 32 Sección 2 con obras normatividad distrital condición normal.....144

Ilustración 33 Sección 2 con obras normatividad distrital condición extrema.....145

Ilustración 34 Sección 4 con obras normatividad distrital condición normal.....145

Ilustración 35 Sección 4 con obras normatividad distrital condición extrema.....146

Ilustración 36 Sección 1 con obras normatividad distrital condición normal.....147

Ilustración 37 Sección 1 con obras normatividad distrital condición extrema.....148

Ilustración 38 Sección 2 con obras normatividad distrital condición normal.....148

Ilustración 39 Sección 2 con obras normatividad distrital condición extrema.....149

Ilustración 40 Sección 4 con obras normatividad distrital condición normal.....149

Ilustración 41 Sección 4 con obras normatividad distrital condición extrema 150

Ilustración 42 Sección 1 con obras normatividad distrital condición normal 151

Ilustración 43 Sección 1 con obras normatividad distrital condición extrema 152

Ilustración 44 Sección 2 con obras normatividad distrital condición normal 152

Ilustración 45 Sección 2 con obras normatividad distrital condición extrema 153

Ilustración 46 Sección 4 con obras normatividad distrital condición normal 153

Ilustración 47 Sección 4 con obras normatividad distrital condición extrema 154

Ilustración 48. Proyección estereográfica talud oriental 156

Ilustración 49. Proyección estereográfica talud occidental. 156

Ilustración 50. Proyección estereográfica talud central 156

Ilustración 51. Proyección estereográfica talud Norte 156

Ilustración 52. Proyección estereográfica talud sur. 157

Ilustración 53. Procesos de erosión hídrica (adaptado de Julien y Frenette, 1986. y Ontario, 1994). 162

Ilustración 54 Esquema de deslizamiento 168

Ilustración 55 Valoración del ID (potencial y actual) utilizando conjuntos difusos 171

Ilustración 56 Conjuntos difusos trapezoidales 177

Ilustración 57 Cálculo del riesgo por conjuntos difusos trapezoidales 179

Ilustración 58 Localización en el Mapa de Bogotá. 184

Ilustración 59 Distribución de Bloques e interiores 185

Ilustración 60 Modelo en 3D 193

Ilustración 61 Alzados del Modelo 193

Ilustración 62 Planta tipo del Modelo 194

Ilustración 63 Diagramas de presión aproximada de la Tierra.....200

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1. Lluvias medias mensuales (1980 - 2007) en la estación Santa Lucia 105

Grafica 2 Total de Predios Evaluados.....119

Grafica 3 Total de Población 120

Grafica 4 Total de Daños.....120

Grafica 5 Total de Tipo de Daños.....120

Grafica 6 Modelo de falla Hoek – Brown, sobre la arcillolita.....122

Grafica 7 Modelo de falla Mohr – Coulomb para la arenisca blanda.....123

Grafica 8 Modelo de falla Mohr – Coulomb para la arenisca dura.....124

Grafica 9 Tipología de Vivienda.....166

Grafica 10 Índice de daño de las Viviendas.....167

Grafica 11 Gráfica para determinar IVF con un α=0.6.....172

Grafica 12 Categoría de Vulnerabilidad de las Viviendas 174

Grafica 13 Categoría de Riesgo de las Viviendas 179

ANEXOS

ANEXO I TOPOGRAFÍA

ANEXO II EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

ANEXO III FIGURAS CURVAS DE PRECIPITACIÓN, CURVAS DE RETORNO Y DELIMITACIÓN DE CUENCAS

ANEXO IV INVENTARIO DE VIVIENDAS

ANEXO V ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

ANEXO VI VULNERABILIDAD Y RIESGO FÍSICO

ANEXO VII DISEÑO

ANEXO VIII PRESUPUESTOS Y ESPECIFICACIONES

ANEXO IX VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

ANEXO X PLANOS

1 GLOSARIO

Amenaza

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

Antrópico

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

Cuenca

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

Deslizamientos

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

Deslizamientos Rotacionales

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

Deslizamientos Traslacionales

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

Escarpe

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

Geomorfología

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

Riesgo

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

Subsidencia

Hundimiento progresivo de la superficie con respecto a un nivel de referencia estable, producido por causas naturales como la actividad tectónica, fallas activas y expulsión de fluidos en estratos subyacentes o se puede evidenciar por procesos antrópicos.

Superficie De Falla

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

Vulnerabilidad

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

Zonas de Actitud

Es la zonificación que se genera a partir de un mapa de pendientes, zonas de saturación y procesos de inestabilidad para definir qué zonas son aptas para desarrollos urbanos.

2 GENERALIDADES

2.1 INTRODUCCIÓN

El sitio de estudio comprende la Urbanización Bosques de la Hacienda y zonas aledañas en la Localidad de Rafael Uribe Uribe en Bogotá D.C. en un área aproximada a las 2.0 Ha, ver la localización en la Figura 1.

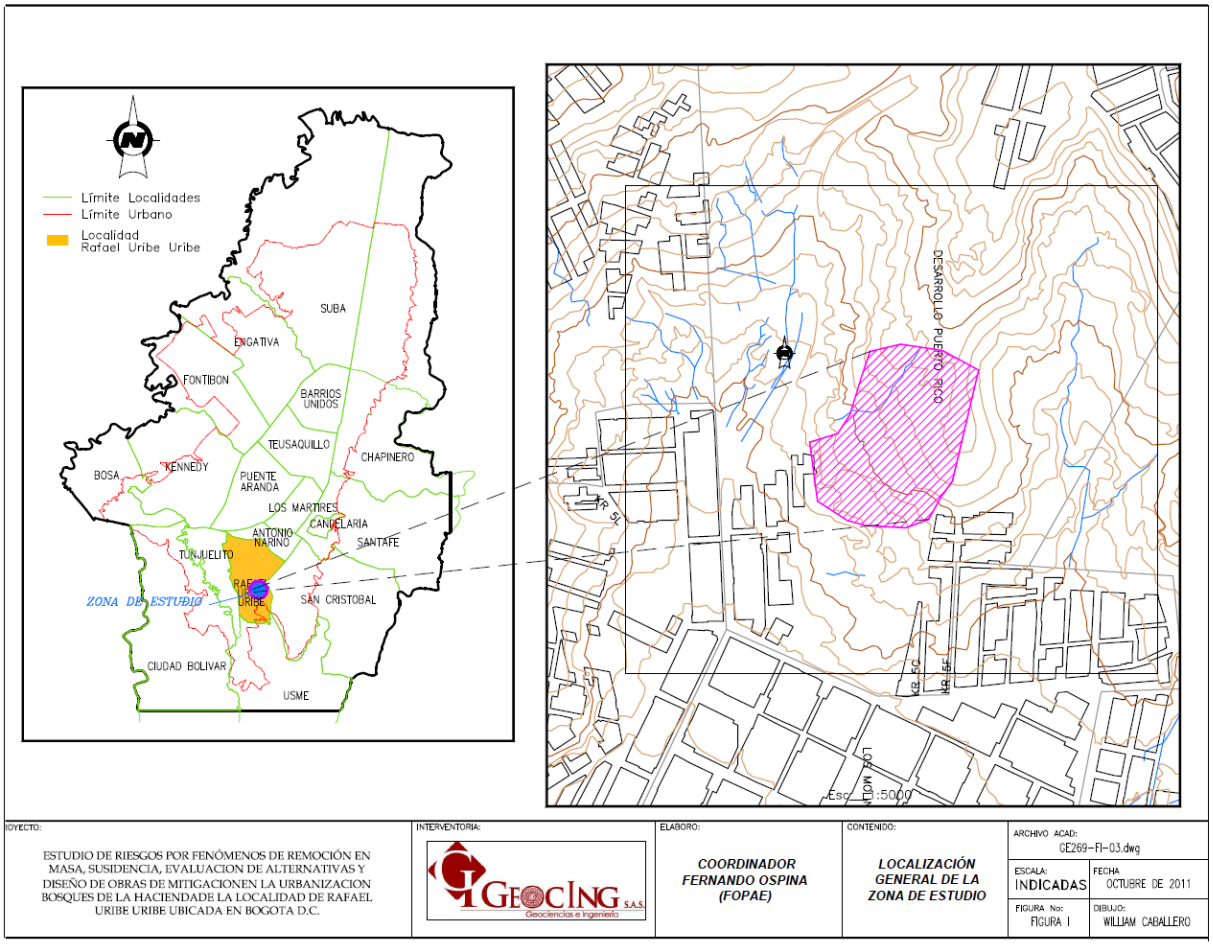


Figura 1. Localización General del área de estudio

Urbanísticamente la Urbanización Bosques de la Hacienda se encuentra localizada en el Barrio Molinos en la Localidad de Rafael Uribe Uribe en Bogotá D.C. y tiene por dirección la transversal 5H Bis con la Carrera 48G Sur y está conformado por 5 bloques habitacionales de tres pisos cada uno con 5 interiores de 12 apartamentos para un total de 300 unidades.

La estructura de tres pisos consiste en muros en bloque de arcilla cocida confinada con columnas de concreto reforzado, placas macizas con lamina colaborante de acero (steel deck) con un espesor aproximado de 10 cm, la cubierta es liviana con tejas de asbesto cemento, apoyados sobre alistado de madera.

Al costado norte y al costado sur se encuentran vestigios de explotación artesanal de material para construcción, hoy abandonados; consistente en túneles de 3.0 a 4.0 m de altura y anchos variables. Los túneles de la zona sur se encuentran tapados o clausurados por una constructora la cual se encuentra haciendo obras de adecuación para la construcción de un conjunto residencial en la zona y los de la zona norte se encuentran a la intemperie donde todavía se alcanza a evidenciar las bocas de algunos de estos túneles y otros se encuentran al igual que los de la zona sur clausurados o colapsados.

El área objeto de estudio corresponde aproximadamente de 2.0 Ha, la cual se encuentra enmarcadas en la Ilustración 1 y las siguientes coordenadas planas con origen Bogotá que se encuentran en la Tabla 1 .

Tabla 1. Coordenadas del sitio de estudio origen Bogotá

este	norte
96372.31	95928.33
96389.41	95999.12
96415.67	96007.78
96456.75	96007.15
96499.73	95986.78
96505.42	95972.99
96482.36	95868.98
96468.88	95845.33
96411.01	95855.02
96340.65	95875.06
96348.54	95909.89

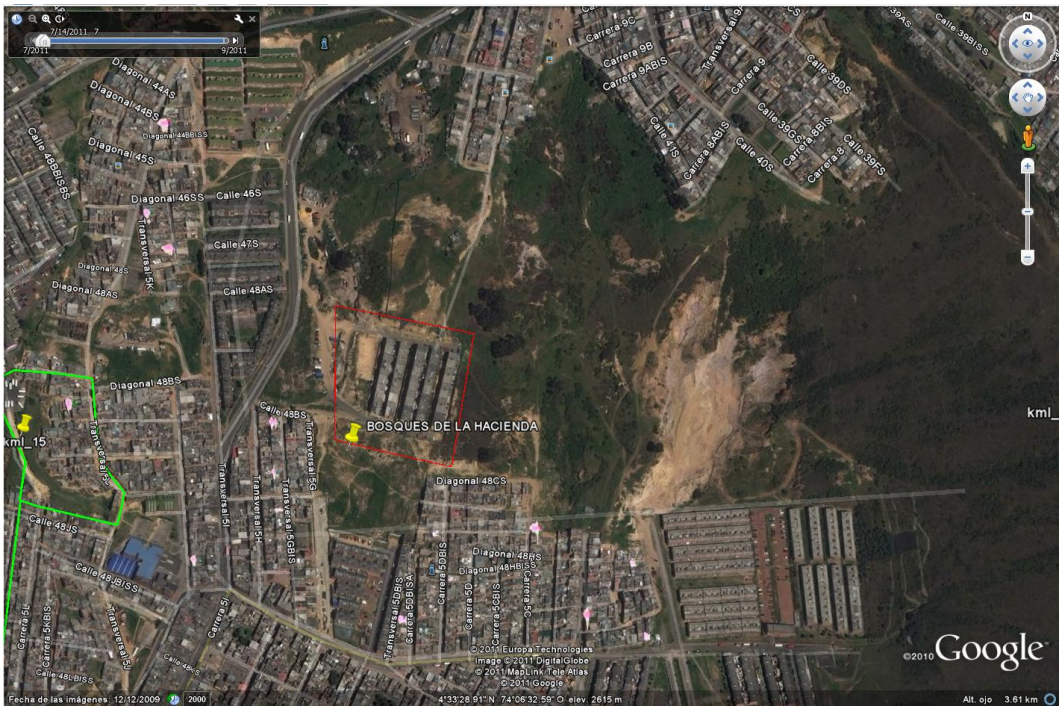


Ilustración 1. Localización de la zona del polígono de estudio.

2.2 JUSTIFICACIÓN

Dentro de las actividades que adelanta la Subdirección Técnica y de Gestión del FOPAE se aporta al Macro proceso de Gestión para el Análisis del Riesgo, proceso Gestión Conocimiento del Riesgo, procedimiento Realización de Estudios de Riesgo.

De igual forma, el artículo 138 (zonas prioritarias sujetas a análisis de riesgo en el D.C.) del POT instituye que el FOPAE complementará progresivamente los estudios para mantener actualizada la información que permita definir y adelantar acciones para la mitigación de riesgo en zonas identificadas de Riesgo por Remoción en Masa.

Por otra parte, el 20 de enero de 2011 la Sección primera de la Sala de lo Contencioso Administrativo del Consejo de estado con respecto a la Acción Popular con radicación de Expediente 25000-23-25-000-2005- 00357-01 emitió fallo mediante el cual en numeral TERCERO ordena "***al Distrito – Alcaldía Mayor de*** Bogotá – Secretaria de Gobierno – Fondo de Prevención y Atención de Emergencias – Alcaldía Local ***de Rafael Uribe***- acometer de manera inmediata, ordenada y armónica

las medias técnicamente exigibles, jurídicas y presupuestalmente viables, a fin de precaver la ocurrencia de un desastre en el sitio conocido como la Urbanización "Bosques de la Hacienda " para lo cual se concede un término de seis meses para su iniciación, contados a partir de la ejecución de la presente sentencia y doce meses para su conclusión".

Como consecuencia de lo anterior, la Alcaldía Mayor de Bogotá emitió la Resolución 359 del 28 de junio de 2011 mediante la cual en sus numerales 1.2. a 1.5 resuelve, entre otros aspectos, lo siguiente:

1.2: "Corresponderá a la Secretaria de Integración Social, con el apoyo del Fondo de Prevención y Atención de Emergencia FOPAE y la Alcaldía local de Rafael Uribe Uribe, llevar a cabo el registro poblacional de las familias ubicadas en el proyecto urbanístico " Bosques de la Hacienda", dentro de los 15 días calendarios siguientes a la comunicación de la presente Resolución."

1.3. Quedará a cargo del Fondo de Prevención y Atención de Emergencia FOPAE, la relocalización temporal de las familias ubicadas en el proyecto urbanístico "Bosques de la Hacienda", cuando técnicamente se determine que procede su evacuación (…)

1.4: "Corresponderá al Fondo de Prevención y Atención de Emergencia FOPAE realizar, dentro del término de cuatro (4) meses siguientes a la expedición y comunicación de la presente Resolución, los estudios técnicos que determinen si la zona está catalogada como de Alto Riesgo No Mitigable o si por el contrario se pueden llevar a cabo obras de mitigación del riesgo señalado por el Consejo de Estado, señalando cuales y su costo aproximado".

1.5: "El Fondo de Prevención y Atención de Emergencia FOPAE durante el termino de ejecución del estudio anterior, realizará mensualmente una visita en la Urbanización "Bosques de la hacienda.""

Por lo expuesto, en cumplimiento de fallo del Consejo de Estado y de la mencionada resolución, el FOPAE requiere iniciar un proceso para seleccionar una persona natural o jurídica para adelantar el estudio en mención, adjudicando el contrato de Consultoría 379 a GEOCING SAS.

2.3 OBJETIVOS

El objeto del contrato es el "**ESTUDIO DE RIESGOS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA, SUBSIDENCIA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS Y DISEÑO DE OBRAS DE MITIGACIÓN EN LA URBANIZACIÓN BOSQUES DE LA HACIENDA DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE, UBICADO EN BOGOTÁ D.C.**".
Dentro de los objetivos específicos del contrato están los siguientes:

a. Establecer las condiciones morfológicas y topográficas actuales de la Urbanización Bosques de la Hacienda.
b. Identificar, medir y evaluar las condiciones de estabilidad de los túneles y/o socavones presentes en los alrededores o bajo la urbanización Boques de la Hacienda y hacer el respectivo levantamiento Topográfico.
c. Efectuar la caracterización física y mecánica de los materiales presentes en la zona de estudio, considerando su entorno ambiental, de tal manera que se puedan formular adecuadamente modelos geológicos, geomorfológicos y geotécnicos, consecuente con los mecanismos de falla presentes y potenciales.
d. Evaluar la posibilidad de existencia de cárcavas o túneles de extracción de arenas de antiguas canteras en el terreno donde se emplaza la urbanización a través de la exploración complementaria con líneas sísmicas y en caso de que existan, evaluar la posibilidad de subsidencia por estas causas.
e. Identificar y analizar desde el punto de vista geotécnico, geológico y geomorfológico los factores detonantes y contribuyentes de los procesos actuales y potenciales de inestabilidad del terreno en el área de estudio, teniendo en cuenta las condiciones geológicas y geomorfológicas locales y regionales, así como los aspectos hidrológicos, hidrogeológicos, sismológicos y de uso del suelo.
f. Definir la localización de los fenómenos de inestabilidad identificados a escala 1:500 y, la valoración de su magnitud, su grado de actividad y su posible evolución, considerando la posibilidad de retrogresión.
g. Definir Alternativas de estabilización y/o mitigación y realizar el Diseño detallado de obras y presupuesto de la alternativa más favorable.
h. Realizar la evaluación y zonificación de amenaza en el corto (1 año) y largo plazo (50 años) por fenómenos de remoción en masa a escala 1:500, acorde con las especificaciones técnicas establecidas en el presente documento y con las condiciones específicas del área en estudio.
i. Determinar las condiciones de amenaza por procesos de remoción en masa para el escenario actual y en el largo plazo (50 años) para el escenario con todas las edificaciones e

infraestructura del área de estudio y para el que se tendría con la implementación de las medidas seleccionadas para reducir el riesgo.

j. Evaluar la vulnerabilidad física asociada al fenómeno de inestabilidad del terreno y de condiciones estructurales de las viviendas. Igualmente determinar el nivel de riesgo por inestabilidad del terreno en el corto (1 año) y largo plazo (50 años) a escala 1:500 para las viviendas y la infraestructura de servicios incluidas dentro del área de estudio.

k. Cuantificar económicamente las perdidas esperadas en el largo plazo (50 años) para el escenario en donde no se lleven a cabo ningún tipo de medidas de reducción de riesgos.

l. Definir de acuerdo con los análisis de riesgo actual y futuro, las edificaciones a las cuales no es posible mitigar el riesgo por condiciones técnicas y económicas y a las cuáles se recomendaría ser reasentadas.

2.4 RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

Las fuentes de información secundaria recopiladas para el desarrollo del objeto del estudio se presentan a continuación:

- ✓ Diagnostico Técnico DI-1656. Dirección de Prevención y Atención de Emergencias. Diciembre de 2002.
- ✓ Diagnostico Técnico DI-3023. Dirección de Prevención y Atención de Emergencias. Noviembre de 2006.
- ✓ Respuesta Oficial RO-18522. Dirección de Prevención y Atención de Emergencias. Julio de 2006.
- ✓ Concepto Técnico CT-4496. DIRECCIÓN DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS. Octubre de 2006.
- ✓ Concepto Técnico CT:5791. CONCEPTO TÉCNICO DE REVISION DE ESTUDIO PARTICULAR DE AMENAZA Y RIESGO POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA FASE II. FOPAE.
- ✓ Atlas Geológico de Colombia escala 1: 500.000. INGEOMINAS.

- ✓ INGEOCIM LTDA. – UPES. 1998. Estudio de "Zonificación de Riesgos por Inestabilidad del terreno para Diferentes Localidades de Santa Fe de Bogotá". Contrato 1314-107-97. INGEOCIM LTDA., 1998.

- ✓ Estudio de la zona con el levantamiento de los túneles costado sur, realizado en el 2009.

3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

3.1 GENERALIDADES

Se presenta en este informe una descripción del trabajo de campo y oficina desarrollada para la elaboración del plano topográfico del área de estudio localizado en los predios del barrio BOSQUES DE LA HACIENDA, en la Localidad de RAFAEL URIBE URIBE, en Bogotá D.C. el cual consta de tres bloques de apartamentos de 3 pisos de altura y de la zona circundante a estas edificaciones.

3.1.1 Alcance específico del trabajo topográfico

Llevar a cabo el levantamiento topográfico (planimétrico y altimétrico), con coordenadas reales y demarcación de dos (2) vértices, siguiendo los parámetros básicos que se mencionan a continuación:

- ✓ Amarre de coordenadas al sistema IGAC, a la estación CODAZZI 2010 (Ver Anexo I-A).
- ✓ Información topográfica tomada para cada punto, levantado en las 3 dimensiones: X (Este), Y (Norte), Z (Cota).
- ✓ Levantamiento topográfico detallado del sitio con: postes, hidrantes, válvulas, cajas, pozos, vías, paramentos, cercas, y demás detalles.
- ✓ Generación de curvas de nivel cada 0.5 m

3.1.2 Metodología de campo

El traslado de coordenadas se realizó por medio del sistema de posicionamiento global GPS, teniendo como el punto certificado por el IGAC identificado como CODAZZI 2010, perteneciente a la red Magna Syrgas y cuyos datos se anexan en el Anexo I-A.

Se materializaron en terreno tres placas marcadas en bajo relieve, para lo cual se incluye su descripción y coordenadas definitivas. Con base en lo anterior se realizo una poligonal interna para radiar desde cada vértice cada uno de los puntos a levantar con ayuda de una estación total marca TOPCON GTS-211D, (Ver anexo I-B certificados de calibración).

El día Sábado 24 de septiembre 2011 se desplazo la comisión topográfica al sitio de estudio, se realizo el traslado de coordenadas y demarcación de los dos (2) vértices a referenciar y como se aprecia en la Tabla 2, y se observa en la Fotografía 1 y la Fotografía 2, además se definieron los puntos auxiliares para la radiación de los detalles e inventario de redes.

Tabla 2 Puntos referenciados en campo

MOJÓN	NORTE	ESTE	COTA
GPS-1	96449.208	95879.743	2628,590
GPS-2	96382,616	95902,434	2618,901

Fotografía 1 GPS 1

Fotografía 2 GPS 2

3.1.3 Traslado de coordenadas reales

Se verifico el vértice Geodésico de Primer Orden, que sirvió de apoyo para el traslado de coordenadas geográficas del proyecto, por medio del sistema de posicionamiento global GPS y es el Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (I.G.A.C.), la Entidad oficial que expide el Certificado de las coordenadas geodésicas, Planas Cartesianas y Altitud de los vértices solicitados, para nuestro caso es el CODAZZI-2010 (Ver Anexo I-A), cuyas coordenadas se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Listado de coordenadas del puntos de amarre

MOJÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD ELIPSOIDAL
CODAZZI-2010	04° 38' 19.24208"	74°04'47.81529"	2610.816

Este punto pertenece a la Nueva Red Geodésica del Distrito Capital (RGDC – 2003), ligados al Marco Geocéntrico Nacional de Referencia (MAGNA), que a su vez es una densificación del Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS). Este sistema esta acoplado al Elipsoide GRS 80 o WGS 84.

3.2 MÉTODO DE TRABAJO

3.2.1 Trabajo de campo

3.2.1.1 Altimetría y planimetría

Con base en el punto CODAZZI-2010 se hizo una cesión de GPS, desde este punto hasta dos vértices de la poligonal interna los cuales fueron materializados con placa marcada en bajo relieve, con las siglas del FOPAE., numero de contrato (379 / 2011), fecha , las siglas del contratista y su respectiva identificación.

El equipo (ver Anexo I-B) y los recursos utilizados por la comisión para realizar el levantamiento topográfico, son los que se relacionan en la Tabla 4.

Tabla 4. Relación de equipos y recursos utilizados en el levantamiento topográfico

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
TOPCON GTS-211D	1
GPS GNSS	2
Topógrafo	1
Cadenero primero	1
Cadenero segundo	2
Radios de onda corta	4
Vehículo	1
Otros elementos	2

Con la poligonal básica nivelada, ajustada y verificada, se procedió a tomar los detalles mediante radiación con estación total (Ver Fotografía 3 y Fotografía 4), de tal manera que se pudo determinar la silueta de las vías, levantando con exactitud los sardineles de confinamiento, los accesos a

garajes, los paramentos, los antejardines, sardineles de separadores, y en fin todos aquellos otros detalles que se requieran para la obtención de una silueta general y detallada del área levantada.

Fotografía 3 Levantamiento topográfico

Fotografía 4 Levantamiento topográfico y toma de detalles

3.2.1.2 Trabajo de oficina

Una vez tomada la información en campo se procede a bajar los datos del colector al computador, esta labor se realizo diariamente y se dibujo inmediatamente, para el interface se utilizo el software PROLONK V 1.5 y para el dibujo AUTOCAD V.2007, en el Anexo I-C se presenta el Listado de coordenadas que se levantaron en campo como resultado de este levantamiento se obtuvo el Plano topográfico GE-269-PL-01.

3.2.1.3 Topografía con información secundaria

Para este estudio el consultor, para la identificación del área de túneles encontró una topografía de detalle la cual es consignada en los planos topográficos denominados GE-269-PL-01 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO MARZO DE 2009 Y GE-269-PL-01 A SECCIÓN DE TÚNELES MARZO DE 2009. En esta topografía se encontraban las antiguas zonas de explotación los cuales se verificaron y solo se encontraron unos pequeños vestigios los cuales se identifican en el capítulo de geología.

4 ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

En este capítulo se presenta los aspectos geológicos y geomorfológicos, tanto regionales como locales, del sitio localizado en La Urbanización Bosques de la Hacienda, localizada en la transversal 5H Bis, con Carrera 48G Sur, del Barrio Molinos, en la Localidad de Rafael Uribe Uribe, en la zona sur-oriental de Bogotá D. C.

4.1 OBJETO Y ALCANCE

Como objetivo principal de la temática geológica-geomorfológica se tiene, establecer las características geológicas, geomorfológicas y morfodinámicas, que permitan realizar un diagnóstico geotécnico de los problemas de inestabilidad presentados en el sitio, con lo cual se pueda diseñar medidas conducentes a la estabilización y/o minimización de los problemas presentados en el mismo.

El análisis geológico-geomorfológico del sitio de estudio se desarrolló bajo los siguientes aspectos fundamentales:

i) A nivel regional, con el fin de obtener su ubicación dentro de su contexto geológico general e identificar las unidades estratigráficas regionales, al igual que los elementos estructurales presentes en el área de estudio y alrededores.

ii) A nivel regional-local se integró la geología regional, local y de detalle, teniendo en cuenta aspectos de: génesis, litología, estratigrafía y geología estructural, unidades de superficie, perfiles de meteorización y procesos de erosión.

iii) A nivel geológico local mediante reconocimientos de campo, identificar, clasificar y cartografiar los diferentes tipos de materiales rocosos (suelos, rocas, sus elementos estructurales y discontinuidades, y aptitudes correspondientes: rumbos/buzamientos, así como las características y su análisis correspondiente), elementos presentes en el sitio (a escala 1:500), caracterizándolos desde el punto de vista de su aplicación para propósitos en la ingeniería geotécnica, con lo cual se permita identificar, medir y evaluar las condiciones de estabilidad de los túneles y/o socavones presentes en los alrededores o bajo la urbanización Bosques de la Hacienda.

iv) Desde el punto de vista geomorfológico general, presentar una clasificación de las diferentes geoformas del terreno presentes, su caracterización y su dinámica en el área de estudio, considerando la génesis de las diferentes unidades y su evolución.

v) **Desde el punto de vista** geomorfológico local, evaluar la posibilidad de la existencia de procesos de inestabilidad (de tipo remoción en masa y erosión), que permitan analizar desde el punto de vista geotécnico, los detonantes y contribuyentes de los procesos actuales o potenciales de inestabilidad del terreno en el área de estudio.

vi) El levantamiento geomorfológico y localización de los procesos de inestabilidad por remoción en masa y erosión identificadas, serán cartografiados y presentados sobre una base cartográfica a escala 1:500. En particular el levantamiento de los procesos morfodinámicos presentes en el área de estudio, incluirá su localización, magnitud, grado de actividad y factores detonantes y contribuyentes. Esto implica la descripción y clasificación de todos los procesos de inestabilidad identificados en el área de estudio clasificando en antiguos y recientes de acuerdo con su estado de actividad y según los mecanismos de falla, y forma de propagación considerando la retrogresividad y/o posible evolución del proceso y el área de influencia directa con su actividad.

vii) Localización y análisis de los posibles túneles y /o socavones presentes en el área de estudio.

viii) Efectuar un análisis multitemporal que permita evaluar la dinámica de dichos procesos, considerando como mínimo tres fechas (actual, 20 y 40 ó 50 años atrás).

4.2 METODOLOGÍA Y ACTIVIDADES REALIZADAS

Para el desarrollo del estudio, se realizaron las siguientes actividades:

- Recopilación y análisis de la información de referencia existente y temática básica, tales como planos topográficos, aerofotografías, geología, así como estudios geotécnicos disponibles en algunas entidades como, FOPAE-DPAE, INGEOMINAS, etc.

- Reconocimiento del sitio de estudio por parte del especialista en geología, y levantamiento cartográfico detallado de todos elementos geológicos, geomorfológicos y morfodinámicos existentes y necesarios para el estudio temático del sitio, y la caracterización de los mismos.

- Análisis de la información tanto secundaria como la recolectada en el sitio, las cuales conforman los elementos temáticos básicos de la Geología y Geomorfología aplicadas a la Ingeniería, para el planteamiento de diferentes alternativas concernientes al cumplimiento de los objetivos requeridos en el estudio.

- Aanálisis de la fotointerpretación de las aerofotografías del área, de diferentes escalas y tomadas por el I.G.A.C. en diferentes años.

- Elaboración de los planos temáticos correspondientes (geológicos y geomorfológicos locales y/o de detalle), para las diferentes aplicaciones en los diseños ingenieriles, y la elaboración de la memoria temática correspondiente

4.2.1 Antecedentes: Recopilación y Análisis de la información secundaria

Para el desarrollo del estudio del sitio de la referencia, se realizará una recopilación de la información temática existente y disponible, y relacionada con los objetivos del proyecto.

Las siguientes fueron las fuentes de información secundaria recopilada que se evaluará para el desarrollo del estudio:

- **CARO, P., GARCÍA, J., 1988**. Zonificación Geotécnica del Distrito Especial de Bogotá; INGEOMINAS-DAPD.
- **FOPAE-DPAE, 2008**. Antecedentes sobre estudios recientes de Inestabilidad sobre el sitio de estudio y alrededores.
- INGEOCIM LTDA. – UPES. 1998. Estudio de "Zonificación de Riesgos por Inestabilidad del terreno para Diferentes Localidades de Santa Fe de Bogotá". Contrato 1314-107-97. INGEOCIM LTDA., 1998.
- **INGEOMINAS; 2005.** Mapa Geológico de la Sabana de Bogotá. Esc. 1:120.000, y Memoria Explicativa.
- **PADILLA, J.P., y Otros; 2003-2005**. Propuesta metodológica para los estudios de Geología y Geomorfología aplicadas a la Ingeniería; INGEOMINAS; Bogotá D.C.
- **IGAC.**Fotografías aéreas correspondientes a los vuelos**:** C-35, Sobre: 845, Nos. 854-855- 856, Esc. 1: 22.000, año 1940; C-772, S-2933, Nos. 076-077- 078, Esc. 1:9.000, 1956; C-1675, S-28238, Nos 010-011-012, Esc. 1:19.200, 1976, y C-2717, S-39296B, Nos. 097-098, Esc. 1: 20.460, 2004.

Para el análisis de la información obtenida, secundaria y primaria, se seguirá la siguiente metodología.

4.2.1.1 Información Secundaria.

- Se realizará la revisión, análisis y condensación de la información recopilada, y disponible del sitio de estudio, y sus alrededores, como: informes previos sobre los problemas de estabilidad identificados, estudios regionales de zonificación de amenazas; información geológica,

geomorfológica, aerofotografías de diferentes épocas, cartografía temática, y en general toda la información que se consideró necesaria y de utilidad para cumplir con el objeto del estudio.

- En lo referente a las temáticas específicas y básicas (geología y geomorfología), en el presente estudio se integrará la geología regional, local y/o de detalle, teniendo en cuenta aspectos de génesis, composición litológica, estratigrafía y geología estructural, unidades superficiales, perfiles de meteorización y procesos de inestabilidad (denudativos y antrópicos), tanto antiguos como recientes.

- Igualmente, se realizará un análisis fotogeológico de las aerofotografías de diferentes escalas y tomadas por el I.G.A.C., en diferentes años.

4.2.1.2 Información Primaria

Para la obtención de la información primaria se realizará la siguiente metodología:

- Reconocimiento de campo, en el cual se realizará las actividades de levantamiento geológico y geomorfológico de detalle. Para los aspectos geológicos de detalle y/o local, se caracterizaran litológica y estructuralmente los materiales rocosos (rocas y suelos) presentes en los diferentes afloramientos del sitio de estudio, teniendo en cuenta sus propiedades y condiciones físico-mecánicas necesarias para su aplicación en la ingeniería geotécnica. Igualmente, se identificaran y cartografiaran los procesos de remoción en masa, tanto antiguos y recientes, así como activos y/o potenciales.

- La información Geológica y Geomorfológica obtenida se procesará en planchas topográficas (Esc. 1:500), levantadas por GEOCING S.A.S, con el fin de obtener los planos temáticos correspondientes. También se tomaran fotografías de campo de los diferentes aspectos temáticos (geológicos y geomorfológicos), del sitio en estudio y alrededores, como un elemento complementario e ilustrativo.

5 ASPECTOS GEOLÓGICOS

El presente Ítem contiene la descripción de las unidades geológicas a nivel regional que conforman el entorno del sitio de estudio ubicado en La Urbanización Bosques de la Hacienda, en el Barrio Molinos, de la Localidad de Rafael Uribe Uribe.

En el Ítem correspondiente a los aspectos geológicos locales, se presenta la descripción y caracterización de las unidades geológicas superficiales para su aplicación en Ingeniería Geotécnica.

El área de estudio se encuentra ubicada en la zona sur-oriental del Distrito Capital, en la parte media-baja de los Cerros sur-orientales de Bogotá, donde afloran rocas continentales, principalmente del Terciario, cubiertas en sectores por depósitos Cuaternarios.

5.1 GEOLOGÍA REGIONAL

De acuerdo con los estudios geológicos regionales realizados hasta la fecha por **INGEOMINAS** y especialmente, los efectuados en los años 1988, y 2005 (Zonificación Geotécnica del Distrito Especial de Bogotá, Esc. 1:25.000, y Mapa geológico de la Sabana de Bogotá, Escala 1:120.00), información que se toma como base referencial temática principal, el **sitio de estudio y alrededores está localizado sobre rocas de la Formación Regadera, en su Conjunto Superior (E2rs).** En algunos sectores fuera del sitio de estudio, se presentan depósitos coluviales antiguos.

Tectónicamente, el sitio se ubica en el flanco oriental del Sinclinal **Usme-Tunjuelito**, principal estructura de la región.

A continuación se presenta una descripción muy generalizada de las unidades geológicas sobre las que se encuentra ubicado el área de estudio y sus alrededores, de la más antigua a la más reciente. La información temática se presenta en el Plano Geológico Regional, en escala 1:2.500, (ver Figura 2), donde se muestran las unidades geológicas regionales y los elementos estructurales presentes en el área de estudio y alrededores.

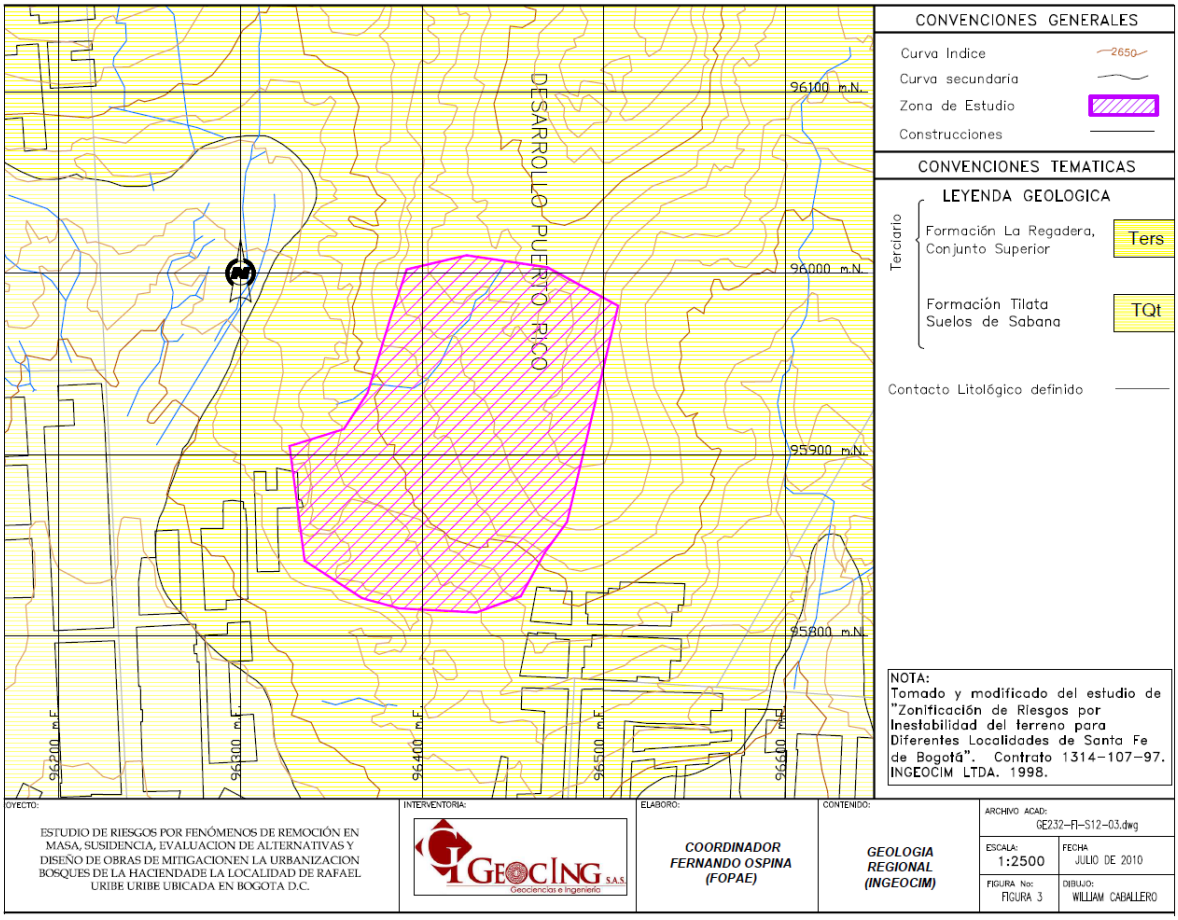


Figura 2. Geología Regional, tomado del estudio de Zonificación de riesgo por inestabilidad del terreno para diferentes localidades de Santa Fe Bogotá INGEOCING -1998

5.1.1 Estratigrafía

- **Formación Regadera, Conjunto Superior (E2rs).**

Las rocas de la Formación Regadera, Conjunto Superior, están conformadas por areniscas gris claras y amarillo-naranja, de fino a grueso, friables, ocasionalmente conglomeráticas, con delgadas intercalaciones de arcillolitas rojizo-violáceas.

- **Depósitos Cuaternarios (Qdp).**

  Conforman la zona de morfología ondulada, principalmente de la parte ubicada hacia el sur, y fuera del área de estudio; constituidos por depósitos de ladera, de composición heterogénea.

5.1.1.1 Aspectos Geológicos Estructurales

Desde el punto de vista estructural, el área de estudio es el resultado de los procesos tectónicos propios de la evolución geológica de la Cordillera Oriental, en la región de la sabana de Bogotá. El sitio de estudio se encuentra ubicado en el flanco oriental del Sinclinal de Usme-Tunjuelito, principal estructura del área, la cual presenta un rumbo general de NNE-SSW.

Los estratos rocosos que conforman dicha estructura dentro de la región de estudio y sus alrededores presentan una posición normal, con un rumbo en general norte-noreste y un buzamiento hacia el oeste-noroeste.

5.1.2 Condiciones Geológicas Locales

Para el desarrollo del estudio temático, se efectuó el levantamiento cartográfico de las unidades rocosas aflorantes en el sitio a escala de detalle (1:500), y la caracterización de cada una de ellas.

Los materiales rocosos aflorantes en el sitio, para su cartografía y caracterización con fines ingenieriles, se han denominado como **Unidades Geológicas Superficiales**, para lo cual se clasificaron en **unidad de suelos** y **unidad de roca**.

Los materiales definidos como suelos se clasificaron según su origen en, antrópicos (Sa). Las rocas, de acuerdo con sus características litológicas y condiciones geomecánicas, se clasificaron en rocas blandas (Rb).

En el PLANO GE-269 PL-02 denominado Geología y GE-269- PL 02 A Secciones Geológicas, a escala 1: 500, se cartografiaron las unidades Geológicas Superficiales del sitio de estudio; en las **fotografías 1 y 2** se muestran las diferentes unidades rocosas. En la **tabla 1** se presenta en forma resumida sus características. La descripción de las diferentes unidades se presenta de la más reciente a la más antigua.

5.1.2.1 Unidades de Suelos.

- **Suelos de Origen Antrópico.** Estos materiales son de dos clases: depósitos de escombros (Sa) y rellenos ingenieriles (Rl).

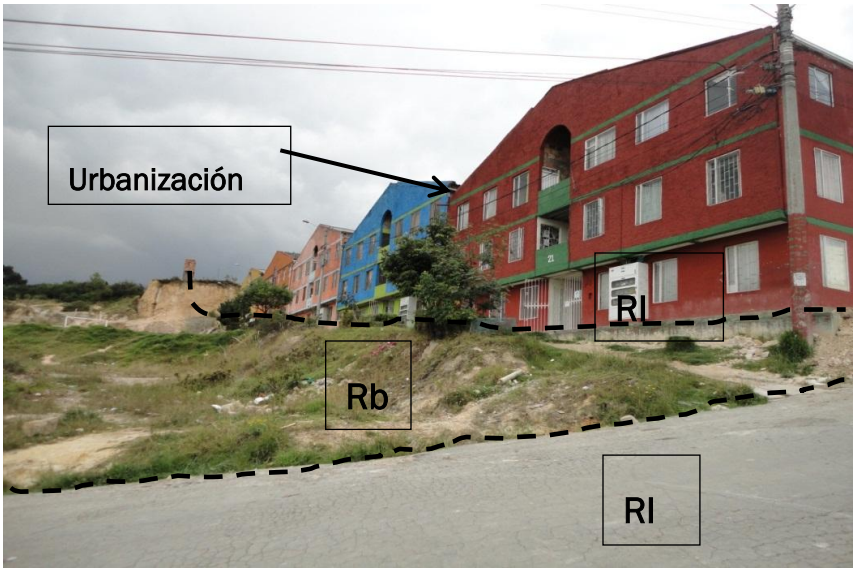


Foto 1. Vista general de la parte occidental de la urbanización y distribución de las unidades superficiales: (Rb), borde talud de excavación de antigua cantera, constituida por rocas de constitución arenácea; (RI), relleno ingenieril.

Foto 2. Vista general de la parte sur de la urbanización y distribución de las unidades geológicas superficiales: (Rb), ladera constituida por rocas de composición arenácea; (Sa), depósitos antrópicos.

- Los Depósitos Antrópicos (Escombros),(Sa), son los materiales procedentes principalmente de los desechos de las antiguas actividades de la explotación minera (arenas para usos industriales) desarrolladas en los alrededores del sitio. Estos materiales se presentan distribuidos especialmente en sectores puntuales de la parte sur fuera de la urbanización, son de pequeña magnitud; están conformados principalmente por arenas y esporádicos bloques de areniscas; su espesor en general es bajo (1.5 m aprox.), (ver Foto 2).

- Los Rellenos Ingenieriles (RI), corresponden a los materiales seleccionados y compactados, componentes de las capas de base y sub-base para el desarrollo principalmente de las vías de comunicación existentes en el sitio y sus alrededores. Estos materiales están conformados por gravas, arenas y limos. Es de anotar, que las construcciones no presentan capa de base ni sub-base, siendo cimentadas directamente sobre macizo rocoso.

Tabla 5. Unidades Geológicas Superficiales

UNIDAD GEOLÓGICA BÁSICA/EDAD	UNIDAD GEOLÓGICA SUPERFICIAL (Clase de Material)	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
Cuaternario	Depósitos Antrópicos	Sa	Materiales originados por las actividades del desarrollo de explotación minera.
Cuaternario	Rellenos Ingenieriles	RI	Materiales seleccionados y compactados, conformantes de las capas de base y sub-base para el desarrollo de las vías de acceso a la Urbanización.
Terciario Formacion Regadera, Nivel Conjunto Superior (E2rs)	Nivel de Rocas de Resistencia Blanda	Rb	Nivel de areniscas, colores amarillo, con pigmentación rosada y naranja por meteorización, grano fino a medio, ocacionalmente grano grueso, muy friables, en estratificación gruesa, poco fracturadas, dureza blanda; con intercalaciones de niveles de areniscas gris amarillentas, grano fino a medio, de resistencia dura, en estratos gruesos a muy gruesos.

5.1.2.2 Unidad de Rocas.

- Rocas Blandas (Rb), (E2rs). Estos materiales corresponden a los estratos rocosos de la Formación Regadera, Conjunto Superior (E2rs), las cuales conforman el macizo rocoso del sitio de estudio y alrededores. Están conformados por areniscas, de color gris claro, con pigmentación rosada y amarillo-naranja por meteorización, grano fino a medio, ocasionalmente grano grueso, en estratos delgados a gruesos, en estratificación cruzada e intercalación de capas menores de arcillolitas, de resistencia blanda, de baja consolidación y friables. Estas rocas se presentan en superficie altamente meteorizadas, conformando horizontes de suelo residual con espesores hasta de 1.5 m aproximadamente, (ver Foto 1 Foto 2 y Foto 3).

  Es de anotar, que se presentan intercalaciones de niveles de areniscas grises, grano fino-medio, duras, en estratos en general gruesos a muy gruesos, los cuales han sido utilizados en actividades de explotación minera para la producción de arenas,(ver Foto 4 y Foto 5).

  Igualmente, las rocas observadas corresponden afloramientos resultantes de las actividades de explanación de laderas para explotación minera y de adecuación para el desarrollo urbanístico.

Foto 3. Vista aspectos del macizo rocoso (niveles de areniscas, Rb), aflorante en la parte intermedia de la Urbanización.

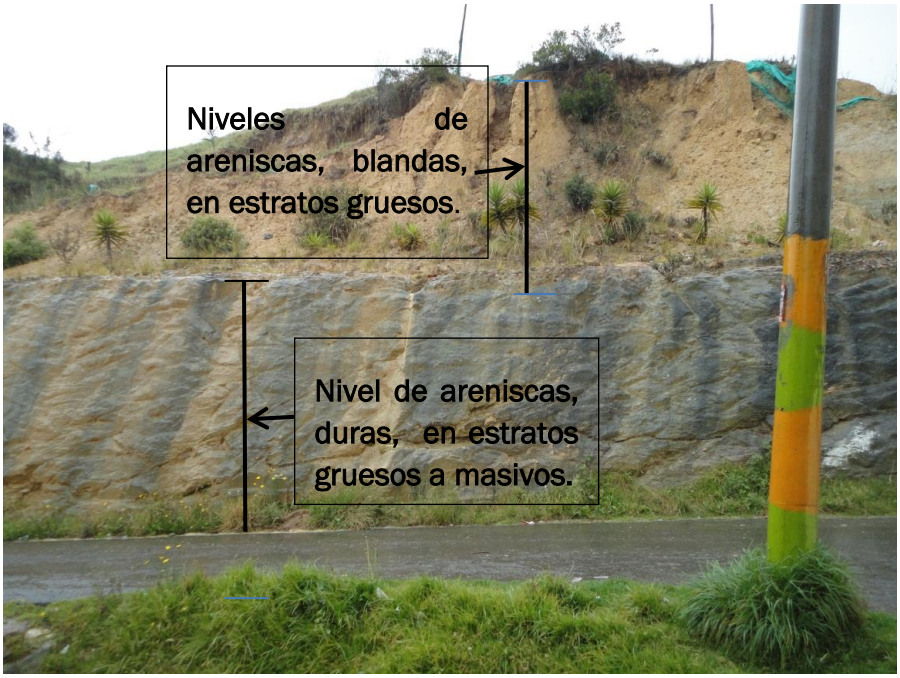


Foto 4 Vista aspectos del macizo rocoso con niveles de areniscas, color gris, en estratos gruesos a masivos, aflorantes en los taludes de corte de la parte Norte de la Urbanización.

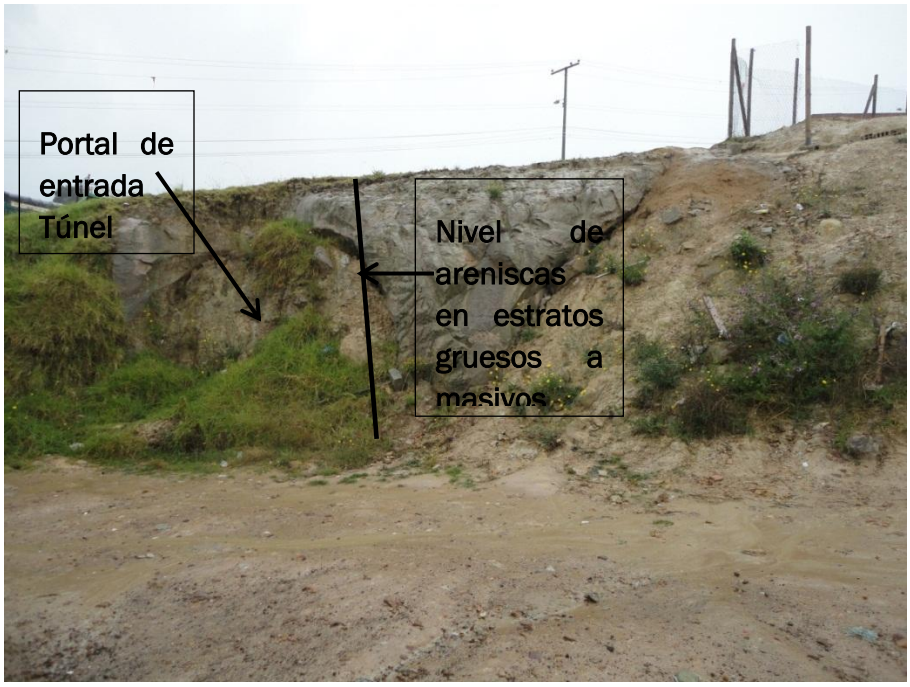


Foto 5 Vista de niveles de areniscas, en estratos gruesos a masivos, aflorantes en los taludes de corte de la parte sur-oeste, fuera de la Urbanización.

5.1.2.3 Condiciones Estructurales

Desde el punto de vista estructural, el sitio de estudio se encuentra ubicado en el flanco oriental del Sinclinal Usme -Tunjuelito, estructura que presenta un rumbo general de NNE-SSW. Entre de los elementos estructurales menores de influencia en los macizos rocosos, se presentan los correspondientes a la estratificación.

- <u>Estratificación</u>

El macizo rocoso dentro del sitio, presenta en general una estratificación gruesa (capas entre 1 y 3m, con delgadas intercalaciones de capas con espesores menores). Los estratos rocosos presentes en afloramientos resultantes de excavaciones para minería y desarrollo urbanístico, muestran como aptitudes de rumbo y buzamiento promedios (R/B), y entre los que se tiene: **N50°E /8° al NW**, y **N30°W /8° al SW**, cuyas direcciones son parcialmente en el mismo sentido, y en sentido contrario de la pendiente de los taludes, (ver plano geológico local).

Es de anotar, y como se muestra en las diferentes fotografías, las rocas presentes por su estado en estratos gruesos a masivos, de naturaleza blanda, no muestran sistemas de discontinuidades (tipo diaclasa), de magnitudes y características importantes.

6 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Desde el punto de vista morfológico, el área de estudio se ubica sobre la vertiente occidental de los cerros orientales de de Bogotá, resultado de procesos morfotectónicos propios de la evolución de la Cordillera Oriental, en la región de la Sabana de Bogotá, cuyo levantamiento definitivo se inició hace unos 4 millones de años.

6.1 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

De acuerdo con la información de referencia existente, geológica y geomorfológica (**Ingeominas, 1988 y 2005**), en el área de estudio y alrededores desde el punto de vista regional se presentan unidades geomorfológicas, representadas principalmente por un tipo de ambiente morfogenético, de características muy variadas. En términos generales y de acuerdo a los objetivos del presente trabajo temático, en el área de estudio y alrededores se presentan **geoformas de origen Estructural-Denudativo, de tipo Laderas Estructurales y en Contrapendiente.**

- Unidades Origen Estructural- Denudativo, de tipo Laderas Estructurales y en Contrapendiente

Por las condiciones tectónicas que ha sufrido la Cordillera Oriental en la región, estos elementos presentan características variadas; corresponden a geoformas estructurales, es decir aquellas en que en las cuales los macizos rocosos presentan buzamientos en el mismo sentido de la pendiente topográfica de los terrenos en algunos sectores, mientras que en otros sectores constituyen laderas en contrapendiente, es decir aquellas en que los componentes rocosos presentan buzamientos en sentido contrario a la pendiente de las laderas. Es de anotar que, los buzamientos que presentan los estratos rocosos son de muy bajo valor (8° en promedio).

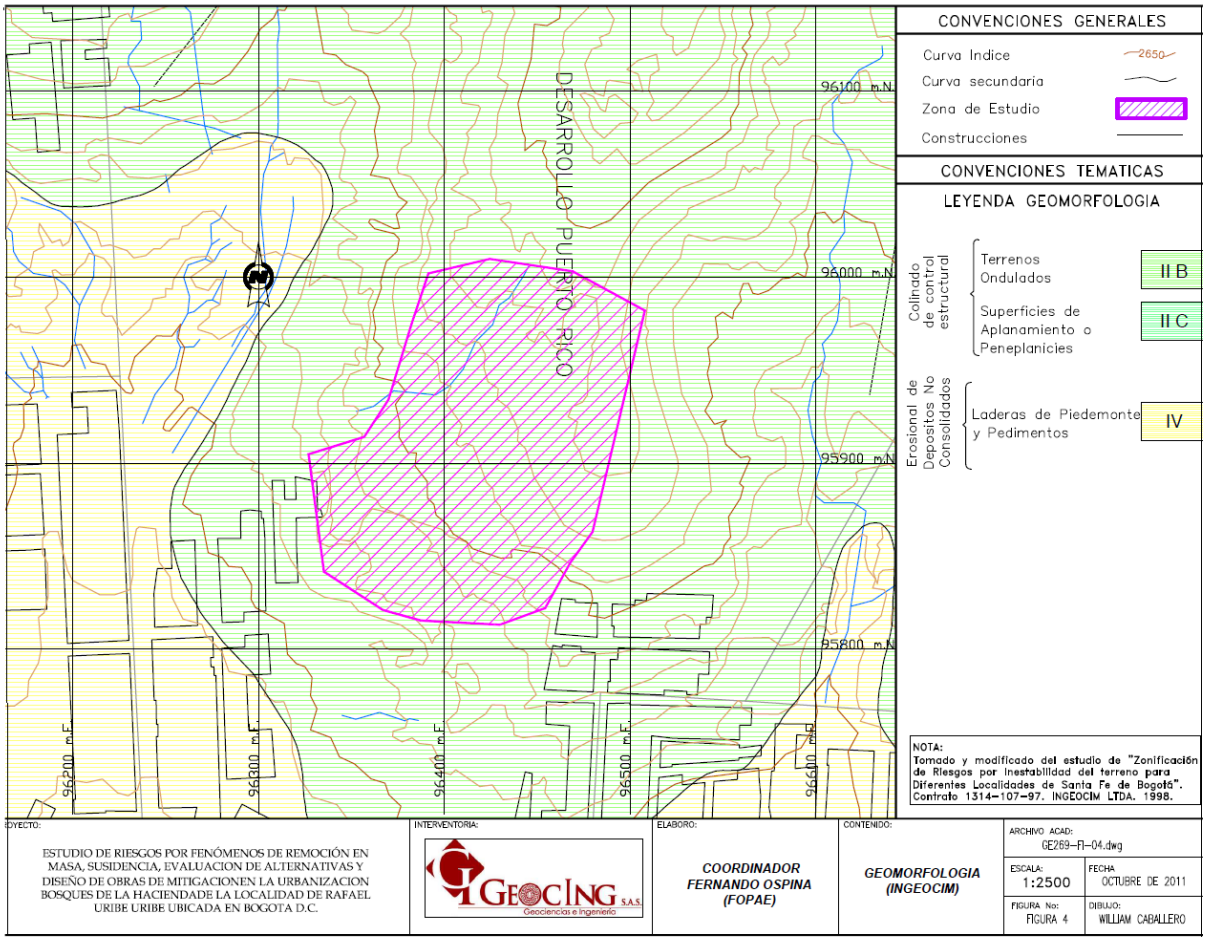


Figura 3. Geomorfología Regional, tomado del estudio de Zonificación de riesgo por inestabilidad del terreno para diferentes localidades de Santa Fe Bogotá INGEOCING -1998.

6.1.1 Geomorfología Local

En este numeral se presentan las consideraciones geomorfológicas correspondientes al origen y evolución de la forma de los terrenos, procesos denudativos (fenómenos de remoción en masa tanto antiguos como recientes, y erosivos), y antrópicos del sitio de estudio.

Entre los procesos que más han influido en los cambios morfológicos de los terrenos del área donde se ubica la Urbanización Bosques de la Hacienda, se tienen las actividades realizadas para el desarrollo de la explotación de fuentes de materiales de tipo arena, y para la adecuación de las laderas (explanación y conformación) para el desarrollo urbanístico.

De acuerdo con las características geológicas, topográficas, ambientales, procesos denudativos y la información obtenida en los reconocimientos de campo, en el sitio de estudio se presentan subunidades y elementos morfológicos de origen: **i) estructural-Denudativo, ii) laderas-denudativas, y iii) antrópico.**

Entre las Subunidades y elementos de origen estructural-denudativo se tiene, las laderas estructurales con actividad antrópica; las laderas denudativas, y de las de origen antrópico se tienen, las laderas explanadas de actividad minera y para uso urbano, y los depósitos de escombros.

Entre los aspectos importantes de utilidad de la temática geomorfológica aplicada en la ingeniería geotécnica se tiene, la caracterización de las formas del terreno por su génesis y parámetros morfométricos entre los cuales se consideran por su importancia, la forma e inclinación de la pendiente.

La **Inclinación de la Pendiente,** parámetro fundamental en los análisis de estabilidad, corresponde al ángulo de inclinación que forma una ladera o terreno respecto a un plano horizontal imaginario. Los índices de inclinación de la pendiente de las laderas, se presentan en la Tabla 6**.**

En el Plano GE-269 PL-03, a escala 1: 500, **(Mapa Geomorfológico Local)**, se presentan las subunidades y elementos geomorfológicos del sitio de estudio**. En la Tabla** 7 se resumen sus características. La descripción de las diferentes subunidades y elementos se presenta de la más reciente a más antigua.

Tabla 6 CLASIFICACIÓN DE LAS PENDIENTES

PARÁMETRO	UNIDAD CARTOGRÁFICA DE PARÁMETRO	INCLINACIÓN (GRADOS)
Inclinación de la pendiente	Plana	Menor de 1
	Suavemente inclinada	1 – 5
	Moderadamente inclinada	5 – 10
	Inclinada	10 – 15
	Abrupta	15 – 30
	Escarpada	30 – 45
	Muy escarpada	> 45

6.1.1.1 Subunidades y Elementos de Origen Antrópico, denudativo y Estructural-Antrópico.

Entre estas Subunidades y elementos se tienen: las Laderas Explanadas para Explotación Minera y Uso Urbano, los Depósitos de Escombros (de desarrollo minero), laderas denudativas, y Estructural-con modificación antrópica.

- Laderas Explanadas Para explotación Minera y uso Urbano (LEU).Se hace referencia a las geoformas resultantes de las actividades de la adecuación de los terrenos para la explotación minera de la parte norte y occidental del área, y el desarrollo urbanístico tanto de viviendas como de las vías de acceso a la Urbanización; presentan una morfología de laderas y taludes con pendiente moderada a muy escarpada (<5° a >45°). Entre los procesos morfodinámicos se tienen, la generación de procesos erosivos y procesos de inestabilidad de baja magnitud.

- Depósitos Antrópicos (Escombros) (DA). Corresponden a geoformas originadas por la deposición de materiales resultantes principalmente de las actividades del desarrollo minero. Estos depósitos se presentan en la parte sur de la urbanización y fuera de la misma; son de bajo espesor (1.5m); presentan una morfología de pendiente moderada a inclinada (10° a 15°).Como procesos morfodinámicos se tienen, los fenómenos de inestabilidad.

- Laderas Denudativas (LD). Geoformas resultantes de los procesos denudativos principalmente de tipo erosivo; corresponden a terrenos ubicados en algunos sectores aledaños al sitio de la Urbanización, los cuales no han sufrido procesos de actividad antrópica. Presentan una morfología de laderas onduladas con pendiente suave a inclinada **(10° a 15°);** como procesos morfodinámicos se tienen la generación de procesos erosivos variados.

- Ladera Estructural- con Actividad Antrópica (LEA). Geoformas, cuyos componentes rocosos buzan en el mismo sentido de la pendiente de las los terrenos (con valores bajos, 8° en promedio); sometidas a procesos antrópicos, conformadas por niveles rocas de composición arenácea, y localizadas hacia la parte sur de la Urbanización, Presentan una morfología de laderas y taludes con pendiente inclinada a abrupta **(10°- 30°).**Como procesos morfodinámicos se tiene que son muy susceptibles de originar procesos erosivos.

Tabla 7 Subunidades y Elementos Geomorfológicos.

Ambiente Morfo-genético/ori-gen	Subunidad/ Elemento	Símbolo	Tipo/For-ma del Terreno	Descripción	Procesos Morfodinámicos
Antrópico	**Depósitos Antrópicos (Escombros)**	DA	Laderas con pendiente inclinada **(10° a 15°).**	Geoformas originadas por depósitación de escombros generados por el desarrollo minero.	Fenómenos de inestabilidad y procesos erosivós.
Antrópico	**Laderas Explanadas para la explotación minera y el uso Urbano**	LEU	Pendiente moderada-mente inclinada a muy escarpada **(5° a >45°).**	Geoformas originadas por la adecuación de los terrenos para la explotación minera y el desarrollo urbanístico.	Generación de Procesos erosivos y procesos de inestabilidad
Denuda-cional	**Laderas Denudativas**	LD	Laderas con pendiente suave a inclinada **(10° a 15°).**	Geoformas resultantes de los procesos denudativos principalmente de tipo erosivo.	Generación de Procesos erosivos variados
Estructural – Antrópico	**Ladera Estructural con actividad Antrópica**	LEA	Laderas y taludes con pendiente inclinada a escarpada**(10°- 45°).**	Geoformas, cuyos componentes rocosos buzan en el mismo sentido de la pendiente de las los terrenos; sometidas a procesos antrópicos.	Susceptibles de originar procesos erosivos

6.1.2 Antecedentes históricos de las condiciones geomorfológicas

Para la obtención de la información necesaria sobre la evolución de las condiciones geomorfológicas del terreno donde se encuentra ubicado el sitio de estudio y alrededores, y el desarrollo de posibles procesos de inestabilidad que lo hayan afectado, se realizó un análisis multitemporal mediante la interpretación de aerofotografías tomadas por el IGAC, en diferentes épocas y a diferentes escalas, y complementadas con reconocimientos y observaciones de campo, para un periodo total de análisis de 61 años, y cuya relación se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8 Relación de Aerofotografías del sitio de estudio.

AÑO	VUELO	SOBRE	ESCALA	FOTOS No.
1940	C-35	S-845	1: 22.000	854-855
1956	C-772	S-2933	1: 9.000	076-077-078
1976	C-1675	S-28238	1: 19.200	010-011-012
2004	C-2717	S-39296B	1: 20.460	097-098

6.1.3 Análisis Multitemporal de Aerofotografías.

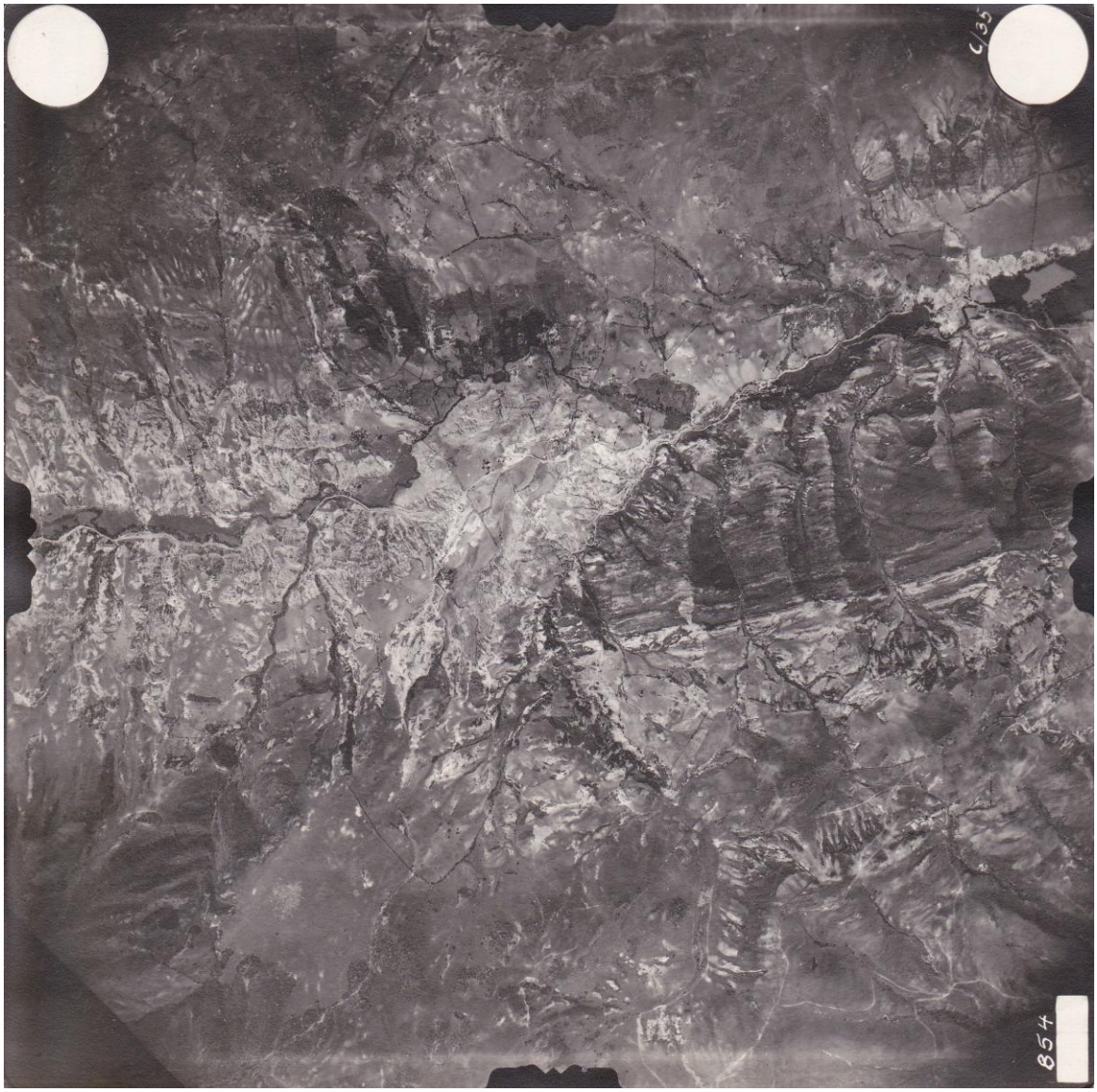
A los diferentes vuelos de aerofotografías seleccionadas, se les realizó un análisis detallado de fotointerpretación, siguiendo un orden cronológico de la fecha más antigua hasta la más reciente, con el fin de obtener información que ilustre sobre la evolución morfológica, morfodinámica etc., cronológicas de los terrenos del área de estudio y sus alrededores. Del análisis de las aerofotografías, se observa que el sitio de estudio y sus alrededores presentan los siguientes aspectos:

- AÑO 1940-1976 Los análisis de las aerofotografías de este año, nos indican que el área y sus alrededores está conformada por laderas alargadas y redondeadas, constituidas por rocas de resistencia blanda. Igualmente, se observa que desde años anteriores, en el área y sus alrededores, se venían desarrollando actividades antrópicas correspondientes a la explotación de arenas para usos industriales. Estos terrenos, se encuentran para esta época sometidos a procesos erosivos de baja intensidad, de magnitud puntual y de tipo laminar. Adicionalmente,

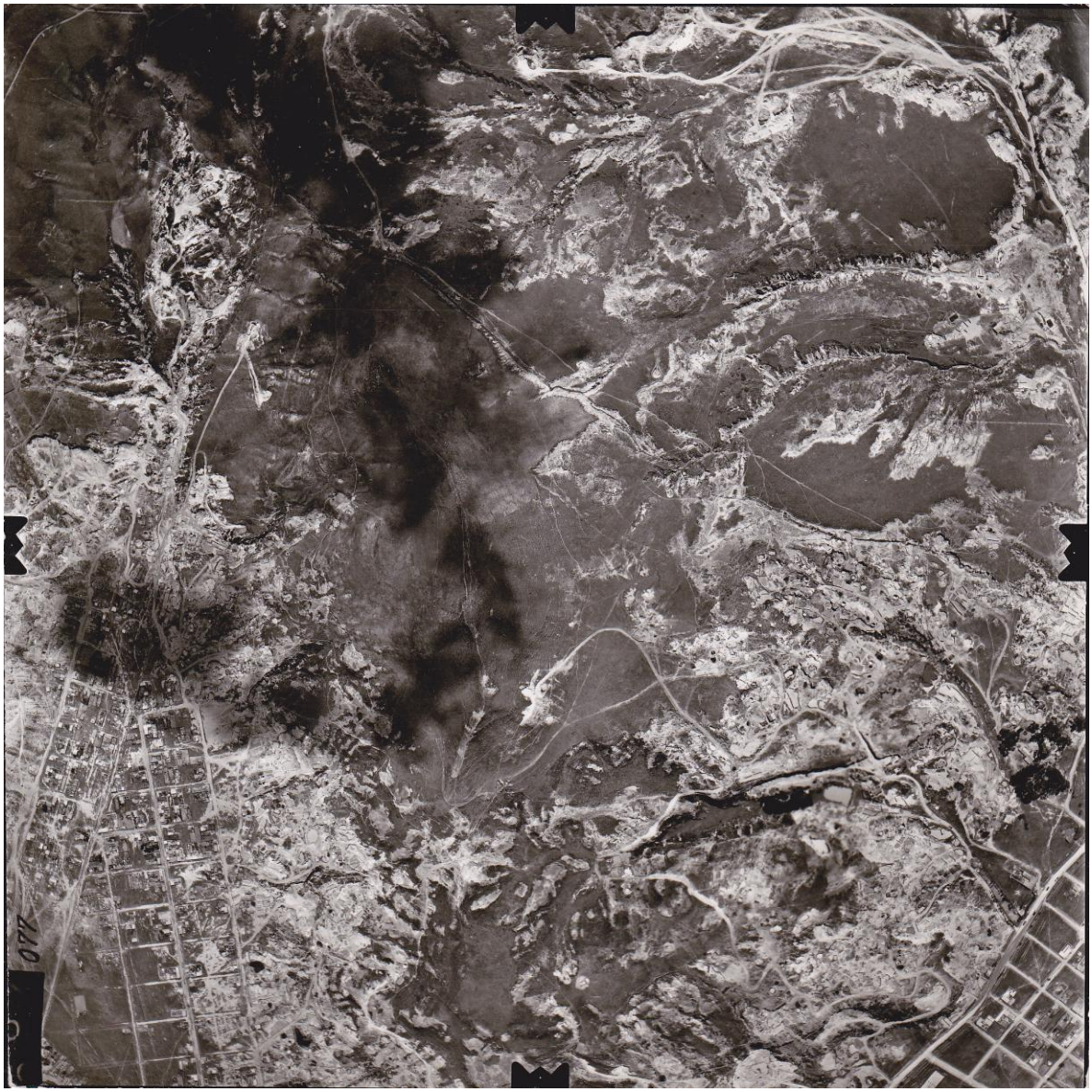
para este último año el sitio de desarrollo de la Urbanización Bosques de la Hacienda, no presenta desarrollo de actividades de explotación minera; igualmente, no se observan en el área, fenómenos de inestabilidad de ninguna clase. En cuanto al desarrollo urbanístico, para esta época tampoco se observa ninguna actividad en los alrededores.

- AÑOS 1976 a 2007 De acuerdo con la información mostrada en las aerofotografías de estos años y de acuerdo con la información suministrada por los habitantes del sitio, desde antes del año de 1997, las actividades de explotación minera, incluyendo las excavaciones subterráneas (túneles) ya se habían suspendido; Igualmente, el desarrollo de la Urbanización Bosques de la Hacienda inicia sus actividades de desarrollo aproximadamente en el año de 1998, con un avance progresivo con el correr de los años; también para estos años en los alrededores especialmente hacia el de la misma, ya existía un desarrollo urbanístico conformado.

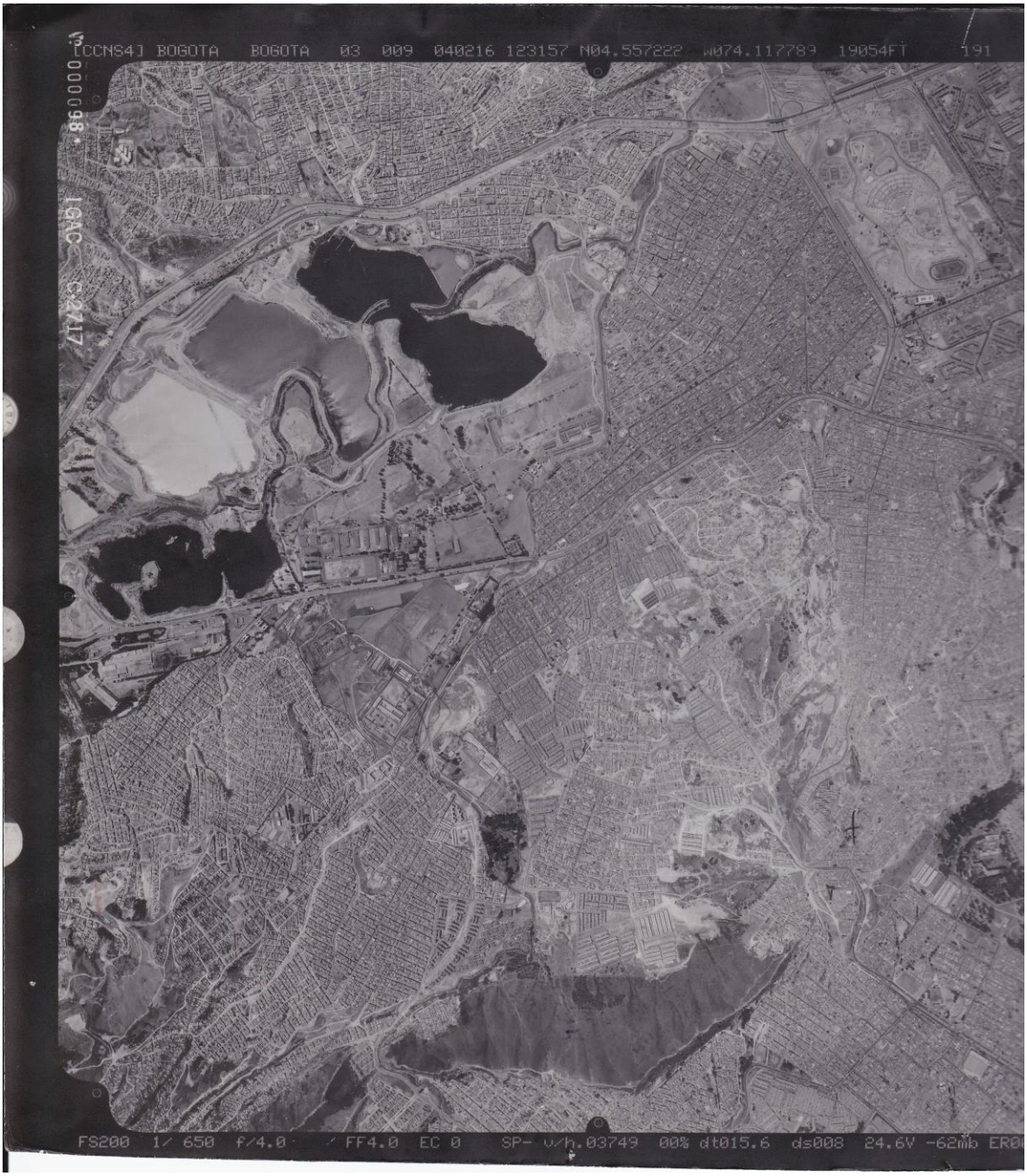
  Para los años 2004 a 2007, las condiciones geológicas, geomorfológicas y ambientales, presentan características similares a las observadas en los reconocimientos de campo para el presente estudio; igualmente, no se observan indicios de procesos de inestabilidad apreciables a excepción de procesos erosivos de tipo laminar.



Aerofotografía vuelo C-35 Sobre S-845



Aerofotografía vuelo C-772, sobre S-2933



Aerofotografía C-2717 S-39296

6.2 CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS

De acuerdo con los análisis de las condiciones y características geológicas y topográficas presentes en el área de estudio, como son: clases de materiales rocosos y su litología, condiciones estructurales, pendiente topográfica de las laderas, entre otras, se obtienen las siguientes consideraciones:

- El macizo rocoso que conforma el suelo del área de estudio y alrededores, está constituido por una secuencia predominante de **areniscas**, de grano fino a medio, ocasionalmente grano grueso, blandas, con intercalaciones de niveles de resistencia dura, de moderada consolidación y friables, y muy delgadas capas de arcillolitas**;** las rocas en superficie se presentan moderadamente meteorizadas, y poco fracturadas. Igualmente, los afloramientos rocosos dentro del sitio de estudio y alrededores son los resultantes de actividades antrópicas de explanaciones antiguas para la explotación minera para arenas y recientes para el desarrollo de la Urbanización.

- Los materiales de origen antrópico, son de tipo escombros (de desarrollo minero), ubicados en la parte sur y fuera de la Urbanización, son de moderada extensión, con espesores en promedio de 1.5 m.

- El macizo rocoso presenta buzamientos con un valor bajo (8° en promedio), con dirección en general en el mismo sentido de la pendiente topográfica de los terrenos, con algunas variaciones locales a contrapendientes.

- De acuerdo con las consideraciones anteriores, las rocas presentes en el sitio del desarrollo de la Urbanización y sus alrededores, por sus condiciones litológicas, de composición arenácea, por su textura granular, moderada consolidación, friables y pendiente estructural, pueden propiciando una capacidad de drenaje alta y conformar acuíferos, capaces de almacenar y transmitir agua, procedente de la escorrentía superficial y subterránea, las cuales por saturación pueden igualmente contribuir de alguna manera a la degradación e inestabilización aunque moderada, de los taludes y originar local y puntualmente caída de detritos, e incrementar los procesos erosivos.

- De acuerdo con comentarios y observaciones de los habitantes de la Urbanización, las habitaciones de los primeros pisos, presentan una intensa y constante humedad, las cuales se consideran son originadas principalmente por las condiciones hidrogeológicas del macizo rocoso

6.3 CONSIDERACIONES SOBRE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD

De acuerdo con los reconocimientos de campo, las características y condiciones geológicas, geomorfológicas y morfodinámicas presentes en el área, el sitio donde se ubica la Urbanización, desde el punto de vista geológico-geomorfológico presenta buenas condiciones de estabilidad, (ver Foto 1 a Foto 3 y Foto 5 a Foto 15). Desde el punto de vista morfodinámico, se presentan **pequeños procesos de inestabilidad** en sitios muy localizados y puntuales.

Foto 6. Estado de las construcciones parte Norte de La Urbanización

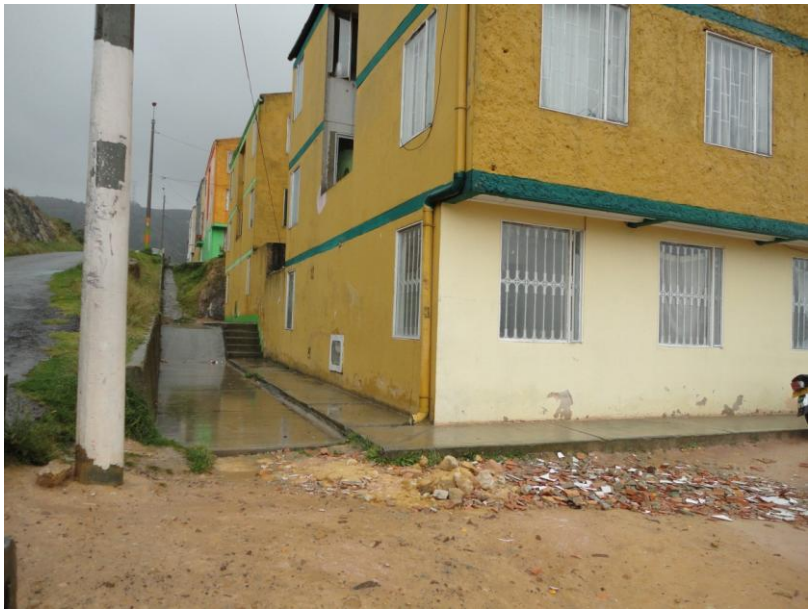


Foto 7. Detalle, Estado Const. Esquina Nor-Oeste de La Urbanización.

Foto 8. Estado Construcciones parte Occidental de La Urbanización

Foto 9. Vista estado vía entre bloques 3 y 4 de La Urbanización.

Foto 10. Vista estado parte Occidental bloque 5 de la Urbanización.

Foto 11. Vista detalle estado parte interior de apartamento en tercer piso.

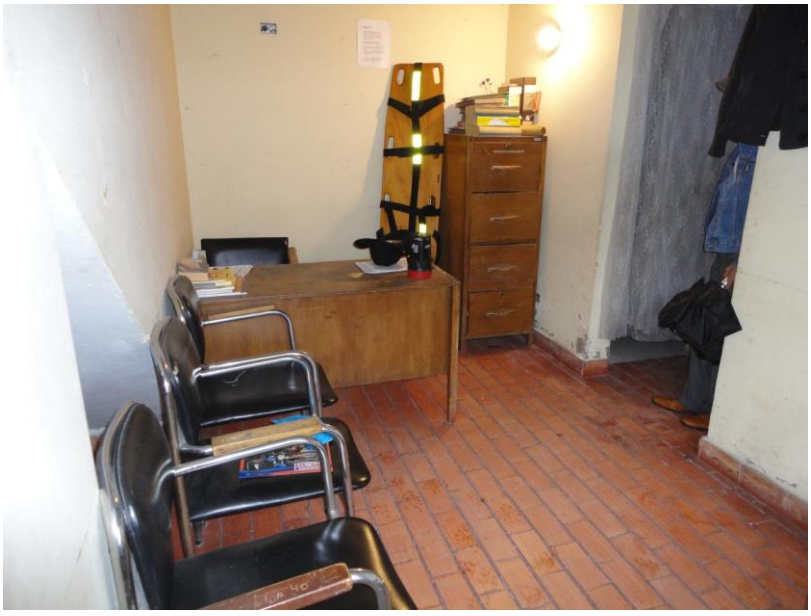


Foto 12. Vista estado parte interior de apartamento en tercer piso.

Foto 13. Vista estado parte entrada de apartamento en primer piso en bloque 5.

Foto 14. Detalle, estado base de las construcciones en parte sur de la Urbanización. Obsérvese la cimentación sobre macizo rocoso.

Foto 15. Aspectos de la vía de entrada principal, parte sur de la Urbanización.

6.4 PROCESOS DE INESTABILIDAD

En el sitio de localización de la Urbanización se presentan algunos procesos de inestabilidad de baja magnitud y localizados en sitios muy puntuales. Estos fenómenos son de tipo caída de detritos y rocas, y procesos erosivos de las clases laminar, surcos y algunas cárcavas; dichos procesos no involucran en lo mínimo la estabilidad de las viviendas, (ver Foto 16 a Foto 18).

Foto 16. Vista dirección Norte-Sur, estado de las cuneta recolectora de aguas, Límite Oriental del Bloque 1 de La Urbanización.

Foto 17. Vista aspectos del macizo rocoso (niveles de areniscas, Rb), aflorante en la parte intermedia de la Urbanización, con caída de detritos y rocas

Foto 18. Detalle aspectos de la presencia de procesos erosivos tipo cárcavas y surcos en el talud de la parte Occidental de La Urbanización.

Foto 19. Vista dirección Sur-Norte, límite Oriental del Bloque 1 de La Urbanización. Obsérvese el estado de la cuneta recolectora de aguas de escorrentía superficial, y pequeña caída de detritos y rocas, y procesos erosivos en el talud.

7 CONSIDERACIONES SOBRE LAS EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS (TÚNELES Y/O SOCAVONES).

Dentro de los métodos de explotación minera para arenas de ciertas características, en el área y alrededores del sitio de la Urbanización, fueron empleados la ejecución de Túneles y/o socavones (A-A' a D-D'); estos elementos se encuentran localizados en algunos puntos especialmente en la parte sur y suroeste, y fuera de la zona de desarrollo de la Urbanización Bosques de la Hacienda, (ver Plano Geológico Local).

La explotación minera mediante la utilización de Túneles, fue ejecutada para la obtención de arenas de ciertas características para el uso urbanístico, y correspondientes al Nivel clasificado como Rocas de resistencia dura (nRd). Este nivel está conformado por areniscas grano fino y arenas limosas, color gris claro a habano y amarillo claro, en estratificación masiva (3-10 m de espesor), poco fracturadas, de resistencia intermedia a dura, algo friables; este nivel intercalado se presenta en el subsuelo del sitio de la urbanización y entre profundidades de: 5.50 m-10.00 m (ver SM-1), y de 3.0m-10.0m, (ver SM-2) por debajo de la superficie de cimentación de las construcciones, (sección geológica 4-4').

La información obtenida de la explotación de los túneles fue correlacionada con la información aportada por los Sondeos mecánicos (SM-1, SM-2 y SM-4), al igual que por los métodos Geofísicos.

De acuerdo con la información obtenida en los trabajos de levantamiento topográfico, y con base en la información de habitantes del sitio (Miembros de la Junta de Acción Comunal), dichos túneles no alcanzaron a ser ejecutados dentro de la zona de cimentación de la Urbanización, siendo el Túnel A-A' la obra de excavación más cercana cuyo extremo alcanza solo el borde sur de la vía de acceso principal, a unos 10 m del borde del andén sur y cuya profundidad se encontró a 5.5 m de la superficie de la vía, (ver SM-1).

Los túneles presentaban longitudes entre 35 m y 60 m, con diámetros entre 2 m y 4 m, aproximadamente; no presentan una dirección definida, y cuyos métodos de desarrollo fueron variables según las condiciones y características de los estratos rocosos explotados, (ver plano geológico local).

En cuanto a la estabilidad de dichas obras, durante los reconocimientos geológicos de campo para el desarrollo de este proyecto, no se observaron problemas de estabilidad en los portales de entrada de los túneles, ni en las excavaciones de los mismos, así como tampoco en las zonas de alineamiento en superficie, (ver Foto 20 a Foto 23 y plano geológico local).

De los resultados obtenidos de la investigación Geofísica se concluyó que si bien los túneles alcanzan hasta la parte externa del parqueadero (TE 01-1 y 01-2), éstos no se ubican bajo las líneas de investigación ejecutadas en las zonas inmediatamente colindantes a la urbanización (TE 02-1, 02-2, 03-1, 03-2, 04 y 05).

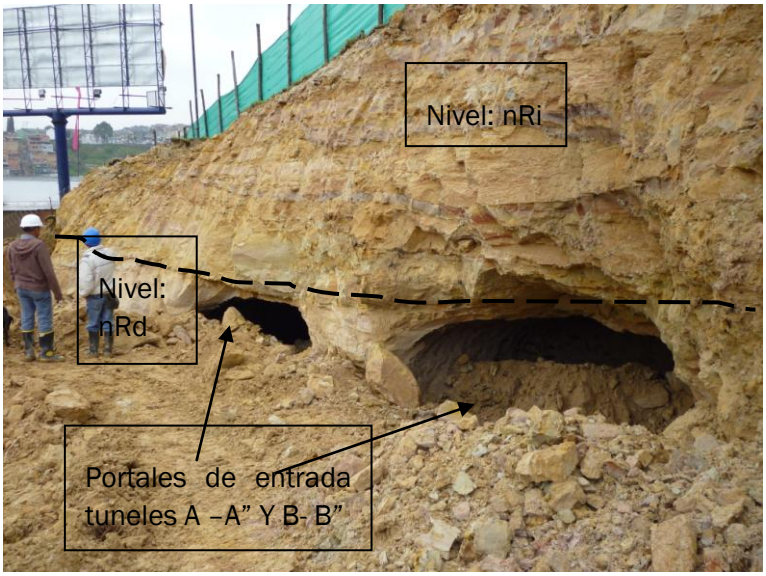


Foto 20. Vista de detalle y aspectos de los portales de entrada de los túneles: A-A´, B-B', ubicados en la parte sur y fuera de la Urbanización. Obsérvese los niveles de areniscas, nRi y nRd.

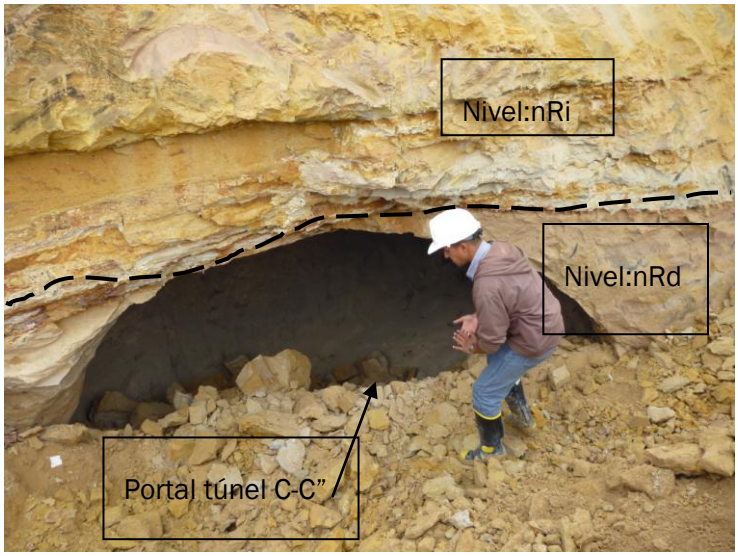


Foto 21. Vista de detalle y aspectos del portal C-C', ubicados en la parte sur y fuera de la Urbanización. Obsérvese los niveles de areniscas, nRi y nRd.

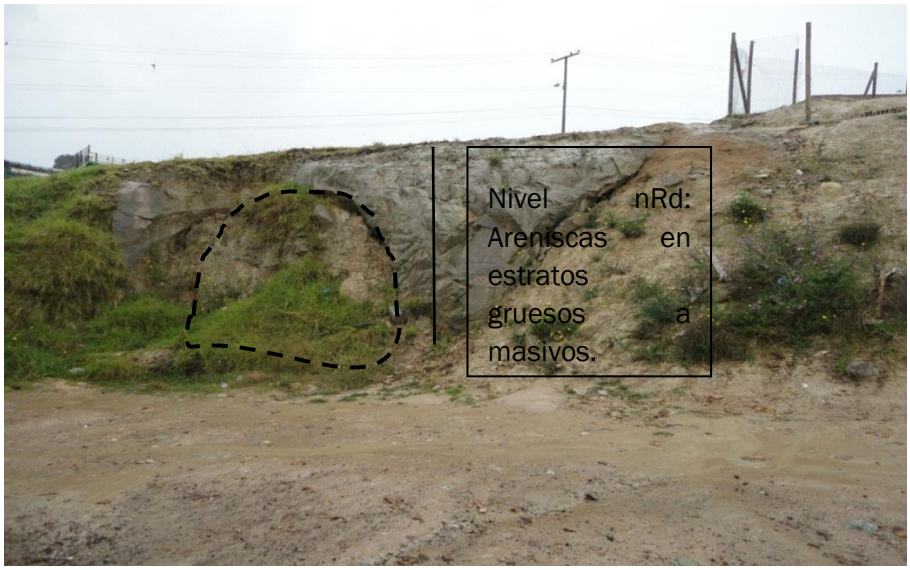


Foto 22. Vista de niveles de areniscas (nivel, nRd), en estratos gruesos a masivos, aflorantes en la parte sur-oeste, fuera de la Urbanización y la localización del portal de entrada del Túnel D-D´.

Foto 23. Vista aspectos internos de excavación de los Túneles A-A' y B-B'.

7.1 CONSIDERACIONES SOBRE EL AMBIENTE DE SEDIMENTACIÓN Y PROPIEDADES DE LA FORMACIÓN REGADERA.

En este Item se presentan algunas consideraciones, sobre el ambiente y formas de sedimentación (depositación) de la Formación Regadera (E2r)**, aspectos que pueden ser útiles para el entendimiento de los análisis correspondientes a la interpretación de la información obtenida en los trabajos de exploración Geofísica,** ejecutados dentro del área de la Urbanización y su correspondiente correlación con la información obtenida en las observaciones litológico-estratigráficas y en los Sondeos Mecánicos.

Desde el punto de vista de las características de la sedimentación, la Formación Regadera se considera, que su depósito ocurrió en un ambiente de ríos tranzados a meándricos, llanuras de inundación y/o lagunar. Por consiguiente, las rocas son depósitos de origen detrítico, fruto de la destrucción mecánica o de la alteración de las rocas preexistentes en diferentes sitios, de diferente composición (suelos residuales, etc.), de las precipitaciones de elementos disueltos en el agua o de la acumulación de materia orgánica en un medio continental; habiendo sido transportados sus materiales por dichos ríos y depositados en forma de conos de derrubios, estratos de arenas, limos y /o arcillas, con óxidos de hierro, etc.

Según las características anteriores, los sedimentos pueden presentar composición y tamaños variados, como arenas finas a muy gruesas, limos, lodos, arcillas, y que pueden ser de variados colores, grises, amarillos, rojos, anaranjados, con oxidación ferrosa, etc. Igualmente en forma de bancos continuos, lenticulares y /o con acuñamientos. Por lo tanto, y de acuerdo a las observaciones de campo, y como se muestran en las fotografías ilustrativas (Foto 24 a Foto 31), muchas de esas características se encuentran presentes en las rocas aflorantes en el sitio del estudio; igualmente, es de anotar que en otros sitios donde aparecen este tipo de rocas, se observan características similares a las encontradas en el sitio de la presente investigación.

7.1.1 Propiedades de las Rocas

Las propiedades fundamentales de un sedimento o roca sedimentaria, elementos indispensables para su descripción son: su textura, estructura y composición; y otras secundarias como el color, etc.

a) **La textura**, se refiere a las características de las partículas sedimentarias y a las relaciones que guardan los granos o componentes entre sí, (tamaño de las partículas, etc).

b) **La estructura**, corresponde a los rasgos más grandes de un depósito, tales como la estratificación (estratos o capas), surcos en arena, etc.

c) **La composición de un sedimento**, se refiere a composición mineralógica o química de un sedimento; los cuales pueden ser guijarros, arena, lodo, etc; y una parte que conforma la cementación, como son sílice, carbonatos, yeso, arcillas, limos, etc, los cuales dejan un mesclado y conformando finalmente el sedimento o estrato rocoso como tal.

d) **El color,** es el matiz que en conjunto presenta un sedimento, causado por la combinación del color de los granos, de la capa superficial, de la matriz y del cemento.

En general se tiene, que cuatro factores regulan el color de un sedimento: el efecto masivo total de los colores de los granos de los minerales o componentes mayores; el color de la matriz de grano más fino, o del cemento; el color de cualquier recubrimiento de los granos, como puede ser el óxido de hierro de las partículas de cuarzo u otras; y el grado de finura de los granos sedimentarios. Por ej. el color rojo de un sedimento se debe a la presencia de compuestos de hierro; los colores grises-oscuros o negros, a la presencia de carbonatos u otros componentes, etc.

Por lo tanto el color, es un aspecto o elemento secundario muy variable que depende de varios factores propios de la dinámica de las corrientes, igualmente variable en cada punto de la deposición del sedimento.

Igualmente, los aspectos y propiedades enumeradas anteriormente, se presentan claramente en los afloramientos expuestos en las excavaciones y conformación de los taludes para el desarrollo de la Urbanización.

Es de anotar también que, de acuerdo con la información de la cartografía geológica levantada en el sitio del presente estudio, los estratos rocosos presentan unas aptitudes de Rumbo y Buzamiento, muy similares en toda la zona, desde los taludes de excavación de la parte norte (Foto 24) hasta los taludes de la parte sur (Foto 31) fuera de la zona de desarrollo de la Urbanización Bosques de la Hacienda, (ver Plano GE-269-PL-02A GEOLOGIA LOCAL).

Foto 24. Vista aspectos del macizo rocoso, de constitución arenácea, aflorante en los taludes de corte de la parte Norte de la Urbanización. Obsérvese, los niveles nRb y nRi, conformados por areniscas gris y amarillentas, en estratos gruesos.

Foto 25. Vista aspectos del macizo rocoso, de constitución arenácea, de color gris amarillento, con intercalaciones de estratos arcillosos, color rojizo violáceo, de bajo buzamiento, aflorante en los taludes de corte de la parte nor-oriental de la Urbanización.

Foto 26. Vista límite sur-oriental del Bloque 1 de La Urbanización; aspectos del macizo rocoso, de constitución arenácea, de color gris amarillento, con intercalaciones de estratos color rojizo violáceo, con bajo buzamiento.

Foto 27. Vista aspectos del macizo rocoso (rocas del nivel nRi), de composición arenácea, gris claras y amarilla, con leve oxidación, y bajo buzamiento, aflorante en el talud frente al interior 20 del Bloque 4;en estratificación cruzada lenticular.

Foto 28. Detalle zona de excavación parte Occidental de La Urbanización, conformada por macizo rocoso, de constitución arenácea, en estratos gruesos, con presencia de oxidación rojiza.

Foto 29. Macizo rocoso, de composición arenácea, de coloración gris y rojiza, aflorante en la parte sur de La Urbanización.

Foto 30. Macizo rocoso, de composición arenácea, de color gris claro, aflorante en la parte sur-occidental de La Urbanización, en estratos delgados y gruesos, con buzamientos bajos.

Foto 31. Secuencia rocosa, de composición arenácea, de colores gris claro y amarillo, en estratos delgados a gruesos, con buzamientos bajos, aflorante en la parte sur y fuera de La Urbanización, resultado de explotaciones mineras; obsérvese la estratificación cruzada lenticular.

Del análisis de la información cartográfica, estratigráfica y estructural levantada en el área de ubicación de la Urbanización y tal como se muestra en las fotografías anteriores, se puede concluir**:**

a) **La composición litológica del macizo rocoso** en toda el área de las construcciones de la Urbanización es similar, areniscas cuarzosas, gris claras a amarillas, en sectores con coloración rojiza no uniforme, de grano fino a grueso, en estratificación gruesa, con intercalaciones menores de arcillolitas.

b) **En cuanto al aspecto estratigráfico y estructural**, el macizo rocoso dentro del área, presenta en general una estratificación cruzada lenticular (con acuñamientos), con estratos gruesos (capas entre 2 y 5m, con intercalaciones de capas con espesores menores). Los estratos rocosos presentes en afloramientos resultantes de excavaciones para minería y desarrollo urbanístico, muestran como aptitudes de rumbo y buzamiento promedios **(R/B),** y entre los que se tiene: N50**°E /8° al NW**, y **N30°W /8° al SW (**los buzamientos con valores bajos se mantienen en toda el área), cuyas direcciones son en el mismo sentido, con variaciones puntuales y en sentido contrario de la pendiente de los taludes, (ver plano geológico local y secciones 1-1' y 4-4'**).**

c) **La coloración rojiza por oxidación,** es muy irregular y en sectores parciales, propias de un ambiente de deposición de ríos tranzados a meándricos y lagunar. Igualmente, se considera que la coloración rojiza, por demás presente en forma irregular, no es un elemento primario que pueda influir en las condiciones de estabilidad o de resistencia o dureza de la formación de las rocas, y corresponde a un elemento secundario, dependiente de las condiciones locales y variables en cada punto de las corrientes que transportan los materiales.

d) **Igualmente,** las características y condiciones sedimentarias y estratigráficas que muestran las rocas conformantes de la Formación Regadera, aflorante en el área de desarrollo de la Urbanización Bosques de la Hacienda, se aprecian en forma muy similar en otros sitios que han sido sometidos a estudiados similares.

e) **Los características anteriores se complementan y corroboran,** y son reflejadas en parte con las investigaciones del subsuelo, tanto mecánicas (sondeos) como de la información obtenida en los trabajos de exploración Geofísica, la cual es analizada en el numeral 7.2, **Exploración Geoeléctrica, etc.**

7.2 INTERPRETACIÓN DE LAS TOMOGRAFÍAS

7.2.1 Generalidades

En este Ítem se presentan las consideraciones correspondientes a la interpretación de la información obtenida en los trabajos de exploración Geofísica ejecutados dentro del área de la Urbanización y su correspondiente correlación con la información obtenida en las observaciones litológico-estratigráficas y en los Sondeos Mecánicos.

Para lograr este propósito, la firma Geocing SAS, contrató los servicios especializados de Hidrosuelos-EU, desarrollándose la investigación indirecta por medio de la aplicación del método geofísico de resistividad y empleando la técnica de imágenes de resistividad 2D.

Para los análisis correspondientes se extractaron del Informe Temático respectivo (Hidrosuelos EU), aquellos aspectos que son de estricta utilidad como son: las Fotografías, Figuras y aspectos temáticos pertinentes. Para los aspectos de detalle sobre el desarrollo del trabajo y otros, se debe consultar el Trabajo correspondiente en Anexo II-B.

El trabajo de campo (Geofísico) consistió en la toma de ocho (8) imágenes de resistividad, cuya localización se muestran en las Foto 32 a la Foto 35, y distribuidas como se presenta en la Figura 4, (obtenida del informe de geofísica).

Foto 32 Imagen de resistividad TE01-1

Foto 33 Imagen de resistividad TE02-1

LAS IMÁGENES DE RESISTIVIDAD TE 01-1 Y TE 01-2, se localizan en el sector suroeste de la Urbanización Bosques de la Hacienda (zona parqueadero colindante a la nueva construcción), con azimut de 103° (dirección NW – SE).

LAS IMÁGENES DE RESISTIVIDAD TE 02-1 Y TE 02-2, se localizan en el sector suroeste de la Urbanización Bosques de la Hacienda (zona andén colindante a la nueva construcción), con azimut de 103° (dirección NW – SE).

Foto 34 Imagen de resistividad TE03-1

Foto 35 Imagen de resistividad TE04.

LAS IMÁGENES DE RESISTIVIDAD TE 03-1 y TE 03-2, Se localizan entre los bloques 2 y 3 de la Urbanización Bosques de la Hacienda (zona peatonal interna), con azimut de 14° (dirección SW – NE).

LA IMAGEN DE RESISTIVIDAD TE 04, se localiza en el sector noreste de la Urbanización Bosques de la Hacienda (talud colindante), con azimut de 101° (dirección NW – SE).

Figura 4 Distribución de trabajos de exploración geofísica.

7.2.2 Interpretación

La interpretación de las imágenes de resistividad en términos de zonas de baja, media o alta resistividad y su correlación con diferentes procesos actuantes, arroja el siguiente modelo de capas del área, el cual servirá de base para el planteamiento de las obras a ejecutarse. Igualmente, para la correlación con la información obtenida por otros métodos de investigación temática, lo cual para su interpretación se divide en dos partes (A y B):

A) En las Figuras Nos. 2 a 9 (tomadas y reenumeradas del Informe de Geofísica) se muestra la interpretación de las imágenes de resistividad, de donde se definen las siguientes capas, las cuales son correlacionadas con la información de los reconocimientos de campo y de los Sondeos Mecánicos ejecutados dentro de la Urbanización:

- Capa superficial compuesta por material de relleno y suelo residuales. Espesor promedio 1.7 m y resistividad menor a 117 ohm.m. Igualmente, para capas compuestas por arcillolitas de la formación La Regadera, con espesor no determinado y resistividades menores a 117 ohm.m. De acuerdo con las observaciones de campo, estos valores se aplicarían para

materiales rocosos de bajo espesor, aflorantes en la parte sur de la Urbanización y colindantes con la nueva construcción.

- Capa representativa de la anomalía a determinar, consistente de túneles excavados con propósitos de extracción de materiales de construcción (areniscas de la Formación La Regadera) y cuyo espesor no se determina por el método geoeléctrico de imágenes resistividad 2D, pero estableciendo su techo en la TE01-1 (abscisas 12 a 58 m) y TE01-2 (abscisas 26.3 a 57.0 m. Se interpreta como la capa con los más altos valores de resistividad (entre 3,585 a 10.000 ohm.m). Esta información es correlacionable con la cartografía de las unidades geológicas superficiales, y corresponde al nivel clasificado como Nivel de resistencia intermedia a dura (nRd).

- Capa compuesta por areniscas de la formación La Regadera, con espesor aproximado de 8,0 a 11,0 m y resistividades entre 117 a 3585 ohm.m.).

Esta información es correlacionable con la cartografía de las unidades geológicas superficiales, y corresponde al nivel clasificado como Nivel de resistencia intermedia (nRi), suprayacente e igualmente infrayacente al nivel que se interpreta como la capa con los más altos valores de resistividad (entre 3,585 a 10.000 ohm.m), (Nivel nRd).

B) De la comparación de la información obtenida de los diferentes métodos de investigación geológica como son: observación Litológica-Estratigrafica superficial; exploración del subsuelo mediante la ejecución de Sondeos Mecánicos, y por el Método Geofísico, se obtienen las siguientes consideraciones:

- Como resultado de la investigación geofísica se concluyó, que si bien los túneles alcanzan hasta la parte externa del parqueadero (TE01-1 y 01-2), éstos no se ubican bajo las líneas de investigación ejecutadas en las zonas inmediatamente colindantes a la urbanización (TE02-1, 02-2, 03-1, 03-2, 04 y 05).

- De la información de los reconocimientos de campo, se encuentra que la ubicación y desarrollo de los túneles se presentan en la parte sur y sureste, y fuera de la zona de desarrollo de La Urbanización Bosques de la Hacienda; igualmente, el único túnel que se aproxima a la zona de la Urbanización es el A-A', cuyo punto final de excavación se ubica a unos 10m del andén sur frente al Bloque 5 de dicha urbanización. También, la profundidad de dicho Túnel se encontró a 5.5m, mediante el Sondeo Mecánico 1 (SM-1).

- De la correlación de la información obtenida y analizada de las diferentes interpretaciones tomográficas , Figura 5 a la Figura 12, con la aportada en los Sondeos Mecánicos y la

obtenida en las observaciones de campo, se deduce que: **i)** las capas de arcillolitas intercaladas en los diferentes niveles rocosos, corresponden a estratos lenticulares, que no presentan una continuidad definida**, y ii),** el nivel de roca de resistencia intermedia adura (nRd), el cual fue explotado en años anteriores mediante el método de túneles, presenta un acuñamiento y/o adelgazamiento en dirección Noreste de la Urbanización.

- Las observaciones y/o comentarios sobre la Interpretación Tomográfica de las imágenes de resistividad y su correlación con la información litológica-estratigráfica obtenida en superficie y los Sondeos Mecánicos, se presentan en cada una de las Figuras correspondientes (ver Figura 5 a la Figura 12).

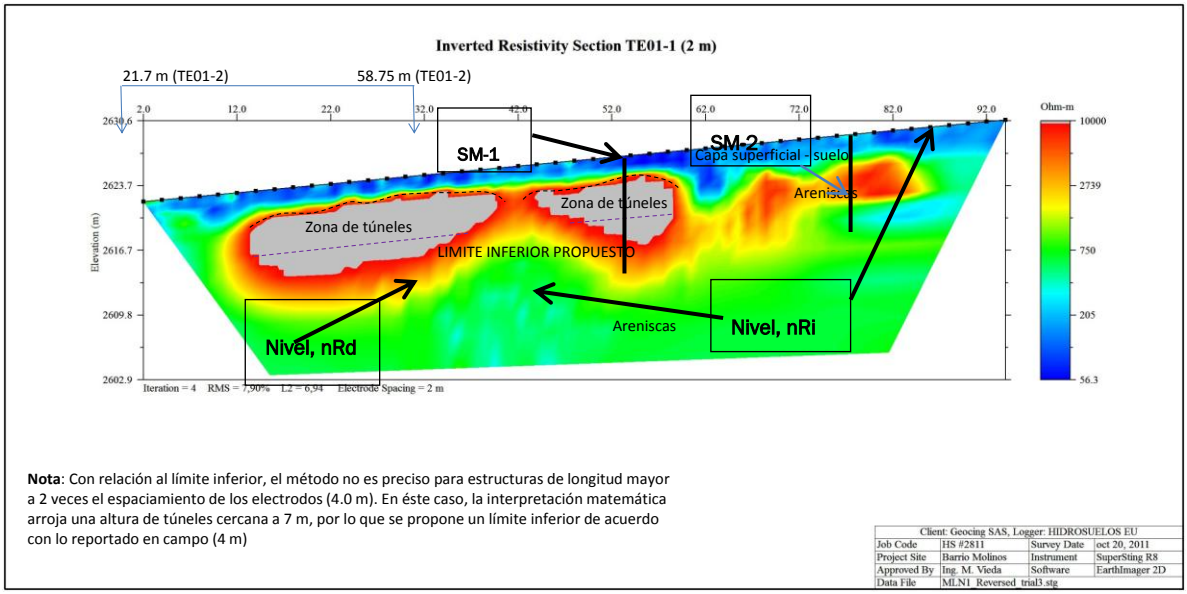
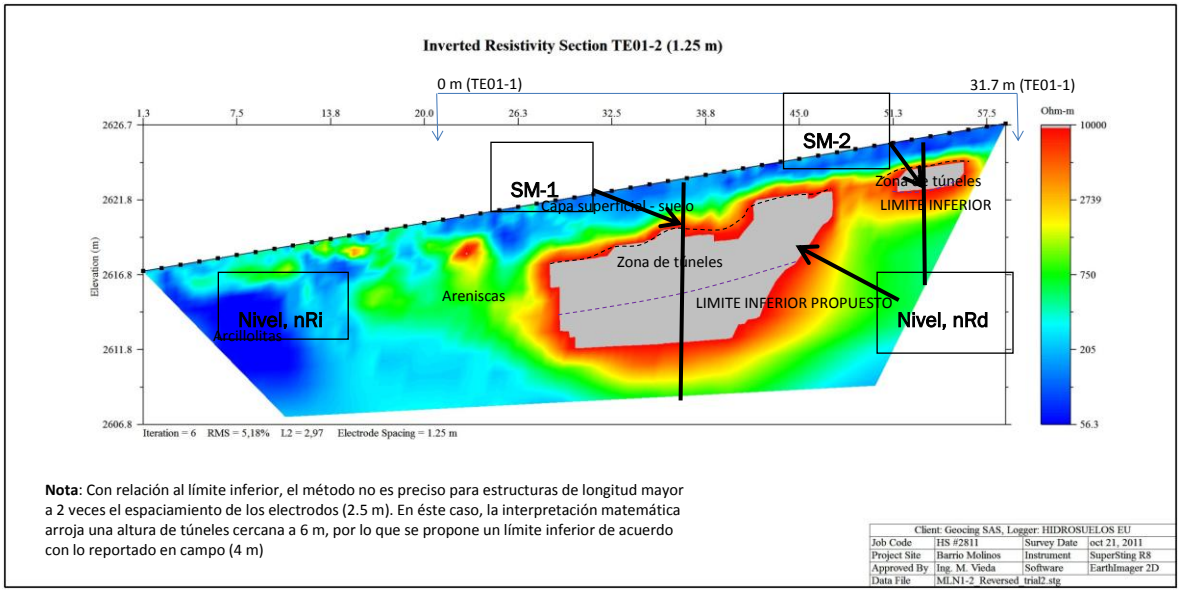


Figura 5 Interpretación tomografía TE01-1.

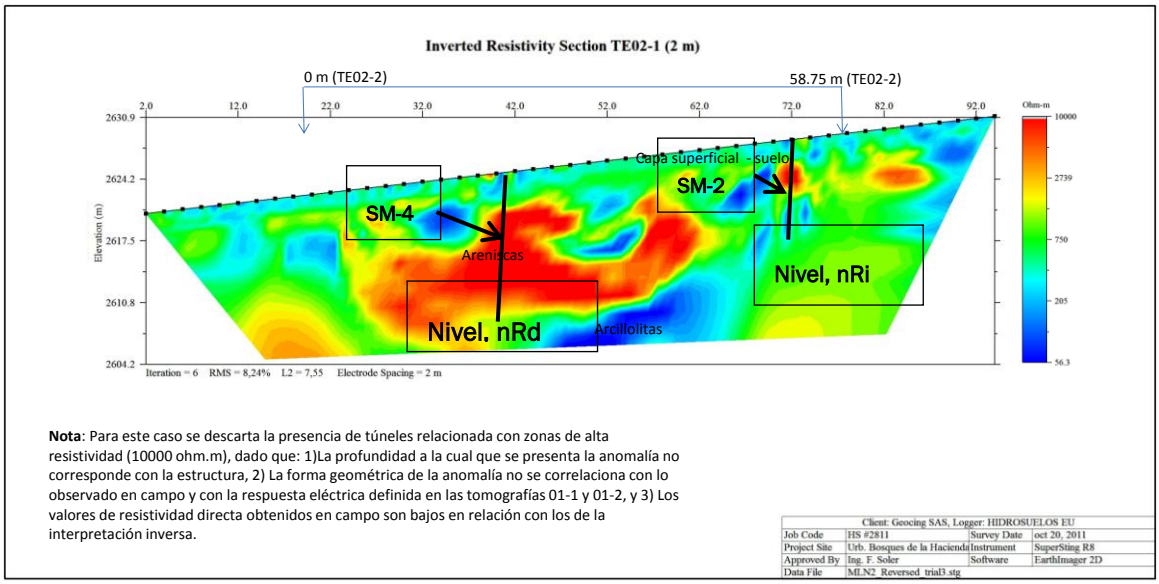
NOTA: Sección ubicada al suroeste y fuera de la Urbanización, en la zona colindante con la nueva construcción; no se determina la presencia de los Túneles; información correlacionada con los datos de campo y de los Sondeos Mecánicos. Se aprecia ligero acuñamiento del nivel nRd hacia la derecha de la sección.



Nota: Con relación al límite inferior, el método no es preciso para estructuras de longitud mayor a 2 veces el espaciamiento de los electrodos (2.5 m). En éste caso, la interpretación matemática arroja una altura de túneles cercana a 6 m, por lo que se propone un límite inferior de acuerdo con lo reportado en campo (4 m)

Figura 6 Interpretación tomografía TE01-2

NOTA: Sección ubicada al suroeste y fuera de la Urbanización, colindante con la nueva construcción; no se determina la ubicación de los túneles; correlacionada con la información de campo y de los Sondeos Mecánicos. Se aprecia ligero acuñamiento del nivel nRd hacia la derecha de la sección.



Nota: Para este caso se descarta la presencia de túneles relacionada con zonas de alta resistividad (10000 ohm.m), dado que: 1)La profundidad a la cual que se presenta la anomalía no corresponde con la estructura, 2) La forma geométrica de la anomalía no se correlaciona con lo observado en campo y con la respuesta eléctrica definida en las tomografías 01-1 y 01-2, y 3) Los valores de resistividad directa obtenidos en campo son bajos en relación con los de la interpretación inversa.

Figura 7 Interpretación tomografía TE02-1

NOTA: Sección ubicada al suroeste y en zona del andén sur de la Urbanización; correlacionada con la información de campo y de los Sondeos Mecánicos. Se aprecia acuñamiento del nivel nRd hacia la derecha de la sección.

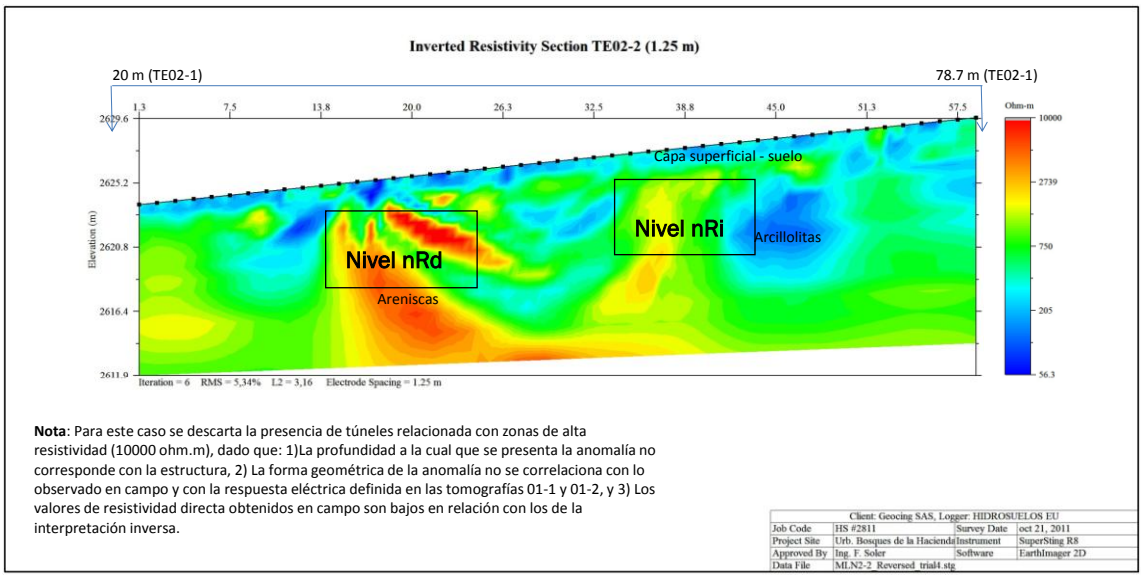


Figura 8 Interpretación tomografía TE02-2

NOTA: Sección ubicada al suroeste y en zona del andén sur de la Urbanización; correlacionada con la información de campo y de los Sondeos Mecánicos. Se aprecia acuñamiento del nivel nRd hacia la derecha de la sección.

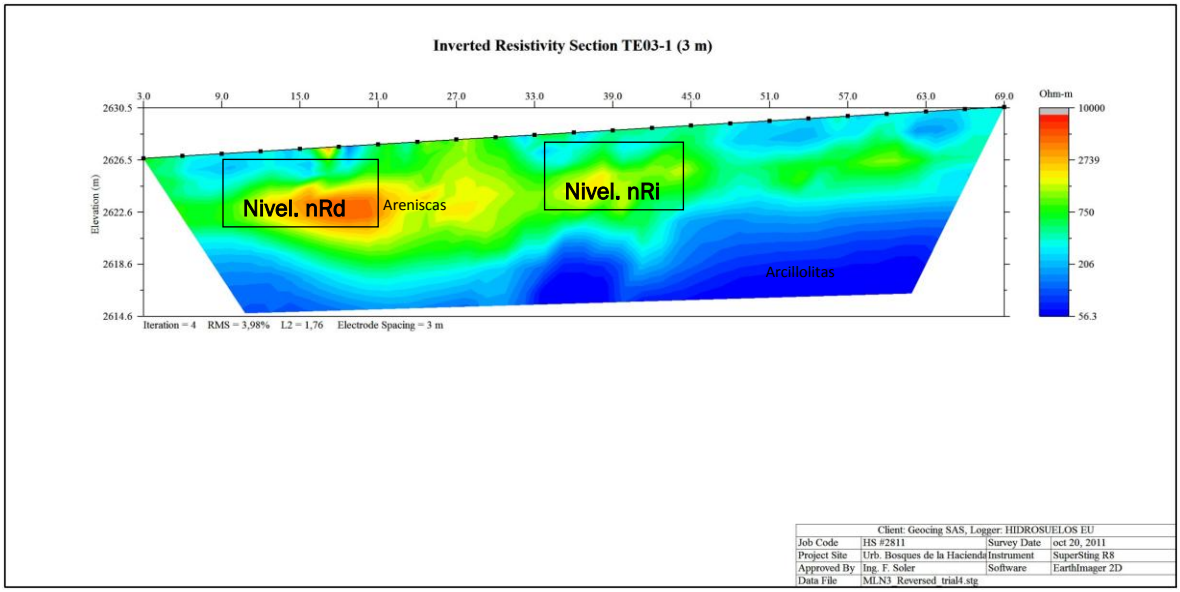


Figura 9 Interpretación tomografía TE03-1

NOTA: Sección ubicada entre los bloques 2 y 3 de la Urbanización Bosques de la Hacienda (zona peatonal interna), con azimut de 14° (dirección SW – NE); correlacionada con la información de campo. Se aprecia acuñamiento del nivel nRd hacia el norte y noreste de la Urbanización.

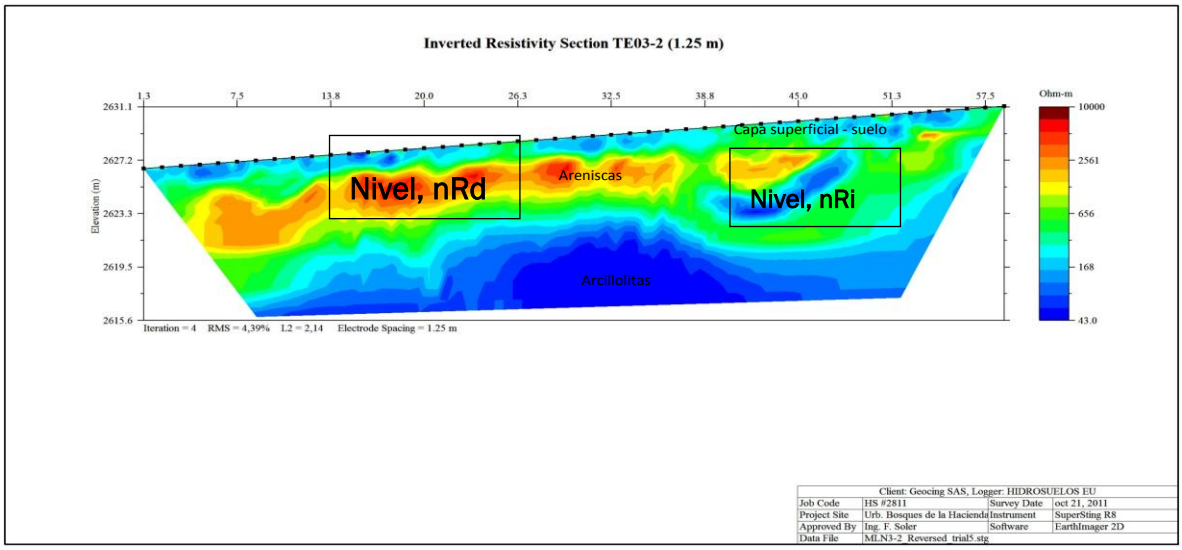


Figura 10 Interpretación tomografía TE03-2

NOTA: Sección ubicada entre los bloques 2 y 3 de la Urbanización Bosques de la Hacienda (zona peatonal interna), con azimut de 14° (dirección SW – NE); correlacionada con la información de campo. Se aprecia acuñamiento del nivel nRd hacia el norte y noreste de la Urbanización.

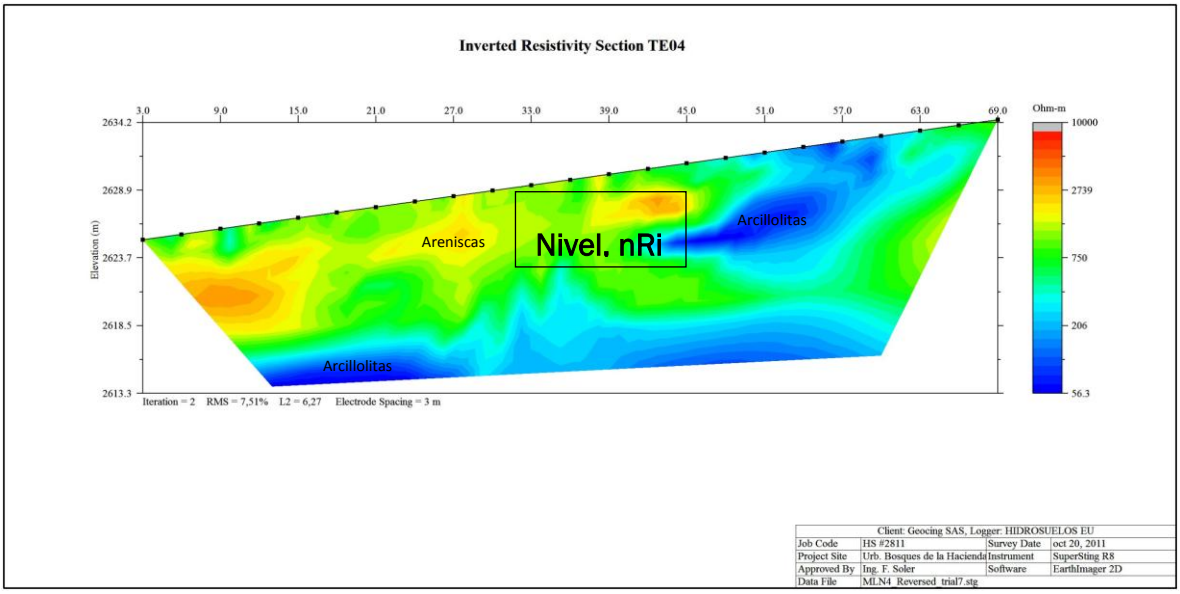


Figura 11 Interpretación tomografía TE04

Sección ubicada en el sector noreste de la Urbanización Bosques de la Hacienda (talud colindante), con azimut de 101° (dirección NW – SE). En este sector desaparece el nivel nRd.

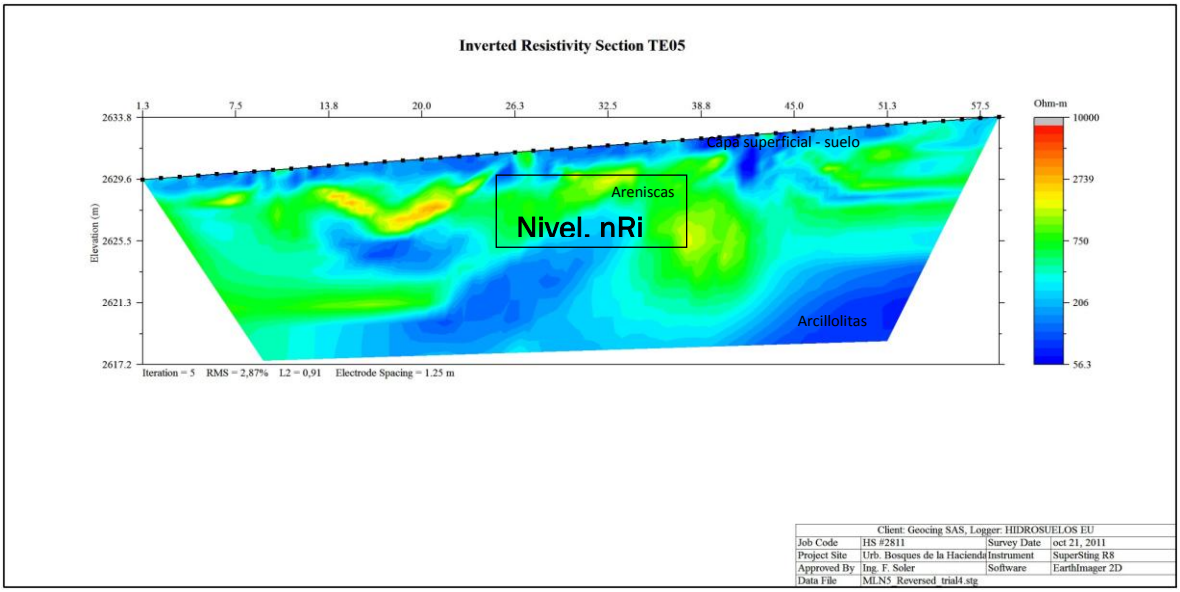


Figura 12 Interpretación tomografía TE05

Sección ubicada en el sector oriental interno de la Urbanización Bosques de la Hacienda entre los bloques 1 y 2. El sector es conformado por rocas del nivel nRi.

De acuerdo a la exploración y análisis llevados a cabo, no se presenta un fenómeno de subsidencia a causa de las excavaciones subterráneas en el área de la urbanización ya que bajo la urbanización no se localizan túneles y/o socavones que puedan generar este fenómeno.

8 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

De acuerdo a los capítulos anteriormente expuestos y dada la Geología y Geomorfología del sitio a los Diagnósticos realizados por el FOPAE, a la información recolectada y a la visita del personal de campo como Geólogo, especialista de Geotecnia y posterior reunión con el personal del FOPAE, se acordó realizar la exploración planteada en el plano topográfico GE-269-PL-01.

8.1 EXPLORACIÓN DIRECTA

El día viernes 14 de octubre se realizó el desplazamiento de la máquina de perforación tipo PETTY, ubicándola en el sitio propuesto y aprobada por el FOPAE (ver Foto 36 y Foto 37), y denominado en el plano GE-269-PL01 como SM1,

Foto 36. Ubicación de la Maquina PETTY en el sitio del sondeo 1 SM1.

Foto 37. Panorámica del sector con la ubicación del SM1.

Posterior a la ubicación del sondeo mecánico 1 se comenzó con el proceso de perforación y se empezó la extracción y recuperación de muestras para posterior, caracterización de los materiales en el laboratorio como se observa en la Foto 38.

Se realizó un sondeo adicional para verificar la existencia o no de túneles cerca a las viviendas después de conocer los resultados de la exploración geofísica, este sondeo se conoce como SM-4 y se encuentra en el plano GE-269-PL-01B LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO.

Foto 38. Recuperación de muestras y empaque y marcado de los mismos.

Dentro de los métodos de exploración directa se plantearon trincheras para la extracción de los materiales, debido a la alta dureza del estrato rocoso en algunos sectores, se realiza la extracción de bloques y posterior marcado y caracterización en el laboratorio como se observa en la Foto 39.

Foto 39. Trinchera, extracción de bloques, para caracterización del estrato rocoso.

8.2 EXPLORACIÓN INDIRECTA

Como se planteo al FOPAE, el método de exploración indirecta que se realizó en el sitio de estudio fue el realizado mediante tomografía eléctrica; la visita de reconocimiento de campo con el personal

que realizó este tipo de exploración se realizó el día viernes 24 de Octubre, y se culminó el día 20 de Octubre.

Las líneas de tomografía eléctrica que se plantearon en el sitio, están definidas en el plano topográfico GE-269-PL-01. A continuación se presenta el informe completo de este tipo de exploración realizado por la firma Hidrosuelos EU.

Durante la década de los sesenta, bajo los terrenos hoy ocupados por la urbanización Bosques de la Hacienda de la localidad Rafael Uribe Uribe del Distrito Capital de Bogotá, se realizaron labores de minería extractiva de materiales de construcción por medio de la excavación de túneles enfocados en explotar niveles arenosos de la formación La Regadera. Como resultado de ésta explotación, quedaron una serie de túneles que requieren su evaluación para determinar si se encuentran o no directamente bajo las viviendas de la urbanización (Foto 40).

Fuente: HS

Entrada a túneles (sector sur urbanización)

Fuente: HS

Detalle de túnel (altura 2,0 m)

Foto 40 Entrada a túneles (sector sur urbanización) y detalle de túnel (altura 2,0 m)

Para lograr este propósito, la firma Geocing SAS, contrató los servicios especializados de Hidrosuelos EU, desarrollándose la investigación indirecta por medio de la aplicación del método geofísico de resistividad y empleando la técnica de imágenes de resistividad 2D.

Como resultado de la investigación se concluyó que si bien los túneles alcanzan hasta la parte externa del parqueadero (TE01-1 y 01-2), éstos no se ubican bajo las líneas de investigación ejecutadas en las zonas inmediatamente colindantes a la urbanización (TE02-1, 02-2, 03-1, 03-2, 04 y 05).

8.3 EXPLORACIÓN GEOFÍSICA

La prospección geoeléctrica 2D o tomografía eléctrica que se realiza, pretende identificar la profundidad de los materiales presentes, exploración de agua subterránea, localización del nivel freático entre otros y servir como herramienta complementaria para el modelo geológico del sitio.

8.3.1 Prospección Geoeléctrica

El método de prospección consiste en determinar la resistividad del subsuelo a diferentes profundidades, para así inferir la composición litológica de mismo y/o el tipo de fluidos que contiene.

En conjunto con los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), se usan los Perfiles Eléctricos Continuos (PEC), conocidos también como Geoeléctrica 2D, Tomografía Eléctrica (TE) o Imágenes de Resistividad (IR). Estas dos metodologías se diferencian en la forma de medición y el tipo de resultados, el primer método (SEV) presenta los cambios de resistividad de los materiales en profundidad bajo el centro de medición en un mismo punto, mientras el Perfilaje Eléctrico permite detectar los cambios de resistividad tanto en profundidad como lateralmente.

Para la medición de las Imágenes de Resistividad 2D o Perfilajes Eléctricos Continuos (PEC) se utilizan diferentes tipos de arreglos geométricos dependiendo del objetivo exploratorio, la topografía del área y el espacio disponible. En el presente estudio se utilizará un arreglo Dipolo – Dipolo tipo axial con distanciamiento inicial d=1,25 m (48 electrodos y), 2,0 m (48 electrodos) y 3,0 m (24 electrodos), teniéndose así longitud total máxima de 94,0 m (Figura 13)

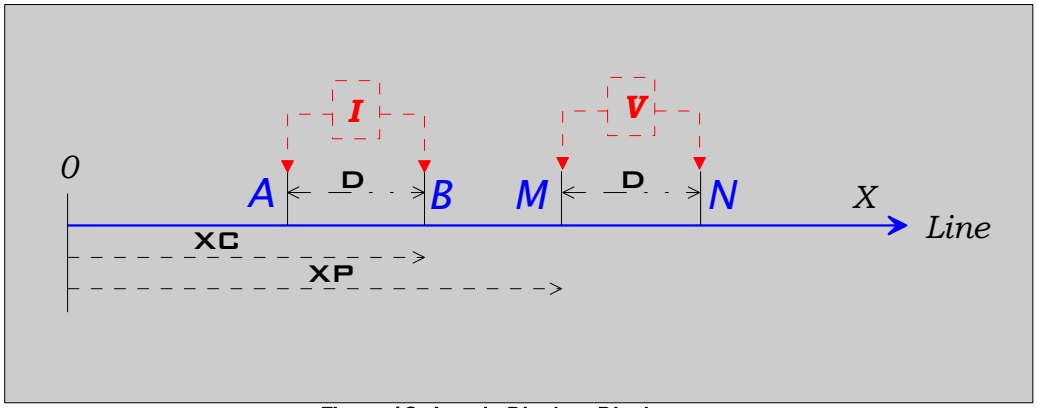


Figura 13. Arreglo Dipolo – Dipolo

Para la interpretación se emplea el programa *EarthImager Resistivity/IP 2D y 3D*, el cual se basa en el método de los mínimos cuadrados para definir una pseudosección de resistividad aparente calculada y finalmente una sección en dos dimensiones del modelo inverso de resistividad.

8.3.2 Adquisición Geofísica

Para la toma de las Imágenes de Resistividad o Tomografías Eléctricas (TE), se utilizó un equipo de manufactura norteamericana marca AGI Geosciences Inc., modelo SuperSting R8/IP, el cual se caracteriza por tomar de manera automática los datos de resistividad del terreno usando un conmutador programado que envía y recibe los impulsos eléctricos por medio de un cable multimodal y electrodos pasivos (Foto 41 y Foto 42).

Fuente: HS

Foto 41.Distribución de electrodos en campo.

Fuente: HS

Foto 42 Equipo SuperSting R8

Fuente: HS

Foto 43 Imagen de resistividad TE01-1

Fuente: HS

Foto 44 Imagen de resistividad TE02-1

Fuente: HS

Foto 45 Imagen de resistividad TE03-1

Fuente: HS

Foto 46 Imagen de resistividad TE04

El trabajo de campo se realizó los días 24 y 25 de octubre de 2011 y consistió en la toma de ocho (8) imágenes de resistividad distribuidas como se presenta en la Figura 14 y cuya configuración se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9 Especificaciones de imágenes de resistividad ejecutadas

Imagen de Resistividad	Coordenadas iniciales		Coordenadas finales		Resolución D (m)	Longitud (m)
	X	Y	X	Y		
TE01-1	963.675,8	958.972,7	963.884,6	958.913,9	2,00	94,00
TE01-2	963.906,7	959.035,1	964.045,0	959.942,5	1,25	58,75
TE02-1	964.098,8	958.979,7	964.247,8	958.838,7	2,00	94,00
TE02-2	964.309,5	958.944,7	964.319,7	958.942,2	1,25	58,75
TE03-1	964.468,8	959.510,5	964.485,4	959.642,9	3,00	72,00
TE03-2	964.646,6	958.861,6	964.670,1	958.843,1	1,25	58,75
TE04	964.751,1	959.801,6	964.787,5	959.432,0	3,00	72,00
TE05	964.799,7	958.699,2	964.820,2	958.813,6	3,00	72,00

Fuente: HS

Fuentes: Imagen: Google Earth, Topografía: Geocing, Localización: HS

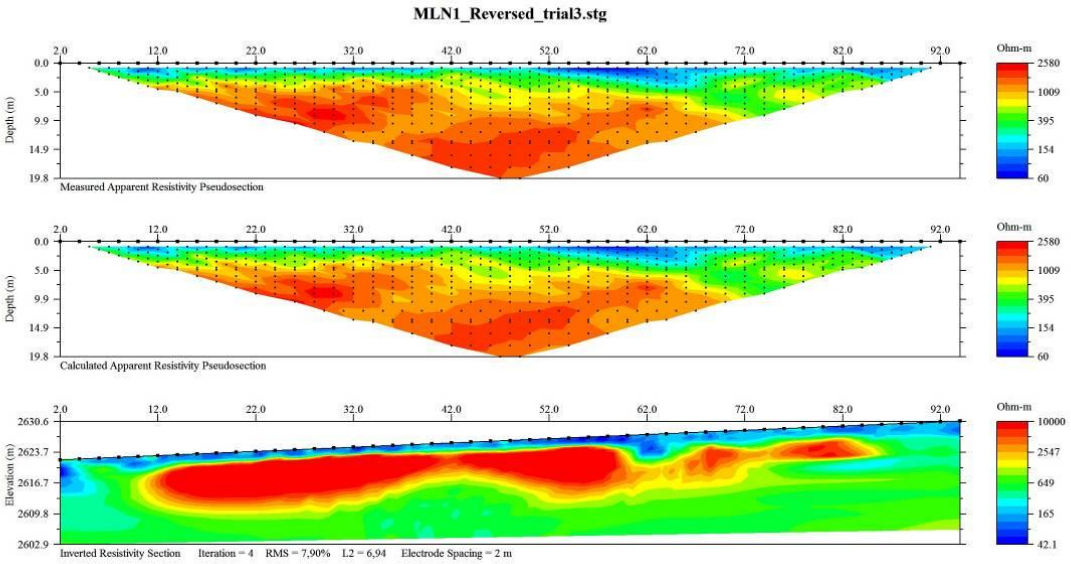
Figura 14 Distribución de trabajos de exploración

8.4 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE RESISTIVIDAD

Se presenta el procesamiento matemático de los perfiles eléctricos continuos, empleando el programa de interpretación mencionado anteriormente.

8.4.1 Imagen de Resistividad TE 01-1

Se localiza en el sector suroeste de la Urbanización Bosques de la Hacienda (zona parqueadero colindante a la nueva construcción), con azimut de 103° (dirección NW – SE). En la Figura 15 se muestran las etapas de procesamiento de los datos de donde se obtiene el modelo inverso para una sección de 94,0 m de longitud, 19,8 m de profundidad, espaciamiento de electrodos de 2,0 m, error RMS de 7,90% y linealidad L2 de 6,94 después de realizar 3 iteraciones en el procesamiento 4.

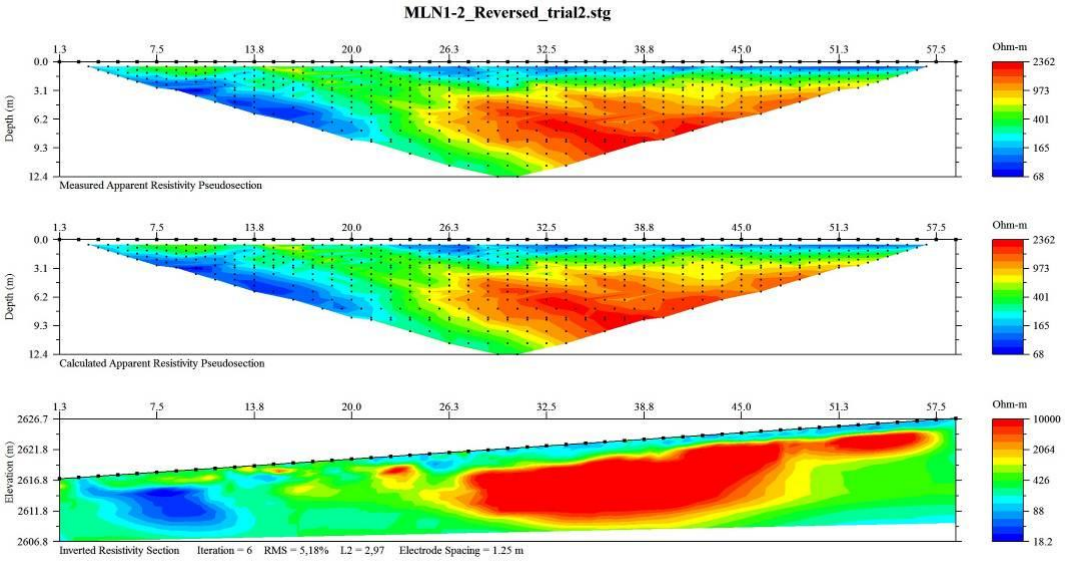


Fuente: HS

Figura 15 Modelo inverso de resistividad tomografía TE01-1

8.4.2 Imagen de Resistividad TE 01-2

Se localiza en el sector suroeste de la Urbanización Bosques de la Hacienda (zona parqueadero colindante a la nueva construcción), con azimut de 103° (dirección NW – SE). La abscisa 21,7 m de la TE01-2 corresponde con la abscisa 0,0 m de la TE01-1, mientras que la abscisa 58,75 m de la TE01-2 corresponde con la abscisa 37,1 m de la TE01-1. En la Figura 16 se muestran las etapas de procesamiento de los datos de donde se obtiene el modelo inverso para una sección de 58,75 m de longitud, 12,4 m de profundidad, espaciamiento de electrodos de 1,25 m, error RMS de 5,18% y linealidad L2 de 2,97 después de realizar 6 iteraciones en el procesamiento 2.

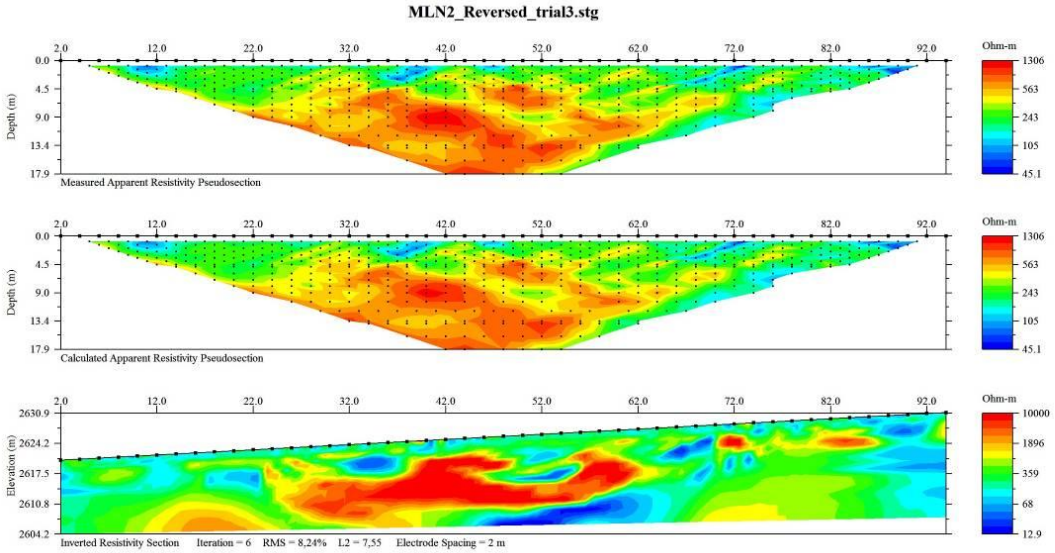


Fuente: HS

Figura 16 Modelo inverso de resistividad tomografía TE01-2

8.4.3 Imagen de Resistividad TE 02-1

Se localiza en el sector suroeste de la Urbanización Bosques de la Hacienda (zona andén colindante a la urbanización), con azimut de 103° (dirección NW – SE). En la Figura 17 se muestran las etapas de procesamiento de los datos de donde se obtiene el modelo inverso para una sección de 94,0 m de longitud, 17,9 m de profundidad, espaciamiento de electrodos de 2,0 m, error RMS de 8,24% y linealidad L2 de 7,55 después de realizar 6 iteraciones en el procesamiento 3.

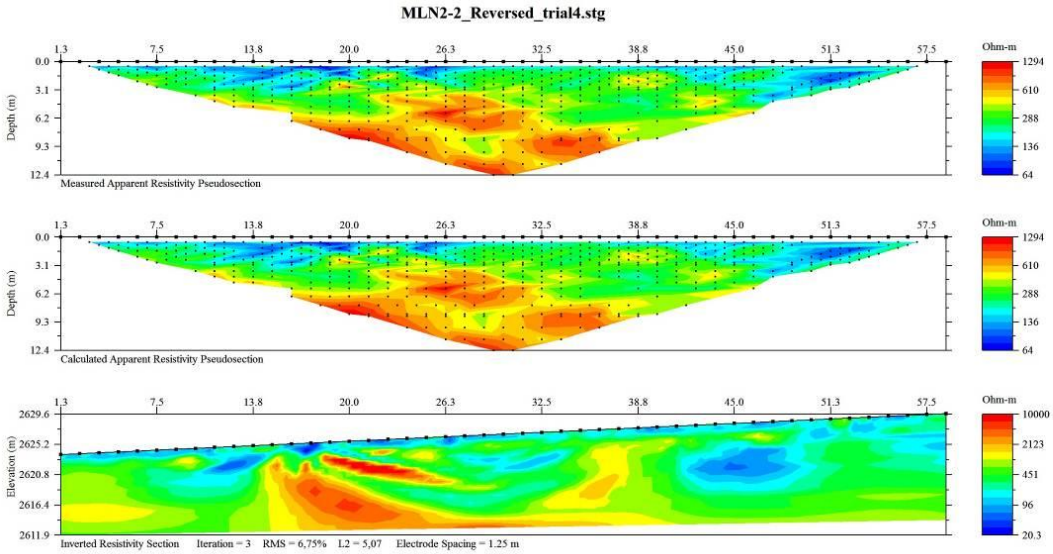


Fuente: HS

Figura 17 Modelo inverso de resistividad tomografía TE02-1

8.4.4 Imagen de Resistividad TE 02-2

Se localiza en el sector suroeste de la Urbanización Bosques de la Hacienda (zona parqueadero colindante a la nueva construcción), con azimut de 103° (dirección NW – SE). La abscisa 0,0 m de la TE02-2 corresponde con la abscisa 20,0 m de la TE02-1, mientras que la abscisa 58,75 m de la TE02-2 corresponde con la abscisa 78,7 m de la TE02-1. En la Figura 18 se muestran las etapas de procesamiento de los datos de donde se obtiene el modelo inverso para una sección de 58,75 m de longitud, 12,4 m de profundidad, espaciamiento de electrodos de 1,25 m, error RMS de 6,75% y linealidad L2 de 5,07 después de realizar 3 iteraciones en el procesamiento 4.

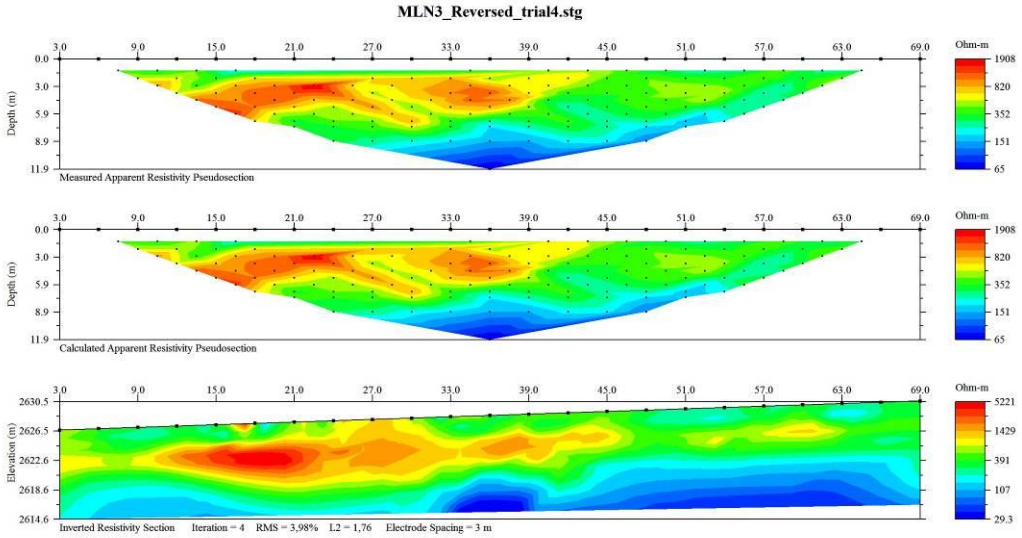


Fuente: HS

Figura 18 Modelo inverso de resistividad tomografía TE02-2

8.4.5 Imagen de Resistividad TE 03-1

Se localiza entre los bloques 2 y 3 de la Urbanización Bosques de la Hacienda (zona peatonal interna), con azimut de 14° (dirección SW – NE), iniciando en la abscisa 41,5 m de la TE02-1 ó 21,5 m de la TE02-2. En la Figura 19 se muestran las etapas de procesamiento de los datos de donde se obtiene el modelo inverso para una sección de 72,0 m de longitud, 11,9 m de profundidad, espaciamiento de electrodos de 3,0 m, error RMS de 3,98% y linealidad L2 de 1,76 después de realizar 4 iteraciones en el procesamiento 4.

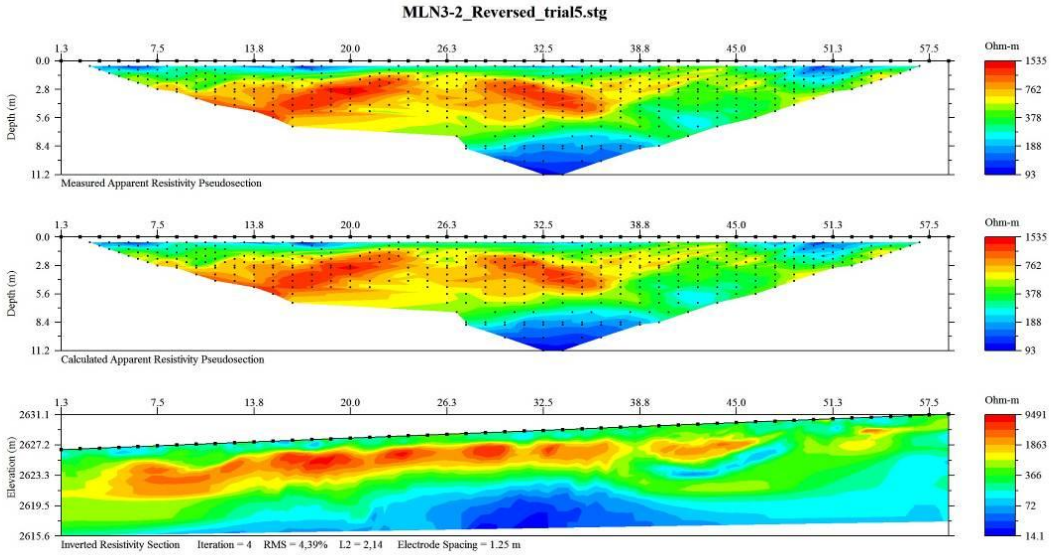


Fuente: HS

Figura 19 Modelo inverso de resistividad tomografía TE03-1

8.4.6 Imagen de Resistividad TE 03-2

Se localiza entre los bloques 2 y 3 de la Urbanización Bosques de la Hacienda (zona peatonal interna), con azimut de 14° (dirección SW – NE), iniciando en la abscisa 41,5 m de la TE02-1 ó 21,5 m de la TE02-2. En la Figura 20 se muestran las etapas de procesamiento de los datos de donde se obtiene el modelo inverso para una sección de 58,75 m de longitud, 11,2 m de profundidad, espaciamiento de electrodos de 1,25 m, error RMS de 4,39% y linealidad L2 de 2,14 después de realizar 4 iteraciones en el procesamiento 5.

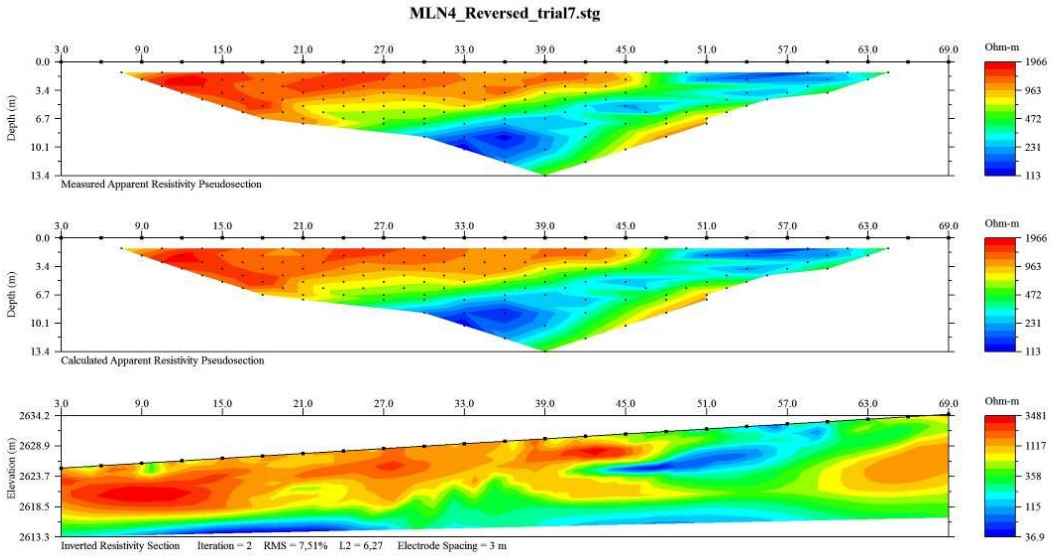


Fuente: HS

Figura 20 Modelo inverso de resistividad tomografía TE03-2

8.4.7 Imagen de Resistividad TE 04

Se localiza en el sector noreste de la Urbanización Bosques de la Hacienda (talud colindante), con azimut de 101° (dirección NW – SE). En la Figura 21 se muestran las etapas de procesamiento de los datos de donde se obtiene el modelo inverso para una sección de 72,0 m de longitud, 13,4 m de profundidad, espaciamiento de electrodos de 3,0 m, error RMS de 7,51% y linealidad L2 de 6,27 después de realizar 2 iteraciones en el procesamiento 7.

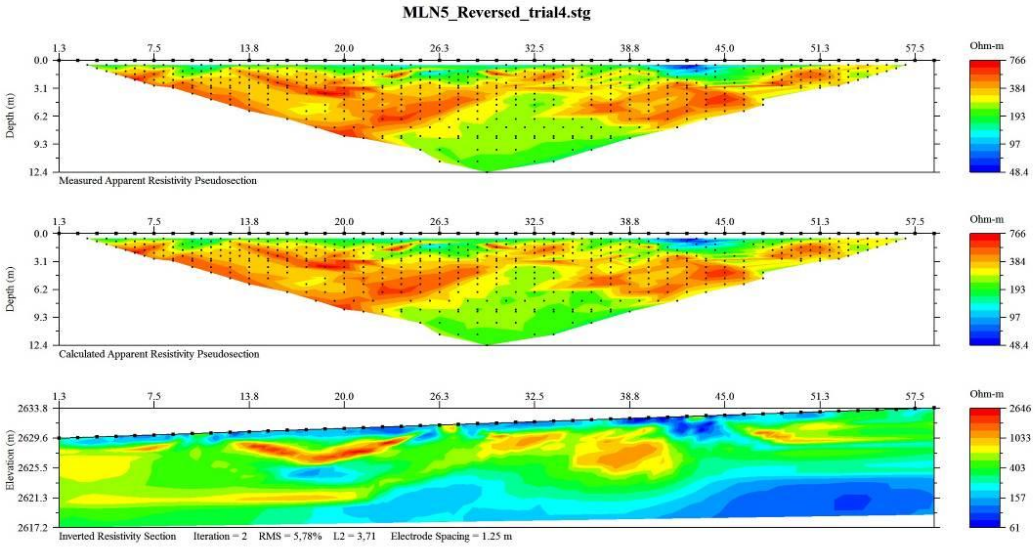


Fuente: HS

Figura 21 Modelo inverso de resistividad tomografía TE04

8.4.8 Imagen de Resistividad TE 05

Se localiza entre los bloques 4 y 5 de la Urbanización Bosques de la Hacienda (zona peatonal interna), con azimut de 14° (dirección SW – NE), iniciando en la abscisa 76,1 m de la TE02-1 ó 56,1 m de la TE02-2. En la Figura 22 se muestran las etapas de procesamiento de los datos de donde se obtiene el modelo inverso para una sección de 58,75 m de longitud, 12,4 m de profundidad, espaciamiento de electrodos de 1,25 m, error RMS de 5,78% y linealidad L2 de 3,76 después de realizar 2 iteraciones en el procesamiento 4.



Fuente: HS

Figura 22 Modelo inverso de resistividad tomografía TE05

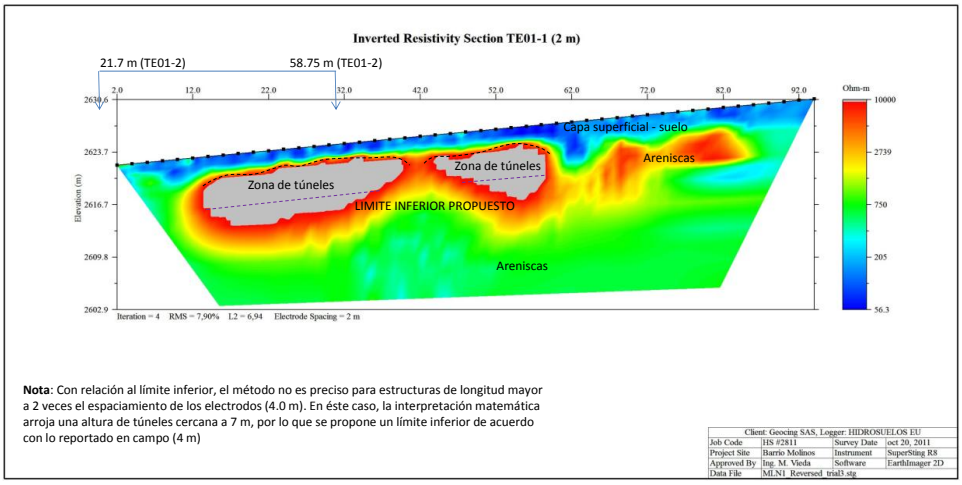
8.5 INTERPRETACIÓN

La interpretación de las imágenes de resistividad en términos de zonas de baja, media o alta resistividad y su correlación con diferentes procesos actuantes, arroja el siguiente modelo de capas del área, el cual servirá de base para el planteamiento de las obras a ejecutarse.

En las Figura 23 a la Figura 30 se muestra la interpretación de las imágenes de resistividad, de donde se definen las siguientes capas:

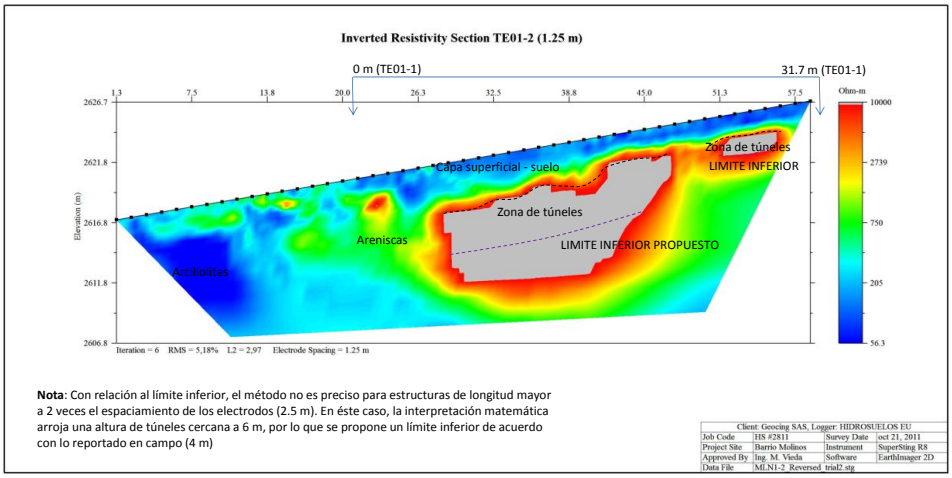
- Capa superficial compuesta por material de relleno y suelo residuales. Espesor promedio 1,7 m y resistividad menor a 117,0 ohm.m;
- Capa representativa de la anomalía a determinar, consistente de túneles excavados con propósitos de extracción de materiales de construcción (areniscas de la formación La Regadera) y cuyo espesor no se determina por el método geoeléctrico de imágenes resistividad 2D, pero estableciendo su techo en la TE01-1 (abscisas 12 a 58 m) y TE01-2 (abscisas 26,3 a 57,0 m). Se interpreta como la capa con los más altos valores de resistividad (10.000,0 ohm.m);

- Capa compuesta por areniscas de la formación La Regadera, con espesor aproximado de 8,0 a 11,0 m y resistividades entre 117,0 a 7.585,0 ohm.m;
- Capa compuesta por arcillolitas de la formación La Regadera, con espesor no determinado y resistividades menores a 117,0 ohm.m.



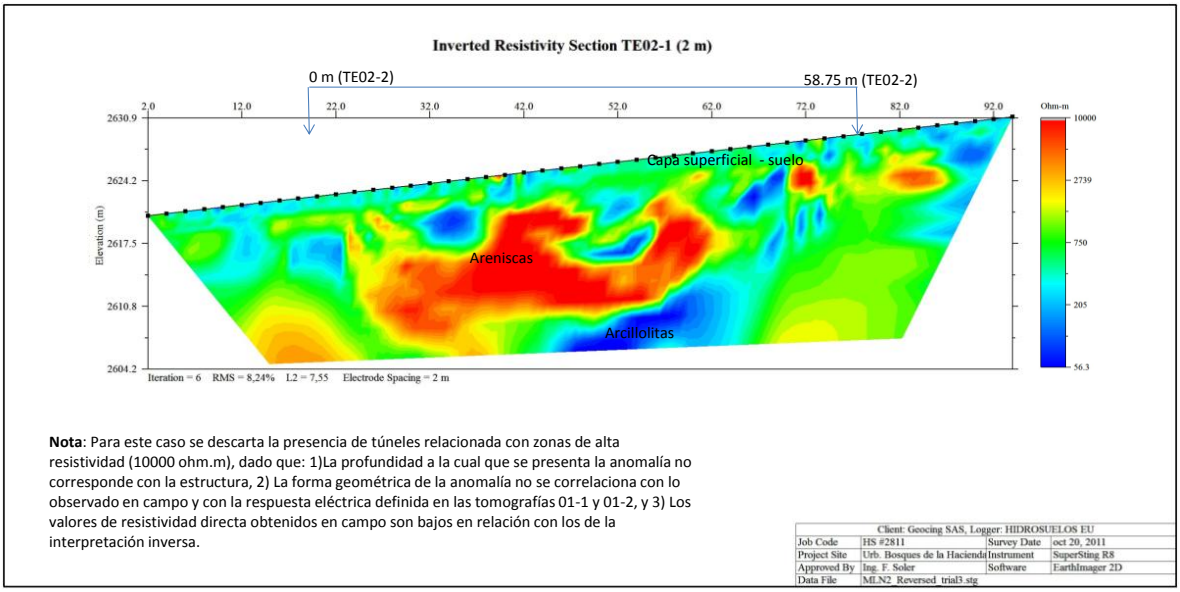
Fuente: HS

Figura 23 Interpretación tomografía TE01-1



Fuente: HS

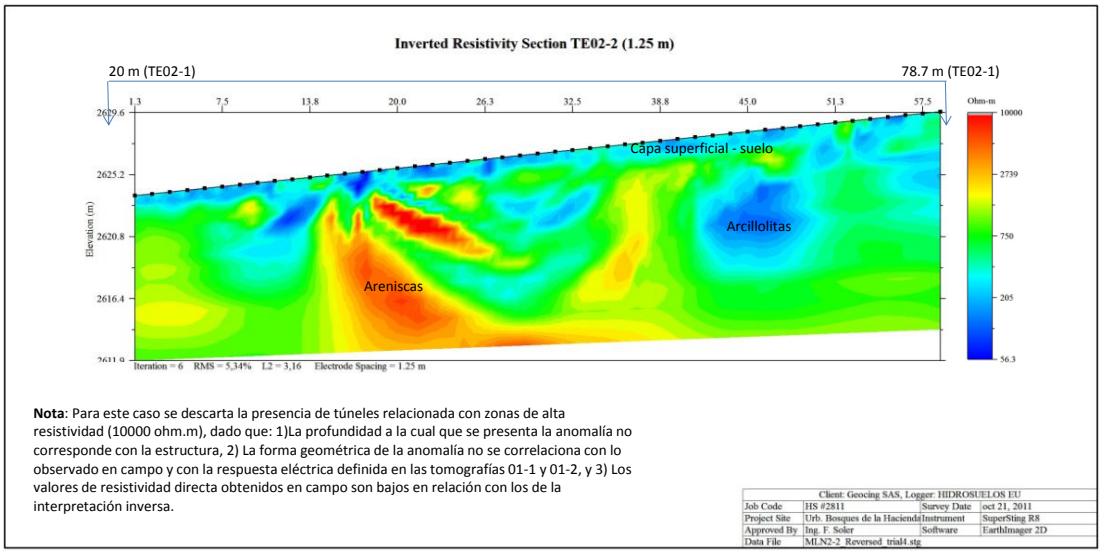
Figura 24 Interpretación tomografía TE01-2



Nota: Para este caso se descarta la presencia de túneles relacionada con zonas de alta resistividad (10000 ohm.m), dado que: 1)La profundidad a la cual que se presenta la anomalía no corresponde con la estructura, 2) La forma geométrica de la anomalía no se correlaciona con lo observado en campo y con la respuesta eléctrica definida en las tomografías 01-1 y 01-2, y 3) Los valores de resistividad directa obtenidos en campo son bajos en relación con los de la interpretación inversa.

Fuente: HS

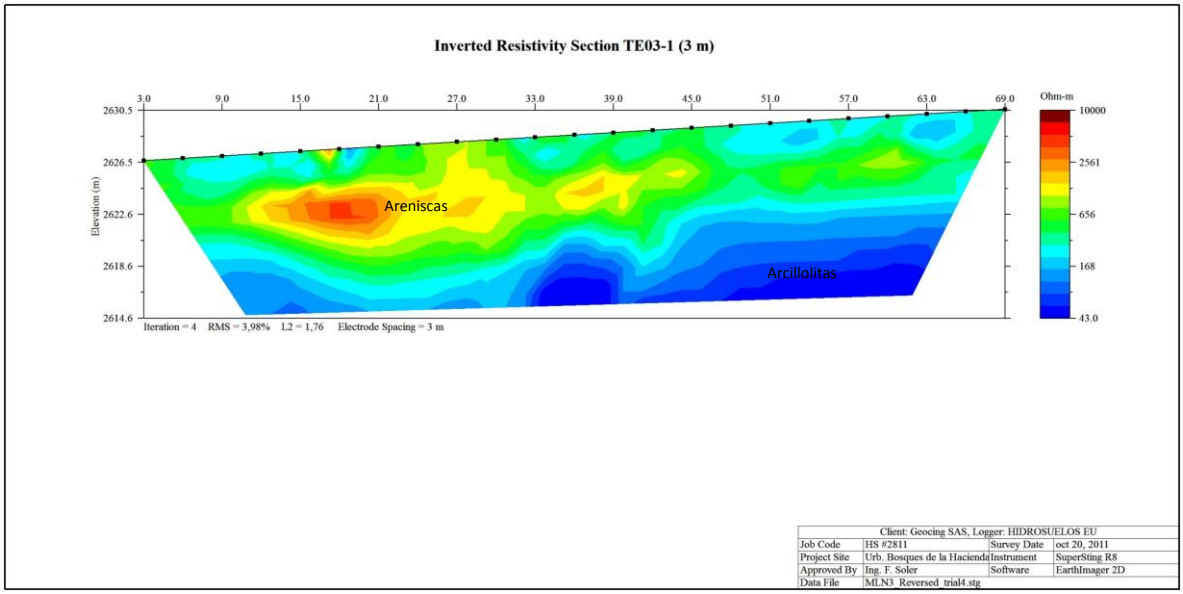
Figura 25 Interpretación tomografía TE02-1



Nota: Para este caso se descarta la presencia de túneles relacionada con zonas de alta resistividad (10000 ohm.m), dado que: 1)La profundidad a la cual que se presenta la anomalía no corresponde con la estructura, 2) La forma geométrica de la anomalía no se correlaciona con lo observado en campo y con la respuesta eléctrica definida en las tomografías 01-1 y 01-2, y 3) Los valores de resistividad directa obtenidos en campo son bajos en relación con los de la interpretación inversa.

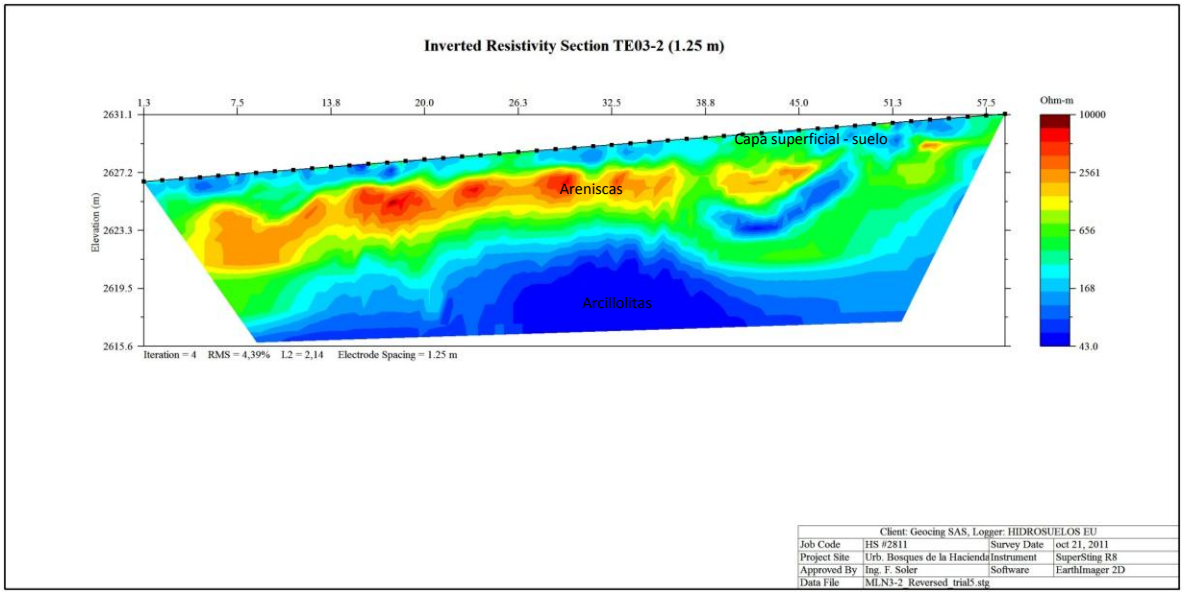
Fuente: HS

Figura 26 Interpretación tomografía TE02-2



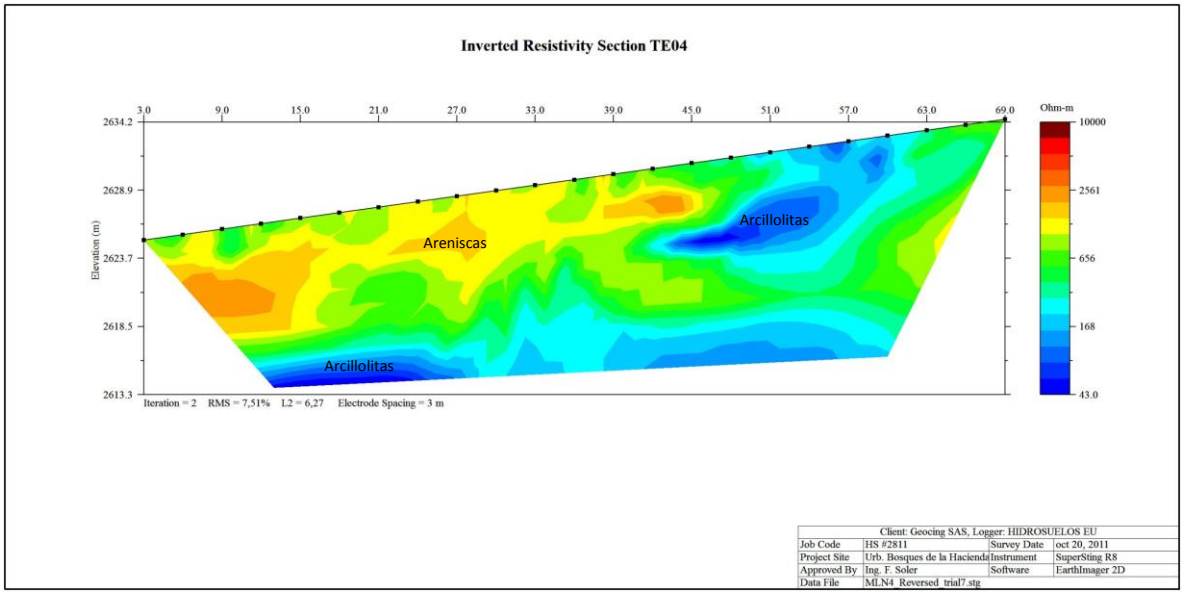
Fuente: HS

Figura 27 Interpretación tomografía TE03-1



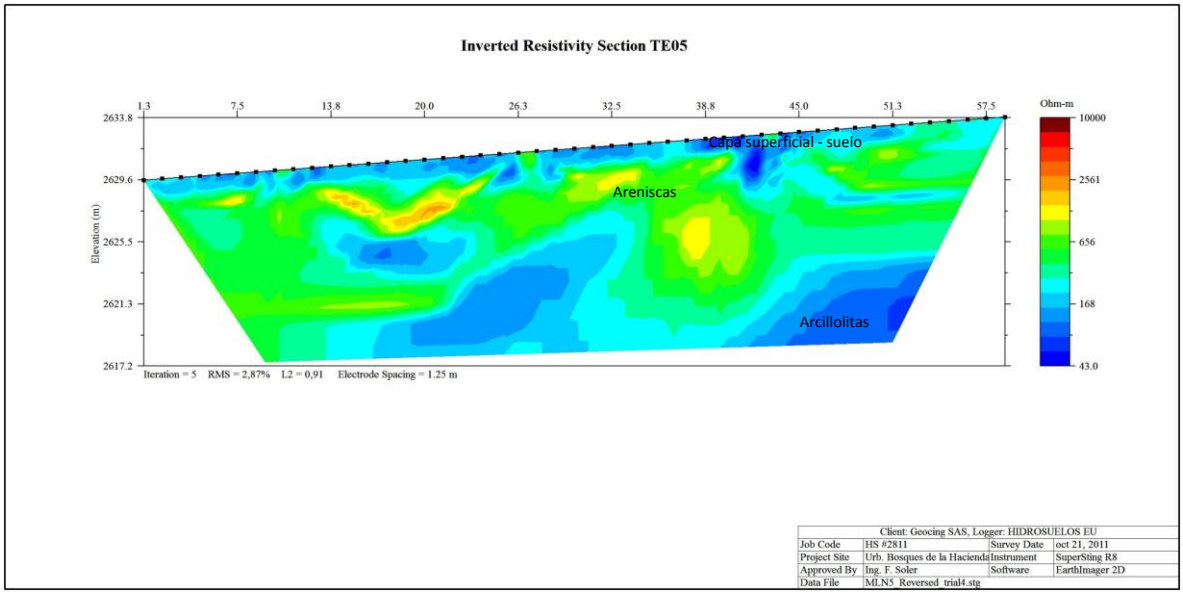
Fuente: HS

Figura 28 Interpretación tomografía TE03-2



Fuente: HS

Figura 29 Interpretación tomografía TE04



Fuente: HS

Figura 30 Interpretación tomografía TE05

8.6 ENSAYOS DE LABORATORIO

Sobre las muestras obtenidas durante la ejecución de los sondeos se llevó a cabo un programa de ensayos de laboratorio, con el fin de clasificar y obtener estimativos de las propiedades geomecánicas de cada uno de los estratos que conforman el subsuelo en el sitio del proyecto.

El programa de ensayos de laboratorio incluyó límites de consistencia líquido y plástico, humedades naturales, porcentaje de finos, granulometría y resistencia a la compresión inconfinada, además de ensayo de carga puntual sobre roca y cortes sobre discontinuidades. Tales ensayos permitieron obtener estimativos de las propiedades mecánicas del subsuelo de interés para el proyecto, en la Tabla 10 se presenta los ensayos efectuados y su respectiva norma.

Tabla 10 Ensayos de laboratorio realizados.

ENSAYO	NORMA
Contenido de humedad	INV-E122
Límite líquido y plástico	INV-E125 y 126
Granulometría por lavado y tamizado	INV-E123
Peso unitario total	INV-E121
Corte directo en suelo	INV-E154
Compresión inconfinada	INV – E152

En este informe, se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio en el Anexo II-C efectuados a las muestra tomadas en campo.

8.7 INVESTIGACIÓN DE LABORATORIO

Para la evaluación de estabilidad de las laderas de acuerdo con la metodología tradicional se requiere determinar las características geomecánicas de los materiales y una vez ejecutados los sondeos, trinchera y Apiques se procedió a la selección de las muestras representativas para llevar a cabo los análisis de laboratorio que sirvieron para evaluar la estabilidad de los taludes con el Programa Slide. Los ensayos que se llevaron a cabo en las muestras seleccionadas, los ensayos de laboratorio se presentan como Anexo II-C y en la Tabla 11 se presenta la relación de ensayos efectuados.

Tabla 11. Relación ensayos de laboratorio efectuados

ENSAYOS DE LABORATORIO	CANTIDAD
Humedad natural	27
Peso Unitario en suelos	3
Peso Unitario en roca	2
Límite líquido limite plástico	6
Granulometría por lavado	23
Compresión inconfinada en suelo	2
Compresión inconfinada en roca con preparación de muestras	2
Corte directo en suelos 3 puntos	3
Corte directo en discontinuidades	2
Carga puntual sobre Roca	1

9 ASPECTOS HIDROLÓGICOS

9.1 OBJETIVOS

- El estudio hidrológico e hidráulico tiene como principales objetivos los siguientes:
- Caracterizar el área de drenaje de la cuenca a portante al sitio del proyecto.
- Determinación y evaluación del régimen de precipitaciones de la zona, de forma tal que se obtenga el patrón temporal y espacial de lluvias de acuerdo con los registros de precipitaciones diarias y totales anuales.
- Obtención de los aguaceros de diseño, base para el cálculo de caudales máximos esperados para diferentes periodos de retorno (5, 10, 25, 50 y 100 años).
- Dimensionamiento de las obras de drenaje superficial.

9.2 METODOLOGÍA

El análisis hidrológico e hidráulico se fundamenta en la recopilación y estudio de la información obtenida por medio de las siguientes fuentes consultadas:

- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, con el objeto de obtener la información hidrológica referente a precipitaciones diarias y totales anuales para las estaciones aledañas a la zona en estudio, de forma que pudiese desarrollarse un análisis hidrológico, base para el cálculo de caudales y análisis de estabilidad.
- Demarcación de la cuenca de drenaje en los planos existentes del IGAC (escala 1:2000) del año 1981.

9.3 MARCO HIDROLÓGICO GENERAL

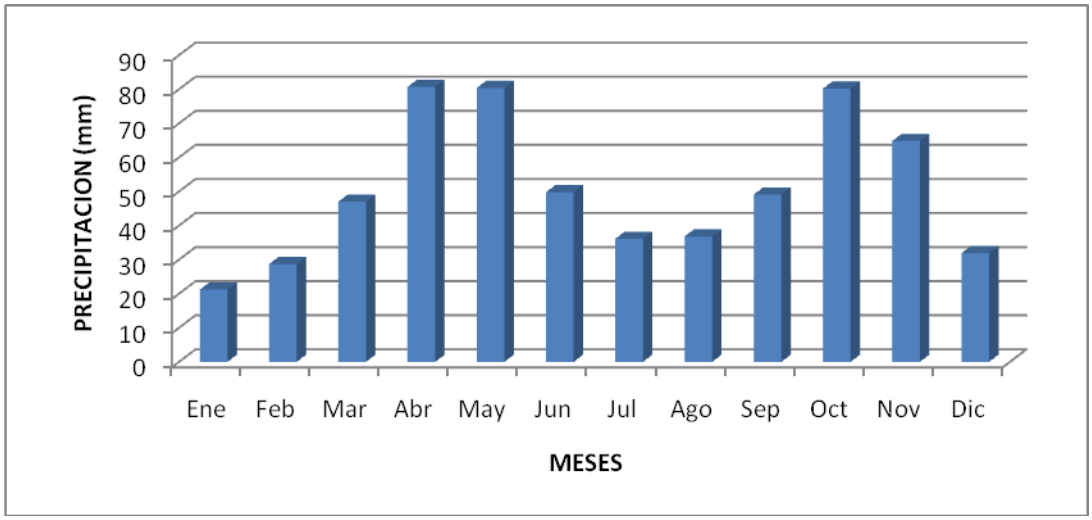
Generalmente, los fenómenos de remoción en masa están directamente asociados con los períodos lluviosos, pues la precipitación es uno de sus principales agentes detonantes por el incremento de los caudales de escorrentía superficial, lo que hace necesario conocer el régimen pluviométrico temporal y espacial; es decir, identificar los meses más lluviosos y los sectores donde se concentran los valores más altos de la precipitación en la zona de estudio. A continuación se hace un resumen de los resultados obtenidos para dichos análisis.

9.3.1 Precipitación

9.3.1.1 Precipitación totales mensuales

Para establecer el régimen pluviométrico en el sector de estudio, se utilizó los registros históricos de precipitaciones totales mensuales de la Estación La Picota (2120156), operada por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, Latitud 4º34', Longitud 74º08' y Elevación 2665 m.s.n.m. que está muy cercana a la zona de estudio y está ubicada en la cuenca del río Bogotá.

La distribución temporal de la precipitación en la estación seleccionada tiene una tendencia de forma bimodal o ecuatorial, con dos períodos lluviosos entre los meses de marzo a junio y septiembre a noviembre, y dos períodos secos entre los meses de julio a agosto y diciembre a febrero, como se observa en la Grafica 1. La precipitación media multianual en la Estación Casa Blanca es de 600 mm (que coincide con la interpolación de las estaciones de la ciudad realizada por Ingeocim – Upes en 1998, y presentada en la Figura 1 del Anexo III), y el mes con mayor precipitación es abril con un promedio mensual multianual de 80.7 mm.



Grafica 1. Lluvias medias mensuales (1980 - 2007) en la estación Santa Lucia

9.3.1.2 Lluvia crítica

Para determinar la relación precipitación crítica - duración, se utilizó el "Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá" (INGEOCIM - UPES, 1998); en este estudio se encontró que la ciudad de Bogotá se puede dividir a

partir de la lluvia crítica y de la duración en dos zonas, con las ecuaciones presentadas en la Tabla 12.

Tabla 12. Relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual para la ciudad de Bogotá (INGEOCIM – UPES, 1998).

Zona	Lluvia crítica (mm)	Duración (días)
Suroccidental	0.3609 x Lluvia Anual (mm)	$3.2829 * LLcrit^{0.4157}$
Cerros orientales	12.6325 + 0.1814 x Lluvia anual (mm)	0.04923 * LLcrit

La zona de estudio se encuentra ubicada dentro de la zona de los Cerros Orientales; a partir de los valores de lluvia anual de la Estación Casa Blanca se obtuvo una precipitación crítica de 121.47 mm (que coincide con lo reportado en el estudio de Ingeocim-Upes, 1998, tal como se puede apreciar en la Figura 2 del Anexo III), con una duración de 6 días y un período de retorno del orden de 23 años (Ver Figura 3 del Anexo III).

9.3.1.3 Curvas IDF

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 (1998), y actualizado por Ingetec (2002). En este estudio se dividió a la ciudad de Bogotá en 7 zonas pluviográficas y, para cada zona se definió una curva IDF característica. La estación representativa de la ley de frecuencias es Tanque Jalisco (P-45); operada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB; la curva IDF característica para esta zona se presentan en la Ilustración 2.

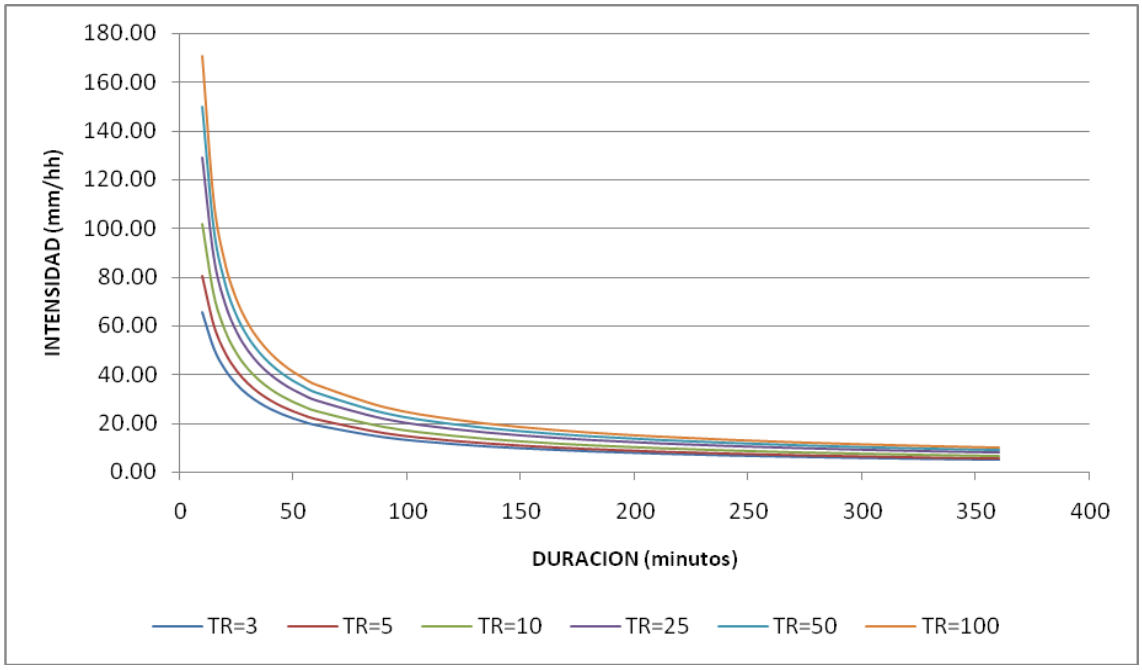


Ilustración 2. Curva Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) para la zona de estudio

9.3.2 Condiciones del agua subsuperficial

Durante los trabajos de investigación del subsuelo y las visitas de reconocimiento realizadas no se ha encontrado evidencia de aguas subsuperficial.

9.3.3 Evaluación del drenaje superficial

En la zona objeto de los estudios no existen cuerpos de agua permanentes ni intermitentes, siendo la escorrentía superficial el medio de tránsito común del agua lluvia, la cual se caracteriza a continuación.

9.3.4 Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía es la relación entre la tasa pico de escorrentía directa y la intensidad promedio de precipitación en una tormenta. Este valor es difícil de determinar directamente, pero se puede inferir satisfactoriamente considerando: el relieve, la permeabilidad, la vegetación y la capacidad de almacenaje en la zona de estudio. Teniendo en cuenta las características

morfométricas y de cobertura del suelo (ver numeral 6) de la cuenca en estudio se asumirá un coeficiente de escorrentía de 0.25[1].

9.3.5 Determinación del tiempo de concentración de la lluvia

Para el cálculo del caudal de escorrentía por las laderas, es necesario determinar el tiempo de concentración y con las curvas IDF poder hallar la intensidad (Ic), asumiendo que el caudal pico se debe a una precipitación mantenida durante un tiempo igual al tiempo de concentración.

El tiempo de concentración se calculará empleando la formula de Kirpich:

$$T_c = \frac{0.06628 * L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

En donde,

T_c = Tiempo de concentración (horas)

L = Longitud (Km)

S = Pendiente del terreno (m/m)

En la Tabla 13 se presentan los parámetros y resultados obtenidos de tiempo de concentración.

Tabla 13. Parámetros y cálculo del tiempo de concentración

PARÁMETRO	VALOR
Longitud, L (Km)	0.22
Pendiente, S (m/m)	0.32
Tiempo de concentración, Tc (hr)	0.032
Tiempo de concentración, Tc (min)	1.92

[1] Hidrología en ingeniería. Germán Monsalve Sáenz. Valores del coeficiente de escorrentía, C.

Las fórmulas empíricas para estimar el tiempo de concentración, tal como la de Kirpich, son válidas para rangos mayores a 10 – 15 min; si los valores obtenidos son menores al umbral mínimo (10 – 15 min), se recomienda utilizar como tiempo de concentración el valor del umbral.

Según la fórmula de Kirpich, se obtiene un tiempo de concentración de 10 min

9.3.6 Cálculos de intensidades máximas

Con base en la curva IDF presentada en la Ilustración 2, se puede estimar la intensidad de la lluvia con una duración del tiempo de concentración (tomado como 10 min), para diferentes períodos de retorno, resultados que se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Valores de intensidad máxima – duración de 10 minutos

Período de retorno (Años)	Intensidad (mm/h)
3	43
5	55
10	69
25	88
50	102

9.3.7 Caudal máximo por escorrentía en la zona de estudio

Para la estimación de los caudales máximos esperados en un periodo de 50 años para los diferentes sitios de la zona en estudio, se utilizó el Método Racional, aceptado para cuencas con superficies inferiores a 1.0 Km^2; este modelo de estimación, obtiene el caudal máximo por la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{C * I * A}{0.36}$$

Donde Q es el caudal pico (l/s); I la intensidad máxima para la frecuencia de diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca vertiente (mm/h); A el área aferente de la cuenta (ha), que se encuentra en la Figura 4 Anexo III; C el coeficiente de escorrentía, con valor numérico entre 0 y 1 que depende de las características fisiográficas del área de drenaje y la cobertura del suelo. En la

Tabla 15, se presentan los valores obtenidos para el caudal máximo por escorrentía en la zona de estudio.

Tabla 15. Caudal máximo por escorrentía en la zona de estudio en un periodo de 50 años.

PARÁMETROS	VALOR
Área de drenaje	6.67 ha
Intensidad	102 mm/h
Coeficiente de escorrentía	0.25
Caudal	472.46 l/s

9.3.8 Obras de drenaje superficial

Las obras de drenaje superficial propuestas son cunetas o canales, que servirán para recoger las aguas procedentes de las partes altas de las laderas o los taludes de corte (denominado comúnmente zanja de coronación), con el fin de evitar la erosión superficial y la infiltración y/o saturación en los taludes. Para el cálculo de estas estructuras se utilizó la fórmula de Manning para flujo uniforme:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \cdot A$$

Donde:

- Q es el caudal (m3/s)
- R es el radio hidráulico (m)
- S es la pendiente del canal (m/m)
- A es el área de la sección mojada del canal (m2)
- n es el coeficiente de rugosidad de Manning.

Los principales criterios de diseño de las cunetas y canales son los siguientes:

- Las frecuencias de las crecientes de diseño (Tr) es de 50 años (para estar en concordancia con los lineamientos de la Resolución 227 de 2006).

- Si las pendientes longitudinales de las estructuras son superiores al 2%, se recomienda revestirlas en piedra pegada, concreto y/o sacos de suelo-cemento, con el fin de evitar la profundización de los mismos.

- La velocidad mínima debe ser de 0.25 m/s y la velocidad máxima admisible de 6 m/s.

10 ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS SISMOLÓGICAS DEL SUBSUELO

10.1 ASPECTOS SÍSMICOS DEL SUBSUELO

Teniendo en cuenta la NSR-10, la zona de estudio se encuentra en una zona de amenaza sísmica INTERMEDIA; teniendo en cuenta los trabajos de investigación del subsuelo, se puede catalogar el subsuelo en la zona de estudio como tipo D, al cual le corresponde los coeficientes de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos cortos (Fa) y coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos intermedios (Fv) las cuales se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16. Valores del coeficiente Fv y Fa

Coeficiente	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	Aa ≤ 0.1	Aa = 0.2	Aa = 0.3	Aa = 0.4	Aa ≥ 0.2
Fa	1.6	1.4	1.2	1.1	1
Fv	2.4	2	1.8	1.6	1.5

10.2 SEÑALES DE DISEÑO

De acuerdo a la zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá, se emplearon las señales de campo lejano, intermedio y lejano de la Tabla 17 y la Ilustración 3.

Tabla 17. Acelerogramas de diseño[2]

Fuente	Fecha	Nombre Sismo	Estación	Ms	Amáx (g)
Local	1975/08/01	OROVILLE	OROV.SS	5.6	0.098
	1979/08/06	COYOTE LAKE	GILROY-1	5.7	0.119
	1980/05/25b	MAMMOTH LAKES AFTERSHOCK	LONG VAL.U	5.7	0.101
	1983/07/22	COALINGA AFTERSHOCK	SULPHUR.BH	5.8	0.134
	1984/04/29	UMBRIA	PIETRALUNG	5.4	0.188
	1995/19/01	LA URIBE	SANTA		0.091
Regional	1989/10/18	LOMA PRIETA	YERBABUENA	7.1	0.079
	1994/01/17	NORTHRIDGE	MT.BALDY	6.8	0.073
	1994/01/17	NORTHRIDGE	DEER CANYON	6.8	0.071
	1994/01/17	NORTHRIDGE	NEWPORT	6.8	0.107
	1995/01/16	HYOGO-KEN NANBU (KOBE)	OKAYAMA	6.8	0.081
Subducción	1985/09/19	MEXICO	CERRO DEPI	8.1	0.025
	1985/09/19	MEXICO	CU01	8.1	0.034
	1985/09/19	MEXICO	CUIP	8.1	0.035
	1985/09/19	MEXICO	CUMV	8.1	0.036
	1985/09/19	MEXICO	XALTINGUIS	8.1	0.029

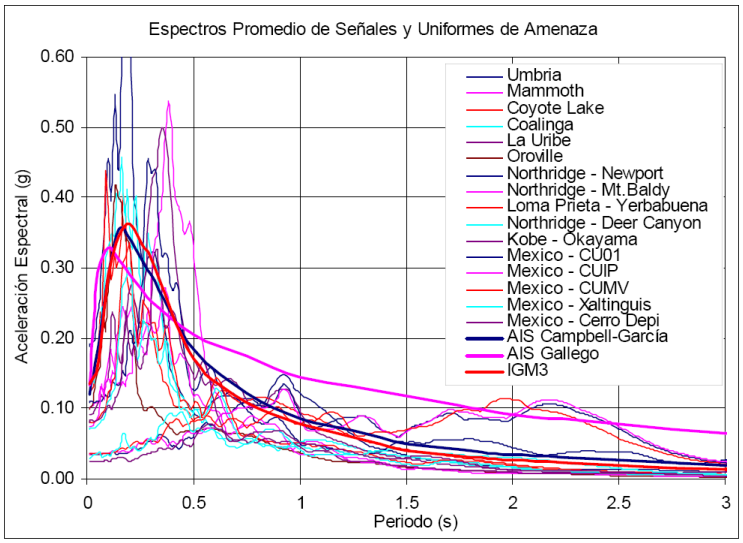


Ilustración 3. Espectros promedio de señales y uniformes de amenaza.

Según la nueva Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C., adoptada mediante el decreto 523 del 16 de diciembre de 2010, se encontró que la zona de estudio se encuentra en la zona de Cerros, entre las zonas de respuesta sísmica denominada cerros

[2] Zonificación de la Respuesta sísmica de Bogotá para el diseño sismo resistente de edificaciones. Octubre de 2010

A continuación se presentan los coeficientes de diseño para la zona de respuesta Sísmica cerros:

- Aceleración horizontal pico efectiva de diseño Aa :0.15 g
- Aceleración que representa la velocidad horizontal pico efectiva de diseño Av:0.20g
- Aceleración horizontal pico efectiva del terreno en superficie (g) Ao(475) : 0.18
- Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos Fa (475) : 1.35
- Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios Fv(475) : 1.30
- Periodo corto (s) Tc: 0.62
- Periodo largo (s) TL: 3.0

Según el numeral 5.2 del decreto 523 del 16 de Diciembre de 2010, cada una de las zonas en que se ha dividido Bogotá involucra un valor característico de Aceleración Pico del Terreno (Ao y Aod), el cual corresponde a la aceleración máxima esperada en la superficie del terreno para dicha zona. Los valores de Aceleración Pico del Terreno adoptados en el presente decreto se deben emplear en los siguientes tipos de análisis: Estabilidad de taludes, Potencial de licuación, estructuras de contención, estabilidad de rellenos artificiales y de cimentaciones superficiales y profundas.

Los valores de aceleración pico del terreno se presentan a continuación para condición de diseño, seguridad limitada y umbral de daño Respectivamente:

- Ao (475) diseño : 0.18
- Ao (225) Seguridad limitada : 0.16
- Aod (31) Coeficientes de Umbral de daño : 0.08

Para efecto de los análisis pseudo-estáticos, se recomienda utilizar un valor de 0,18 g para el valor del coeficiente sísmico pseudo-estático horizontal (k_h), valor que corresponde al mínimo sugerido por la Resolución 227 de 2006 en el numeral 3.4 (2/3 de Am); vale la pena aclarar que este valor de aceleración se encuentra dentro del rango de los valores propuestos por la literatura (ver Ilustración 4).

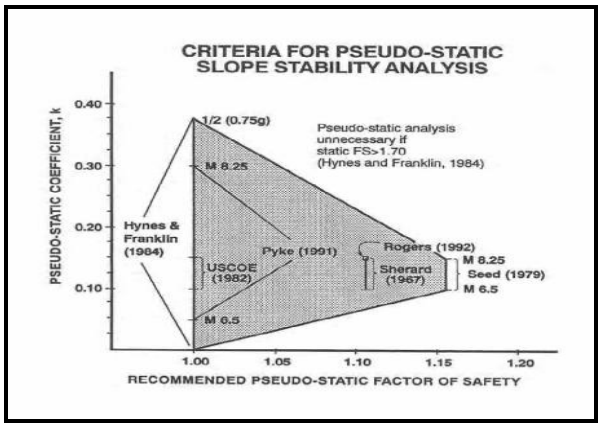


Ilustración 4. Rangos aproximados del coeficiente sísmico pseudo-estático "k" para factores de seguridad mínimos propuestos en la literatura (referencias sobre el diagrama) [3]

[3] Tomado de Special Report 117 – California Geological Survey - "Guidelines for evaluating and mitigating seismic hazards in California".

11 COBERTURA Y USOS DEL SUELO

La caracterización de la cobertura y uso actual se tomo del POT de la localidad de Rafael Uribe Uribe, donde establece que el 97.2% suelo es de uso urbano, el 2.6 % pertenece a áreas de suelo protegido y el 0.2 % pertenece a áreas sin desarrollar en la localidad, como está definido en el estudio ¨Zonificación de riesgo por inestabilidad del terreno para diferentes localidades de Santa fe de Bogotá¨, Upes Fopae – Ingeocim 1997 (Ver Ilustración 5). La determinación de los tipos de cobertura y su espacialización actual se presenta en el Plano GE-269-PL-04 COBERTURA Y USOS DEL SUELO. A continuación se hace la descripción de las coberturas encontradas en la zona de estudio.

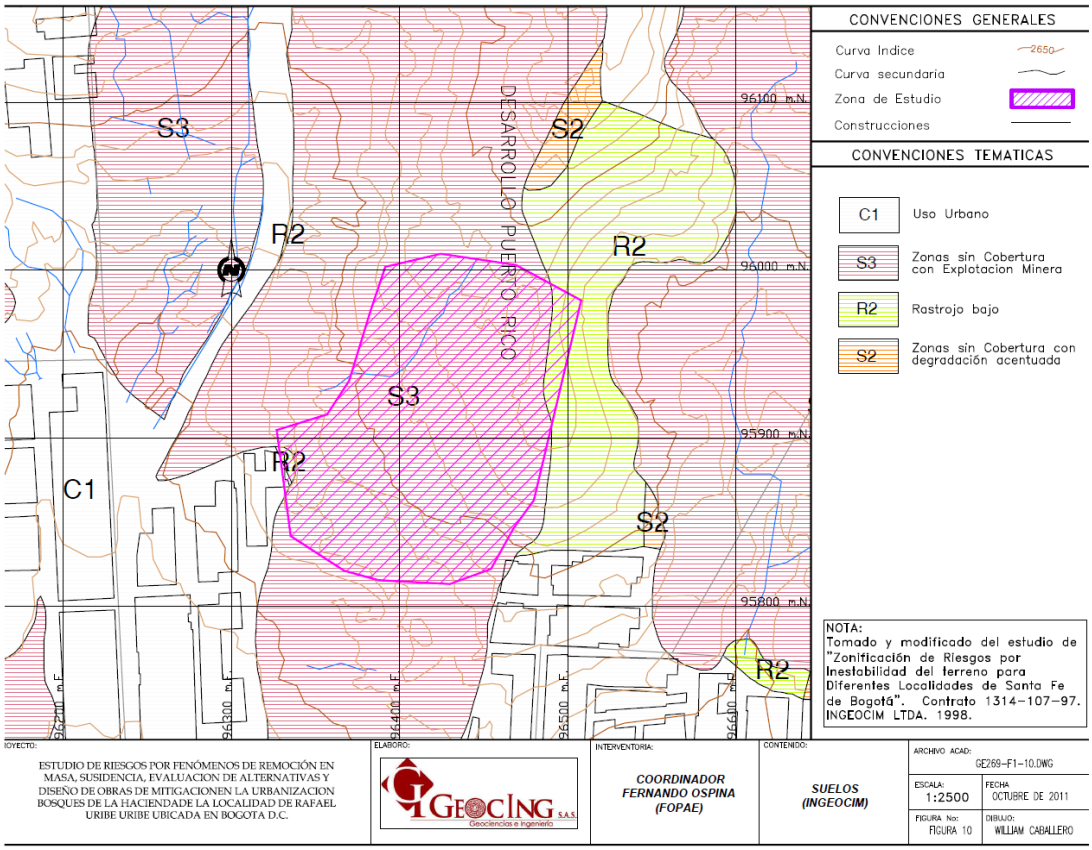


Ilustración 5. Cobertura y Uso del suelo según"Ingeocim".

11.1 CONSTRUCCIÓN (ZU)

Este sitio de estudio está delimitado en gran parte, por zonas de uso urbano como construcciones, La estructura de las edificaciones es de tres pisos, consiste en muros en bloque de arcilla cocida confinada con columnas de concreto reforzado, placas macizas con lamina colaborante de acero (steel deck) con un espesor aproximado de 10 cm, la cubierta es liviana con tejas de asbesto cemento, apoyados sobre alistado de madera

Foto 47. Bloque típico del sector de Bosques de la Hacienda.

11.2 COBERTURA ERIAL

Son áreas donde el mayor porcentaje del suelo se encuentra desnudo, sin cobertura vegetal. Este tipo de cobertura se presenta en su gran mayoría en los sectores de antiguas explotación de materiales (canteras artesanales). Cuenta con alturas entre 3 y 5 metros, ocupando el 45% aproximadamente del área de estudio ver Foto 48.

Foto 48. Talud de antigua explotación minera con cobertura erial.

11.3 PASTOS (PA)

Esta cobertura se presenta en espacios reducidos, caracterizado en las zonas de depósitos antrópicos y antiguos taludes de explotación, no se observa presencia de vegetación nativa en el sector.

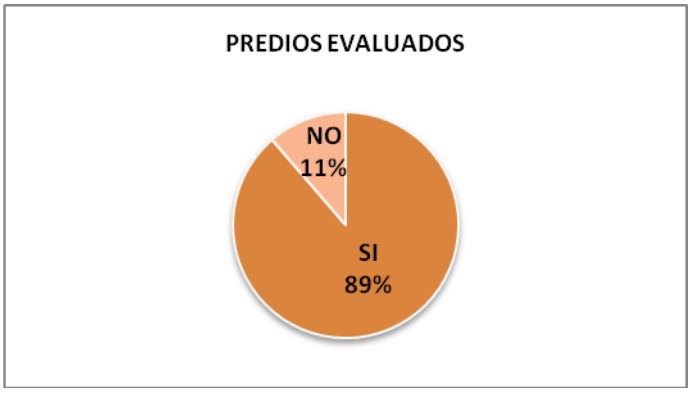
Foto 49. Pastos de porte bajo en antiguo talud de explotación.

12 INVENTARIO DE VIVIENDAS

Este capítulo se realizó con el contenido de las encuestas emitidas por el FOPAE el cual fueron realizadas el día 18 de junio de 2011 y el día domingo 28 de agosto de 2011 donde se realizó el recorrido de la inspección técnica a la Urbanización Bosques de la Hacienda reconociendo cada predio existente mediante una encuesta y con la evaluación por parte de la consultoría en el transcurso de la realización de este proyecto, la cual se presenta en el **Anexo IV.**

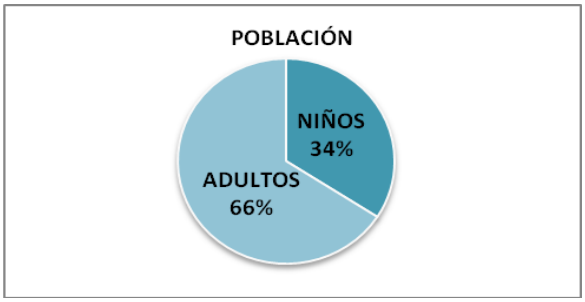
A continuación se presentan los resultados de la evaluación de las encuestas hechas a las viviendas cabe recordar que no todas las viviendas fueron encuestadas ya que las personas que residen en estos inmuebles no se encontraban al momento de hacer las encuestas.

Como se observa en la Grafica 2, de los 300 apartamentos que componen la urbanización, se ha realizado la evaluación de 266 viviendas, correspondientes a un 89% del total. En el restante 11%, referido a 34 predios, no hubo atención en su mayoría porque no se ha encontrado a nadie.



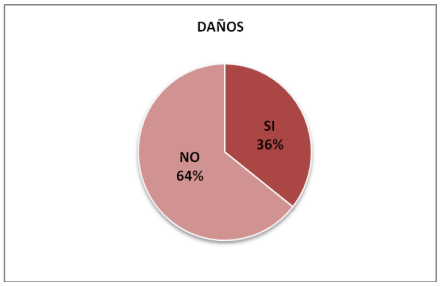
Grafica 2 Total de Predios Evaluados

En cuanto a la población que se encuentra habitando en la Urbanización, en la Grafica 3, se muestra que cerca un tercio (34%) de la población atendida corresponde a niños y la restante a adultos en un 66%. De los 300 predios aun falta el dato de 34.



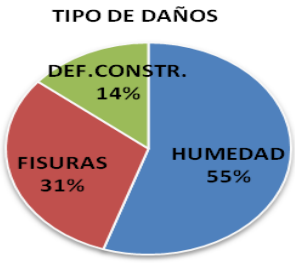
Grafica 3 Total de Población

De los 300 inmuebles no se encontraron daños en 193 de ellos, lo que representa un 64% del total, pero sí en el restante tercio (36%), tal como se observa en la Grafica 4 y en la Grafica 5 se encuentra los tipos de daños encontrados en las viviendas encuestadas en la Urbanización Bosques de la Hacienda.



Grafica 4 Total de Daños

Todos los daños encontrados fueron menores como se aprecia en la Grafica 5. La mitad, 55%, corresponde a humedades en 43 predios; en un 31% se encontraron fisuras pequeñas, y deficiencias constructivas en el restante 14%. Estos daños, de acuerdo con la inspección visual, no comprometen la estabilidad, ni la habitabilidad ante cargas normales de servicio.



Grafica 5 Total de Tipo de Daños

13 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

Para la caracterización Geomecánica de los materiales encontrados en el área de estudio, se tuvieron en cuenta los resultados de los trabajos de investigación del subsuelo y la caracterización geológica realizada, definiéndose los materiales descritos a continuación:

13.1 RESULTADOS DE LABORATORIO

13.1.1 Arcillolita

Este material está compuesto por una Arcillolita color violeta con vetas grises y para el macizo rocoso se utilizó el criterio de falla propuesto por Hoek-Brown (Hoek et al. 2002) el cual se expresa como:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci}\left(m_b\frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s\right)^a$$

Donde,

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{\mathrm{GSI}-100}{28-14\,\mathrm{D}}\right)$$

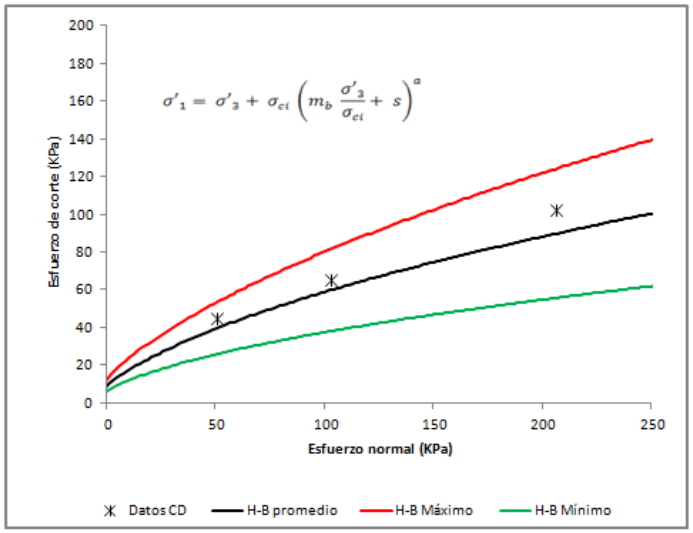
$$s = \exp\left(\frac{\mathrm{GSI}-100}{9-3\,\mathrm{D}}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{\frac{-GSI}{15}} - e^{\frac{-20}{3}}\right)$$

Siendo los parámetros del modelo los presentados en la Grafica 6, para lo cual se correlacionaron los ensayos de corte directo realizados a la trinchera 2 muestra 2 que se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18 Resumen resultados trinchera 2 muestra 2

Ensayos	Resistencia al Corte (K/cm²)	Esfuerzo Normal (K/cm²)	Peso Unitario Húmedo (Ton/m³)	Peso Unitario Seco (Ton/m³)	Humedad Natural (%)
Primer Ensayo	0.469	0.529	2.14	1.74	23.1
Segundo Ensayo	0.681	1.075	2.08	1.69	23.2
Tercer Ensayo	1.066	2.150	2.09	1.70	23.1



MODELO HOEK - BROWN

Parámetro	Promedio	Mínimo	Máximo
σ_{ci} (kPa)	250	200	300
GSI	75	70	80
m_i	4	2	6
D	0,75	0,7	0,8
m_b	0,95860415	0,38473347	1,82445859
s	2,46E-02	1,29E-02	4,83E-02
a	0,50091089	0,50135515	0,50059255

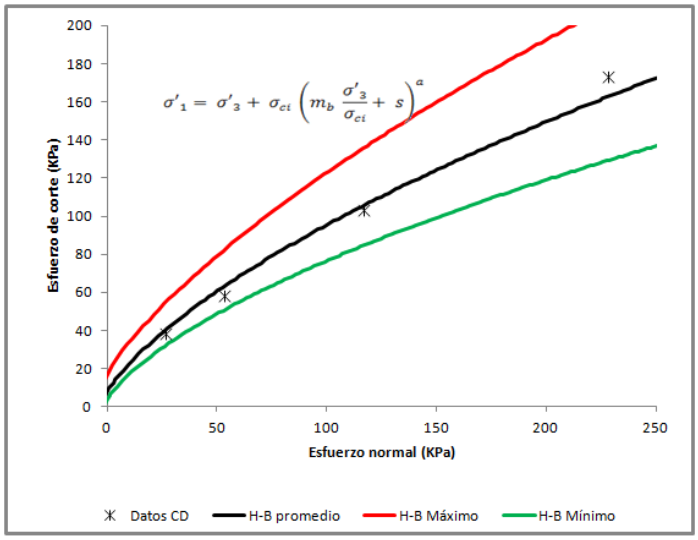
Grafica 6 Modelo de falla Hoek – Brown, sobre la arcillolita

13.1.2 Arenisca Blanda

Este material está compuesto por una arenisca de color amarillo quemado con manchas rojizas; para el material encontrado como arenisca blanda se tomaron los parámetros de resistencia obtenidos del ensayo de corte directo realizado a la roca en la muestra S4-M2 y se utilizó el criterio de falla propuesto por Hoek-Brown (Hoek et al. 2002) la Tabla 19 y la Grafica 7.

Tabla 19 Resumen resultados trinchera 1 muestra 1

Ensayos	Resistencia al Corte (K/cm²)	Esfuerzo Normal (K/cm²)	Peso Unitario Húmedo (Ton/m³)	Peso Unitario Seco (Ton/m³)	Humedad Natural (%)
Primer Ensayo	0.184	0.188	1.489	1.384	7.6
Segundo Ensayo	0.312	0.385	1.489	1.384	7.6
Tercer Ensayo	0.506	0.792	1.489	1.384	7.6
Cuarto Ensayo	0.788	1.570	1.489	1.384	7.6



MODELO HOEK - BROWN

Parámetro	Promedio	Mínimo	Máximo
σ_{ci} (kPa)	265	250	280
GSI	80	70	90
m_i	14	13	15
D	0,9	0,8	1
m_b	3,82040344	2,17980423	7,34312489
s	4,18E-02	1,06E-02	1,89E-01
a	0,50059255	0,50135515	0,50020102

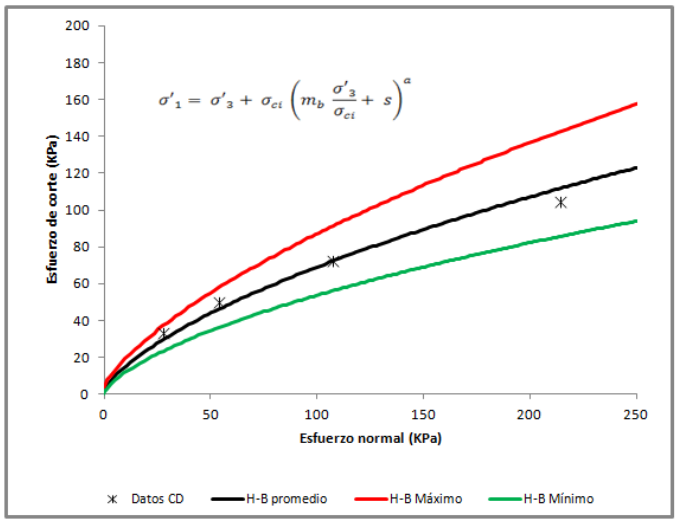
Grafica 7 Modelo de falla Mohr – Coulomb para la arenisca blanda

13.1.3 Arenisca Dura

Este material está compuesto por una arenisca de color habano con vetas grises y blancas; para el material encontrado como arenisca dura se tomaron los parámetros de resistencia obtenidos del modelo propuesto por Hoek-Brown (Hoek et al. 2002), obtenidos del ensayo de corte directo del estrato túnel “duro” muestra 2 parte inferior y resumidos en la Tabla 20 y la Grafica 8.

Tabla 20 Resumen resultados estrato túnel "duro" muestra 2 parte inferior

Ensayos	Resistencia al Corte (K/cm²)	Esfuerzo Normal (K/cm²)	Peso Unitario Húmedo (Ton/m³)	Peso Unitario Seco (Ton/m³)	Humedad Natural (%)
Primer Ensayo	0.344	0.288	1.797	1.648	9.1
Segundo Ensayo	0.522	0.564	1.797	1.648	9.1
Tercer Ensayo	0.752	1.116	1.797	1.648	9.1
Cuarto Ensayo	1.086	2.232	1.797	1.648	9.1



MODELO HOEK - BROWN

Parámetro	Promedio	Minimo	Máximo
σ_{ci} (kPa)	935	870	1000
GSI	52,5	45	60
m_i	13,5	13	14
D	1	1	1
m_b	0,4537688	0,25573281	0,80405667
s	3,65E-04	1,04E-04	1,27E-03
a	0,50482079	0,50808574	0,5028405

Grafica 8 Modelo de falla Mohr – Coulomb para la arenisca dura

En la Tabla 21, se presentan los parámetros de resistencia para los materiales de roca encontrados.

Tabla 21 Parámetro de resistencia de la roca

Material	σci MPa	GSI	mi	D	mb	s	a
Arcillolita	250	75	4	0.75	0.958	2.46E-2	0.5009
Arenisca Blanda	265	80	14	0.9	3.820	4.18E-2	0.5005
Arenisca Dura	935	52.2	13.5	1	0.453	3.65E-04	0.504

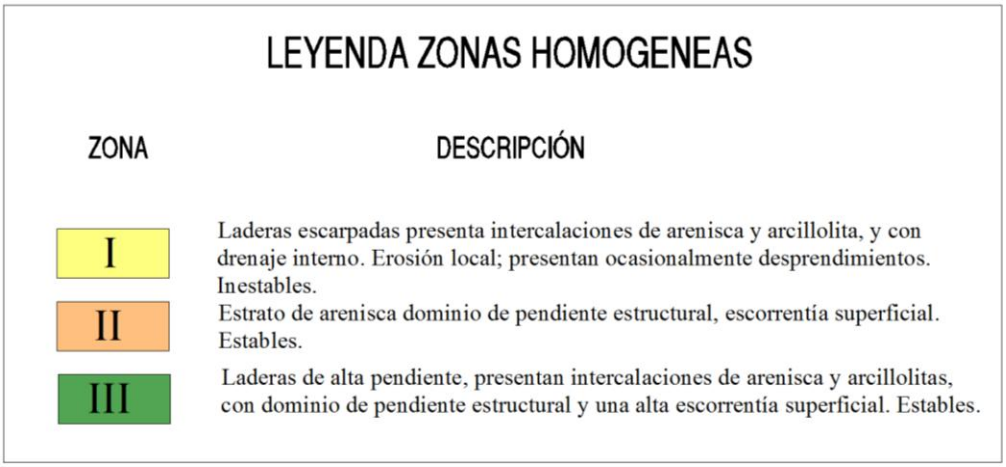
14 ZONIFICACIÓN Y MODELO GEOTÉCNICO

Los materiales definidos como suelos se clasificaron según su origen en, antrópicos (Sa). Las rocas, de acuerdo con sus características litológicas y condiciones geomecánicas, se clasificaron en rocas blandas (Rb).

Las rocas del área, por su composición litológica (predominio de areniscas blandas y duras con intercalaciones delgadas de arcillolitas), cubiertas en superficie en algunos sectores por materiales de muy baja consolidación, y por su posición estructural (laderas estructurales, cuyos estratos rocosos buzan en sentido desfavorable a la pendiente de las laderas), ayudados las pendientes topográficas de las laderas, de media a altas, son propiciantes de la infiltración de aguas superficiales y de otras clases, los cuales pueden ser detonantes de movimientos de remoción en masa dentro de la zona de estudio, tal como se observan actualmente en algunos sitios.

Los diferentes materiales de acuerdo a la zonificación geotécnica realizada se describen en la Tabla 22.

Tabla 22 Zonificación geotécnica



Con base a lo anterior la falla que se puede producir es de tipo rotacional y planar debido a los procesos detectados de baja magnitud; Estos fenómenos son de tipo caída de detritos y rocas, y procesos erosivos de las clases laminar, surcos y algunas cárcavas y a la tipología del material de roca y al análisis cinemático efectuado, para realizar los respectivos análisis se tomaron 4 secciones típicas analizando los escenarios actuales (condiciones con nivel freático y sin sismo), y los escenarios extremos (condición saturada y sismo), a partir de esto se plantean las diferentes obras

de drenaje y mitigación y se analiza con obras en los diferentes escenarios, a continuación se presentan los perfiles de análisis:

En el Plano GE269 PL-05 MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO y en el Plano GE269 PL-05A SECCIONES GEOTÉCNICAS, se presenta la composición de la estratigrafía del terreno con la cual se baso para realizar el análisis de estabilidad apoyado en los resultados de los ensayos de laboratorio.

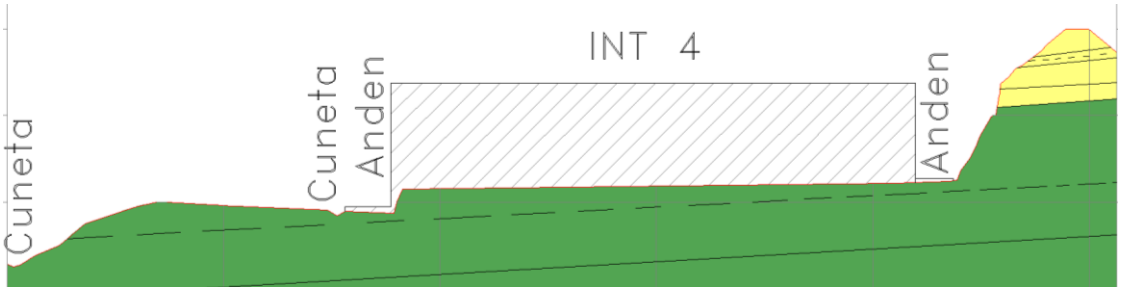


Ilustración 6 Sección 1 típico de la zona de estudio

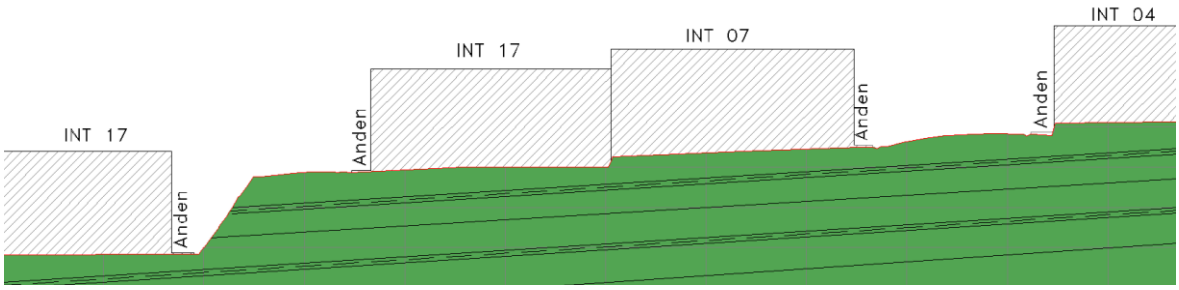


Ilustración 7 Sección 2 típico de la zona de estudio

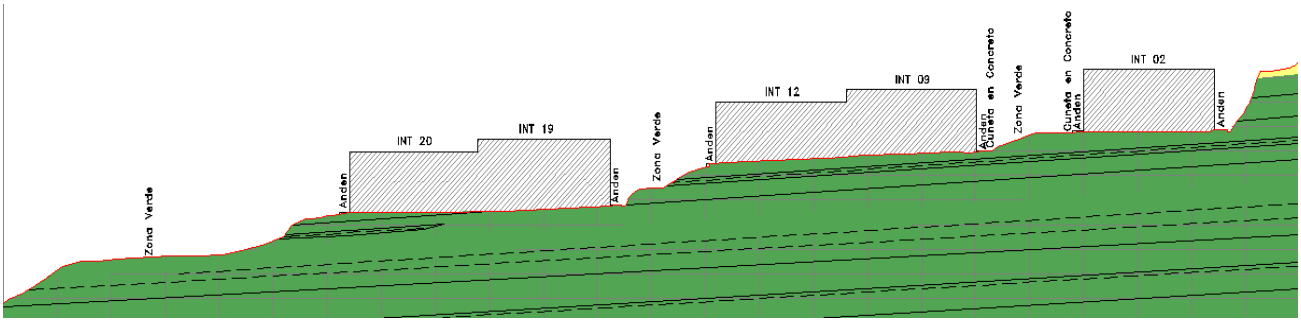


Ilustración 8 Sección 3 típico de la zona de estudio

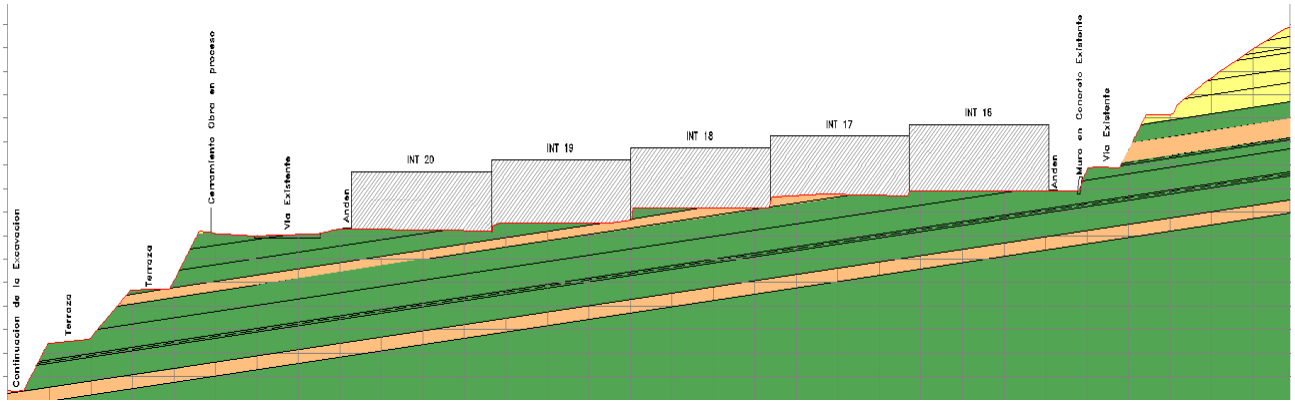


Ilustración 9 Sección 4 típico de la zona de estudio

14.1 DELIMITACIÓN DE ZONAS DE COMPORTAMIENTO HOMOGÉNEO

Como parte fundamental de la zonificación de amenaza, a continuación se presenta los resultados de la sectorización por zonas homogéneas desde el punto de vista de comportamiento ingenieril, especialmente en lo referente a estabilidad, teniendo en cuenta los trabajos precedentes de geología, geomorfología e investigación del subsuelo, primordialmente.

En forma general, el área de estudio se dividió en tres (3) zonas, tal como se presenta en el Plano GE269 PL-05 MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO y en el Plano GE269 PL-05A SECCIONES GEOTÉCNICAS a continuación se describe cada una de las zonas.

14.1.1 Zona I

Laderas escarpadas presenta intercalaciones de arenisca y arcillolita, y con drenaje interno. Erosión local; presentan ocasionalmente desprendimientos. Inestables.

14.1.2 Zona II

Estrato de arenisca dominio de pendiente estructural, escorrentía superficial. Estables.

14.1.3 Zona III

Laderas de alta pendiente, presentan intercalaciones de arenisca y arcillolitas, con dominio de pendiente estructural y una alta escorrentía superficial. Estables.

15 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Para el análisis de riesgos por fenómenos de remoción en masa (FRM) se seguirá la metodología sugerida por Omar Darío Cardona, que se puede resumir así: "una vez conocida la amenaza o peligro (A), entendida como la probabilidad de que se presente un evento con una intensidad mayor o igual a cierto nivel durante un período de exposición determinado, y conocida la vulnerabilidad (V), entendida como la predisposición intrínseca de un elemento expuesto a ser afectado o de ser susceptible de sufrir una pérdida ante la ocurrencia de un evento con cierta intensidad, el riesgo (R) puede entenderse como la probabilidad de que se presente una pérdida sobre el elemento expuesto, como consecuencia de un evento con una intensidad mayor o igual a cierto nivel, es decir, la probabilidad de exceder unas consecuencias sociales y económicas durante un período de tiempo determinado"

Para obtener los tres componentes mencionados en la anterior definición (amenaza, vulnerabilidad y riesgo), descrito a continuación:

- Determinación de las zonas de comportamiento geotécnico similar (zonas homogéneas) con base en los trabajos topográficos, geológicos, geomorfológicos y de investigación del subsuelo.

- Determinación de los factores detonantes naturales (sismo y lluvia). Para el sismo se utilizará los datos de la microzonificación de Santafé de Bogotá. Para la lluvia se determinará el período de retorno de la lluvia crítica, basándose en los trabajos realizados en 1998 por Ingeocim Ltda. – Upes. Es importante resaltar que los factores detonantes antrópicos (producidos por el hombre) se tendrán en cuenta al determinar las zonas de cortes y rellenos y la sobrecarga de las estructuras.

- Determinación de los parámetros geotécnicos (máximos y mínimos) en cada uno de las los materiales que conforman el subsuelo en la zona de estudio, necesarios para realización de los análisis de estabilidad.

- Con base en la zonificación de amenaza realizada (determinando las posibles solicitaciones) y la tipificación de estructuras existentes, se determina la vulnerabilidad y el riesgo de las estructuras ante fenómenos de remoción en masa.

De acuerdo al tipo de suelo se determinó que la falla que se presenta en la cara del talud es traslacional y la que se genera en la parte superior sobre los suelos residuales y rellenos es de tipo rotacional, también se presentan fenómenos caída de detritos y rocas, y procesos erosivos de las clases laminar, surcos y algunas cárcavas las cuales se empleara para los respectivos análisis.

Para la clasificación de la amenaza de la zona se utilizó como criterios de categorización los presentados en la Tabla 23, teniendo en cuenta lo expuesto en la Resolución 227 del 13 de julio de 2006 en el numeral 3.4.

Tabla 23. Categorización de Amenaza por FRM.

Categoría de Amenaza	F.S. Condiciones Normales	F.S. Condiciones Extremas
Baja	>1,9	>1,3
Media	1,2 - 1,9	1,0 – 1,3
Alta	<1,2	<1,0

Para los análisis se tuvieron encuentra para los escenarios Actual y Con obras (proyectado), las condiciones normales (sin sismo y nivel freático actual), y condición extrema (con nivel freático abatido y sismo).

15.1 ANÁLISIS ESCENARIO CONDICIÓN ACTUAL

15.1.1 Análisis Falla Rotacional

Se realiza un análisis rotacional para los rellenos y capa vegetal presentes en el área de estudio que se comportan como un suelo y para el cual se analizaron el escenario actual (niveles freáticos al momento de realizar la exploración del subsuelo) y escenario Actual con sismo (niveles freáticos al momento de realizar la exploración del subsuelo), en donde se observan los diferentes factores de seguridad los que se resumen en la Tabla 24, y los resultados se presentan en el Anexo V-A.

Tabla 24 Factor de seguridad escenario actual

MÉTODO DE FALLA	ROTACIONAL	
Sección	F.S Condición Normal	F.S Condición Extrema
1	2.108	1.436
2	2.175	1.646
4	2.263	1.634
4 Sector Sur Sin Obra	1.983	1.112
4 Sector Sur Con Obra	2.556	1.778

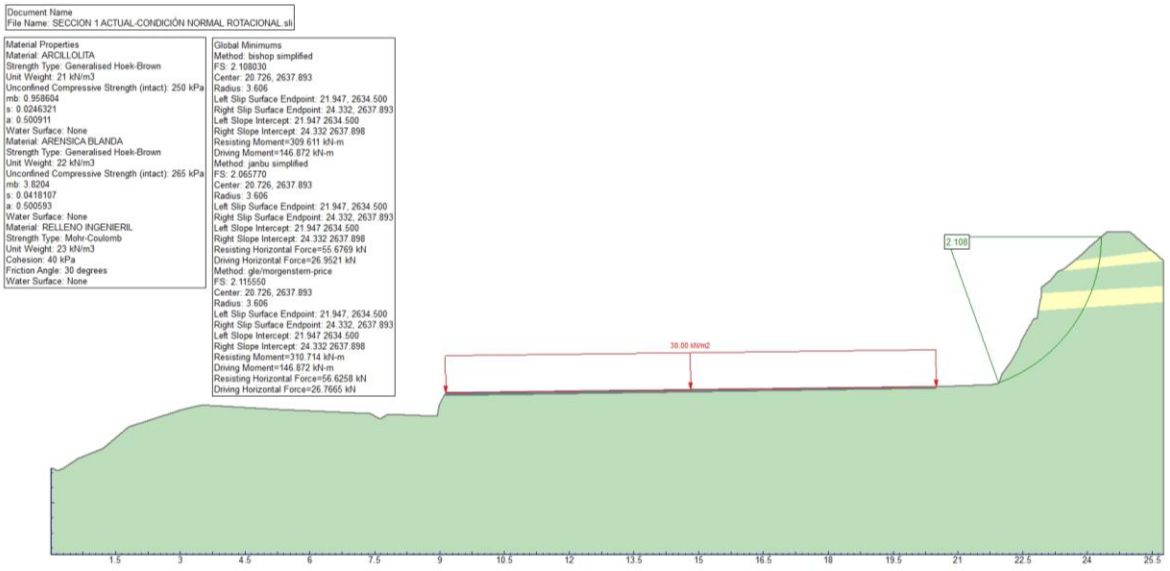


Ilustración 10 Sección 1 Estado Actual Condición Normal

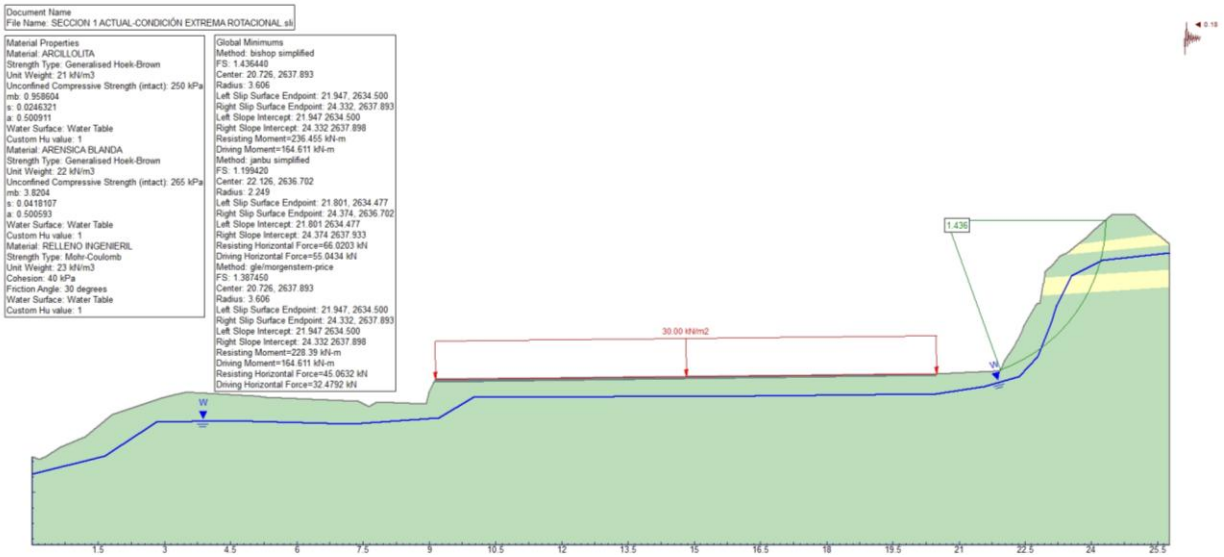


Ilustración 11 Sección 1 Estado Actual Condición Extrema

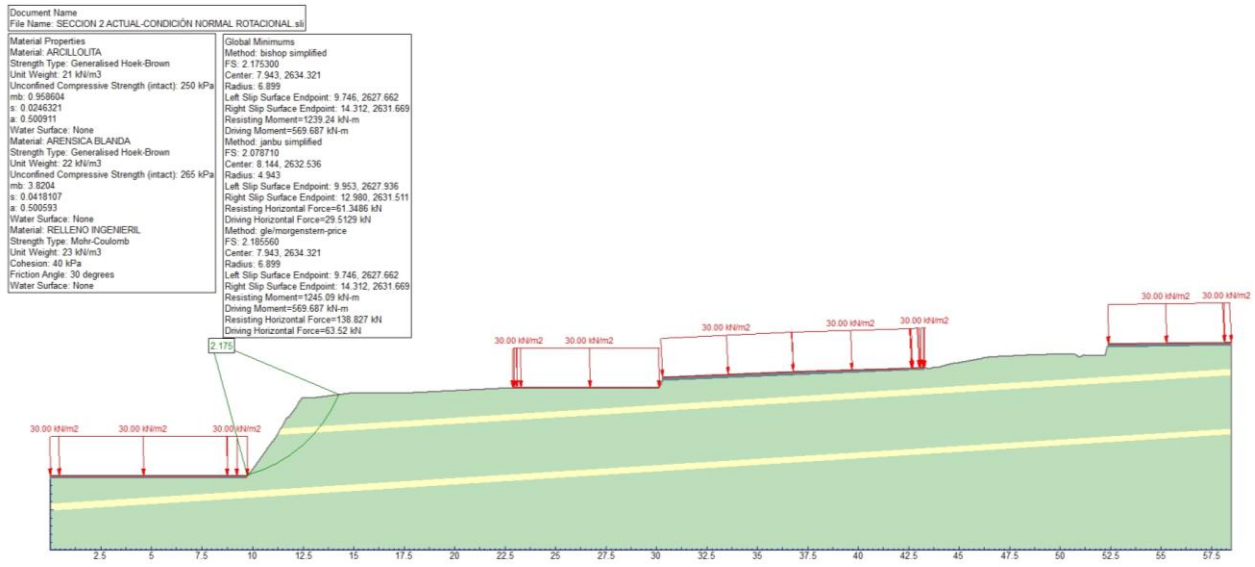


Ilustración 12 Sección 2 Estado Actual Condición Normal

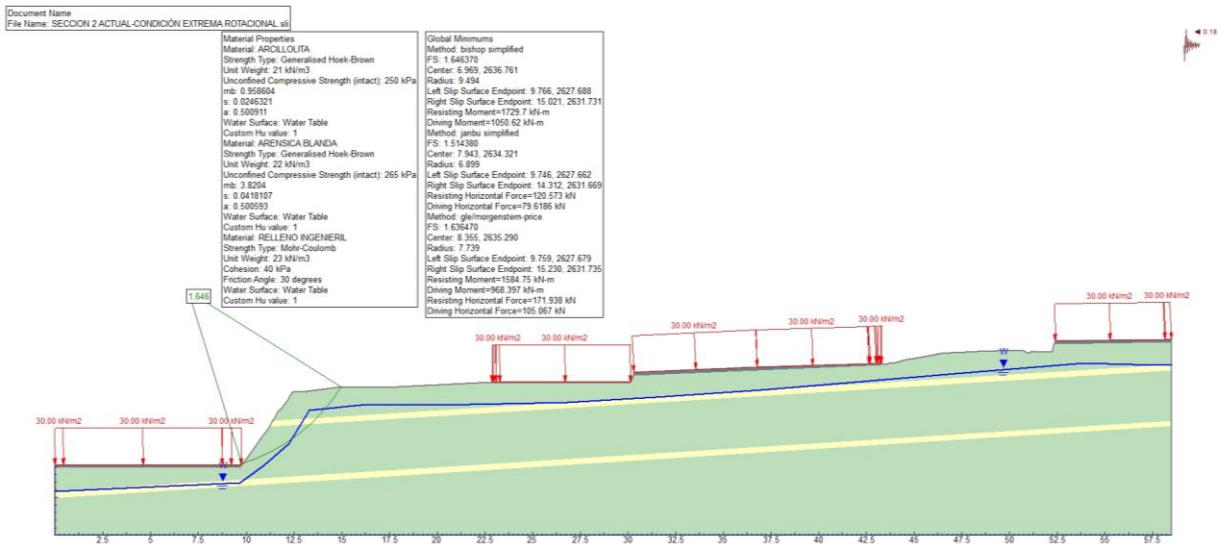


Ilustración 13 Sección 2 Estado Actual Condición Extrema

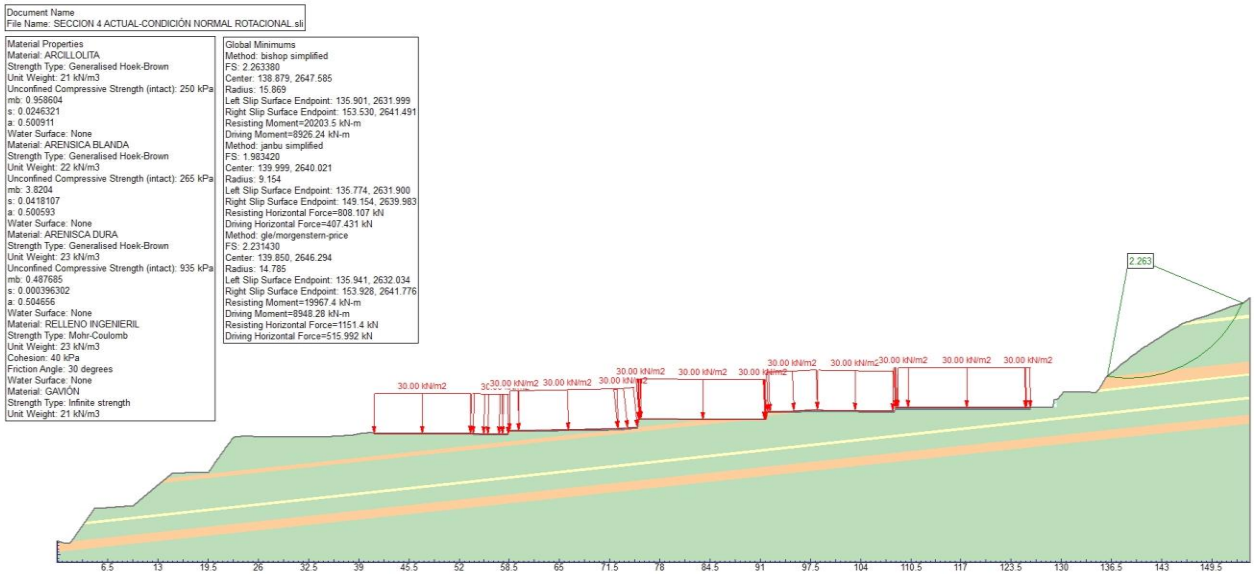


Ilustración 14 Sección 4 Estado Actual Condición Normal

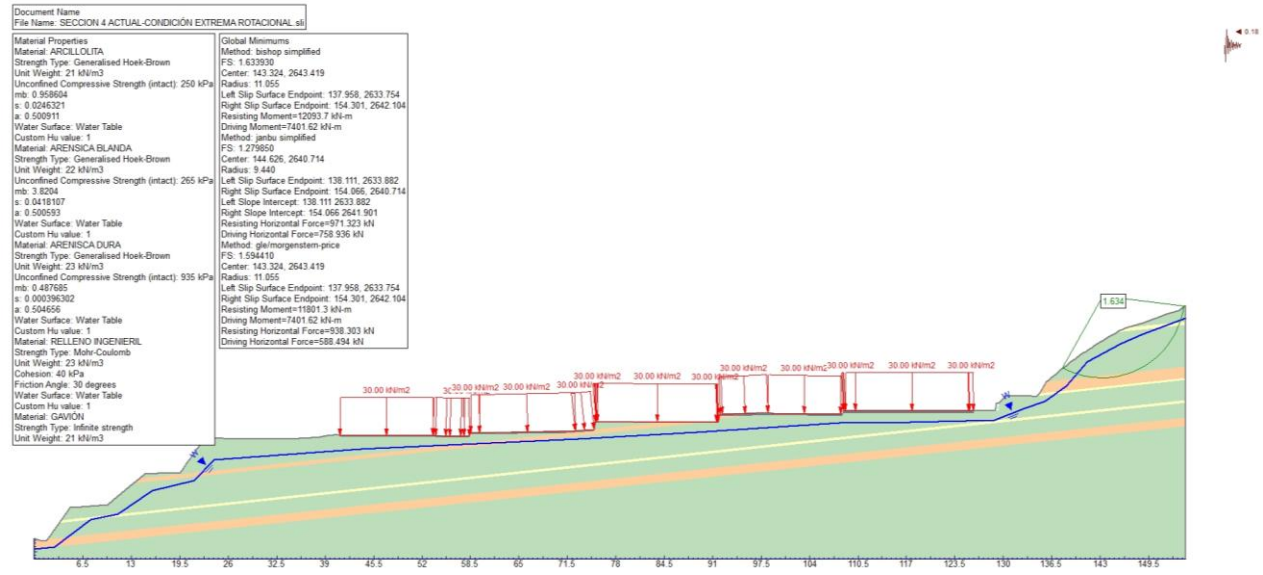


Ilustración 15 Sección 4 Estado Actual Condición Extrema

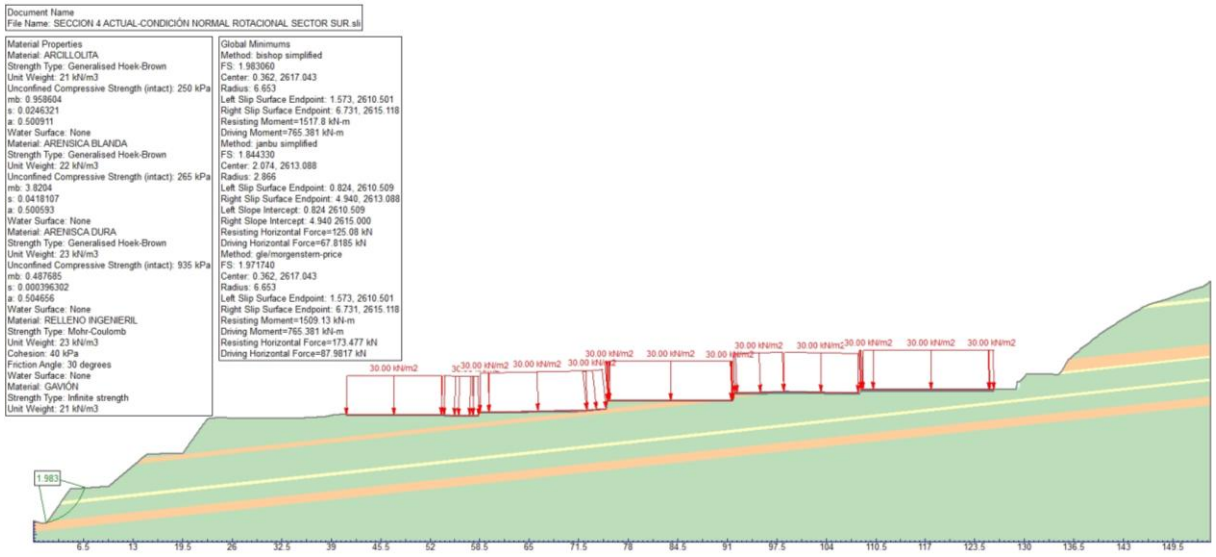


Ilustración 16 Sección 4 Estado Actual Condición Normal Sector Sur Sin Obra

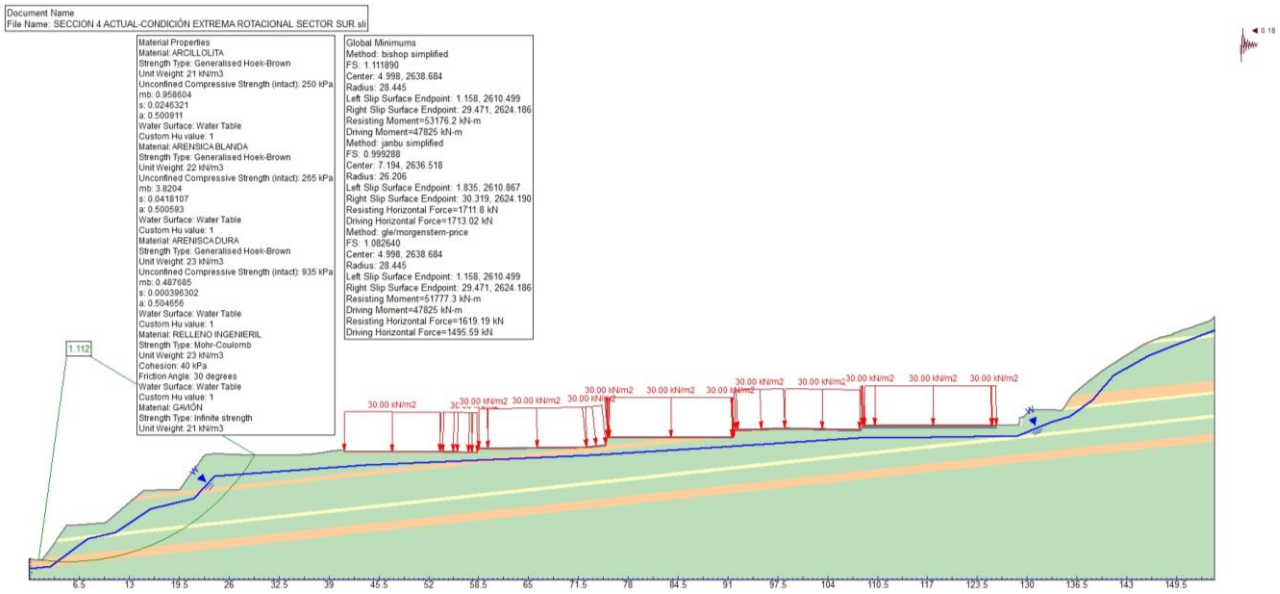


Ilustración 17 Sección 4 Estado Actual Condición Extrema Sector Sur Sin Obra

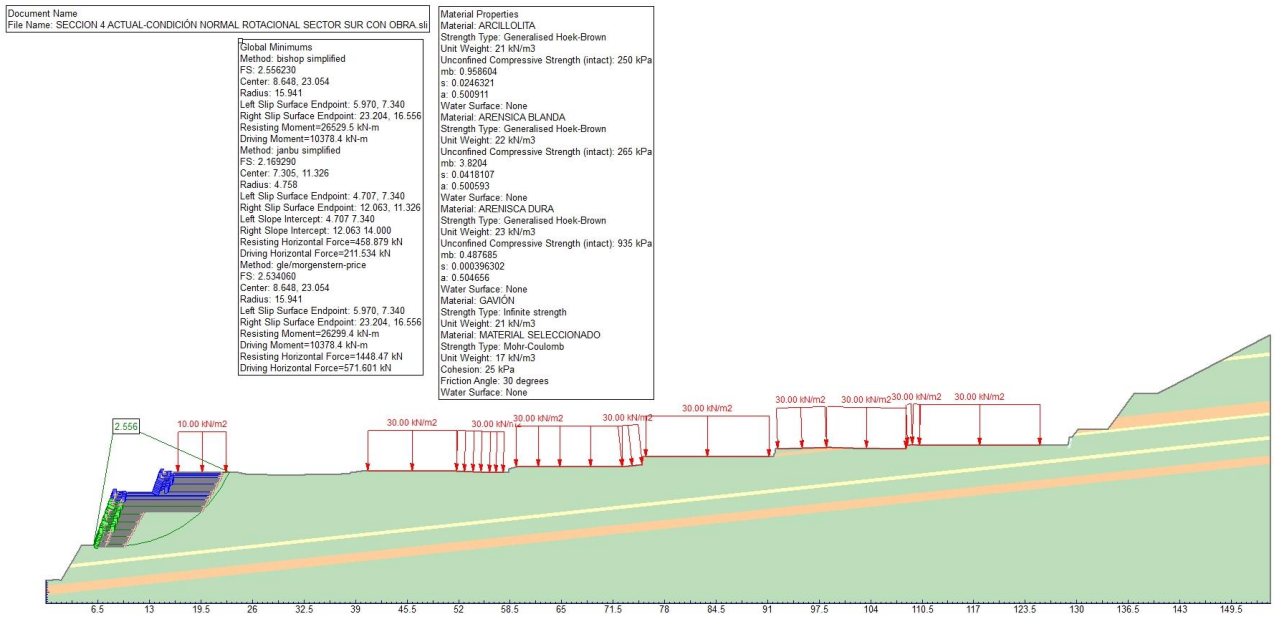


Ilustración 18 Sección 4 Estado Actual Condición Normal Sector Sur Con Obra

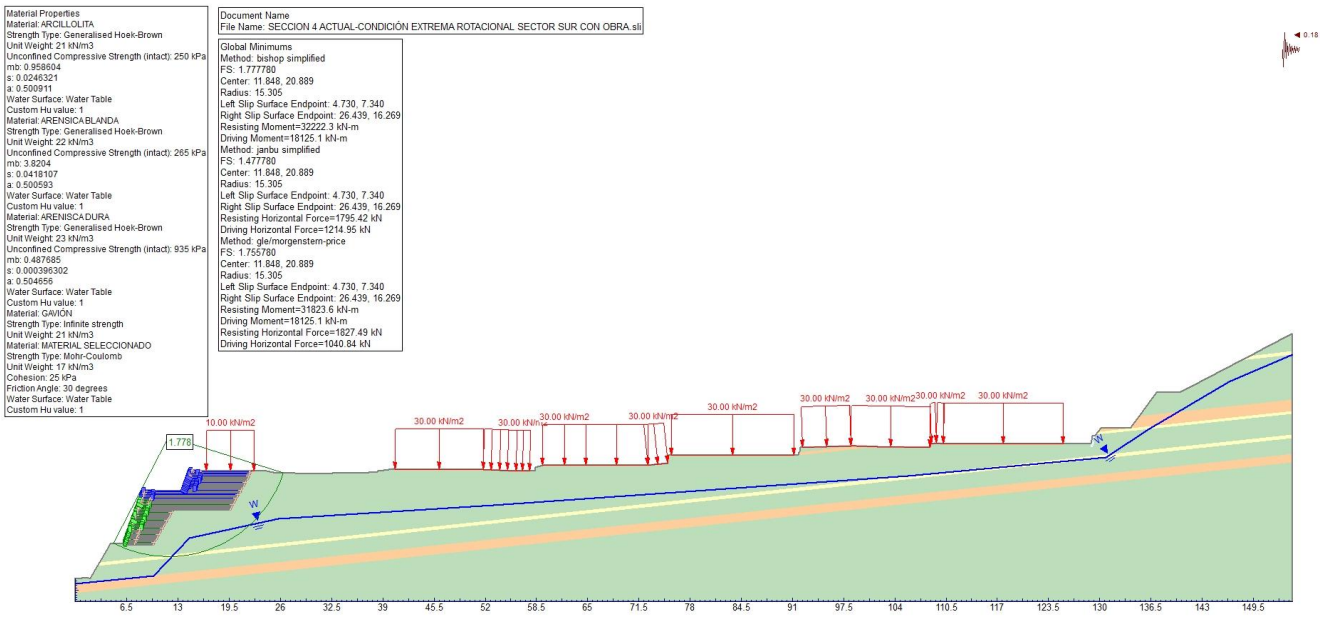


Ilustración 19 Sección 4 Estado Actual Condición Extrema Sector Sur Con Obra

15.1.2 Análisis Falla Planar

Para el análisis del escenario en condición actual también se realizo el análisis con falla traslacional con el fin de ver si este tipo de movimiento afecta el sector para los estratos de la roca encontrada en la zona de estudio para el cual se analizaron el escenario actual (niveles freáticos al momento de realizar la exploración del subsuelo) y escenario Actual con sismo (niveles freáticos al momento de realizar la exploración del subsuelo), en donde se observan los diferentes factores de seguridad los que se resumen en la Tabla 25, y los resultados se presentan en el Anexo V-A.

Tabla 25 Factor de seguridad escenario actual

MÉTODO DE FALLA	TRASLACIONAL			
Sección	Ángulos de Falla		F.S Condición Normal	F.S Condición Extrema
	Ángulo de Entrada	Ángulo de Salida		
1	105	75	4.861	3.439
	115	65	3.584	2.496
	125	55	3.141	2.176
	135	45	3.013	2.090
	145	35	3.144	2.166
2	105	75	4.632	3.929
	115	65	3.471	2.880
	125	55	3.020	2.476
	135	45	2.829	2.328

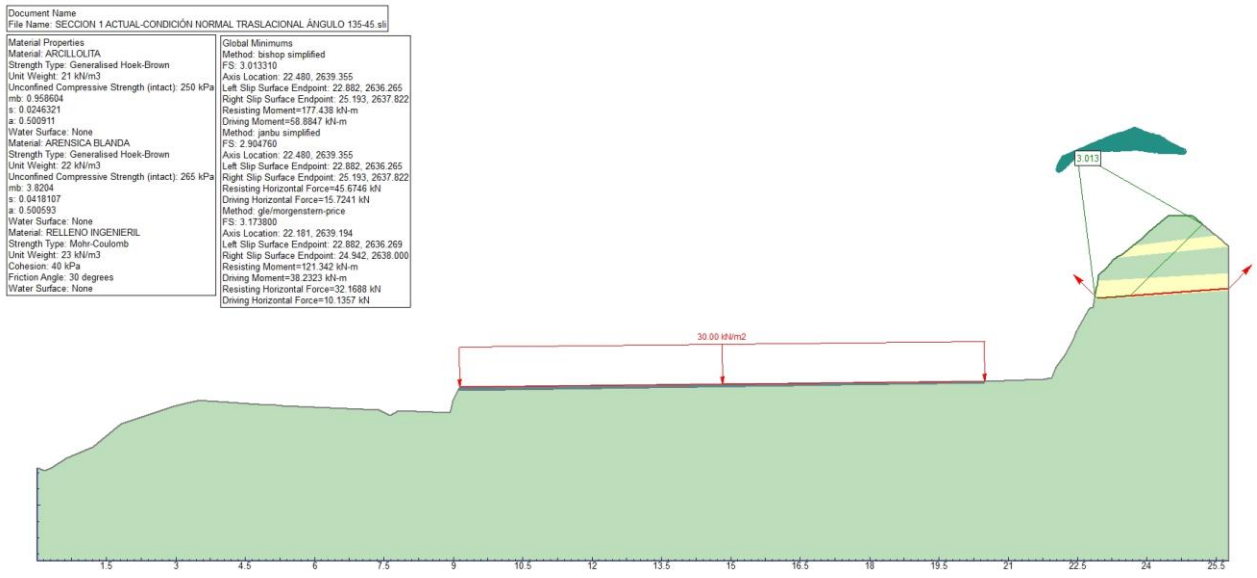


Ilustración 20 Sección 1 Estado Actual Condición Normal ángulo 135-45

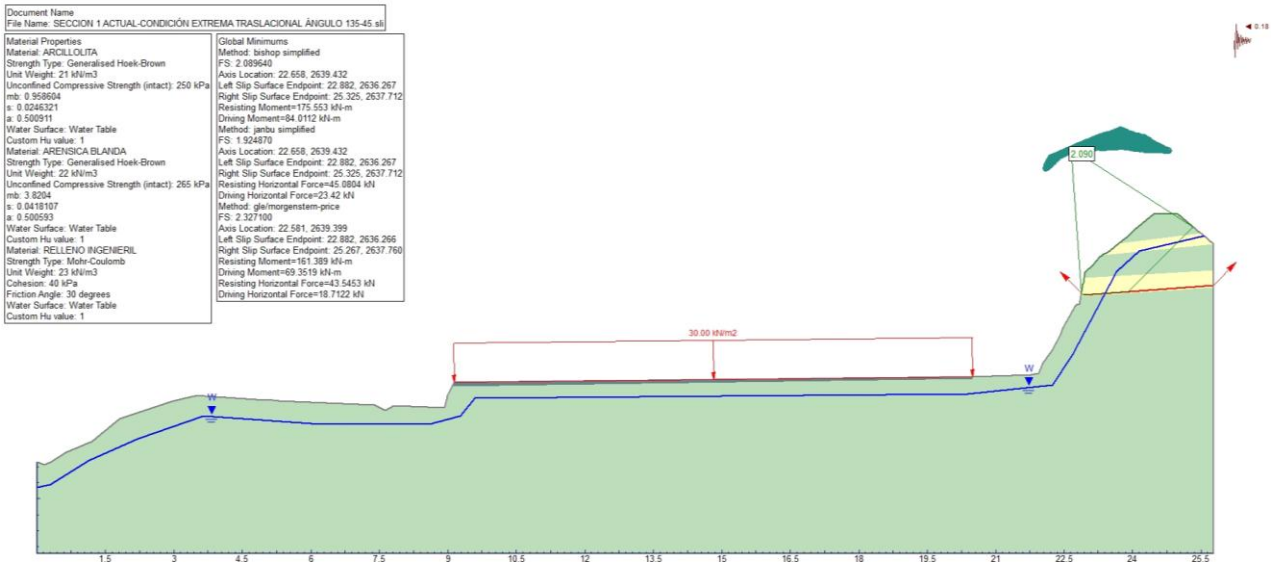


Ilustración 21 Sección 1 Estado Actual Condición Extrema ángulo 135-45

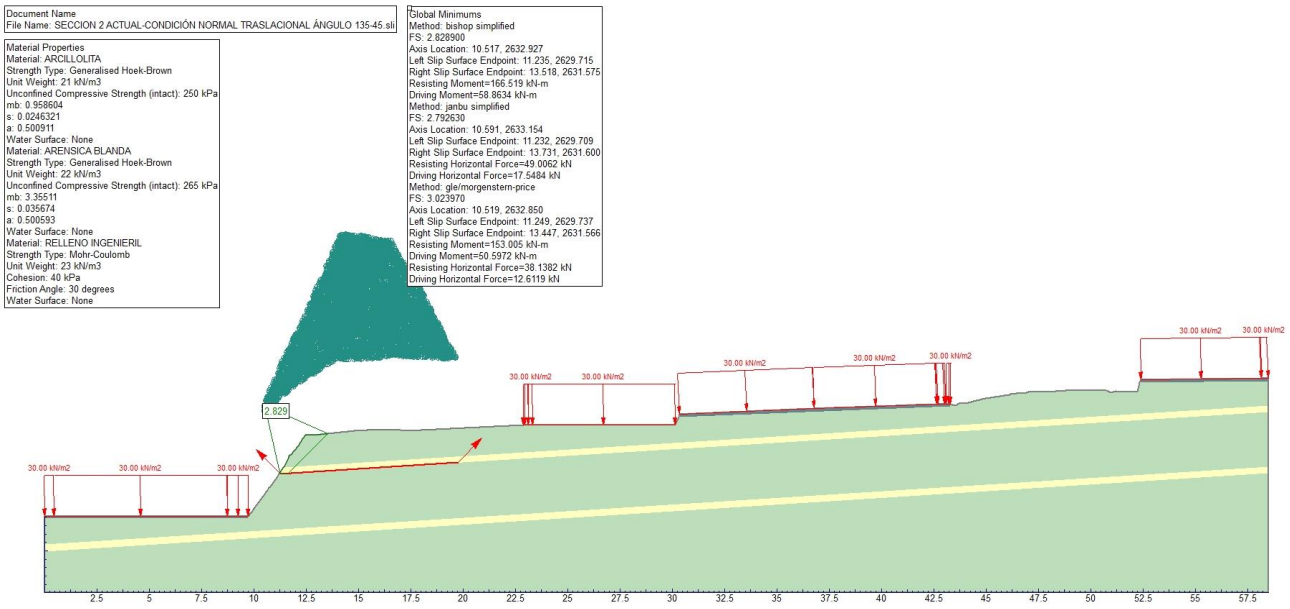


Ilustración 22 Sección 2 Estado Actual Condición Normal ángulo 135-45

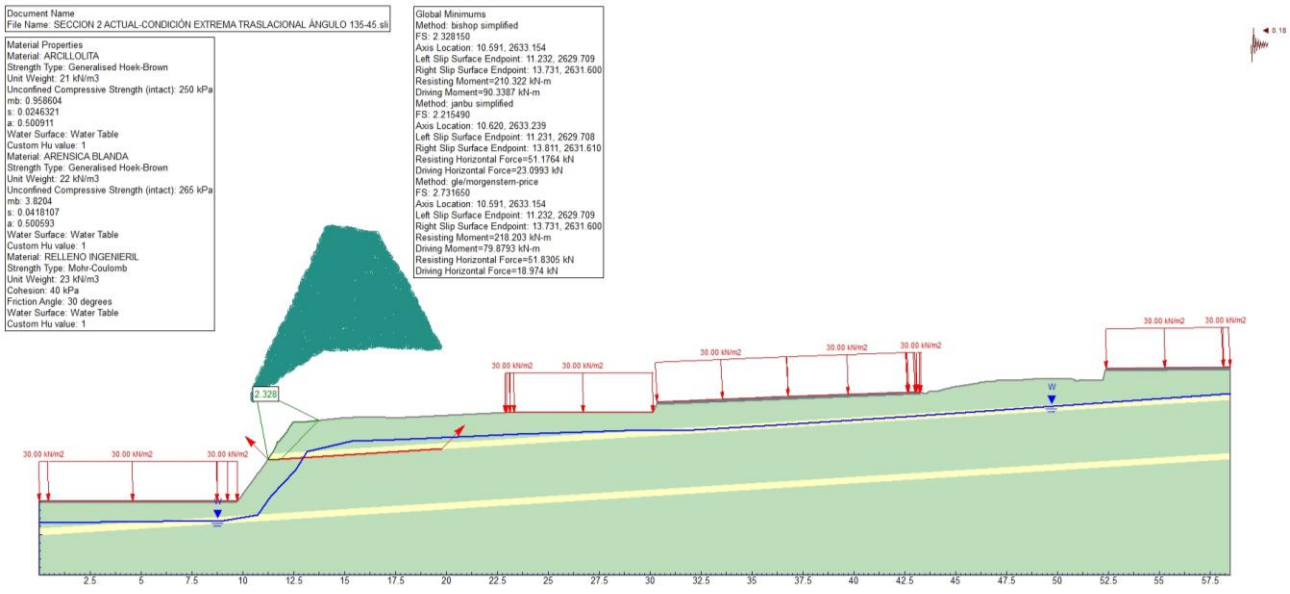


Ilustración 23 Sección 2 Estado Actual Condición Extrema ángulo 135-45

15.1.3 Análisis para Flujos superficiales

Para el análisis del escenario en condición actual también se realizo el análisis con flujos superficiales con el fin de ver si este tipo de movimiento afecta el sector para los estratos de la roca encontrada en la zona de estudio para el cual se analizaron el escenario actual (niveles freáticos al momento de realizar la exploración del subsuelo) y escenario Actual con sismo (niveles freáticos al momento de realizar la exploración del subsuelo), en donde se observan los diferentes factores de seguridad los que se resumen en la Tabla 26, y los resultados se presentan en el Anexo V-A.

Tabla 26 Factor de seguridad escenario actual

MÉTODO DE FALLA	FLUJO SUPERFICIAL	
Sección	F.S Condición Normal	F.S Condición Extrema
1	2.376	1.558
2	1.963	1.610
4	1.365	1.132

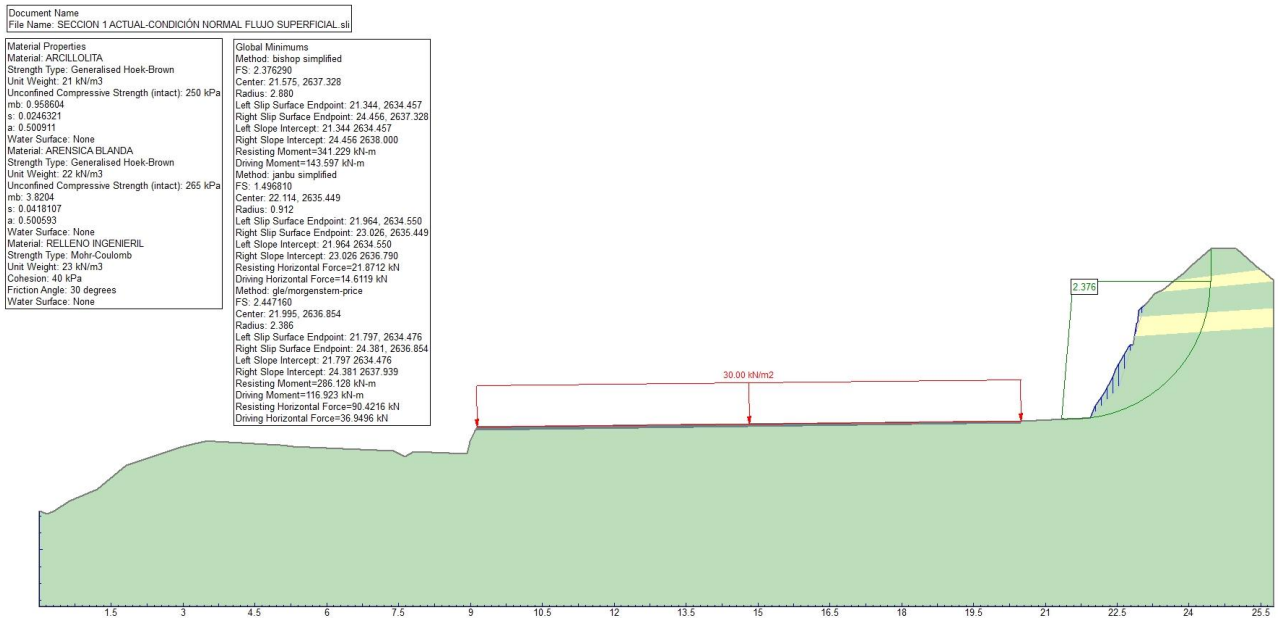


Ilustración 24 Sección 1 Estado Actual Condición Normal

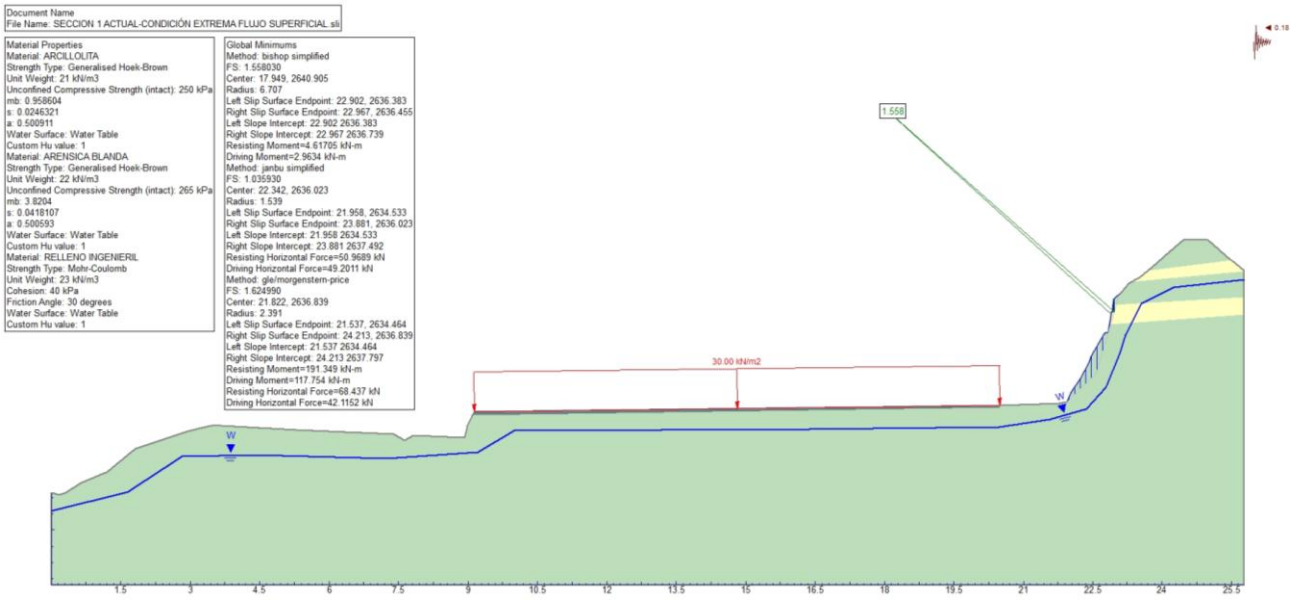


Ilustración 25 Sección 1 Estado Actual Condición Extrema

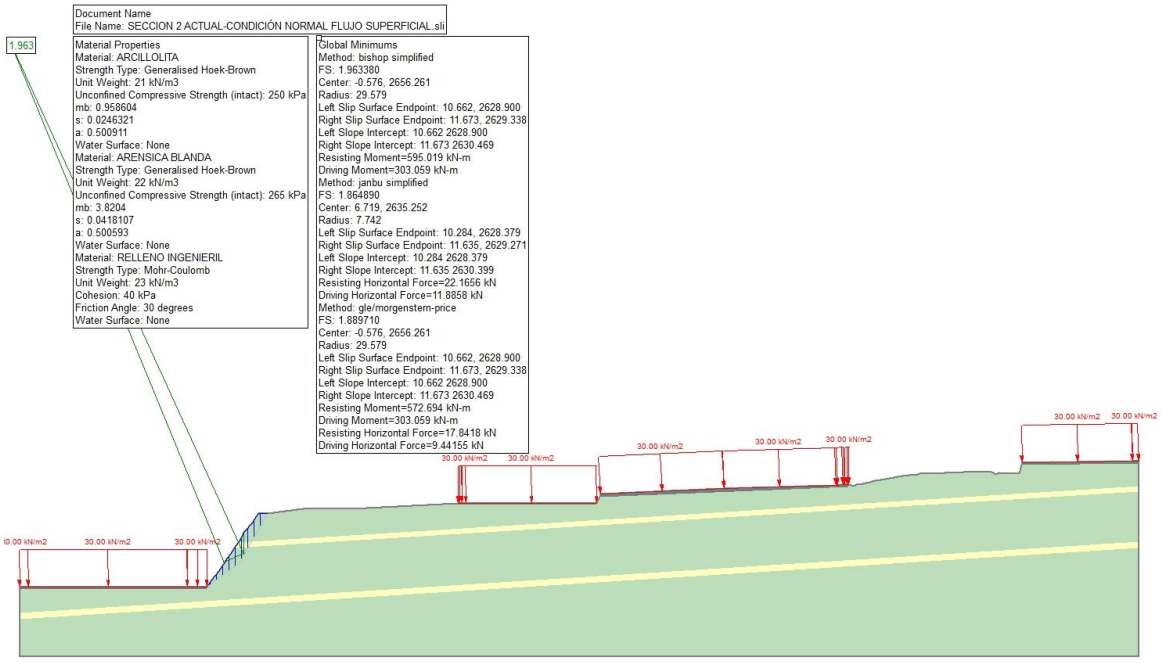


Ilustración 26 Sección 2 Estado Actual Condición Normal

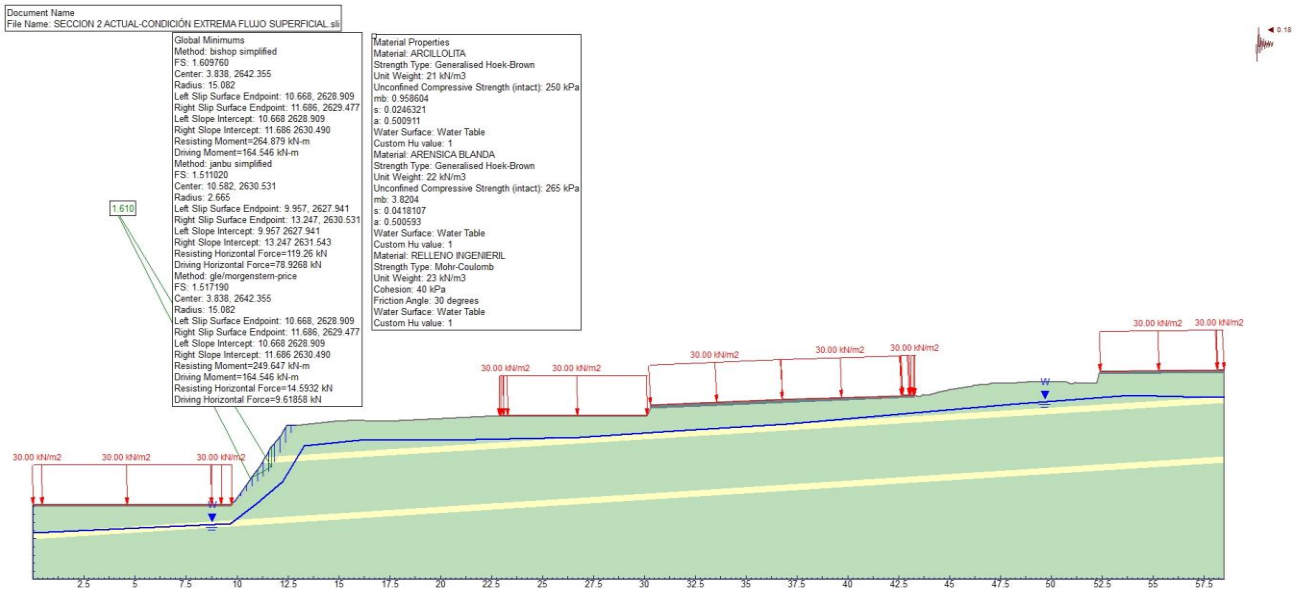


Ilustración 27 Sección 2 Estado Actual Condición Extrema

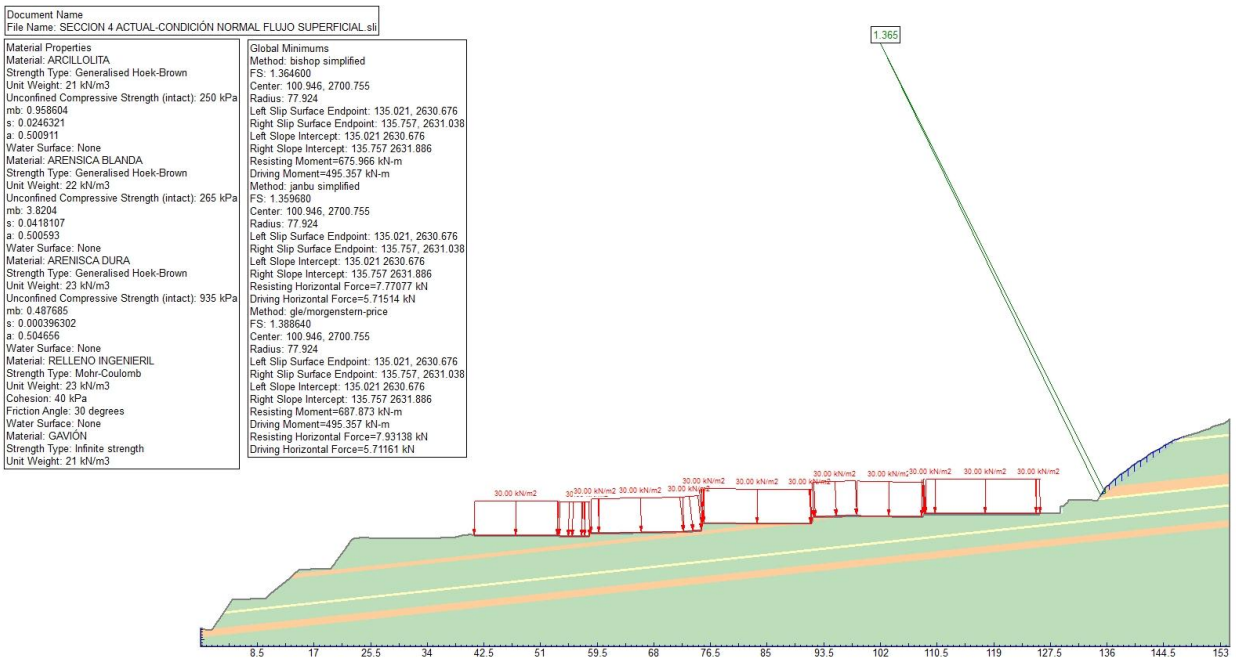


Ilustración 28 Sección 4 Estado Actual Condición Normal

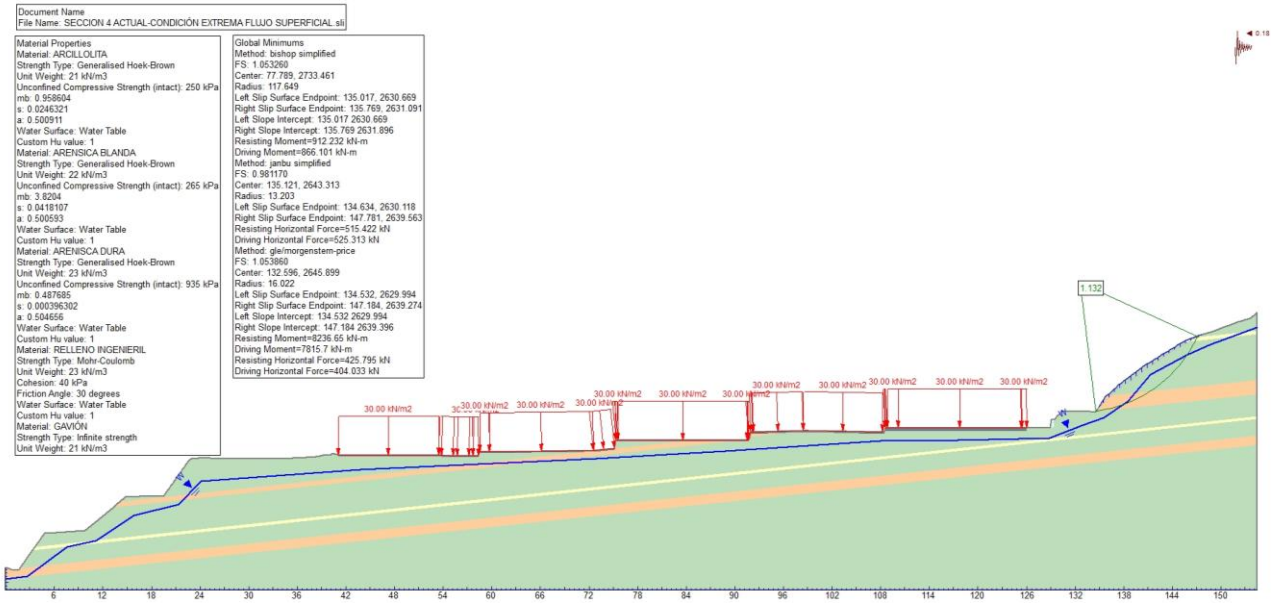


Ilustración 29 Sección 4 Estado Actual Condición Extrema

15.2 ANÁLISIS ESCENARIO CON OBRAS ALTERNATIVA 1

Se realizó un análisis de estabilidad con falla rotacional debido a que el material susceptible a presentar FRM, se comporta como un suelo y como medida para contener el material presente en el área de estudio se plantean perfilados utilizando un sistema de confinamiento celular y reconformación de las vías, para el cual se realizaron los análisis para los escenarios con obras normal (niveles freáticos abatidos y máximos) y para los escenarios con obras extremas (sismo y máximos niveles Máximos de agua), con un factor de aceleración horizontal para el sismo de 0.18, en donde se observan los diferentes factores de seguridad cumpliendo tanto la normativa distrital (decreto 227 de 2006), los que se resumen en la Tabla 27 y las memorias de cálculo se presentan en el Anexo V-BI.

Tabla 27 Factor de seguridad condición proyectada cumpliendo lo estipulado en el Decreto 227 del 13 de julio de 2006

MÉTODO DE FALLA	ROTACIONAL	
Sección	F.S Condición Normal	F.S Condición Extrema
1	2.405	2.399
2	2.435	1.494
4	2.507	1.597

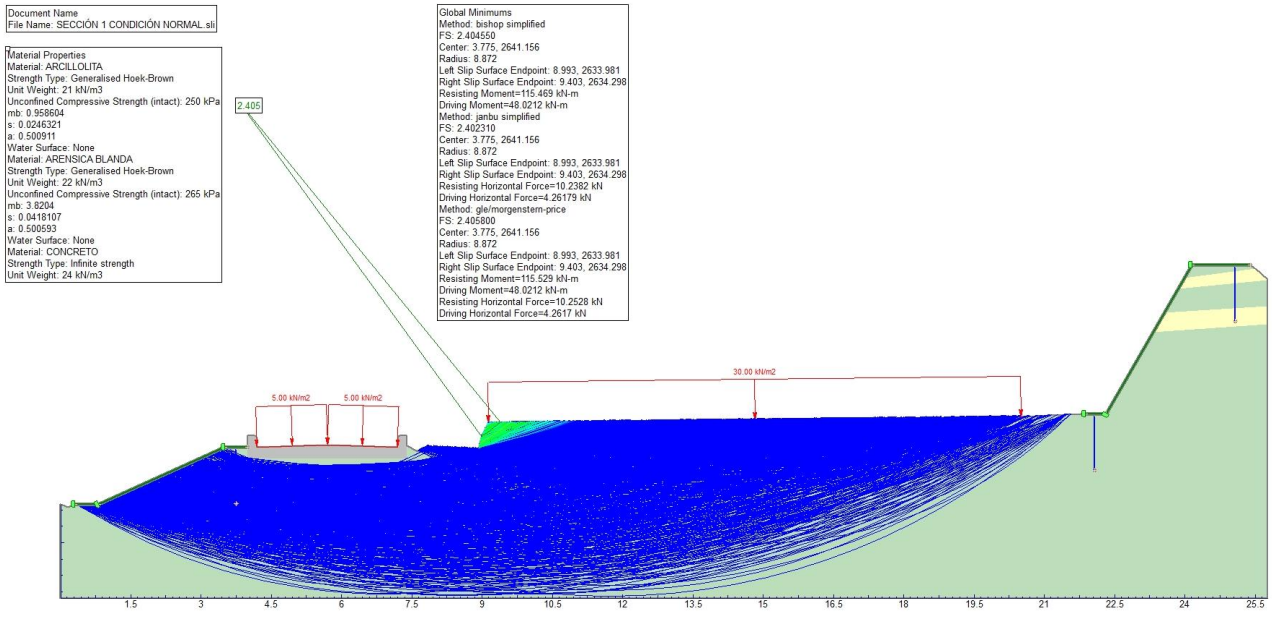


Ilustración 30 Sección 1 con obras normatividad distrital condición normal

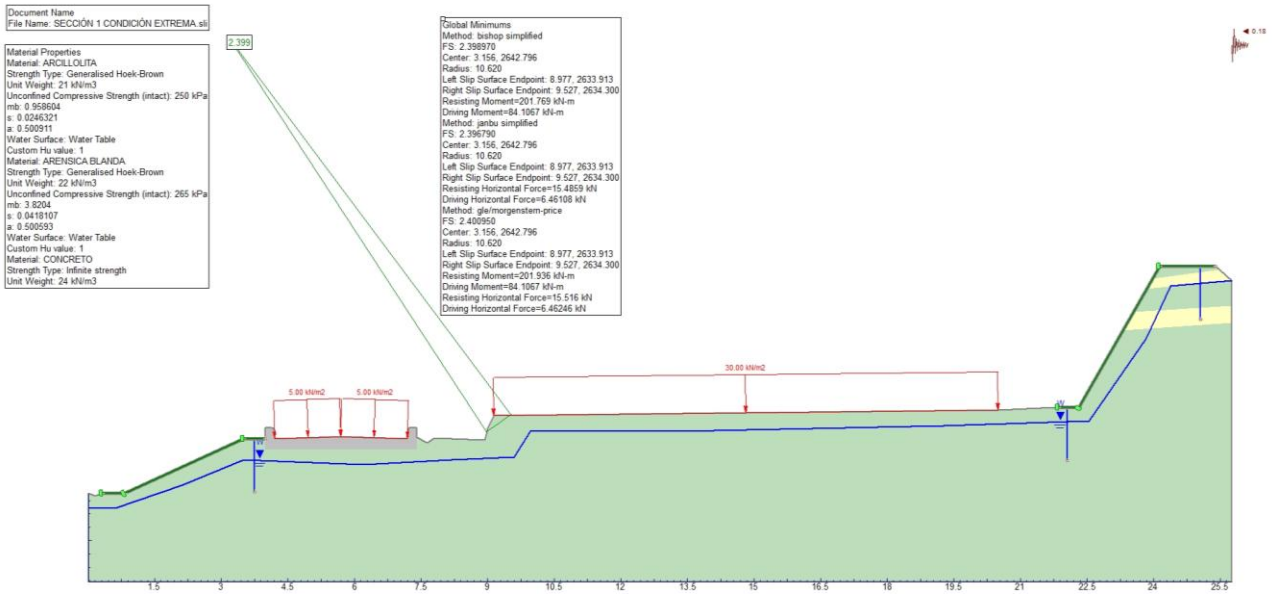


Ilustración 31 Sección 1 con obras normatividad distrital condición extrema

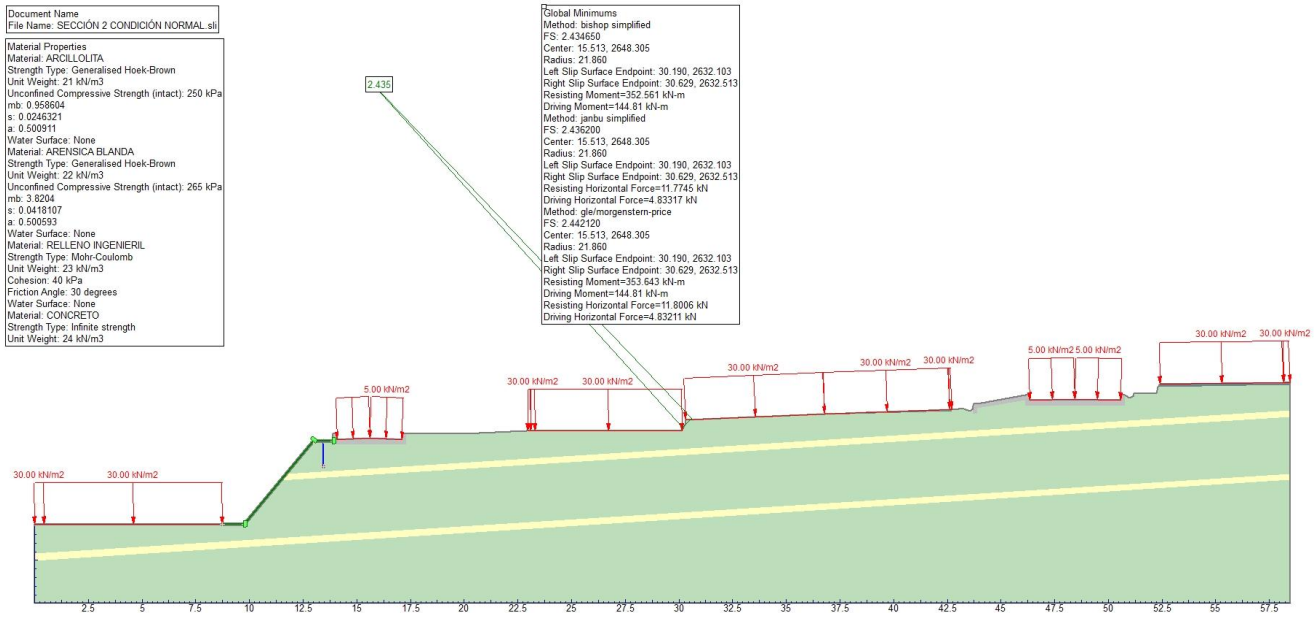


Ilustración 32 Sección 2 con obras normatividad distrital condición normal

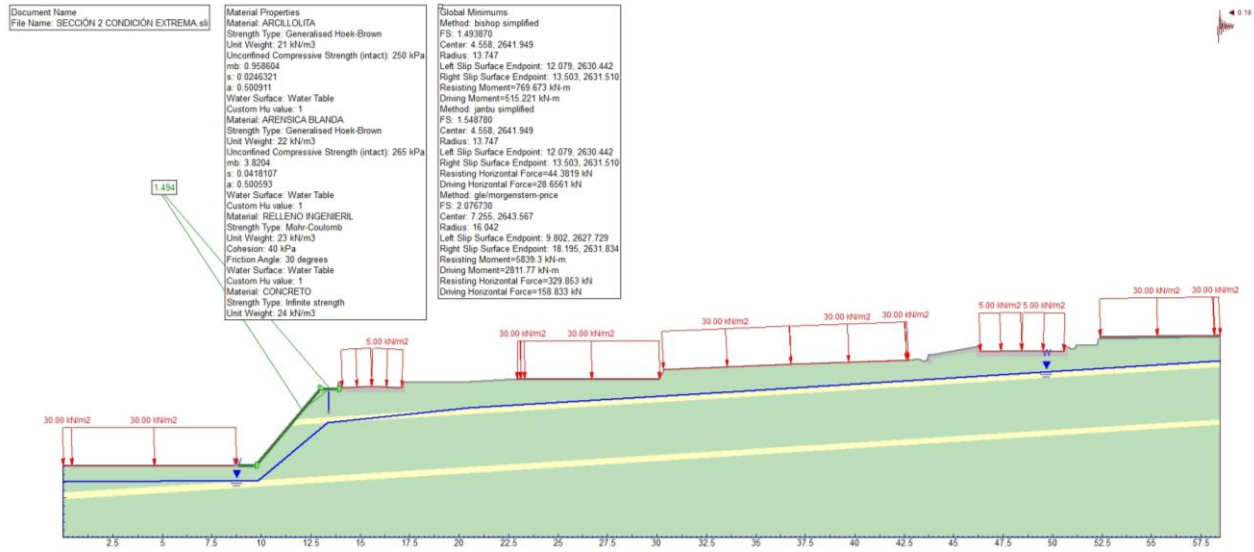


Ilustración 33 Sección 2 con obras normatividad distrital condición extrema

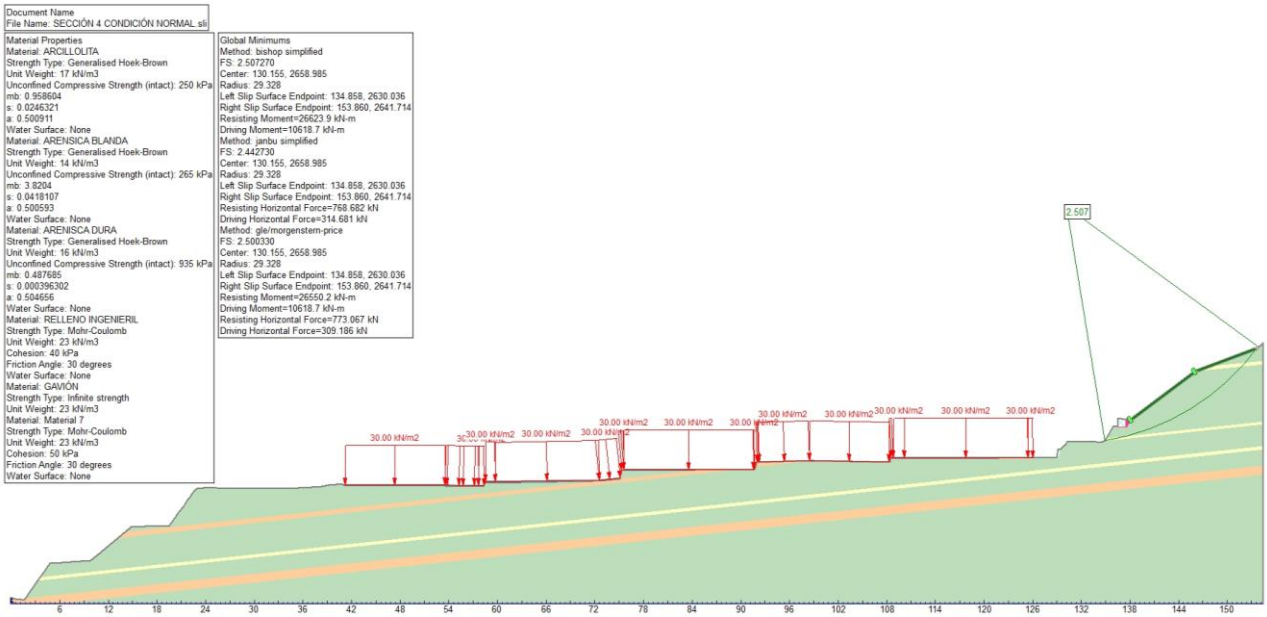


Ilustración 34 Sección 4 con obras normatividad distrital condición normal

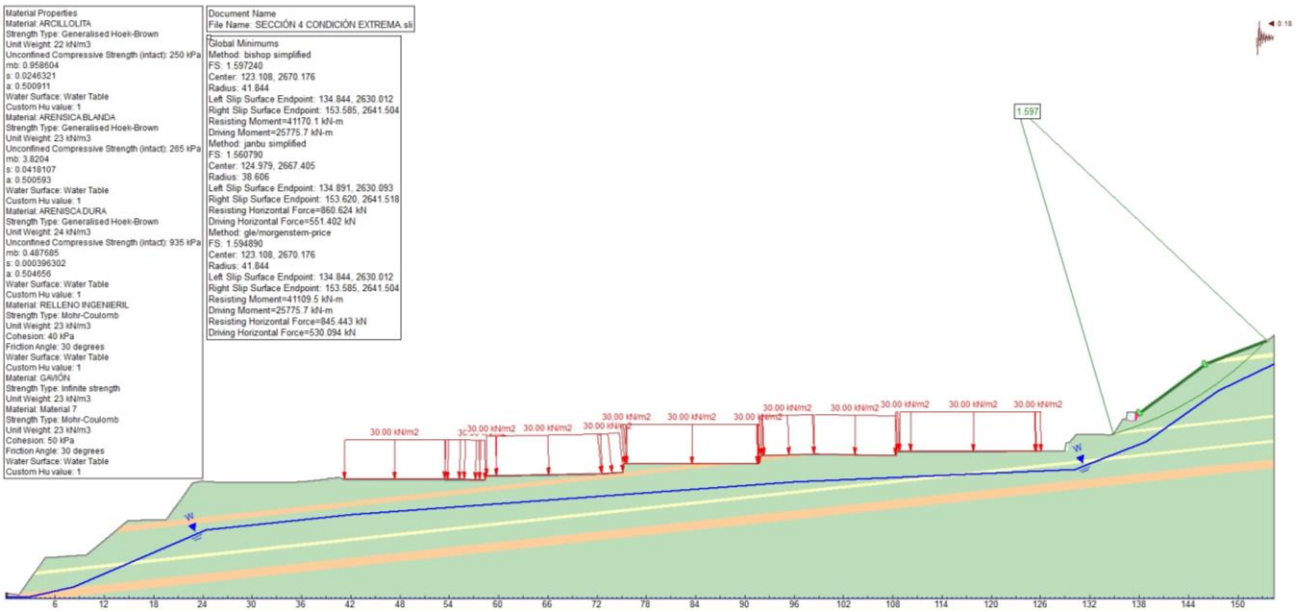


Ilustración 35 Sección 4 con obras normatividad distrital condición extrema

15.3 ANÁLISIS ESCENARIO CON OBRAS ALTERNATIVA 2

Se realizó un análisis de estabilidad con falla rotacional debido a que el material susceptible a presentar FRM, se comporta como un suelo y como medida para contener el material presente en el área de estudio se plantean un muro pantalla y reconformación de las vías, para el cual se realizaron los análisis para los escenarios con obras normal (niveles freáticos abatidos y máximos) y para los escenarios con obras extremas (sismo y máximos niveles Máximos de agua), con un factor de aceleración horizontal para el sismo de 0.18, en donde se observan los diferentes factores de seguridad cumpliendo tanto la normativa distrital (decreto 227 de 2006), los que se resumen en la Tabla 28 y las memorias de cálculo se presentan en el Anexo V-BII.

Tabla 28 Factor de seguridad condición proyectada cumpliendo lo estipulado en el Decreto 227 del 13 de julio de 2006

MÉTODO DE FALLA	ROTACIONAL	
Sección	F.S Condición Normal	F.S Condición Extrema
1	**3.195**	**2.441**
2	**1.920**	**1.542**
4	**2.008**	**1.301**

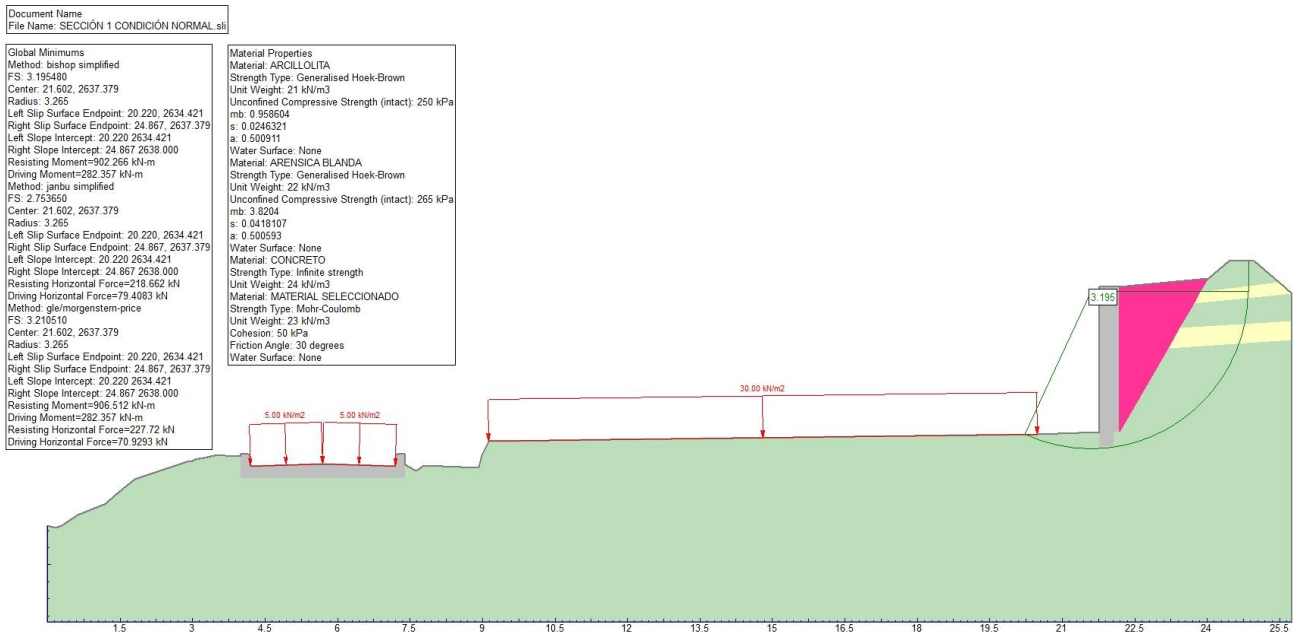


Ilustración 36 Sección 1 con obras normatividad distrital condición normal

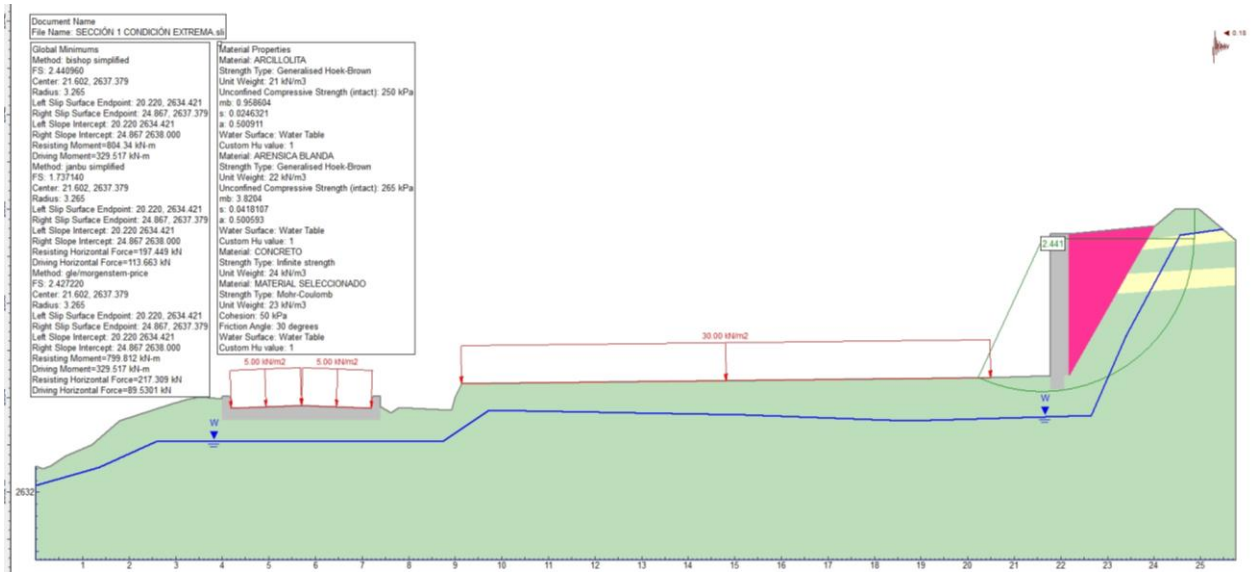


Ilustración 37 Sección 1 con obras normatividad distrital condición extrema

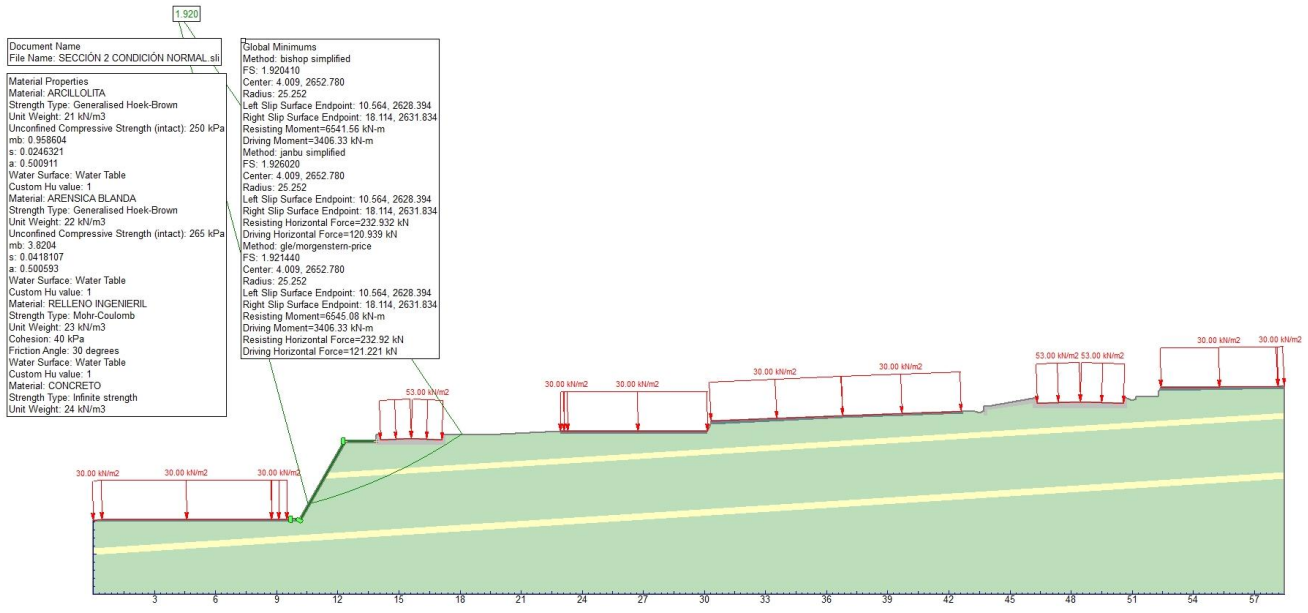


Ilustración 38 Sección 2 con obras normatividad distrital condición normal

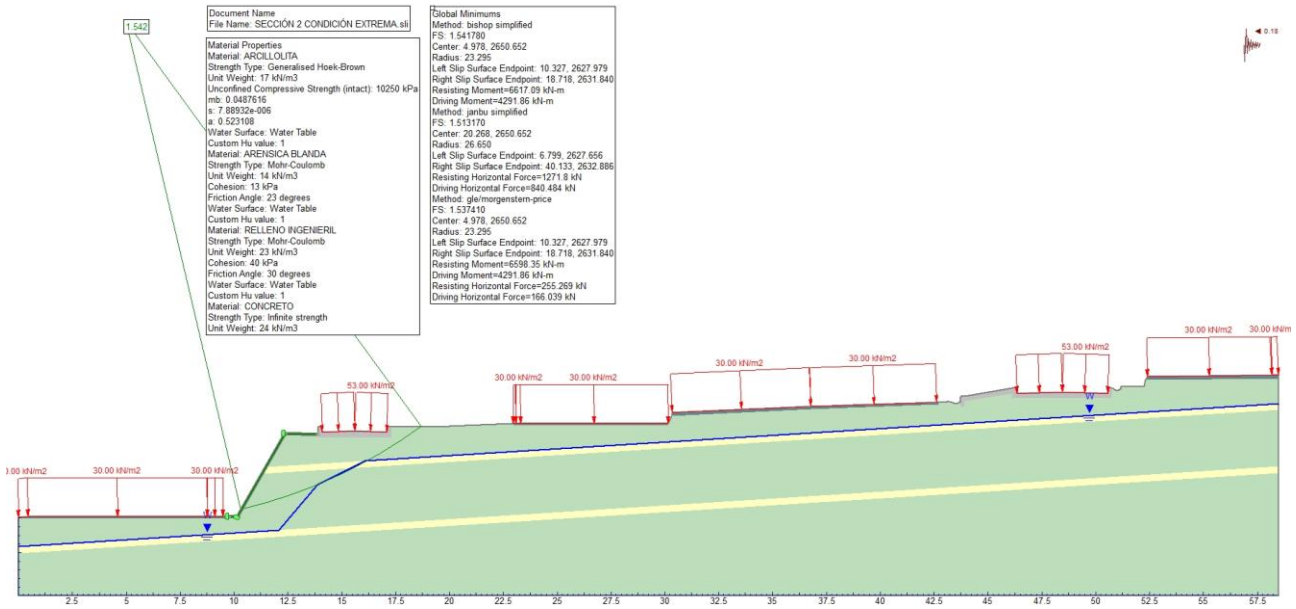


Ilustración 39 Sección 2 con obras normatividad distrital condición extrema

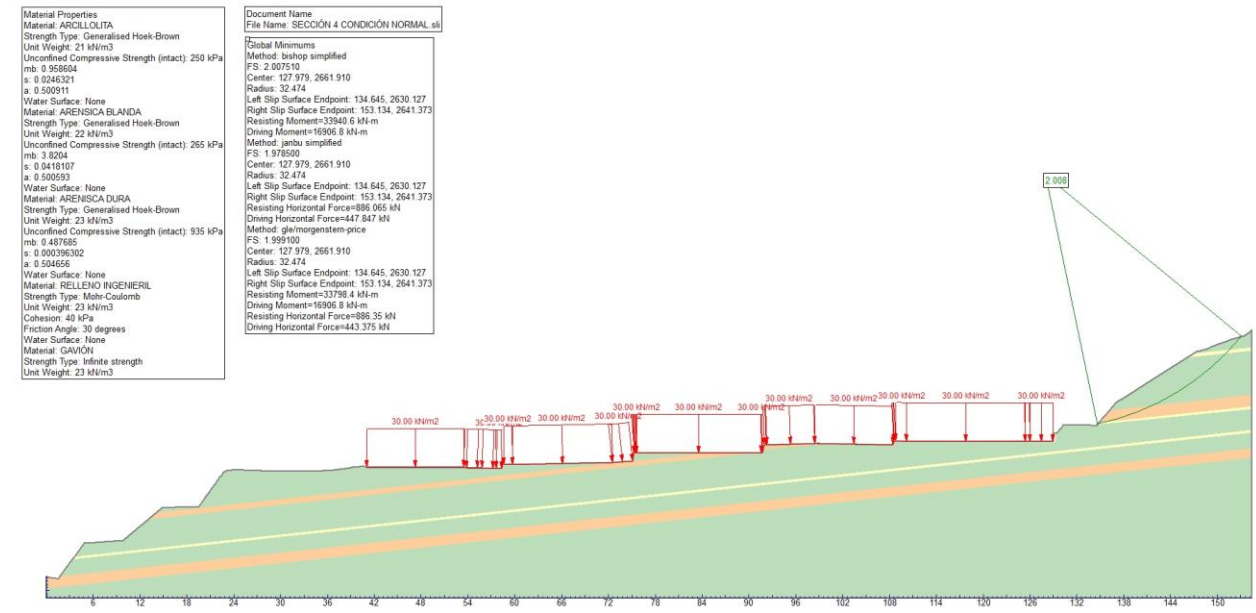


Ilustración 40 Sección 4 con obras normatividad distrital condición normal

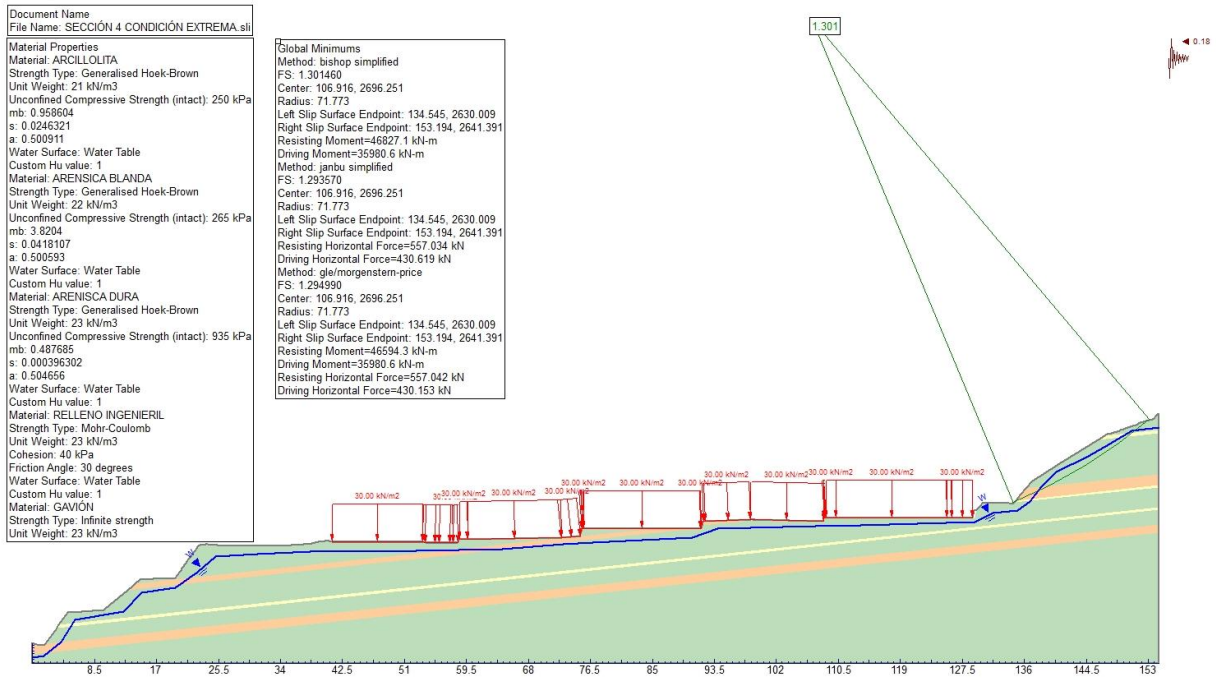


Ilustración 41 Sección 4 con obras normatividad distrital condición extrema

15.4 ANÁLISIS ESCENARIO CON OBRAS ALTERNATIVA 3

Se realizó un análisis de estabilidad con falla rotacional debido a que el material susceptible a presentar FRM, se comporta como un suelo y como medida para contener el material presente en el área de estudio se plantean obras de control de erosión, para el cual se realizaron los análisis para los escenarios con obras normal (niveles freáticos abatidos y máximos) y para los escenarios con obras extremas (sismo y máximos niveles Máximos de agua), con un factor de aceleración horizontal para el sismo de 0.18, en donde se observan los diferentes factores de seguridad cumpliendo tanto la normativa distrital (decreto 227 de 2006), los que se resumen en la Tabla 29 y las memorias de cálculo se presentan en el Anexo V-BIII.

Tabla 29 Factor de seguridad condición proyectada cumpliendo lo estipulado en el Decreto 227 del 13 de julio de 2006

MÉTODO DE FALLA	ROTACIONAL	
Sección	F.S Condición Normal	F.S Condición Extrema
1	**2.057**	**1.877**
2	**1.916**	**1.855**
4	**1.939**	**1.342**

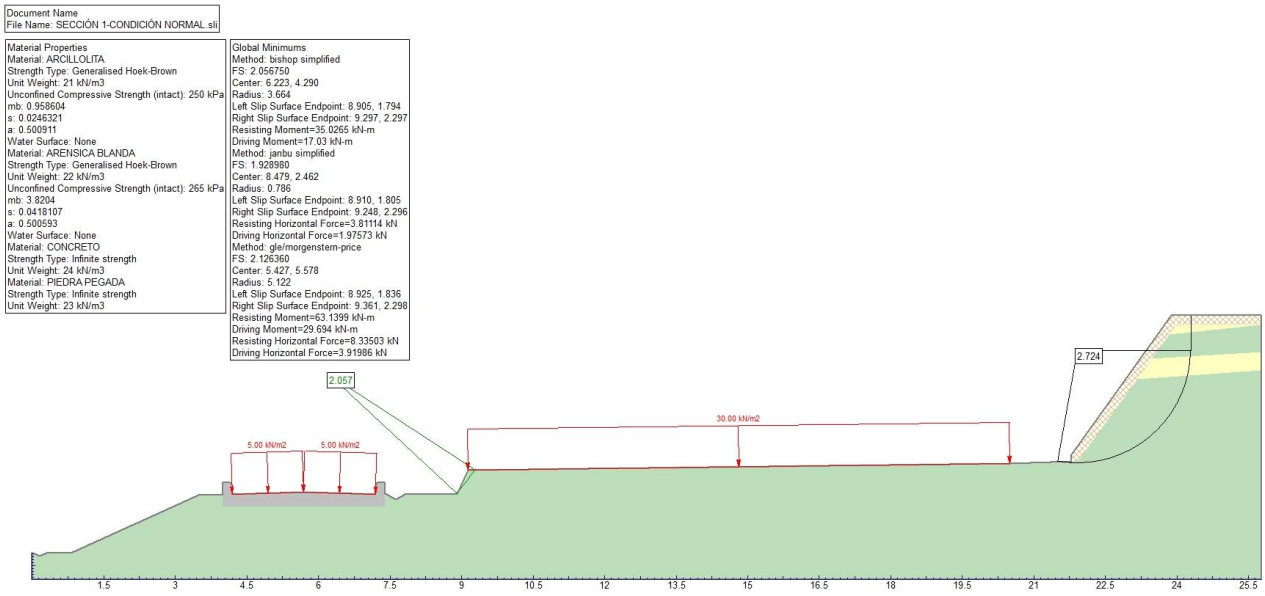


Ilustración 42 Sección 1 con obras normatividad distrital condición normal

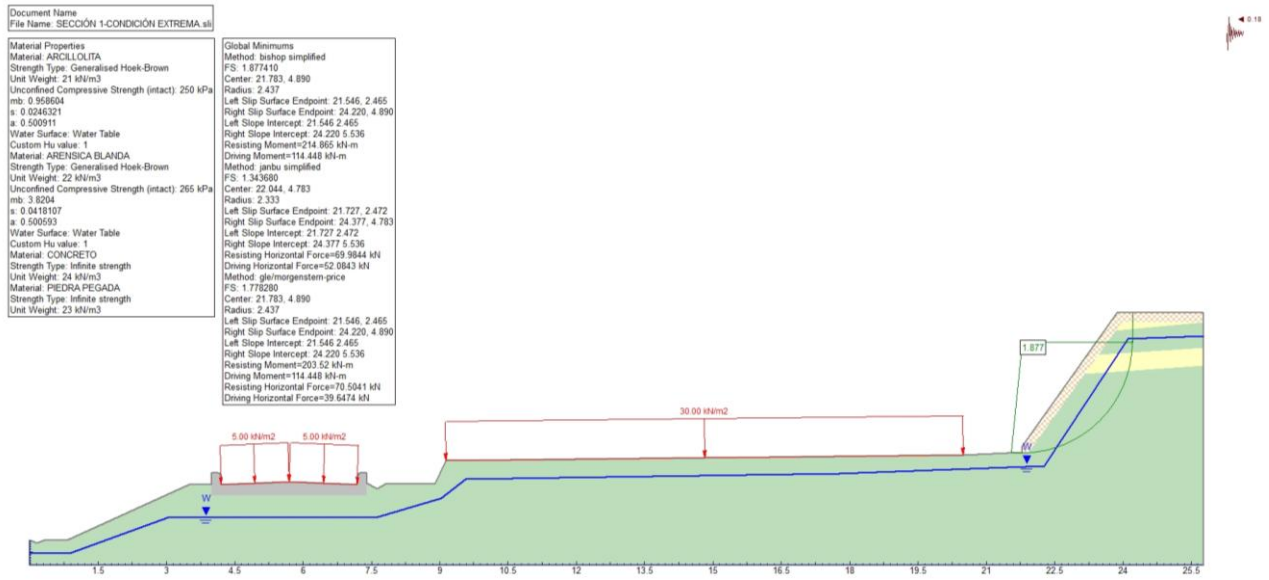


Ilustración 43 Sección 1 con obras normatividad distrital condición extrema

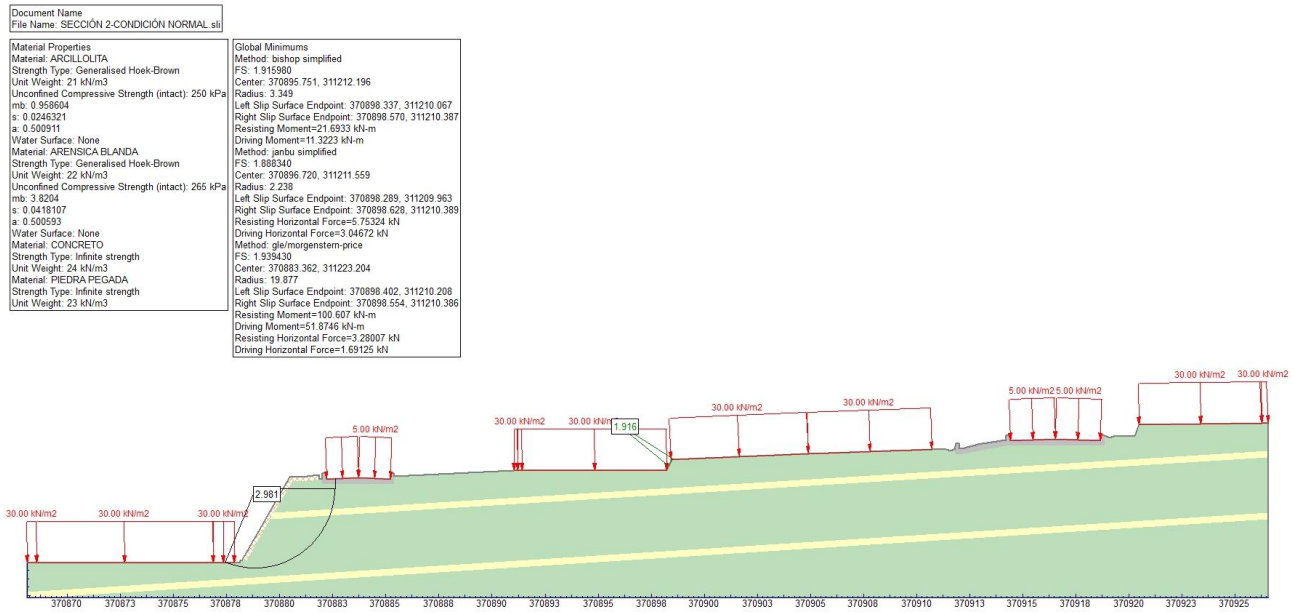


Ilustración 44 Sección 2 con obras normatividad distrital condición normal

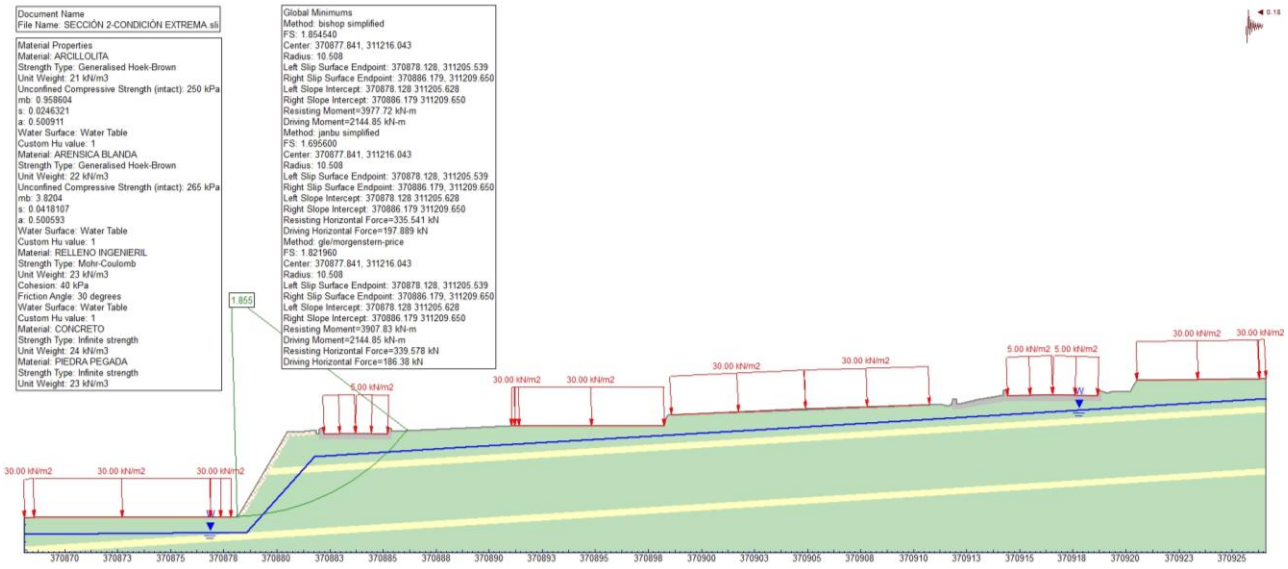


Ilustración 45 Sección 2 con obras normatividad distrital condición extrema

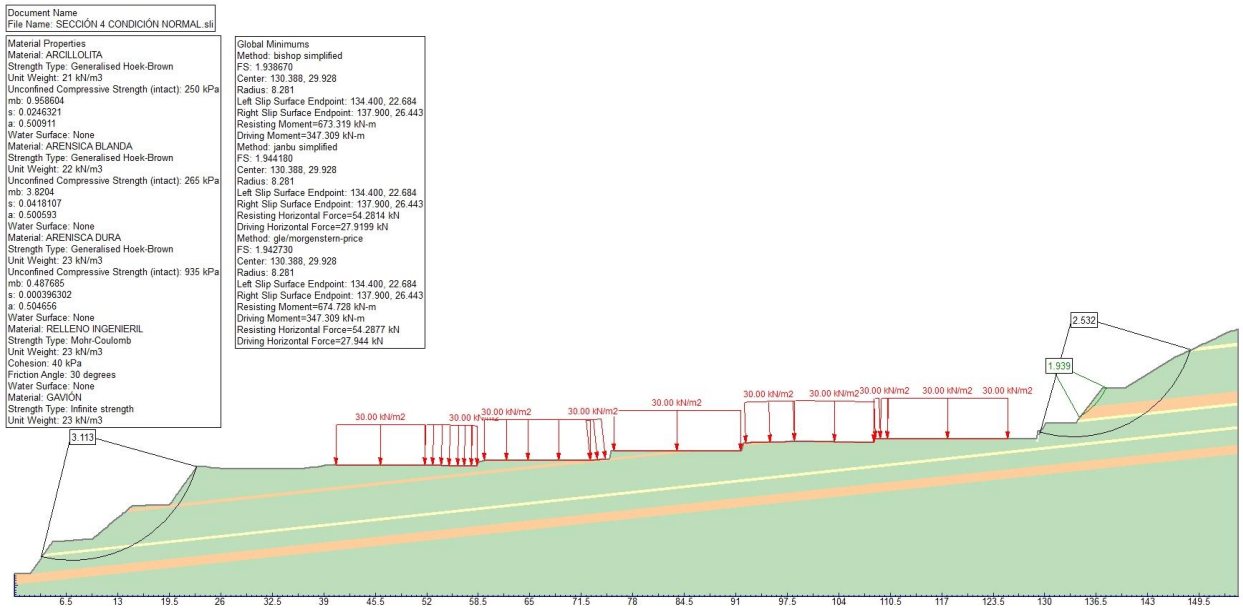


Ilustración 46 Sección 4 con obras normatividad distrital condición normal

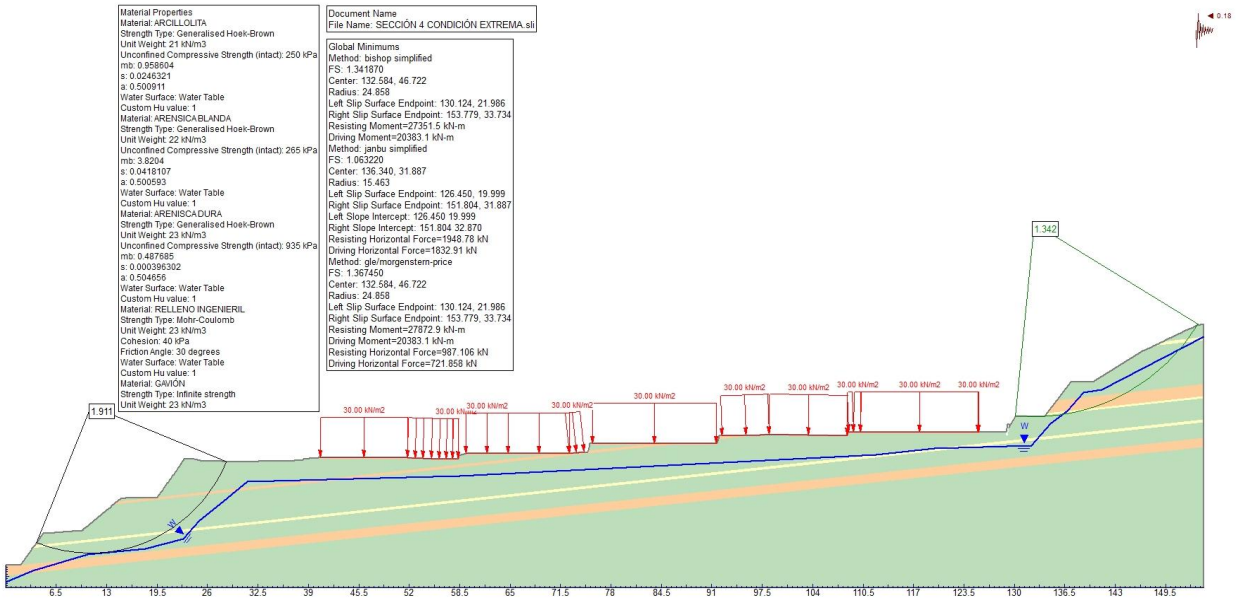


Ilustración 47 Sección 4 con obras normatividad distrital condición extrema

15.5 ANÁLISIS CINEMÁTICO

Con base en las consideraciones anteriores y como se muestra en el mapa geológico local y en la Foto 4 y Foto 5, se observa: que los sistemas de diaclasas presentan una baja densidad, con buzamientos altos (entre 60° y 90°), con espaciamientos en general entre 2 y 5m, con trazo perpendiculares a los taludes de corte para el desarrollo de la construcciones de la urbanización; igualmente, las rocas se presentan en estratos gruesos a masivos (2 a 5m de espesor), con buzamientos muy bajos (8°-10), muy cercanos a la horizontal. La información estructural que muestran las rocas se proceso obteniendo los promedios de las discontinuidades, para el análisis correspondiente, cuyos datos se muestran en la Tabla 30.

Tabla 30. Sistemas de Discontinuidades en los taludes y sistemas rocosos.

Sitio de Observación	Tipo de Discontinuidad: Estratificación(E); Diaclasas (D); Talud (T), Angulo de fricción (phi).	Rumbo /Buzamiento (R/B)	Dirección de Buzamiento (D.B).	Buzamiento (B)
Sitio 1 Talud Norte	E- D1- D2- T- Phi-	*N20°W / 10SW° *N57°E / 78°NW. *N65°W /62°NE. *N74°W /49°SW. * 30°	*250° *327° *25° *196° -	*10° SW. *78° NW *62° NE. *49°SW. -
Sitio 2 Talud Este	E- D1- D2- T- Phi	*N17°W / 10°SW. *N65°W /83° NE. *N77°E /85° SE. *N18°E / 81°NW * 23°	*253° *25° *210° *288° -	*10° SW. *83° SE. *85° SW *81° NW. -
Sitio 3. Talud Central	E- D1- T- Phi-	*N23°W / 10°SW. *N73°W /90°. *N15°E /55° NW. * 23°	*247° *17° *285° -	*10° SW. *90°. *55°NW -
Sitio 4. Talud Oeste.	E- D1- D2- T- Phi	*N70°E / 8°NW. *N73°W /81° NE. *N78°E /78° SE. *N13°E / 55°NW * 23°	*340° *17° *168° *283° -	*8° NW. *81°NE . *78°SE. *55°NW. -

A continuación se presentan las ilustraciones de las proyecciones estereográficas realizadas para cada una de las zonas del proyecto Bosques de la Hacienda.

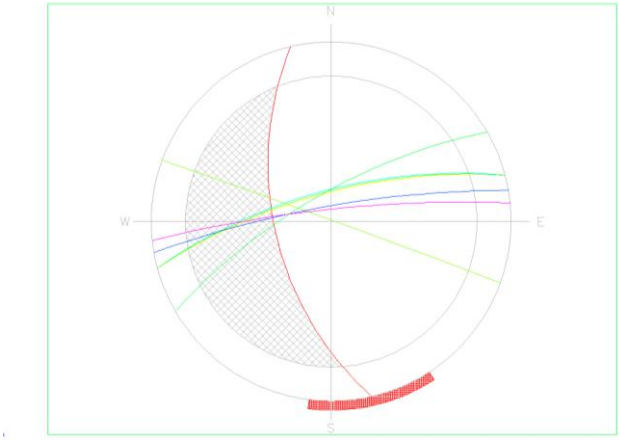


Ilustración 48. Proyección estereográfica talud oriental

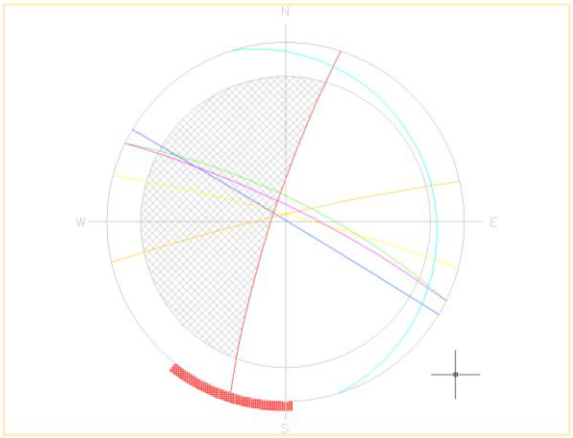


Ilustración 49. Proyección estereográfica talud occidental.

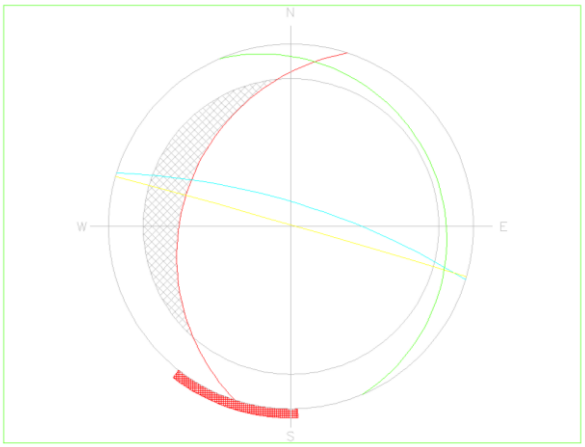


Ilustración 50. Proyección estereográfica talud central

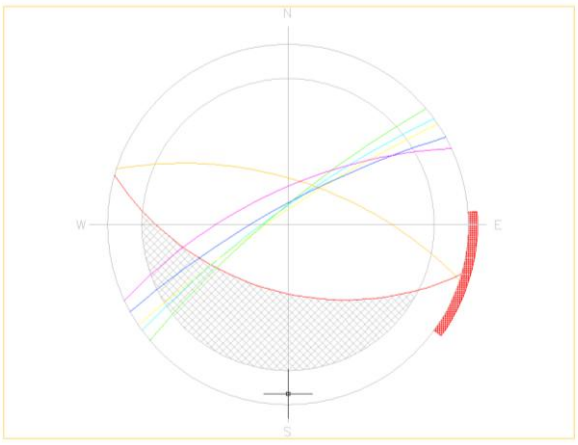


Ilustración 51. Proyección estereográfica talud Norte

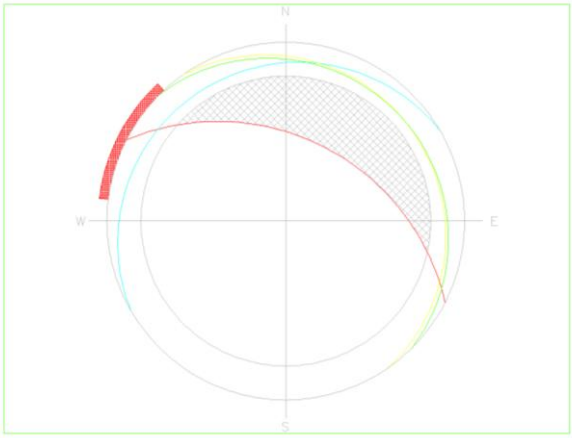


Ilustración 52. Proyección estereográfica talud sur.

De acuerdo con los análisis anteriores, y como su muestra en las ilustraciones de los correspondientes taludes, se obtienen las siguientes consideraciones**:** **I)** sistemas de discontinuidades (diaclasas) con rumbos perpendiculares a los diferentes taludes y buzamientos muy altos (>60°), con espaciamientos > a 2m; **II)** el buzamiento de los estratos rocosos tiene un valor muy bajo (<10°); **III)** la estratificación es de gruesa a muy gruesa (estratos > de 2m de espesor). **IV) En conclusión,** se considera que los sistemas de discontinuidades no generan problemas de inestabilidades (no hay generación de cuñas inestables).

16 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA

16.1 GENERALIDADES

Para el análisis de riesgos por fenómenos de remoción en masa (FRM) se siguió la metodología sugerida por Omar Darío Cardona, que se puede resumir así: "una vez conocida la amenaza o peligro (A), entendida como la probabilidad de que se presente un evento con una intensidad mayor o igual a cierto nivel durante un período de exposición determinado, y conocida la vulnerabilidad (V), entendida como la predisposición intrínseca de un elemento expuesto a ser afectado o de ser susceptible de sufrir una pérdida ante la ocurrencia de un evento con cierta intensidad, el riesgo (R) puede entenderse como la probabilidad de que se presente una pérdida sobre el elemento expuesto, como consecuencia de un evento con una intensidad mayor o igual a cierto nivel, es decir, la probabilidad de exceder unas consecuencias sociales y económicas durante un período de tiempo determinado"

Para obtener a tres componentes mencionados en la anterior definición (amenaza, vulnerabilidad y riesgo), descrito a continuación:

- Determinación de las zonas de comportamiento geotécnico similar (zonas homogéneas) con base en los trabajos topográficos, geológicos, geomorfológicos y de investigación del subsuelo.
- Determinación de los factores detonantes naturales (sismo y lluvia). Para el sismo se utilizará los datos de la microzonificación de Santafé de Bogotá. Para la lluvia se determinará el período de retorno de la lluvia crítica, basándose en los trabajos realizados en 1998 por Ingeocim Ltda. – Upes. Es importante resaltar que los factores detonantes antrópicos (producidos por el hombre) se tendrán en cuenta al determinar las zonas de cortes y rellenos y la sobrecarga de las estructuras.
- Determinación de los parámetros geotécnicos (máximos y mínimos) en cada uno de los materiales que conforman el subsuelo en la zona de estudio, necesarios para la realización de los análisis de estabilidad.
- Análisis de estabilidad probabilísticos, determinando los factores de seguridad y la probabilidad de falla teniendo en cuenta la variabilidad de los parámetros de resistencia del suelo y los factores detonantes.
- Con base en la zonificación de amenaza realizada (determinando las posibles solicitaciones) y la tipificación de estructuras existentes, se determina la vulnerabilidad y el riesgo de las estructuras ante fenómenos de remoción en masa.

Para el análisis de estabilidad se tomo conservadoramente A_a de 0.18 por encontrarse en una zona intermedia alejada de Bogotá.

16.2 RESULTADO DE ANÁLISIS

Para la clasificación de la amenaza de la zona se utilizó como criterios de categorización los presentados en la Tabla 31, teniendo en cuenta lo expuesto en la Resolución 227 del 13 de julio de 2006 en el numeral 3.4 de la respectiva resolución.

Tabla 31. Categorización de Amenaza por FRM.

Categoría de Amenaza	F.S. Condiciones Normales	F.S. Condiciones Extremas
Baja	>1,9	>1,3
Media	1,2 - 1,9	1,0 – 1,3
Alta	<1,2	<1,0

Para los análisis se tuvieron en cuenta para los escenarios Actual y Con obras (proyectado), las condiciones normales (sin sismo y nivel freático actual), y condición extrema (con nivel freático abatido y sismo).

16.3 ESCENARIO ACTUAL

Se realizó un análisis de estabilidad en donde se observan los diferentes factores de seguridad en condiciones normales y extremas de los diferentes tipos de falla presente en la zona de estudio; se presenta a continuación donde se pueden corroborar en el capítulo 15.1 los análisis llevado a cabo para la zona de estudio y los resultados se presentan en el **Anexo V-A**

16.3.1 Falla Rotacional

16.3.1.1 Sección 1

Se realizó el análisis de estabilidad el cual dio como resultado un factor de seguridad de 1.436 teniendo Condición seudo estática con agua; 2.108 teniendo en cuenta Condición estática.

En estas condiciones esta depresión presenta una amenaza baja con esto no se podría presentarse y desencadenar un deslizamiento propiamente dicho ya que el problema que afecta el sector es por eventos de erosión.

16.3.1.2 Sección 2

Se realizó el análisis de estabilidad el cual dio como resultado un factor de seguridad de 1.646 teniendo Condición seudo estática con agua; 2.175 teniendo en cuenta Condición estática. En estas

condiciones esta depresión presenta una amenaza media de acuerdo con el análisis de estabilidad el factor de seguridad se mejora notablemente con la construcción presente en la zona de estudio.

16.3.1.3 Sección 4

Se realizó el análisis de estabilidad el cual dio como resultado un factor de seguridad de 1.634 teniendo Condición seudo estática con agua; 2.263 teniendo en cuenta Condición estática.

Las condiciones para esta sección presentan una amenaza baja, en la zona donde se encuentra la parte alta del talud en la zona norte donde está la vía de la Calle 48 Sur; en la zona sur presenta una amenaza baja en condiciones normales actuales y extrema, si se realizan las obras que el constructor Alfonso Uribe S. y Cia. S.A. plantea en el estudio de Fase II para la Urbanización Molino Verde aprobado por el FOPAE según Concepto Técnico CT-5791.

16.3.2 Falla Planar o Traslacional

Debido a que la zona no encontramos desprendimiento de roca ya que en la zona de estudio la roca que aflora en todo el sector es una roca masiva de arenisca razón que al evaluar los perfiles con este tipo de falla encontramos una amenaza baja para este tipo de incidencia en el sector.

16.3.3 Flujo Superficial

16.3.3.1 Sección 1

Se realizó el análisis de estabilidad el cual dio como resultado un factor de seguridad de 1.558 teniendo Condición seudo estática con agua; 2.376 teniendo en cuenta Condición estática.

La condición para este tipo de falla se presenta en la zona suroriental de la urbanización donde se presenta una amenaza alta en condiciones normales pero analizando las característica del material presentado en la zona de estudio y las condiciones de este movimiento no son probables puesto que este tipo de falla se presenta en flujos o movimientos de proporciones pequeñas de incidencia muy superficial que no afectan los predios y las obras presente en el área de estudio.

16.3.3.2 Sección 2

Se realizó el análisis de estabilidad el cual dio como resultado un factor de seguridad de 1.610 teniendo Condición seudo estática con agua; 1.963 teniendo en cuenta Condición estática.

16.3.3.3 Sección 4

Se realizó el análisis de estabilidad el cual dio como resultado un factor de seguridad de 1.132 teniendo Condición seudo estática con agua; 1.365 teniendo en cuenta Condición estática.

Analizando las condiciones de la característica del material y el flujo del material presentadas para cada sección para este tipo de falla no se tiene en consideración ya que como son de incidencias superficiales de proporciones pequeñas en consideración con toda la zona de estudio y el tamaño de los taludes es poco probable que ocurra una incidencia considerable por este tipo de falla y no genera una falla que indique como se encuentra el talud en su totalidad.

Según la Tabla 31 donde encontramos la categorización de amenaza por FRM se determino que tipo de amenaza se encuentra en la zona de estudio según el tipo de falla identificada en las Tabla 32, Tabla 33 y Tabla 34; como se pueden ver en los Planos GE 269 PL-08 AMENAZA ACTUAL y GE 269 PL-11 AMENAZA FUTURA 50 AÑOS SIN OBRA.

Tabla 32 Resumen de Amenaza Sección 1

SECCIÓN 1				
CONDICIÓN	**F.S Traslacional**	**F.S Rotacional**	**Flujo Superficial**	**AMENAZA**
Estática	3.013	2.108	2.376	BAJA
Seudo estática con agua	2.090	1.436	1.558	BAJA

Tabla 33 Resumen de Amenaza Sección 2

SECCIÓN 2				
CONDICIÓN	**F.S Traslacional**	**F.S Rotacional**	**Flujo Superficial**	**AMENAZA**
Estática	2.829	2.175	1.963	BAJA
Seudo estática con agua	2.328	1.646	1.610	BAJA

Tabla 34 Resumen de Amenaza Sección 4

SECCIÓN 4			
CONDICIÓN	**F.S Rotacional**	**Flujo Superficial**	**AMENAZA**
Estática	2.263	1.365	BAJA
Seudo estática con agua	1.634	1.132	BAJA

16.4 SUSCEPTIBILIDAD POR EROSIÓN

Por erosión del suelo, se entiende la pérdida de partículas y nutrientes del suelo debidas a las acciones del agua, del viento, del hielo y/o de la gravedad. Este proceso ha modificado el macro-paisaje según una dinámica permanente y relativamente lenta, lo que se denomina erosión «geológica» o «natural». La problemática actual se debe al desequilibrio de los procesos naturales y al incremento exponencial de las tasas de erosión en la mayor parte del mundo. Por ejemplo, es común hoy en día, registrar pérdidas de 1 a 2 cm de espesor de suelos en un período menor a un año en zonas agrícolas, intensidad totalmente desproporcionada con los miles de años que transcurrieron para producir dicho espesor.

La erosión hídrica de los suelos fundamenta su energía en la lluvia: la energía cinética de las gotas desagrega las partículas del suelo e inicia el proceso de destrucción de los agregados, luego la energía del agua de escorrentía se encarga del transporte del material suelto y completa el proceso destructor con el arrastre de materiales (ver Ilustración 53). En paralelo, las condiciones del terreno incrementan o frenan la acción del agua.

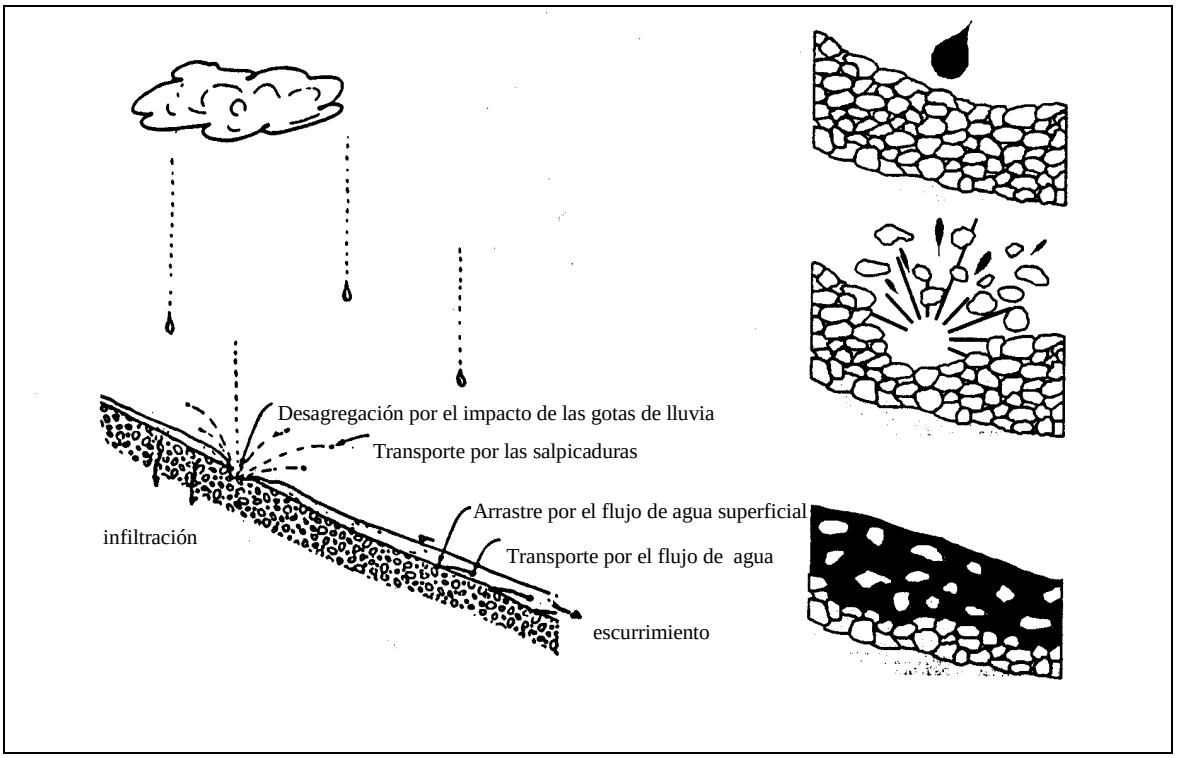


Ilustración 53. Procesos de erosión hídrica (adaptado de Julien y Frenette, 1986. y Ontario, 1994).

Teniendo en cuenta los resultados de los analisis de estabilidad, las observaciones que se realizaron en campo, la pendiente de los taludes, las caracteristicas de las rocas de la zona y las coberturas de los suelos, se puede concluir que la Susceptibilidad por erosión en la zona de estudio es ALTA para la roca caracterizada de resistencia media ubicada en el talud oriental, el talud norte y el talud intermedio, para las demás zonas del area de estudio dada su menor pendiente y tipo de cobertura presente (pendientes bajas y construcciones), se caracterizan como de Susceptibilidad media. la zonificación se presenta en el Plano GE-269-PL-08A SUSCEPTIBILIDAD POR EROSIÓN.

Dada la suceptibilidad a la erosión de los materiales que se encuentran en la zona de estudio, es posible que los materiales se degraden y puedan generar a futuro procesos de inestabilidad en la zona.

17 EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO

En este capítulo se presentan los análisis de vulnerabilidad y riesgo físicos del área de estudio, teniendo como elementos expuestos predominantes del área de estudio viviendas e infraestructura. Otras estructuras tales como tuberías enterradas las cuales se deberán construirse bajo las normas de la EAAB; para las tuberías de acueducto y alcantarillado deben ser de tipo flexible (PVC), y para su cimentación deben contemplar las normas de la EAAB para garantizar posibles fugas o rupturas en las redes.

17.1 ANÁLISIS DEL INVENTARIO DE VIVIENDAS

El inventario de viviendas fue evaluado de las encuestas emitidas por el FOPAE el cual fueron realizadas el día 18 de junio de 2011 y el día domingo 28 de agosto de 2011 donde se realizó el recorrido de la inspección técnica a la Urbanización Bosques de la Hacienda reconociendo cada predio existente mediante una encuesta y con la evaluación por parte de la consultoría en el transcurso de la realización de este proyecto, la cual se presenta en el **Anexo IV**, esta encuesta contiene información básica del predio, antecedentes de fenómenos de remoción en masa, características de servicios públicos, tipo de cimentación de la vivienda, tipo de estructuras que componen la vivienda y daños presentados en esta. Además se realizara un registro fotográfico de cada predio. Para ello se emplearan encuestadores con los implementos necesarios para realizar esta labor. En cuanto a la población que se encuentra habitando en la Urbanización, se muestra que cerca un tercio (34%) de la población atendida corresponde a niños y la restante a adultos en un 66%. De los 300 predios aun falta el dato de 34 y de los 300 inmuebles no se encontraron daños en 193 de ellos, lo que representa un 64% del total, pero sí en el restante tercio (36%), en el Anexo IV se encuentra los tipos de daños encontrados en las viviendas encuestadas en la Urbanización Bosques de la Hacienda; en el capítulo 12 se hace una descripción más completa de este análisis.

17.2 VULNERABILIDAD

Para determinar la vulnerabilidad de las edificaciones ante deslizamientos se utiliza el cálculo del denominado Índice de Vulnerabilidad Física (IVF), utilizando, para tal efecto, la metodología propuesta por Leone[4] y modificada por Soler Et Al[5]. En resumen, el trabajo consiste en calcular los índices de vulnerabilidad física (IVF), dependiendo del tipo de movimiento, la intensidad de las solicitaciones y las características del elemento expuesto (viviendas).

4 Leone, F. (1999) CONCEPT DE VULNERABILITE APPLIQUE A L'EVALUATION DES RISQUES GENERES PAR LES PHENOMENES DE MOUVEMENTS DE TERREIN. Tesis de doctorado, Universidad de Grenoble.

5 Soler, F., González, A. y Vesga, L. (1999). METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN SANTAFÉ DE BOGOTÁ, COLOMBIA. XI CPMSIF. Fox de Iguazú, Brasil.

17.2.1 Tipificación de las estructuras

En forma general, la vulnerabilidad es una función tanto de la intensidad del fenómeno como de la resistencia del elemento expuesto. La primera variable ya se tuvo en cuenta en la evaluación de la amenaza; para la segunda variable (resistencia del elemento expuesto), se tipifican las viviendas teniendo en cuenta los criterios de resistencia de la estructura en la Tabla 35.

Tabla 35 Criterios de resistencia de la estructura

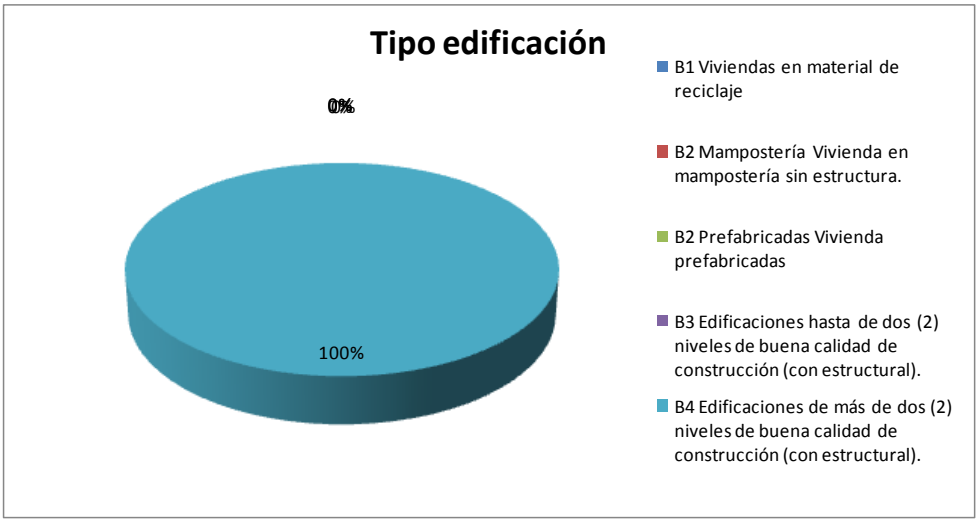
Tipo de solicitación	Modos de daño	Criterio de resistencia de la estructura
Desplazamientos laterales	Transporte. Deformación.	Profundidad de la cimentación.
	Asentamientos. Ruptura.	Arriostramiento de la estructura.
		Altura de la estructura.
Empujes laterales	Deformación. Ruptura.	Profundidad de la cimentación.
		Refuerzo.
Impactos	Deformación. Ruptura.	Refuerzo

De acuerdo con los criterios expuestos anteriormente, para tipificar las viviendas se adopta el criterio de Leone, el cual se resume a continuación en la Tabla 36.

Tabla 36 Clasificación de la tipología de vivienda

Tipo edificación	Descripción
B1	Viviendas en material de reciclaje
B2 Mampostería	Vivienda en mampostería sin estructura.
B2 Prefabricados	Vivienda prefabricada.
B3	Edificaciones hasta de dos (2) niveles de buena calidad de construcción (con estructural).
B4	Edificaciones de más de dos (2) niveles de buena calidad de construcción (con estructural).

En el sector son predominantes las viviendas de tipo B4 Edificaciones de más de dos (2) niveles de buena calidad de construcción (con estructural).



Grafica 9 Tipología de Vivienda.

17.2.2 Calificación de los daños

En la metodología propuesta por Leone, para calificar los daños producidos en las viviendas por fenómenos de remoción en masa, se sigue el criterio del DRM (Délégation aux Risques Majeurs), el cual divide los daños en cinco (5) categorías, como se muestra en la Tabla 37:

Tabla 37 Clasificación de los daños según el DRM

Índice de daño	Tipo de daño	Porcentaje de daño
1	Daños ligeros no estructurales. Estabilidad no afectada.	0.0 - 0.1
2	Fisuración de paredes (muros). Reparaciones no urgentes.	0.2 - 0.3
3	Deformaciones importantes. Daños 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

El porcentaje de daño o índice de pérdidas (IP) lo define Leone, como:

$$IP = \frac{(Vi - Vf)}{Vi}$$

Donde,

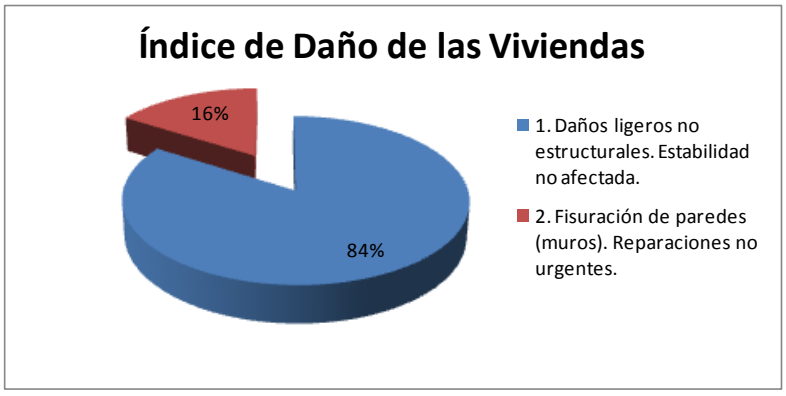
- Vi : Valor inicial del bien (antes del evento).
- Vf : Valor final del bien (después del evento).

Para la evaluación de la vulnerabilidad de las viviendas se determinaron dos índices de daño (teniendo en cuenta la clasificación presentada en la Tabla 36), a saber:

- Un Índice de Daño Potencial (IDp), el cual está asociado directamente por el efecto físico (solicitación) que produce el fenómeno (deslizamiento o caída de rocas).

- Un Índice de Daño Actual (IDa) debido al "estado" actual de la estructura. Los daños "estructurales" de cada una de las viviendas se obtuvieron de la evaluación cualitativa realizada durante la ejecución de las encuestas.

Todos los daños encontrados fueron menores donde la mitad, 55%, corresponde a humedades, en un 31% se encontraron fisuras pequeñas, y deficiencias constructivas en el restante 14%. Estos daños, de acuerdo con la inspección visual, no comprometen la estabilidad, ni la habitabilidad ante cargas normales de servicio. El principal problema de las viviendas radica en fisuras en los pañetes debido a la alta capa de este material el cual oscila de los 4 cm a los 6 cm, también se presentan humedad en los muros y en la fachada de algunas viviendas; estos daños no comprometen la estabilidad ni la habitabilidad ante cargas normales de servicio de las mismas a que son daños y problemas de mantenimientos preventivos y correctivos que se deben realizar a la edificación. (Ver Grafica 10)



Grafica 10 Índice de daño de las Viviendas

17.2.3 Tipos de movimientos y solicitaciones

El tipo de solicitación depende de la localización del elemento expuesto en referencia al sitio donde ocurre el fenómeno[6], tal como se presenta la Ilustración 54 y en la Tabla 38.

Tabla 38 Tipo de solicitación

Solicitación	DEFORMACIÓN[7]
Muy baja (MB)	Menor a λ/480
Baja (B)	Entre λ/360 y λ/480
Media (M)	Entre λ/240 y λ/360
Alta (A)	Entre λ/180 y λ/240
Muy Alta (MA)	Mayor a λ/180

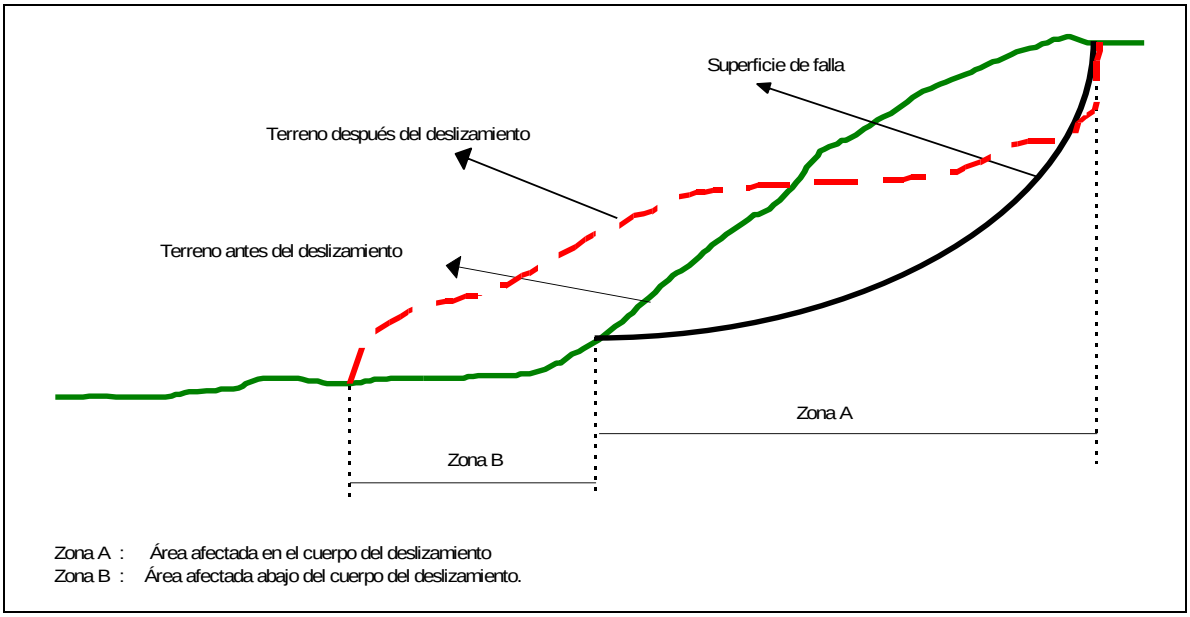


Ilustración 54 Esquema de deslizamiento

Como se puede observar en la Ilustración 54, se distinguen claramente dos (2) zonas.

[6] Soler, F., González, A. y Vesga, L. (1999). Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa en Santafé de Bogotá, Colombia. XI CPMSIF. Fox de Iguazú, Brasil.

[7] λ se refiere a la luz de la viga o losa en una dirección.

En la Zona A (en el cuerpo del deslizamiento) o Zona de Influencia Directa, los daños que sufrirían las viviendas se pueden relacionar con los desplazamientos laterales (DL) que, a su vez, dependen de la velocidad del movimiento (entre más rápido, los daños pueden ser mayores). Para la caracterización de las velocidades de los movimientos se utiliza la escala propuesta por Cruden y Varnes, presentada en la Tabla 39.

Tabla 39 Rangos de velocidad utilizadas en el estudio

Descripción	Clase	Velocidad característica
Muy rápido	VM1	Mayor a 50 mm/seg
Rápido	VM2	Entre 0,5 mm/seg y 50 mm/seg
Moderado	VM3	Entre 0,05 mm/seg y 0,5 mm/seg
Lento	VM4	Entre 0,005 mm/seg y 0,05 mm/seg
Muy lento	VM5	Menor a 0,005 mm/seg

En la Zona B (abajo del cuerpo del deslizamiento) o Zona de Influencia Indirecta, los daños de las viviendas se pueden relacionar con los empujes laterales (EL) que, igualmente, se pueden asociar con la altura que alcanza la acumulación de material contra la vivienda como se presenta en la Tabla 40.

Tabla 40 Categorías de las presiones laterales utilizadas en el estudio

Descripción	Clase	Característica
Presión lateral alta	PL1	Mayor a 2/3 de la altura de la vivienda
Presión lateral media	PL2	Entre 1/3 y 2/3 la altura de la vivienda
Presión lateral baja	PL3	Menor a 1/3 de la altura de la vivienda

Para el caso en estudio, la solicitación corresponde a deformaciones moderadas a los desplazamientos laterales, que se pueden catalogar como lento (VM4).

17.2.4 Matriz de daño

Se asocian los Índices de Daños Potenciales (IDp) ocasionados por un evento dado, de acuerdo tanto al tipo de solicitud (magnitud del evento) como a la tipología de la vivienda (resistencia del elemento expuesto). A continuación se presenta la matriz de daño utilizada en la Tabla 41.

Tabla 41 Matriz de daño utilizada en el estudio

	CLASE DE SOLICITACIÓN	TIPOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN			
		B1	B2	B3	B4
DESPLAZAMIENTOS LATERALES	VM1	V	V	V	IV
	VM2	V	V	IV	IV
	VM3	V	IV	III	III
	VM4	IV	III	III	II
	VM5	III	II	I	I
EMPUJES LATERALES	PL1	V	IV	III	III
	PL2	V	IV	III	II
	PL3	IV	III	II	I

Dado que la clase de solicitación para el área de estudio corresponde a un VM4 para una tipología de vivienda B4 de ID II.

17.3 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FÍSICA (IVF)

El Índice de Daño se cuantifica por medio de conjuntos difusos presentada en la Ilustración 55, para hallar el porcentaje de daño o índice de pérdidas; estos porcentajes de pérdidas dependen del nivel de confianza en la valoración; en este caso se adopta, para una confianza de 1.0, los rangos de valores de cada ID propuestos por Leone (1996).

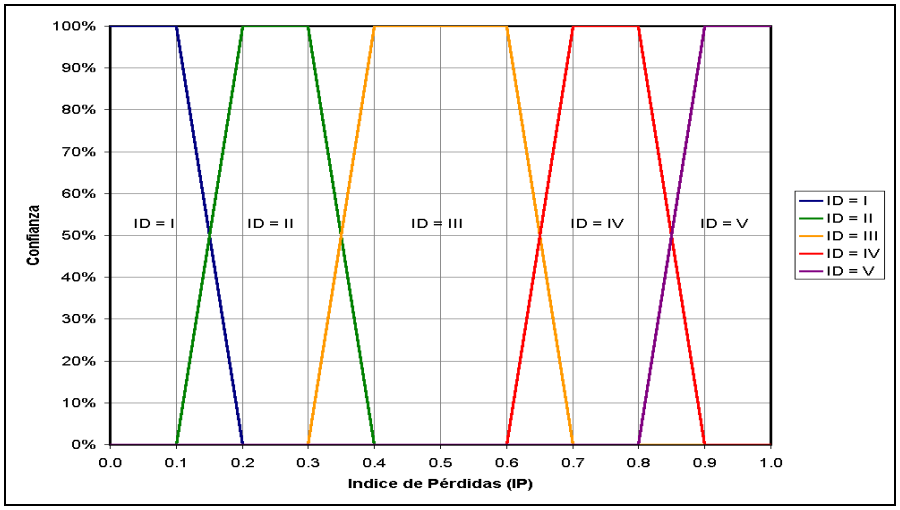


Ilustración 55 Valoración del ID (potencial y actual) utilizando conjuntos difusos

Tabla 42 Valores de IP utilizados para valorar el ID en el estudio

Índice de Daño	IP min	IP máx
I	0.00	0.15
II	0.15	0.35
III	0.35	0.65
IV	0.65	0.85
V	0.85	1.00

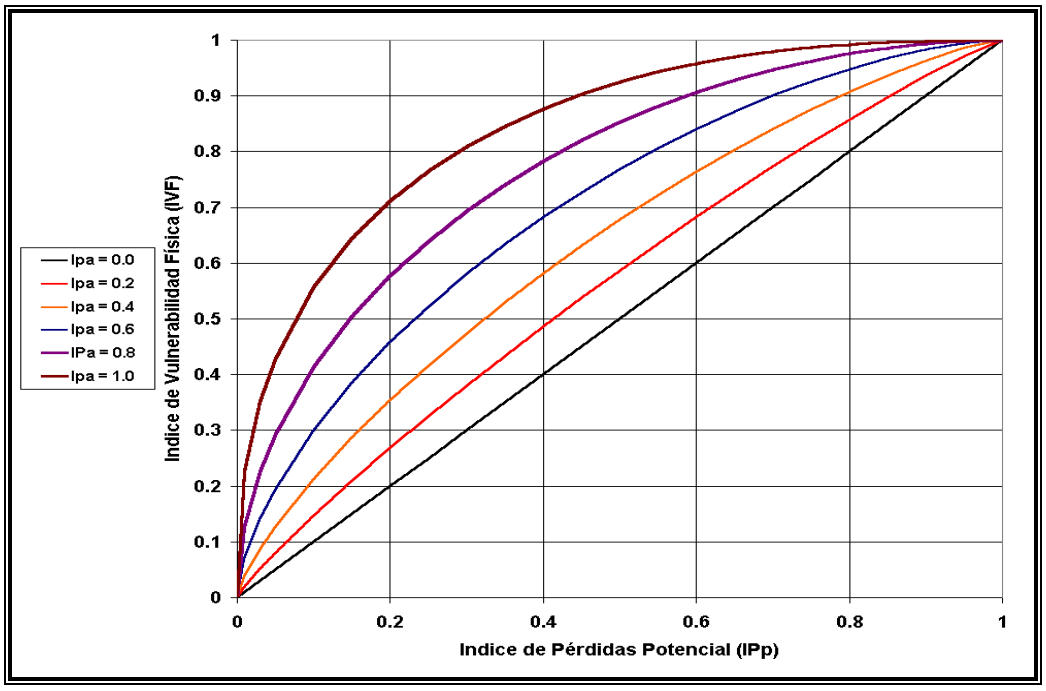
En teoría, la evaluación de la vulnerabilidad debería estar dada como la probabilidad de los daños debido al fenómeno dado una condición o predisposición del elemento expuesto. Si estamos evaluando la vulnerabilidad física, determinada como un Índice de Vulnerabilidad Física (IVF), teniendo en cuenta los dos índices de pérdidas definidos anteriormente (IPa e IPp); lo expuesto se puede expresar probabilísticamente como:

$$IVF = P(IPp/IPa)$$

Esta expresión es muy difícil de evaluar ya que las variables involucradas (IPp e IPa) son dependientes; es por ello que, para la valoración de la vulnerabilidad física ante fenómenos de remoción en masa (IVF) se utilizó la expresión empírica propuesta por Soler et al[8] para involucrar otras variables diferentes al tipo de solicitación y la tipología de vivienda. De esta forma:

$$IVF = \left[1-(1-IPp)^{\frac{1}{(1-\alpha\, IPa)}} \right]^{(1-\alpha\, IPa)}$$

Donde α es la dependencia o importancia del IPa en la valoración del IVF (0 cuando es mínima y 1 cuando es máxima). Como ejemplo, a continuación se presenta la gráfica que relaciona el IPp y el IPa con el IVF para un α=0.6.



Grafica 11 Gráfica para determinar IVF con un α=0.6

[8] Soler, F., González, A. y Vesga, L. (1999). ***Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa en Santafé de Bogotá, Colombia.*** XI CPMSIF. Fox de Iguazú, Brasil.

Para la selección del valor de α se utilizaron los siguientes criterios, dependiendo del grado de amenaza por fenómenos de remoción en masa a que esté sometida la estructura.

Tabla 43 Selección del valor de alfa

Grado de amenaza	Valor de α
MUY BAJA	0.0
BAJA	0.2
MEDIA	0.4
ALTA	0.6
MUY ALTA	0.8

Es de notar que, por cada uno de los lotes existen dos IVF (máximo y mínimo) que determinan la incertidumbre del modelo.

17.3.1 Vulnerabilidad Edificaciones

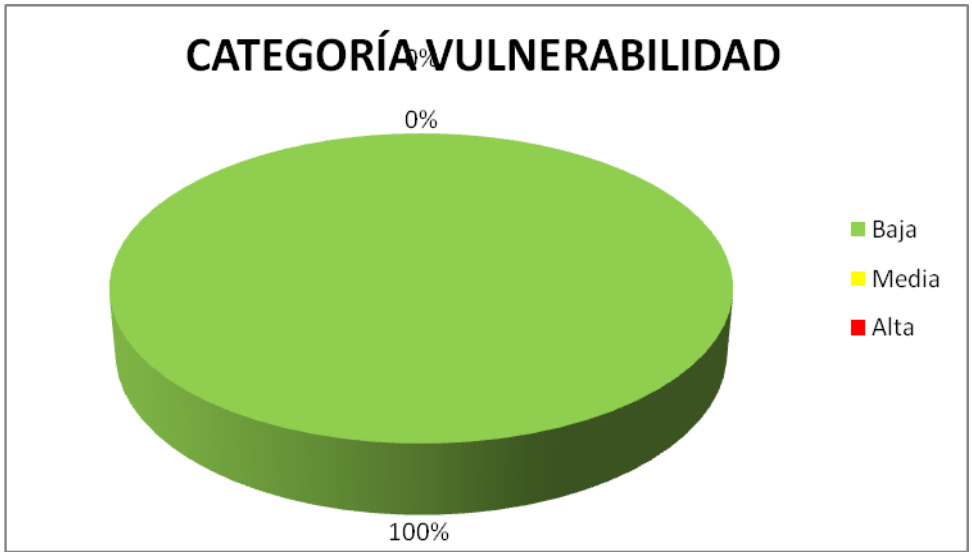
Con base en los resultados de los análisis de vulnerabilidad presentados, donde categorizando el valor del IVF de acuerdo con los criterios establecidos en estudios previos realizados en Bogotá por F. Soler A. J. González y otros, los cuales se presentan en la Tabla 44.

Tabla 44 Criterios de categorización de la vulnerabilidad

CATEGORÍA VULNERABILIDAD	CRITERIO
ALTA	IVF promedio ≥ 0.65
MEDIA	0.35 ≤ IVF promedio < 0.65
BAJA	IVF promedio < 0.35

La vulnerabilidad de acuerdo a lo anterior está catalogada baja para las viviendas de la parte baja de la vía y baja para las viviendas que se encuentran en la parte central, en el plano GE269 PL-09 VULNERABILIDAD.

Los procesos identificados en el sector corresponden a movimientos de proporciones pequeñas que no tienen afectación a la estabilización de las viviendas del sector, en la Grafica 12 se presenta la categoría de vulnerabilidad.



Grafica 12 Categoría de Vulnerabilidad de las Viviendas

17.3.2 Vulnerabilidad Vías e infraestructuras aledañas

Las vías que se encuentran en el área de influencia del proyecto son al norte la Calle 48 Sur y al sur la Calle 45B Sur.

Tabla 45 Vulnerabilidad de la vía aledaña[9]

ELEMENTO EXPUESTO		CLASIFICACIÓN DE DAÑO	DAÑOS POTENCIALES	ÍNDICE DE DAÑO
Infraestructura aledaña	Estructura de las vías líneas vitales asociados	I	Daño de la calzada	0.05 - 0.3
		II	Hundimiento de la calzada	0.3 - 0.6
		III	Obstrucción de la calzada de gran volumen	0.5 - 0.8
		IV	Ruptura de la calzada	0.8 - 1.0

[9] Clasificación propuesta por el DRM y adoptado por Geocing S.A.S

Teniendo en cuenta que no existe una metodología específica para el análisis de vulnerabilidad en vías, se utilizó y adoptó la metodología de Leone Y el DRM propuesta para edificaciones tomando a criterio por parte de esta consultoría los análisis de vulnerabilidad.

Tabla 46 Rangos de velocidad utilizadas en el estudio

Descripción	Clase	Velocidad característica
Muy rápido	VM1	Mayor a 50 mm/seg
Rápido	VM2	Entre 0,5 mm/seg y 50 mm/seg
Moderado	VM3	Entre 0,05 mm/seg y 0,5 mm/seg
Lento	VM4	Entre 0,005 mm/seg y 0,05 mm/seg
Muy lento	VM5	Menor a 0,005 mm/seg

Tabla 47 Clasificación de la tipología de vías

Tipo edificación	Descripción
B1	Vías de muy mala calidad, sin base o subbases granulares (trochas improvisadas)
B2	Vías de calidad de regular a mala sin tratamiento superficial
B3	Vías buena calidad pero no cumplen con las normas de diseño y construcción IDU
B4	Vías con materiales de que cumplen con la norma de diseño y construcción IDU

La vía que se encuentra al norte de la zona de estudio en la Calle 48 Sur se encuentra en una vulnerabilidad baja, puesto que en esta parte de la zona no hay afectación a la vía; la vía que se encuentra en la parte sur de la zona de estudio en la Calle 45B Sur se encuentra en una vulnerabilidad baja, aunque presenta deficiencias constructivas, piel de cocodrilo y en algunos puntos localizados se ha perdido la capa de asfalto debido a que no cuentan con obras de drenaje.

17.4 RIESGO

17.4.1 Método de análisis

El denominado riesgo (económico, social o ambiental, según sea el sector que represente al usuario) se puede simular mediante el modelo dinámico del tipo integral (Rivera, 2001):

$$R_{E,\,S,\,A} = \int P(e)\ \mathrm{P}_{(E,\,S,\,A)}$$

En donde,

$R_{E,\,S,\,A}$ Es el riesgo, sea económico (E), social (S) o ambiental (A).

$P(e)$ Es la probabilidad cuantitativa del evento que se pronostica; se denomina también amenaza (H).

$\mathrm{P}_{(E,\,S,\,A)}$ Es la pérdida en el sector, sea económico (E), social (S) o ambiental (A), que se relaciona con el evento natural que se predice; también se suele denominar vulnerabilidad (V).

Para el caso en estudio, y una vez obtenida la amenaza y la vulnerabilidad, se puede estimar el riesgo físico individual de cada edificación definiendo el índice de riesgo (IR) como:

$$IR = P_f \cdot IVF$$

Teniendo en cuenta que la amenaza se definió como la probabilidad de ocurrencia del fenómeno y la vulnerabilidad como un índice de pérdidas, representado como un conjunto difuso, el índice de riesgo también es un conjunto difuso que, para el caso utilizado de conjuntos difusos trapezoidales, se puede representar por la función presentada en la Ilustración 56.

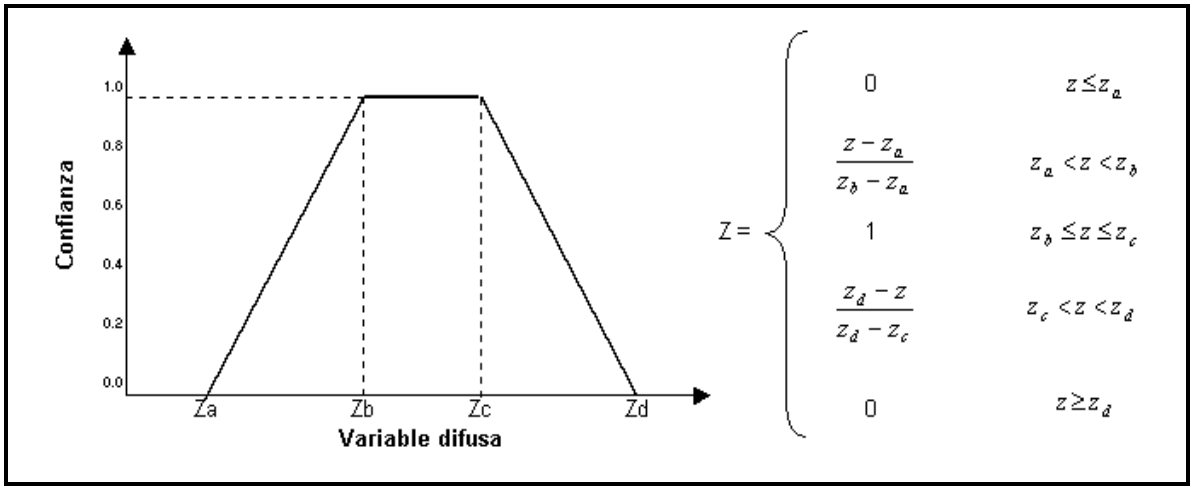


Ilustración 56 Conjuntos difusos trapezoidales

Una vez calculado el índice de riesgo representado como una variable difusa se puede calcular el riesgo como la probabilidad de excedencia de las pérdidas; hay dos (2) posibilidades para calcularla:

Hipótesis 1

En este caso se puede determinar la esperanza y la varianza del factor de seguridad como el primer momento y el radio de giro con respecto a la media de la función difusa, respectivamente; es decir,

- Media

$$\mu = \int_{-\infty}^{\infty} z \cdot f(z)\, dz\,, \qquad \text{para la esperanza o media.}$$

Para el conjunto difuso trapezoidal se tiene que:

$$\mu = z_a + \frac{1}{A}\left[\frac{4 A_1^{\,2}}{3} + A_2\left(\frac{A_2}{2} + 2 A_1\right) + A_3\left(A_2 + 2 A_1 + \frac{2 A_3}{3}\right)\right]$$

Donde,

$$A_1 = \frac{z_b - z_a}{2}$$

$$A_2 = z_c - z_b$$

$$A_3 = \frac{z_d - z_c}{2}$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3$$

- Varianza

$$V(z) = \sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (z-\mu)^2 \cdot f(z)\, dz$$

Para el conjunto difuso trapezoidal

$$\sigma^2 = \frac{I_\mu}{A} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{A}$$

Donde,

$$I_1 = \frac{(z_b - z_a)^3}{36} + A_1 \left[\mu - \left(\frac{2z_b + z_a}{3} \right) \right]^2$$

$$I_2 = \frac{(z_c - z_b)^3}{12} + A_2 \left[\mu - \left(\frac{z_c + z_b}{2} \right) \right]^2$$

$$I_3 = \frac{(z_d - z_c)^3}{36} + A_3 \left[\mu - \left(\frac{z_d + 2z_c}{3} \right) \right]^2$$

Con la esperanza (o media) y la desviación estándar del IR, se puede calcular la probabilidad de excedencia de cierto valor de referencia (que son las pérdidas admisibles por el propietario, y conocido como el nivel riesgo admisible; este riesgo aceptado, es denominado en este estudio IRo), que es ajustado a una función de distribución de probabilidad (se debe a la de mejor ajuste, ya bien sea normal, log-normal, beta, etc.).

Hipótesis 2

Se calcula la probabilidad de excedencia de un valor dado como,

$$R = \frac{\int_{IR_0}^{\infty} Z\,dz}{\int_{-\infty}^{\infty} Z\,dz} \qquad Z \equiv IR$$

Para un conjunto difuso trapezoidal, la anterior ecuación da como resultado lo que se presenta en la Ilustración 57.

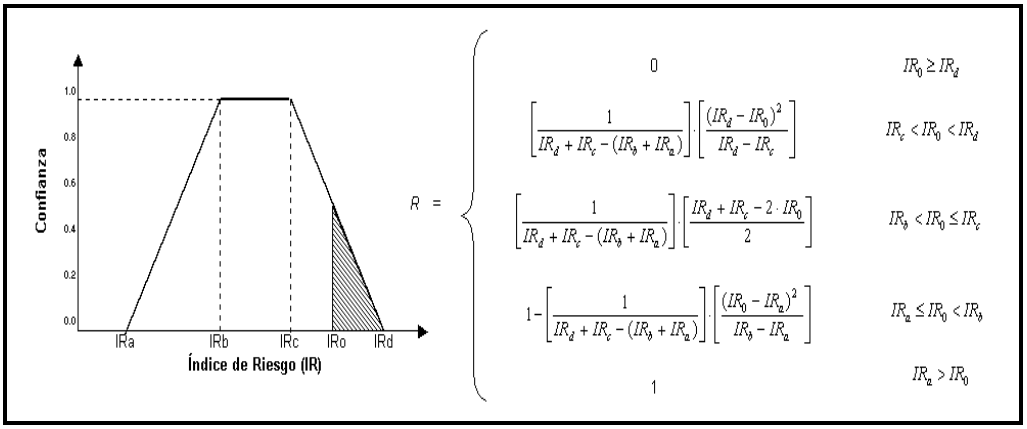


Ilustración 57 Cálculo del riesgo por conjuntos difusos trapezoidales

En la Grafica 13 se presenta la categoría de riesgo.

Grafica 13 Categoría de Riesgo de las Viviendas

17.4.2 Criterios aplicados y resultados obtenidos

Para el caso en estudio se aplica la Hipótesis 1 que son las pérdidas admisibles por el propietario, y conocido como el nivel riesgo admisible, determinando los niveles de riesgo según la probabilidad de excedencia de las pérdidas probables admisibles (IRo), definidas en un 10%, de acuerdo con los criterios establecidos en la Tabla 48.

Tabla 48 Categorización del riesgo

Nivel de riesgo	Criterio
Bajo	La probabilidad de excedencia de las pérdidas máximas admisibles (definidas como 10%, valor de IRo) es menor al 2%.
Medio	La probabilidad de excedencia de las pérdidas máximas admisibles (definidas como 10%, valor de IRo) está entre el 10% y el 2%
Alto	La probabilidad de excedencia de las pérdidas máximas admisibles (definidas como 10%, valor de IRo) es mayor al 10%.

Se presentan los resultados de vulnerabilidad y riesgo para las edificaciones existentes, encontrándose que la vulnerabilidad es baja para las viviendas encontradas en la zona de estudio y el riesgo se pueden catalogar como bajo para todos los interiores ya que los problemas presentados en el sector no son considerables puestos que los fenómenos presentados en algunas viviendas son fisuras muy pequeñas que se presentan en los muros y en la mampostería y por humedad que no comprometen la estabilidad de las estructuras de cimentación, teniendo en cuenta las condiciones de cimentación de las estructuras y para las dos condiciones de amenaza planteadas a largo plazo (condiciones de nivel freático y condiciones secas), en el Plano GE269 PL-09 VULNERABILIDAD y el Plano GE269 PL-10 RIESGO, se presenta los resultados del análisis de vulnerabilidad y riesgo. (Ver Tabla 49)

En la zona de estudio no se presenta Riesgo Alto no mitigable ya que los fenómenos de remoción de masa presentados en la zona de estudio son de pequeños procesos de inestabilidad en sitios muy localizados y puntuales; estos procesos puntuales son fenómenos de caída de detritos y pequeñas rocas, y procesos erosivos de las clases laminar, surcos y algunas cárcavas; dichos procesos no involucran en lo mínimo la estabilidad de las viviendas, las obras planteadas son diseñadas para controlar estos procesos para que en un evento futuro no ocurra caídas de rocas de tamaños considerables que puedan afectar las viviendas puesto que los interiores que se encuentran en la parte oriental de la zona se encuentran cerca al talud y el espacio entre ellos es muy reducido donde podría haber afectación de las viviendas de estos interiores.

Tabla 49 Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo por deslizamiento

ID DEL PREDIO	LOCALIDAD	BARRIO	INDICE DAÑO ACTUAL	IPa	TIPO VIVIENDA	SOLICITACION ZONA A	MATRIZ DE DAÑO	IP	CATEGORÍA AMENAZA	CATEGORÍA VULNERABILIDAD	probabilidad de excedencia	IVF = IPa+IP-(IPaxIP)	CATEGORÍA VULNERABILIDAD	IR	CATEGORÍA RIESGO
INT. 1	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	1	0.05	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.19	BAJA	0.000	Bajo
INT. 2	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	1	0.05	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.19	BAJA	0.000	Bajo
INT. 3	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	1	0.05	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.19	BAJA	0.000	Bajo
INT. 4	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	2	0.20	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.32	BAJA	0.000	Bajo
INT. 5	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	2	0.20	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.32	BAJA	0.000	Bajo
INT. 6	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	1	0.05	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.19	BAJA	0.000	Bajo
INT. 7	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	1	0.05	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.19	BAJA	0.000	Bajo
INT. 8	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	1	0.05	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.19	BAJA	0.000	Bajo
INT. 9	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	1	0.05	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.19	BAJA	0.000	Bajo
INT. 10	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	1	0.05	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.19	BAJA	0.000	Bajo
INT. 11	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	1	0.05	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.19	BAJA	0.000	Bajo
INT. 12	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	1	0.05	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.19	BAJA	0.000	Bajo
INT. 13	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	1	0.05	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.19	BAJA	0.000	Bajo
INT. 14	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	1	0.05	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.19	BAJA	0.000	Bajo
INT. 15	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	1	0.05	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.19	BAJA	0.000	Bajo
INT. 16	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	2	0.20	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.32	BAJA	0.000	Bajo
INT. 17	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	1	0.05	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.19	BAJA	0.000	Bajo
INT. 18	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	1	0.05	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.19	BAJA	0.000	Bajo
INT. 19	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	1	0.05	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.19	BAJA	0.000	Bajo
INT. 20	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	1	0.05	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.19	BAJA	0.000	Bajo
INT. 21	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	1	0.05	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.19	BAJA	0.000	Bajo
INT. 22	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	2	0.20	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.32	BAJA	0.000	Bajo
INT. 23	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	1	0.05	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.19	BAJA	0.000	Bajo
INT. 24	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	1	0.05	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.19	BAJA	0.000	Bajo
INT. 25	Rafael Uribe Uribe	Bosques de la Hacienda	1	0.05	B4	VM4	II	0.15	BAJA	BAJA	0	0.19	BAJA	0.000	Bajo

18 VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

18.1 GENERALIDADES

Como complemento a este estudio se realizó un estudio de vulnerabilidad estructural de las edificaciones de la urbanización Bosques de la Hacienda.

Este documento contiene las memorias de cálculos estructurales correspondientes a la Revisión de la Vulnerabilidad Sísmica del Conjunto Residencial Bosques de la Hacienda ubicado en el sector de Molinos al sur de la Ciudad de Bogotá D.C. y se encuentra como el Anexo VII en el Tomo III

En el conjunto residencial bosques de la hacienda, se encuentran dos sistemas estructurales, uno de pórticos de concreto reforzado y el otro sistema es el de mampostería confinada.

Aunque se encontraron planos estructurales, memoria de cálculo y estudio de suelos con radicaciones en la curaduría 01 de Bogotá, la primera radicación de 1994 No. 971-0922 en la cual se encontraron 6 planos estructurales, una memoria de cálculo y un estudio de suelos del proyecto original; es decir torres de 5 pisos en pórticos de concreto, y una segunda información basada en la radicación del año 2001 No. 011-0492 en la cual se encontraron 3 planos estructurales y una memoria de cálculo para bloques de apartamentos de tres pisos en mampostería parcialmente reforzada.

Se procedió a la inspección visual en campo, haciendo un levantamiento estructural detallado, realizando ensayos de campo y de laboratorio y revisando la información de los colaboradores en la construcción de los bloques de apartamentos según sus propias experiencias y recuerdos.

El sistema estructural para todos los efectos es el de Pórticos Concreto Resistentes A Momentos para el primer interior del bloque 3 y de Mampostería Confinada para el resto de bloques de apartamentos del Conjunto Residencial Bosques De La Hacienda, con capacidad moderada de disipación de energía DMO. Las placas de entrepiso son en lámina colaborante de 10 cm de espesor.

Se contemplaron para la revisión estructural, las mismas normativas descritas en las memorias de cálculo y según las fechas de radicación de la información encontrada; es decir, se tuvo en cuenta el C.C.C.S.R. decreto 1400 de 1984 para la radicación de 1994, según memoria de cálculos estructurales (ver anexo 1) y según NSR-98 para la radicación de 2001, por lo tanto solo se aplican los criterios del decreto 926 de 2010, correspondiente a las Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), vigentes con carácter obligatorio en todo el país, a partir de

diciembre de 2010, toda vez que la norma NSR-10 permite hacer la revisión de diseño estructural de una construcción, realizando un análisis de vulnerabilidad sísmica. Ver capitulo A.10 de la NSR-10.

El método de diseño fue el de la Resistencia Última. Con el propósito de obtener los resultados ya descritos, se elaborará un modelo tridimensional en un programa de elementos finitos RCB versión 6.0, en el cual se crearán elementos tipo frame para columnas, vigas y viguetas que definirán los entrepisos y se emplearan las mismas cargas obtenidas de la memoria de cálculo original.

18.2 OBJETIVO

El estudio busca determinar el estado estructural actual de los bloques de apartamentos (la vulnerabilidad sísmica de la estructura) del conjunto residencial Bosques de la Hacienda. Debido a la posibilidad de existencia de socavones, túneles y trincheras que pudieran existir bajo el conjunto residencial, dado que el terreno originalmente se utilizaba como cantera para explotación de arena y existe la incertidumbre por parte de la comunidad de la estabilidad de sus viviendas y su permanencia habitual dentro de ellas.

18.3 DATOS GENERALES

Localización: El Conjunto Residencial Bosques De La Hacienda se ubica en la Calle 44 Sur con carrera 10 costado oriental.

Uso actual y previsto: bloques de apartamentos de tres pisos para vivienda unifamiliar.

Importancia: Grupo I no indispensable.

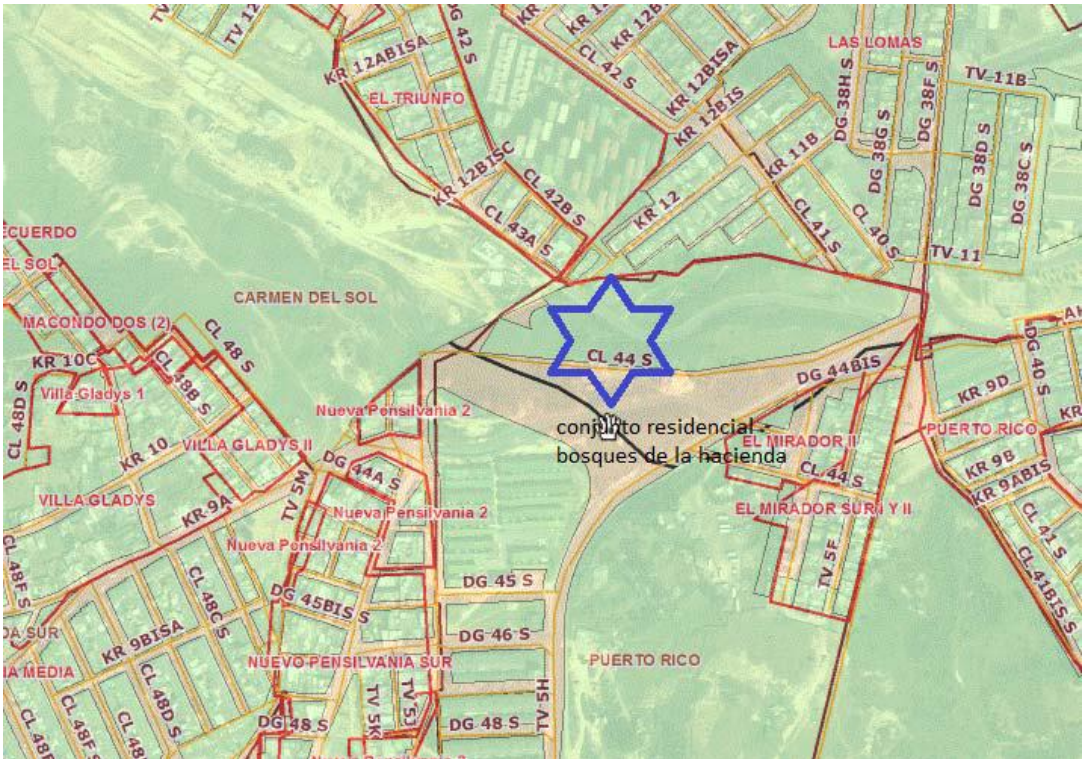


Ilustración 58 Localización en el Mapa de Bogotá.

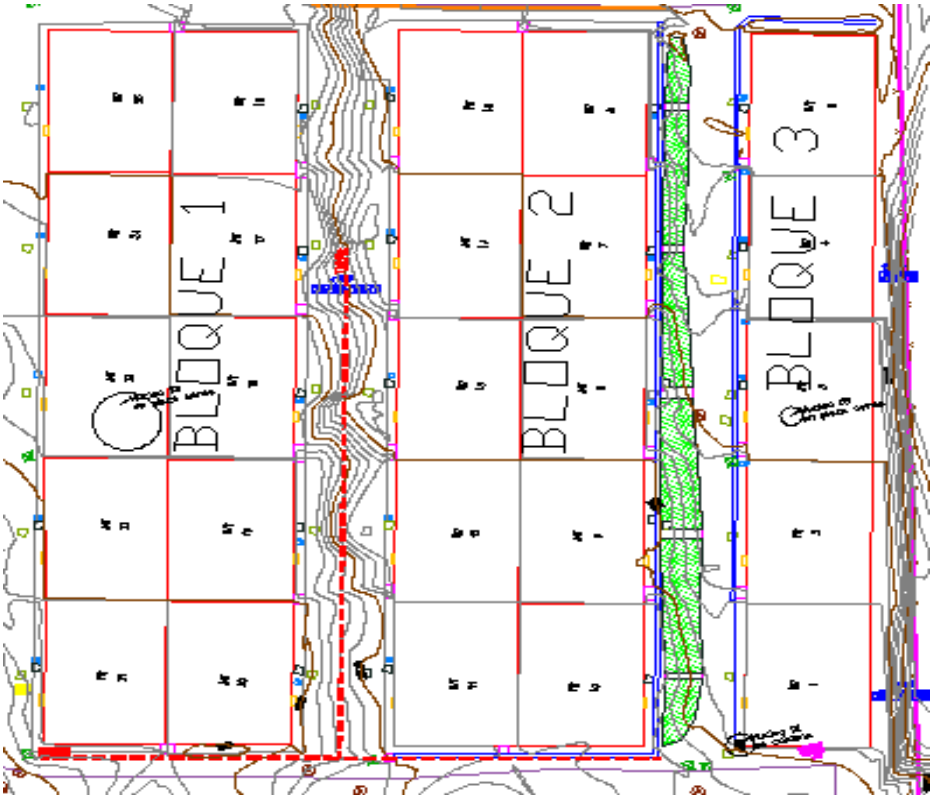


Ilustración 59 Distribución de Bloques e interiores.

18.3.1 Datos específicos del paciente 01

El paciente No 01, corresponde a los bloques 1, 2 y parte del bloque 3, los cuales están estructurados mediante mampostería confinada con columnetas de 20x15 cm y vigas aéreas de 15 cm de ancho por 25 cm de alto, los bloques 1 y dos de 84.15 m x 24.00 m con 10 interiores cada uno de los cuales cuenta con cuatro (04) apartamentos para un área construida aprox. 2020 m2 y altura de 8.70 m y el bloque 3 de 67.20 m x 12.12 m con 4 interiores cada uno de los cuales cuenta con cuatro (04) apartamentos para un área construida aprox. 814.50 m2 y altura de 8.70 m; en mampostería confinada y estructura de armado de los entrepisos en concreto con vigas de 15 cm de ancho por 25 cm de altura, placa de entrepiso en metaldeck de 10.00 cm de espesor en concreto reforzado con f'c de 21 MPa.

El paciente No 02, corresponde a la parte faltante del bloque 3, el cual está estructurados mediante pórticos de concreto con columnas de 20 x 25 cm y vigas aéreas de 15 y 20 cm de ancho por 25 cm de alto, esta parte del bloque 3 de 16.80 m x 12.12 m con 1 interior el cual cuenta con cuatro (04)

apartamentos para un área construida aprox. 203 m2 y altura de 8.70 m, placa de entrepiso en metaldeck de 10.00 cm de espesor en concreto reforzado con f'c de 21 MPa.

Los dos pacientes se encuentran en una zona de acción sísmica intermedia y potencial alto-medio de remoción en masa, con posible presencia de túneles, socavones o trincheras bajo la cimentación por explotación anterior de arena, su ubicación concuerda con la localidad de Rafael Uribe Uribe de la ciudad de Bogotá.

Los tres niveles son viviendas unifamiliares. Con cubierta liviana tipo teja No 4 de asbesto cemento.

El entrepiso es tipo metaldeck de 10.00 cm de espesor en concreto reforzado.

Las especificaciones para los materiales empleados son:

Concreto para placa de entrepiso, columnetas, columnas y vigas:

f´c = 2.100 PSI = 21.0 Mpa = 210 Kg /cm$_2$

Acero de refuerzo:

fy = 60.000 PSI = 420 Mpa = 4.200 Kg/cm$_2$ para Ø>=3/8"

fy = 34.000 PSI = 240 Mpa = 2.400 Kg/cms$_2$ para Ø =1/4"

18.4 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

18.4.1 Descripción general

Los bloques 1, 2 y parte del bloque 3, los bloques 1 y dos de 84.15 m x 24.00 m con 10 interiores cada uno de los cuales cuenta con cuatro (04) apartamentos para un área construida aprox. 2020 m2 y altura de 8.70 m y el bloque 3 de 67.20 m x 12.12 m con 4 interiores cada uno de los cuales cuenta con cuatro (04) apartamentos para un área construida aprox. 814.50 m2 y altura de 8.70 m, de uso netamente para vivienda y en algunos apartamentos de primeros pisos para comercio tipo tienda con zonas de almacenaje de poca importancia.

La parte faltante del bloque 3, el cual está estructurado mediante pórticos de concreto con columnas de 20 x 25 cm y vigas aéreas de 15 y 20 cm de ancho por 25 cm de alto, esta parte del bloque 3 de 16.80 m x 12.12 m con 1 interior el cual cuenta con cuatro (04) apartamentos para un área construida aprox. 203 m2 y altura de 8.70 m, de uso netamente para vivienda.

18.4.2 Descripción arquitectónica

Los tres pisos están destinados a vivienda unifamiliar, el acceso al conjunto residencial está deteriorado ya que se había previsto la construcción de una torre más para un total de cuatro (04) bloques, que al final no se construyó, por lo tanto se ha previsto ni construido una entrada pavimentada ni peatonal bien definidas para el acceso a los apartamentos.

La cubierta es liviana en teja No. 4 de asbesto cemento tipo eternit con estructura metálica tipo perfil rectangular de pared delgada soportada sobre las vigas cintas de 10 x 10 en concreto.

18.4.3 Descripción estructural

Los bloques 1, 2 y parte del bloque 3, los cuales están estructurados mediante mampostería confinada con columnetas de 20 x 15 cm y vigas aéreas descolgadas de 15 cm de ancho por 25 cm de alto, placa de entrepiso en metaldeck de 10.00 cm de espesor en concreto reforzado con f'c de 21 MPa.

La parte faltante del bloque 3, el cual está estructurado mediante pórticos de concreto con columnas de 20 x 25 cm y vigas aéreas descolgadas de 15 y 20 cm de ancho por 25 cm de alto, placa de entrepiso en metaldeck de 10.00 cm de espesor en concreto reforzado con f'c de 21 MPa.

La escalera es un solo tramo piso a piso en concreto con un espesor de 10 cm.

18.5 VISITAS A OBRA

La primera visita con el fin de realizar un reconocimiento de la estructura, hacer un reconocimiento de los materiales empleados, las cargas efectivas que soporta la estructura de acuerdo a la memoria de cálculo, hacer un primer inventario de grietas, fisuras y daños estructurales.

Foto 50 Vista general de la estructura

Foto 51 Vista placa de entrepiso en metaldeck y vigas descolgadas.

Foto 52 Vista exterior de la unión de los interiores. Patios de ropas

Foto 53 Vista exterior de bloque 1, vías sin pavimentar

Foto 54 Vista detalle deslizamientos cerca a andenes y cimentación de bloques.

En la segunda visita luego de una revisión general del progreso de construcción de la estructura de concreto y de mampostería, se realizó el proceso de levantamiento estructural de grietas y fisuras y se realizaron ensayos de campo con equipos de escáner para estructuras como es ELECOMETER 331 MEDIDOR DE COBERTURA DE HORMIGÓN con el cual se determina la profundidad del refuerzo; es decir se determina el recubrimiento de las barras, de termina el diámetro de las barras y la distancia entre las mismas y se tomaron muestras de Martillo Mecánico ELCOMETER 181, para toma de esclerómetro para medir resistencia del concreto como ensayo no destructivo. Equipos de propiedad de FOPAE y con acompañamiento propio de un equipo de ingenieros de esta entidad se realizaron los diversos ensayos a distintos elementos con el fin de establecer parámetros de diseño tales como calidad del concreto y distribución de los refuerzos.

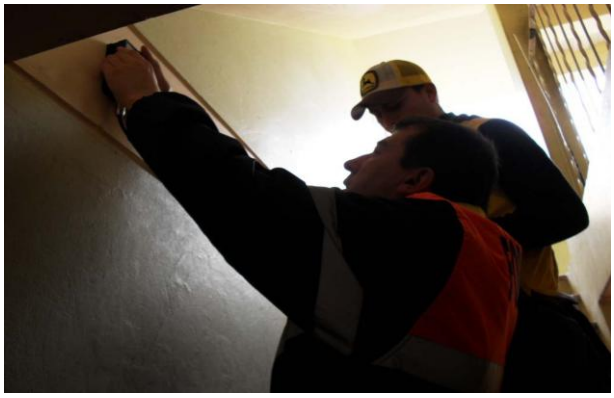


Foto 55 Proceso en levantamiento estructural y ensayos de campo con acompañamiento de un equipo de ingenieros del FOPAE.

Foto 56 Determinación de refuerzos y diámetros en columnetas.

Foto 57 Búsqueda de refuerzos en las posibles dovelas según planos estructurales.

Foto 58 Vista de escaleras de andenes y grietas en muros de fachada de piso 1.

Foto 59 Realización de ensayo de esclerómetro en viga aérea bloque 2.

En la tercera visita, se realizaron ensayos de extracción de núcleos con personal experto de ASOCRETO para determinar en forma más confiable la resistencia del concreto empleado en la construcción del conjunto residencial.

Foto 60 Realización de determinación de ubicación de aceros en columna bloque 3 antes de extracción de núcleo.

Foto 61 Realización de determinación de ubicación de aceros en viga aérea de bloque 3 antes de extracción de núcleo.

Foto 62 Extracción de núcleo en columna bloque 3.

Foto 63 Núcleo extraído en columna bloque 3.

18.6 MEMORIA DE CÁLCULO

Se realiza la modelación de la estructura en su estado original para la estructura aporticada en el programa de elementos finitos RCB versión 6.0 y se le realiza su análisis sísmico estático mediante el ***método de la fuerza horizontal equivalente*** (ver anexo 3. Memorias De Cálculo De Vulnerabilidad Estructural) teniendo en cuenta los factores generales como perfil de suelo, sismo para la región de Bogotá según C.C.C.S.R.-84, propiedades de los materiales a utilizar y las cargas impuestas con el fin de establecer que tan eficientemente resiste la estructura ante las solicitaciones generadas por las cargas impuestas y ante la eventualidad de un sismo.

Se revisó el diseño en su estado original; es decir teniendo en cuenta las mismas consideraciones tenidas en cuenta por el ing. Orlando Zaldua. A. Matricula profesional No 27682 (información tomada de la memoria de cálculo original. Ver anexo 01) quien fue el diseñador de estas estructuras. Con el fin de corroborar sus cálculos y procedimientos de diseño y/o encontrar y revisar posibles fallas en diseño que afectaran el comportamiento útil de las estructuras.

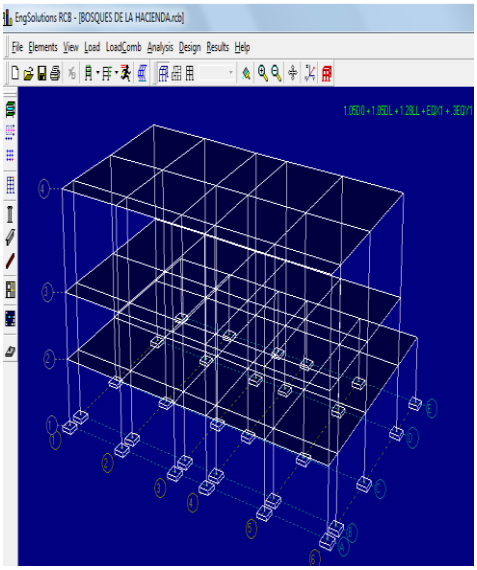


Ilustración 60 Modelo en 3D

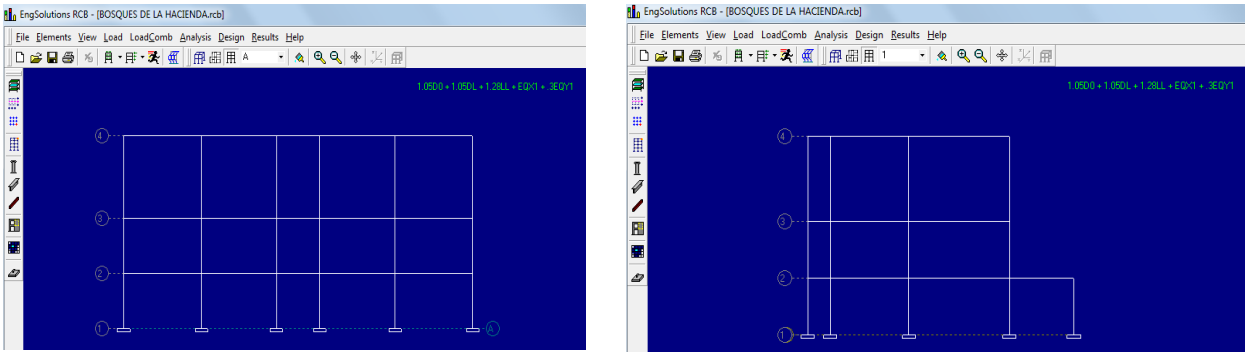


Ilustración 61 Alzados del Modelo

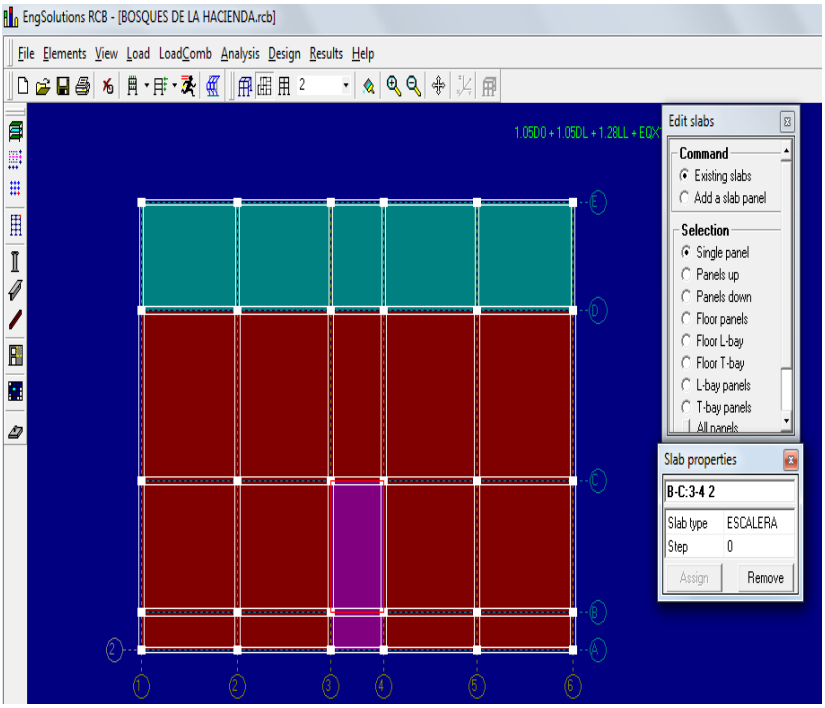


Ilustración 62 Planta tipo del Modelo

18.7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez realizado el proceso de modelación y análisis sísmico estático de la estructura, con las solicitaciones por carga vertical y por efectos sísmicos con todas las posibles combinaciones de carga que establecen la CCCSR-84 (ver anexo 03. Memorias De Cálculo De Vulnerabilidad Estructural).

Aunque se reviso el diseño original con base en la norma en la que fue diseñado; es decir la CCCSR-84 (Código Colombiano de Construcción Sismo Resistente), cabe mencionar que una revisión a la NSR-98 nos constata que el diseño cabe dentro de los límites de la norma NSR-98 titulo A, y se puede usar para construcciones de uso I con una altura hasta de 18.0 m, y aun para la norma NSR-10 Titulo A, también se permite su uso para grupo I (vivienda) para una altura hasta de 12.0 m. Lo cual confirma que el diseño es válido para las normativas actuales *con algunas modificaciones sobre todo en cuanto a sismo*, pero que su objeto cabe dentro de estas normativas.

Se debe tener en cuenta que la revisión estructural del Conjunto Residencial Bosques De La Hacienda a la luz del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), no implica necesariamente tener que reforzar ya que si no hay modificación estructural, no ha habido daños por sismos anteriores y no hay un cambio de uso de las viviendas según titulo A-10.1.3-ALCANCE; por lo tanto se sigue el procedimiento descrito en este capítulo A-10. EVALUACIÓN E INTERVENCIÓN DE EDIFICACIONES CONSTRUIDAS ANTES DE LA VIGENCIA DE LA PRESENTE VERSIÓN DEL REGLAMENTO. Como diagnostico o evaluación de la estructura a analizar en este caso los dos sistemas empleados: pórticos de concreto y mampostería confinada.

Se encuentra que la estructura es capaz de resistir las solicitaciones por carga vertical y por efectos sísmicos; sin embargo se evidencia en campo que la construcción de los bloques de apartamentos no fue la más técnica, ya que se evidencian hormigueros en el concreto ya que cuando se realizaron las extracciones de núcleos, estos núcleos no salían completos y siempre se partía la probeta de 2" o de 3", esta experiencia solo se tiene cuando hay un concreto que no fue lo suficiente vibrado en el proceso de fundida del elemento estructural.

La utilización de barras de diámetros muy diferentes en un mismo espacio (1#6 con 2 #2) lo cual no es muy correcto ya que se pretende que la diferencia se máximo de dos diámetros por encima o por debajo; sin embargo este es un problema menor.

Se evidencio por parte de la comunidad que los bloques de apartamentos no tienen placa de contrapiso y en su lugar se realizó una nivelación de 3.0 cm sobre la cual se colocaron los acabados de piso. Esta particular evidencia puede ser la causa de la humedad presente en los primeros pisos. Ya que el agua por efecto de capilaridad sube por los muros sin una barrera suficiente que la detenga.

La cimentación que aparentemente está conformada por un sistema de zapatas unidas entre sí con vigas de amarre para el sistema aporticado y la cimentación tipo zapata corrida bajo los muros de los bloques con mampostería confinada es adecuada y suficiente para transmitir las cargas al terreno y solo se puede ver afectada por la socavación que se está evidenciando en el terreno cerca a la vía de acceso.

Los ensayos realizados en campo nos arrojan que efectivamente no hay dovelas dispuestas en los muros, ni mampostería de perforación vertical donde se pudieran disponer estas dovelas; sin embargo, se evidencia que el constructor respeto el sitio de ubicación de dovelas cambiándolas por columnetas, para configurar la mampostería confinada.

Se evidencio mediante los ensayos no destructivos realizados por ingenieros especializados del FOPAE que las columnetas están dispuestas con 4 varillas de posible diámetro en ½" como refuerzo

principal y los flejes están dispuestos en varilla de 9.0 mm o de 3/8" cada 20 cm sin confinamiento cerca a otros elementos estructurales, ya que este no es certeramente detectado durante las pruebas realizadas; ya que los resultados de obtenidos en los ensayos no son certeramente correctos y siempre habrá algún grado de incertidumbre y desviación de los aparatos empleados, pero estos resultados nos dan una idea estructural de cómo está dispuesta la estructura.

Se encontraron vigas de entrepiso de 12.0 a 22.0 cm de ancho y de 25 cm de alto posiblemente con flejes en varilla de 9.0 mm o de 3/8" dispuestos en C o en S espaciadas cada 20.0 cm y con dos refuerzos principales en varilla No. 4 o de 1/2".

Para el ensayo de esclerómetro, que se realizó en una viga aérea del bloque No. 1 en el tercer piso que estaba expuesta, los resultados nos arrojan un concreto de muy buena calidad con una resistencia a la compresión, f'c promedio de 36.7 MPa o de 5000PSI (ver anexo 4. Resultados de ensayos de campo y laboratorio), que se asemejan al resultado de ensayo a compresión sobre núcleos de concreto extraídos y realizado por Asocreto, con resultado de resistencia a rotura de (resistencia a compresión) f'c=30.93 MPa, ensayo realizado sobre el mismo elemento.

Con base en lo anterior concluimos que las viviendas o apartamentos que configuran cada uno de los bloques del Conjunto Residencial Bosques De La Hacienda aunque se diseñaron con una normatividad antigua, las viviendas cumplen a satisfacción su comportamiento estructural y de seguridad para las personas que allí habitan.

Las viviendas o apartamentos que configuran cada uno de los bloques del Conjunto Residencial Bosques De La Hacienda no presentan evidencia física de deterioro estructural.

Se recomienda realizar trabajos de manejo de escorrentía sobretodo cerca de las vías de acceso peatonal y vehicular, para evitar presencia de socavones y zanjas que permiten infiltración hacia la cimentación y pérdida de suelos con capacidad portante para los andenes.

Se recomienda dar tratamiento de recubrimiento adecuado a los cortes y taludes aledaños a cada bloque con el fin de evitar y/o dar tratamiento a la escorrentía.

Se realizó una inspección visual detallada de cada interior tanto en fachada como internamente con el fin de encontrar grietas y/o fisuras estructurales o señales de asentamientos diferenciales que comprometieran el comportamiento de los bloques de apartamentos y **no se evidencia ninguna grieta o fisura que comprometa las estructuras, por lo tanto se evidencia solo grietas en pañetes debido a su gran espesor de entre 4 y 6 cm lo cual genera retracción de fraguado y agrietamiento pero solo del mortero y no de la estructura.**

Hay algunas zonas que los habitantes del sector han decidido ampliar sobre todo en la zona de los patios de ropas, construyendo un segundo nivel. La mayoría ha empleado columnetas y placa de entrepiso en concreto y bloque No 4 de perforación horizontal como mampostería confinada que a simple vista se ve bien trabajada y que con la presencia de columnetas y viga cinta funciona satisfactoriamente desde el punto de vista estructural.

Sin embargo hay algunas construcciones en la que solamente se ha empleado bloque No 4 de perforación horizontal sin columneta y sin viga cinta, estos espacios si son susceptibles a presentar daño estructural y riesgo inminente a las personas que habitan el primer nivel ya que no tiene ninguna disposición sísmica.

A estas construcciones realizadas y/o terminadas por la comunidad se les debe advertir del problema que se pueden estar generando y que se deberían reforzar sísmicamente continuando la construcción de las columnetas en altura en las esquinas de cada zona a ampliar, con el fin de mitigar su posible efecto de caída o derrumbe de estas construcciones.

19 PLAN DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DEL RIESGO

Según las condiciones geológicas, geomorfológicas y morfodinámicas presentes en el área, el sitio donde se ubica la Urbanización, desde el punto de vista geológico-geomorfológico presenta buenas condiciones de estabilidad; desde el punto de vista morfodinámico, se presentan pequeños procesos de inestabilidad en sitios muy localizados y puntuales; estos procesos puntuales son fenómenos de caída de detritos y rocas, y procesos erosivos de las clases laminar, surcos y algunas cárcavas; dichos procesos no involucran en lo mínimo la estabilidad de las viviendas.

En la zona de estudio el fenómeno de subsidencia por parte de los túneles se descarta ya que su extensión es limitada y no está en el área de influencia o colindantes de la urbanización, en cuanto a la estabilidad de dichas obras, durante los reconocimientos geológicos de campo para el desarrollo de este proyecto, no se observaron problemas de estabilidad en los portales de entrada de los túneles, ni en las excavaciones de los mismos, así como tampoco en las zonas de alineamiento en superficie.

En el Anexo VII se encuentran los Diseño de las Obras que se implementaran para reducir la susceptibilidad por erosión de la zona de estudio.

19.1 DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO

La construcción de las obras propuestas para reducir la Susceptibilidad por erosión en la zona de estudio, las cuales conllevan la realización de las siguientes actividades generales regidas por las Especificaciones Generales de Construcción del INVIAS INV-07 e IDU-ET-2005:

19.1.1 Medidas estructurales

- Construcción de obras de contención (excavaciones, muro de concreto, muros de contención en gavión).
- Construcción de las obras de manejo de aguas (cunetas, trinchera drenantes,).

19.1.2 Medidas no estructurales

- Delimitación de las áreas de protección y aislamiento.
- Empradización y recuperación de las zonas intervenidas causados la intervención de las maquinarias (revegetación, reconstrucción de vías, cuentas, etc.).

- La reconstrucción de canales y la construcción de cunetas en la parte superior e inferior de los taludes a intervenir.

19.2 MEDIDAS ESTRUCTURALES

19.2.1 Excavación

La excavación manual se refiere a movimientos de tierra de volúmenes pequeños y a poca profundidad necesarios para la ejecución de zapatas, vigas de amarre, vigas de rigidez, muros de contención y otros donde no sea posible realizarlo por medios mecánicos. Se incluye en este ítem el trasiego, cargue y retiro de sobrantes.

Es aquel material que no se asimila a la clasificación de roca ya definida y que pueden extraerse por los métodos manuales normales o mecánicos utilizando las herramientas y equipos de uso frecuente para esta clase de labor: barras, picas, palas, retroexcavadoras. Entre estos materiales están: arcilla, limo, arena, cascajo y piedras con tamaño inferior a 50 cm. (20"), sin tener en cuenta el grado de compactación o dureza y considerados en forma conjunta o independiente.

Debe evaluarse en todos los casos si resultan más económica y conveniente realizarla por medios mecánicos.

Si el terreno es firme o si se hace sobre material de relleno, los cortes serán verticales; pero si el terreno no es consistente, se harán cortes inclinados y por trincheras, para asegurar su estabilidad sin necesidad de usar acodalamientos en la medida de lo posible.

Cuando el terreno es fangoso ó inestable deben entibarse las paredes a medida que se avanza en los cortes. La entibación se hará utilizando tablas colocadas horizontalmente y sostenidas por parales bien afirmados o puntales transversales. El entibado puede usarse en terrenos firmes siempre y cuando las excavaciones tengan una profundidad mayor a un metro y se quiera evitar la excavación de taludes.

La tierra que se extraiga de las excavaciones deberá depositarse a una distancia mínima de un metro del borde de las zanjas, mientras se procede a su retiro del sitio.

19.2.2 Muro de concreto

Este capítulo hace una descripción general de las medidas estructurales de las dos (2) alternativas planteadas en la zona de estudio donde en el capítulo 19.4 se presenta una descripción detallada de las obras planteadas para cada alternativa propuesta por la consultoría.

Se recomienda realizar muros en concreto, para las estructuras a porticadas para ello se utilizo el diagrama de presión de tierras que se muestra en la Ilustración 63, estas obras se localizan en el PLANO GE 269 PL-16 LOCALIZACIÓN OBRAS ALTERNATIVA 2.

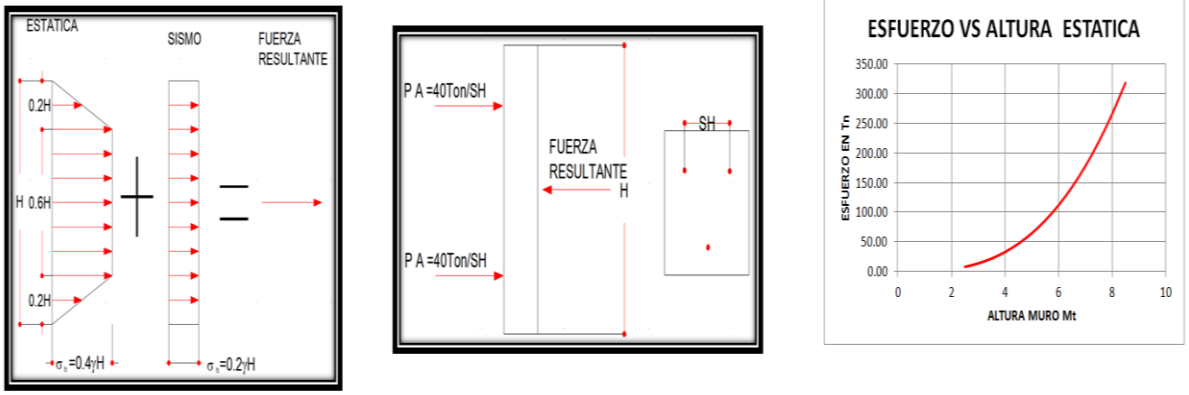


Ilustración 63 Diagramas de presión aproximada de la Tierra

Para los muros de concreto se propone la implementación en la parte superior de la ladera, de un muro aporticado de concreto reforzado con losas en concreto, de 3.0 m de altura en la parte alta de la vía en la zona norte del área de estudio. Asimismo, reconformación de la superficie con una pendiente menor a 24° en la Zona Norte, una pendiente menor a 15° en la Zona Sur (1V:2.5H), para su posterior revegetalización.

Es de resaltar que se considera de vital importancia que las obras de la Urbanización Molino Verde planteadas en el "Estudio de amenaza y riesgo por Procesos de Fenómenos de Remoción en Masa, Proyecto molinos calle 48 JB Sur No 5D-0 int.16- AUS-7376-1" Versión 1 de fecha marzo 15 de 2010 para la "URBANIZACIÓN HACIENDA MOLINOS" el cual según el CT:5791 emitido por el FOPAE **CUMPLE**, sean realizadas por el constructor que realiza la intervención, lo cual garantiza la estabilidad de la zona en el sector sur. Dentro de las obras que plantea el documento se plantea la construcción de un muro de contención en suelo reforzado con geotextil con una altura promedio de 7 m de altura y una inclinación de 70°.

19.2.3 Obras de manejo de aguas

De manera complementaria, para controlar el drenaje superficial y subsuperficial, se propone la construcción de una zanja de coronación triangular en concreto a todo lo largo de la zona de estudio (Parte superior de la ladera), cuentas rectangular en concreto ambos costados de la vía y en la parte baja del talud aledaña a las viviendas y se construirán cajas colectoras conectadas entre ellas con tubería de PVC de diámetro 6", con el fin de recoger las aguas de las canaletas. La zanja de

coronación entregará de manera controlada al sistema de drenaje pluvial de la zona, bien sea en su parte superior, o mediante un disipador de energía a la parte baja del talud.

19.2.3.1 Obras de drenaje superficial

Las obras de drenaje superficial propuestas son cunetas con trincheras drenantes, que servirán para recoger las aguas procedentes de las partes altas del barrio y posibles infiltraciones de aguas de las casas vecinas, con el fin de evitar la infiltración y/o saturación en los taludes. Para el cálculo de estas estructuras se utilizó la fórmula de Manning para flujo uniforme:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \cdot A$$

Donde:

Q es el caudal (m^3/s)

R es el radio hidráulico (m)

S es la pendiente del canal (m/m)

A es el área de la sección mojada del canal (m^2)

n es el coeficiente de rugosidad de Manning.

Los principales criterios de diseño de las cunetas y canales son los siguientes:

- ✓ Las frecuencias de las crecientes de diseño (Tr) es de 50 años (para estar en concordancia con los lineamientos de la Resolución 227 de 2006).
- ✓ Si las pendientes longitudinales de las estructuras son superiores al 2%, se recomienda revestirlas en piedra pegada, concreto y/o sacos de suelo-cemento, con el fin de evitar la profundización de los mismos.
- ✓ La velocidad mínima debe ser de 0.25 m/s y la velocidad máxima admisible de 6 m/s.

Reconformaciones a lo largo del talud donde se va a implementar el sistema de confinamiento celular.

Por otra parte y con objetivo de evitar fallas locales en eventos extremos, se propone la reposición del material a retirar localizado en las zonas donde implementa el muro en gavión y el muro de

concreto aporticado, por material seleccionado, de iguales especificaciones al relleno para la estructura de contención.

En el Anexo VII se presenta el cálculo de las obras propuestas

19.3 MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

Como medidas no estructurales se contemplan las siguientes:

19.3.1 Delimitación de las áreas de protección y aislamiento

Se debe ejecutar cerramientos provisionales, perimetral, Suministro, armada e instalación de cerramiento en lona, de acuerdo a lo señalado en los Planos Constructivos para la obra.

La localización de estos será señalada por el Interventor de acuerdo a la proyección de vías, la posición de los accesos, de las obras existentes en el predio, de las redes de infraestructura y de las áreas internas requeridas por la obra, evitando interferencias en la circulación de vehículos y peatones y respetando las normas vigentes sobre manejo de espacios públicos.

Se tendrá cuidado en la previsión de taludes resultantes de la excavación de cimientos para el replanteo del mismo.

Se debe tener en cuenta la colocación de las vallas de publicidad para evitar que interfieran con el desarrollo de la Construcción, así como las normas municipales sobre ocupación de vías.

19.3.2 Empradización y recuperación de las zonas intervenidas

La implementación de este ítem contempla la colocación de tierra vegetal y grama perfiladas según cotas y niveles requeridos de acuerdo con los planos generales del proyecto.

Antes de proceder a la empradización, se debe verificar los niveles y se deben instalar tierra vegetal con una capa mínima de 20 cms. Antes de proceder a colocar los cespedones o tapetes de grama, el constructor dará aviso a la Interventoría para verificar el nivel del terreno y proceder a dar la aprobación correspondiente al inicio de esta actividad. Cuando se utilicen cespedones ó tapetes en la ejecución de empradizaciones, los espacios libres entre ellos se rellenarán con tierra vegetal debidamente nivelada y apisonada.

Una vez sembrada la grama, deberá ser cuidada y sometida a riego hasta el recibo final de las obras objeto del concreto.

Las zonas verdes que se afecten con la obra se podrán rellenar con el mismo material procedente de la excavación, seleccionándolo. Sobre este se colocara una capa de 10 cm. de tierra negra, y sobre se colocaran los cespedones debidamente podados y cortados.

- La reconstrucción de canales y la construcción de cunetas en la parte superior e inferior de los taludes a intervenir.

19.4 PLANTEAMIENTO DE OPCIONES DE DISEÑO OBRAS DE MITIGACIÓN

Con el objeto de reducir la Susceptibilidad por erosión en la zona y que se eviten problemas que desencadenen otros fenómenos de mayores consecuencias en el mediano plazo, se propone una combinación de obras que tienen el propósito de mantener las condiciones de estabilidad que presenta la zona de estudio. A continuación se presenta las opciones de diseño propuesta para mitigar el riesgo existente en la zona objeto de estudio.

19.4.1 Opción De Diseño 1

La opción de diseño 1 comprende la realización de obras tales que den cumplimiento a la normatividad distrital vigente (VER PLANOS GE-269-PL15 LOCALIZACIÓN OBRAS ALTERNATIVA 1, GE-269-PL15A PERFILES Y DETALLES DE OBRA ALTERNATIVA 1, GE-269-PL15B PERFILES Y DETALLES DE OBRA ALTERNATIVA 1).

a) Implementación de sistema de confinamiento celular contra erosión “Sistema Neoweb o equivalente” en las caras del talud donde aflora la roca; en el Anexo VIII se encuentra las especificaciones del producto.

b) Construcción de un muro en gavión en la parte norte de la zona de estudio protegiendo la vía y conteniendo la caída de detritos y flujos de sección 1 m de alto y 1 m de base con una longitud de 65 m.

c) Se perfilara el talud con una pendiente entre 45 grados a 60 grados en la implementación del sistema de confinamiento celular en la zona norte y en el afloramiento de la roca masiva aledañas a las viviendas (esta reconformación no tiene afectación a las viviendas), para disminuir su pendiente y se empradizara para ayudar con el manejo de las aguas lluvias; es necesario que el talud del costado oriental sea perfilado y protegido con la implementación del sistema de confinamiento celular contra erosión ya que en esta zona se presenta en mayor consideración la caída de detritos, material y de rocas que podrían afectar las

viviendas de estos interiores y se recomienda dejar la cerca en el mismo punto antes de empezar las obras y después de haber perfilado este talud.

d) Empradización con cespedón en la zona sur oriental de la zona de estudio en una pendiente de 45° recuperando algunas zonas verde intervenidas por la construcción de las obras.

e) Empradización con cespedón en la zona norte realizando limpieza y perfilado del talud en un pendiente de 50° a 45°.

f) Colocación e implementación de sardinel prefabricado tipo IDU A-10 ambos costado del sendero peatonal.

g) Reconformación del sendero peatonal con una capa asfáltica con una capa de rodadura hidráulica ó MDC-2 con un espesor de 6 cm implementado bolardos en concreto tipo IDU a ambos costados para restringir el ingreso de vehículos a las zonas residenciales.

h) Colocación de baranda de protección tipo IDU M-80.

i) Las obras de drenaje tienen un papel de gran importancia, para el manejo de la aguas se construirá:

- Zanja de coronación triangular en concreto a todo lo largo de la zona de estudio (Parte superior de la ladera).
- Cunetas rectangulares en concreto en la parte baja del talud aledaña a las viviendas y ambos costados de la vía.
- Se construirán cajas colectoras conectadas entre ellas con tubería de PVC de diámetro 6”, con el fin de recoger las aguas de las canaletas.
- Instalación de tubería conectora a pozo de 12".

19.4.2 Opción De Diseño 2

La opción de diseño 2 comprende la realización de obras tales que den cumplimiento a la normatividad Nacional vigente (GE-269-PL16 LOCALIZACIÓN OBRAS ALTERNATIVA 2, GE-269-PL16A PERFILES Y DETALLES DE OBRA ALTERNATIVA 2, GE-269-PL16B PERFILES Y DETALLES DE OBRA ALTERNATIVA 2.

a) Construcción de columnas en concreto reforzado aporticado de unos 3.6 m de altura con viguetas en concreto pobre de 6 cm de con losas de concreto prefabricado en parte norte y oriente de la zona de estudio.

b) Perfilación del talud con una pendiente menor o igual a 60° y posterior Implementación de una fachada con agromanto permanente o similar en el afloramiento de la roca masiva aledañas a las viviendas (esta reconformación no tiene afectación a las viviendas), para disminuir su pendiente y se empradizara para ayudar con el manejo de las aguas lluvias.

c) Colocación e implementación de sardinel prefabricado tipo IDU A-10 ambos costado del sendero peatonal.

d) Empradización con cespedón en la zona sur oriental, en el talud de la zona norte en y en el talud de la zona central frente a los interiores del 6 al 10 de la zona de estudio en una pendiente de 45° recuperando algunas zonas verde intervenidas por la construcción de las obras.

e) Reconformación del sendero peatonal con una capa asfáltica con una capa de rodadura hidráulica ó MDC-2 con un espesor de 6 cm implementado bolardos en concreto tipo IDU a ambos costados para restringir el ingreso de vehículos a las zonas residenciales.

f) Colocación de baranda de protección tipo IDU M-80.

g) Las obras de drenaje tienen un papel de gran importancia, para el manejo de la aguas se construirá:

- Zanja de coronación a todo lo largo de la zona de estudio (Parte superior de la ladera).

- Cunetas rectangulares en concreto en la parte baja del talud aledaña a las viviendas y ambos costados de la vía.

- Se construirán cajas colectoras conectadas entre ellas con tubería de PVC de diámetro 6”, con el fin de recoger las aguas de las canaletas.

- Instalación de tubería conectora a pozo de 12".

19.4.3 Opción De Diseño 3

La opción de diseño 3 comprende la realización de obras tales que den cumplimiento a la normatividad Nacional vigente (GE-269-PL17 LOCALIZACIÓN OBRAS ALTERNATIVA 3, GE-269-PL17A PERFILES Y DETALLES DE OBRA ALTERNATIVA 3, GE-269-PL17B PERFILES Y DETALLES DE OBRA ALTERNATIVA 3.

a) Se realizará un limpieza del talud con una pendiente de 70 grados en la implementación de Manta de hormigón o equivalente en la zona oriental y en el afloramiento de la roca masiva aledañas a las viviendas (esta reconformación no tiene afectación a las viviendas),

b) Colocación e implementación de sardinel prefabricado tipo IDU A-10 ambos costado del sendero peatonal.

c) Empradización con cespedón en la zona sur oriental, en el talud de la zona norte en y en el talud de la zona central frente a los interiores del 6 al 10 de la zona de estudio en una pendiente de 45° recuperando algunas zonas verde intervenidas por la construcción de las obras.

d) Reconformación del sendero peatonal con una capa asfáltica con una capa de rodadura hidráulica ó MDC-2 con un espesor de 6 cm implementado bolardos en concreto tipo IDU a ambos costados para restringir el ingreso de vehículos a las zonas residenciales.

e) Colocación de baranda de protección tipo IDU M-80.

f) Las obras de drenaje tienen un papel de gran importancia, para el manejo de la aguas se construirá:

- Cunetas triangulares en concreto en la zona norte (Parte superior e inferior de la ladera).

- Cunetas rectangulares en concreto en la parte baja del talud aledaña a las viviendas y ambos costados de la vía.

- Se construirán cajas colectoras conectadas entre ellas con tubería de PVC de diámetro 6”, con el fin de recoger las aguas de las canaletas.

- Instalación de tubería conectora a pozo de 12".

Las especificaciones técnicas de cada ítem descrito en las opciones de diseño se encuentran en el Anexo VIII.

19.5 ANÁLISIS DE RIESGO DE LAS OPCIONES DE DISEÑOS EVALUADAS

El riesgo corresponde a la estimación de las consecuencias físicas, sociales o económicas, representados por las posibles pérdidas de vidas humanas, daño en personas, en propiedades o interrupción de actividades económicas, debido a los fenómenos de remoción en masa que se presentan en la zona de estudio.

Para la evaluación del riesgo se consideran el grado de amenaza y su influencia espacial y el grado de vulnerabilidad de los elementos expuestos; sin embargo con las obras de mitigación es posible reducir la amenaza y la vulnerabilidad como se observa en los capítulos 17.2 y 17.4 por lo tanto el riesgo es bajo. (VER PLANOS GE-269-PL08 AMENAZA, PLANOS GE-269-PL09 VULNERABILIDAD, GE-269-PL10 RIESGO, GE-269-PL11 AMENAZA FUTURA 50 AÑOS SIN OBRAS, GE-269-PL12 AMENAZA CON OBRAS Y GE-269-PL14 RIESGO CON OBRA)

19.6 PLAN DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO

Para el seguimiento de las obras se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Reconocimiento visual periódico de la zona: inspecciones detalladas a la zona, las cuales se deberán intensificar en periodos de lluvia.

- Medición de movimientos horizontales y verticales: durante la construcción se deben colocar puntos de control topográfico en algunos puntos sobre los taludes, los cuales se deben controlar por un período de no menos de seis (6) meses con periodicidad mensual.

- Se recomienda a la comunidad, la protección y el buen uso de las obras propuestas para su buen funcionamiento y durabilidad; en cuanto a la disposición de los espacios libres, se recomienda la adecuación de jardines y zonas verdes.

- Para la realización de la obra, el contratista deberá realizar el manual de mantenimiento en donde se enmarque los procedimientos de trabajo y de control, ajustándose a las disposiciones del proyecto y del distrito. Estos procedimientos deben tener las instrucciones en un lenguaje común y de fácil compresión para la comunidad. El diseño del manual de mantenimiento debe contemplar que existen algunas obras las cuales requieren mantenimiento continuo por parte del conjunto residencial.

- Se recomienda realizar un monitoreo o seguimiento durante la ejecución de las excavaciones para la realización de las obras correctivas y una vez se hayan ejecutado las mismas.

- Verificación de la calidad de los materiales (acero, concreto, gaviones, rellenos, etc.) a utilizar durante la construcción de las obras de mitigación, contemplando que cumplan con las condiciones establecidas en los diseños o las normas correspondientes.

- Después de un sismo se debe observar el suelo alrededor de las obras, para determinar la posible presencia de grietas, hundimientos, deslizamientos o cualquier anomalía en el terreno que pueda afectar las obras.

- Observar desde el exterior el estado general de las obras, daños en pantallas, antepechos, etc, así como el estado de las construcciones vecinas, estableciendo si las vías de acceso y de evacuación son seguras.

- Evaluar los elementos no estructurales, clasificando el grado de daño y estableciendo el porcentaje de elementos afectados en el área con mayores daños.

19.7 PRESUPUESTO Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN

19.7.1 Zona Norte

A continuación se presentan los presupuestos de las alternativas planteadas para la zona norte para la alternativa 1,2 y 3.

a. Las obras estimadas para la alternativa 1 en la zona norte tienen un costo total de $59.030.455.00 como costo directo y un AIU estimado de 30% con un valor de $76.739.592.00 en la Tabla 50 de este capítulo se presenta el cuadro de presupuesto y cantidades de las obras recomendadas.

Tabla 50 Costo Obra Alternativa 1 Zona Norte

BOSQUES DE LA HACIENDA ZONA NORTE - OPCIÓN DE DISEÑO 1					
ITEM	**DESCRIPCION**	**UND**	**CANT**	**VALOR UNITARIO**	**VALOR TOTAL ITEM**
1.	**GENERALIDADES**				
1.1	Localización y replanteo	m²	280	$ 2.495,00	$ 698.600,00
1.2	Aislamiento y proteccion de la zona a intervenir H= 2,0 m en repisa y lona verde	ml	120	$ 10.479,00	$ 1.257.480,00
2.	**EXCAVACIONES**				
2.1	Descapote (e=5 cm, Incluye Cargue y disposición final a botadero)	m²	10	$ 11.342,00	$ 113.420,00
2.5	Excavación manual en roca blanda o suelo residual (Incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m³	46	$ 43.930,00	$ 2.020.780,00
2.6	Limpieza de material rodado (Incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m³	32	$ 23.897,00	$ 764.704,00
3.	**ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN**				
3.1	Construcción muro en gavión (Incluye suministro de malla, formaleta y piedra rajón según especificación)	m³	65	$ 114.770,00	$ 7.460.050,00
3.2	Empradización con cespedón (Incluye suministro y colocación de material + tierra negra + estacón)	m²	266	$ 11.876,00	$ 3.159.016,00
3.4	Barras de anclaje (Longitud 1.20 m)	und	17	$ 246.850,00	$ 4.196.450,00
3.5	Sistema de Confinamiento Celular incluye tierra negra y grava.	m²	355	$ 66.000,00	$ 23.430.000,00
3.6	Pernos de acero (Soil Nailing 1/2")	und	286	$ 2.400,00	$ 686.400,00
4.	**OBRAS DE DRENAJE**				
4.3	Geotextil NT-3000 o Similar (Incluye suministro e instalacion)	m²	350	$ 8.350,00	$ 2.922.500,00
4.5	Cunetas en concreto tipo 1 (Incluye suministro e instalación del material y solado e=0,25m)	ml	142	$ 43.288,00	$ 6.146.896,00
4.19	Suministro e instalación de Tubería Ø12" Novafort para conducción a pozo principal (incluye relleno con material seleccionado, compactación, transporte de los materiales al sitio de ejecución de los trabajos)	ml	11	$ 136.918,00	$ 1.506.098,00
4.22	Construcción de cajas de inspección en mampostería y pañete impermeabilizado Tipo 1 de (1,0x1,0x1,5)m (incluye marco y tapa)	und	6	$ 302.807,00	$ 1.816.842,00
6.	**OBRAS COMPLEMENTARIAS**				
6.19	Alquiler predio	gl	2	$ 349.300,00	$ 698.600,00
6.20	Solado en concreto de resistencia 1500 PSI	m³	7	$ 307.517,00	$ 2.152.619,00
	VALOR REPRESENTATIVO OBRA-BOSQUES DE LA HACIENDA ZONA NORTE - OPCIÓN DE DISEÑO 1				**$ 59.030.455,00**
				A.I.U. 30%	**$ 17.709.137,00**
	VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRA-BOSQUES DE LA HACIENDA ZONA NORTE - OPCIÓN DE DISEÑO 1				**$ 76.739.592,00**

b. Las obras estimadas para la alternativa 2 y 3 de la zona norte tienen un costo total $ 37.527.855,00 como costo directo y un AIU estimado del 30% con un valor $ 48.786.212.00 en la Tabla 51 de este capítulo se presenta el cuadro de presupuesto y cantidades de las obras recomendadas.

Tabla 51 Costo Obra Alternativa 2 y 3 Zona Norte

BOSQUES DE LA HACIENDA ZONA NORTE - OPCIÓN DE DISEÑO 2 y 3.					
ITEM	**DESCRIPCION**	**UND**	**CANT**	**VALOR UNITARIO**	**VALOR TOTAL ITEM**
1.	**GENERALIDADES**				
1.1	Localización y replanteo	m²	300	$ 2.495,00	$ 748.500,00
1.2	Aislamiento y proteccion de la zona a intervenir H= 2,0 m en repisa y lona verde	ml	160	$ 10.479,00	$ 1.676.640,00
2.	**EXCAVACIONES**				
2.1	Descapote (e=5 cm, Incluye Cargue y disposición final a botadero)	m²	20	$ 11.342,00	$ 226.840,00
2.4	Excavación manual en suelo (Incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m³	205	$ 38.795,00	$ 7.952.975,00
2.6	Limpieza de material rodado (Incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m³	50	$ 23.897,00	$ 1.194.850,00
3.	**ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN**				
3.2	Empradización con cespedón (Incluye suministro y colocación de material + tierra negra + estacón)	m²	630	$ 11.876,00	$ 7.481.880,00
3.6	Pernos de acero (soil nailing 1/2")	und	90	$ 2.400,00	$ 216.000,00
3.7	Malla eslabonada (Suministro e instalación)	m²	190	$ 29.155,00	$ 5.539.450,00
4.	**OBRAS DE DRENAJE**				
4.7	Cunetas en concreto tipo 1 (Incluye suministro e instalación del material y solado e=0,25m)	ml	187	$ 43.288,00	$ 8.094.856,00
4.20	Suministro e instalación de Tubería PVC Ø12" sanitaria para conducción de aguas negras y lluviasentre cajas colectoras (incluye relleno con material seleccionado, compactación, transporte de los materiales al sitio de ejecución de los trabajos y accesorios)	ml	10	$ 73.392,00	$ 733.920,00
4.22	Construcción de cajas de inspección en mampostería y pañete impermeabilizado Tipo 1 de (1,0x1,0x1,5)m (incluye marco y tapa)	und	6	$ 302.807,00	$ 1.816.842,00
6.	**OBRAS COMPLEMENTARIAS**				
6.20	Solado en concreto de resistencia 1500 PSI	m³	6	$ 307.517,00	$ 1.845.102,00
	VALOR REPRESENTATIVO OBRA-BOSQUES DE LA HACIENDA ZONA NORTE - OPCIÓN DE DISEÑO 2 y 3.				**$ 37.527.855,00**
				A.I.U. 30%	**$ 11.258.357,00**
	VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRA-BOSQUES DE LA HACIENDA ZONA NORTE - OPCIÓN DE DISEÑO 2 y 3.				**$ 48.786.212,00**

19.7.2 Zona Oriental

A continuación se presentan los presupuestos de las obras que se plantearon para la zona oriental para la alternativa 1, 2, y 3.

c. Las obras estimadas para la alternativa 1 de la zona oriental tienen un costo total $ 62.541.172.00 como costo directo y un AIU estimado del 30% con un valor $

81.303.524,00 en la Tabla 52 de este capítulo se presenta el cuadro de presupuesto y cantidades de las obras recomendadas

Tabla 52 Costo Obra Alternativa 1 Zona Oriental

BOSQUES DE LA HACIENDA - OPCIÓN DE DISEÑO 1					
ITEM	**DESCRIPCION**	**UND**	**CANT**	**VALOR UNITARIO**	**VALOR TOTAL ITEM**
1.	**GENERALIDADES**				
1.1	Localización y replanteo	m²	232	$ 2.495,00	$ 578.840,00
1.2	Aislamiento y proteccion de la zona a intervenir H= 2,0 m en repisa y lona verde	ml	164	$ 10.479,00	$ 1.718.556,00
2.	**EXCAVACIONES**				
2.1	Descapote (e=5 cm, Incluye Cargue y disposición final a botadero)	m²	10	$ 11.342,00	$ 113.420,00
2.4	Excavación manual en suelo (Incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m³	10	$ 38.795,00	$ 387.950,00
2.5	Excavación manual en roca blanda o suelo residual (Incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m³	162	$ 95.292,00	$ 15.437.304,00
3.	**ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN**				
3.2	Empradización con cespedón (Incluye suministro y colocación de material + tierra negra + estacón)	m²	111	$ 11.876,00	$ 1.318.236,00
3.4	Barras de anclaje (Longitud 1.20 m)	und	15	$ 246.850,00	$ 3.702.750,00
3.5	Sistema de Confinamiento Celular incluye tierra negra y grava.	m²	355	$ 66.000,00	$ 23.430.000,00
3.6	Pernos de acero (soil nailing 1/2")	und	442	$ 2.400,00	$ 1.060.800,00
4.	**OBRAS DE DRENAJE**				
4.7	Cuneta en concreto (rectangular) incluye malla electrosoldada Q5	ml	162	$ 44.072,00	$ 7.139.664,00
4,8	Geotextil NT-3000 o Similar (Incluye suministro e instalacion)	m²	296	$ 8.350,00	$ 2.471.600,00
4.19	Suministro e instalación de Tubería Ø12" Novafort para conducción a pozo principal (incluye relleno con material seleccionado, compactación, transporte de los materiales al sitio de ejecución de los trabajos)	ml	6	$ 136.918,00	$ 821.508,00
4.22	Construcción de cajas de inspección en mampostería y pañete impermeabilizado Tipo 1 de (1,0x1,0x1,5)m (incluye marco y tapa)	und	6	$ 302.807,00	$ 1.816.842,00
6.	**OBRAS COMPLEMENTARIAS**				
6.19	Alquiler predio	gl	2	$ 349.300,00	$ 698.600,00
6.20	Solado en concreto de resistencia 1500 PSI	m³	6	$ 307.517,00	$ 1.845.102,00
				VALOR REPRESENTATIVO OBRA-BOSQUES DE LA HACIENDA - OPCIÓN DE DISEÑO 1	**$ 62.541.172,00**
				A.I.U. 30%	**$ 18.762.352,00**
				VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRA-BOSQUES DE LA HACIENDA - OPCIÓN DE DISEÑO 1	**$ 81.303.524,00**

d. Las obras estimadas para la alternativa 2 de la zona oriental tienen un costo total $ 111.106.869.00 como costo directo y un AIU estimado del 30% con un valor $ 144.438.930.00 en la Tabla 53 de este capítulo se presenta el cuadro de presupuesto y cantidades de las obras recomendadas

Tabla 53 Costo Obra Alternativa 2 Zona Oriental

BOSQUES DE LA HACIENDA ZONA ORIENTAL-SUR - OPCIÓN DE DISEÑO 2					
ITEM	**DESCRIPCION**	**UND**	**CANT**	**VALOR UNITARIO**	**VALOR TOTAL ITEM**
1.	**GENERALIDADES**				
1.1	Localización y replanteo	m²	880	$ 2.495,00	$ 2.195.600,00
1.2	Aislamiento y proteccion de la zona a intervenir H= 2,0 m en repisa y lona verde	ml	400	$ 10.479,00	$ 4.191.600,00
2.	**EXCAVACIONES**				
2.1	Descapote (e=5 cm, Incluye Cargue y disposición final a botadero)	m²	20	$ 11.342,00	$ 226.840,00
2.5	Excavación manual en roca blanda o suelo residual (Incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m³	62	$ 95.292,00	$ 5.908.104,00
2.6	Limpieza de material rodado (Incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m³	10	$ 23.897,00	$ 238.970,00
3.	**ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN**				
3.2	Empradización con cespedón (Incluye suministro y colocación de material + tierra negra + estacón)	m²	245	$ 11.876,00	$ 2.909.620,00
3.3	Perno anclado con epóxico (Tipo Sikadur-42) de varilla de acero de diámetro 1/2" y una longitud total de 3m con 2m anclado (incluye transporte de los materiales al sitio de ejecución de los trabajos)	und	40	$ 250.000,00	$ 10.000.000,00
3.11	Concreto de 3000 PSI(suministro e instalación) para estructuras de contención)	m³	61	$ 518.960,00	$ 31.656.560,00
3.13	Suministro y colocación de Acero de refuerzo fy=4200Kg/m²	Kg	2661	$ 5.745,00	$ 15.287.445,00
3,30	Losas de concreto prefabricadas inclueye concreto, refuerzo con malla electrosoldada y mano de obra	UND	240	$ 53.000,00	$ 12.720.000,00
4.	**OBRAS DE DRENAJE**				
4.1	Construcción de filtro con geodren planar (incluye suministro e instalación del material) Altura 0,5m	ml	89	$ 49.593,00	$ 4.413.777,00
4.5	Cuneta en concreto (rectangular) incluye malla electrosoldada Q5	ml	82	$ 44.072,00	$ 3.613.904,00
4.19	Suministro e instalación de Tubería Ø12" Novafort para conducción a pozo principal (incluye relleno con material seleccionado, compactación, transporte de los materiales al sitio de ejecución de los trabajos)	ml	6	$ 136.918,00	$ 821.508,00
4.22	Construcción de cajas de inspección en mampostería y pañete impermeabilizado Tipo 1 de (1,0x1,0x1,5)m (incluye marco y tapa)	und	5	$ 302.807,00	$ 1.514.035,00
5.	**RELLENOS Y PAVIMENTOS**				
5.2	Relleno con material seleccionado (Incluye suministro y compactación de recebo B-200)	m³	230	$ 56.299,00	$ 12.948.770,00
6.	**OBRAS COMPLEMENTARIAS**				
6.20	Solado en concreto de resistencia 1500 PSI	m³	8	$ 307.517,00	$ 2.460.136,00
	VALOR REPRESENTATIVO OBRA-BOSQUES DE LA HACIENDA ZONA ORIENTAL-SUR - OPCIÓN DE DISEÑO 2				**$ 111.106.869,00**
	A.I.U. 30%				**$ 33.332.061,00**
	VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRA-BOSQUES DE LA HACIENDA ZONA ORIENTAL-SUR - OPCIÓN DE DISEÑO 2				**$ 144.438.930,00**

e. Las obras estimadas para la alternativa 3 de la zona oriental tienen un costo total $ 61.742.541.00 como costo directo y un AIU estimado del 30% con un valor $ 80.265.303.00 en la Tabla 54 de este capítulo se presenta el cuadro de presupuesto y cantidades de las obras recomendadas

Tabla 54 Costo Obra Alternativa 3 Zona Oriental

BOSQUES DE LA HACIENDA ZONAS ORIENTAL - OPCIÓN DE DISEÑO 3						
ITEM	**DESCRIPCION**	**UND**	**CANT**	**VALOR UNITARIO**		**VALOR TOTAL ITEM**
1.	**GENERALIDADES**					
1.1	Localización y replanteo	m²	232	$ 2.495,00	$	578.840,00
1.2	Aislamiento y proteccion de la zona a intervenir H= 2,0 m en repisa y lona verde	ml	164	$ 10.479,00	$	1.718.556,00
2.	**EXCAVACIONES**					
2.1	Descapote (e=5 cm, Incluye Cargue y disposición final a botadero)	m²	10	$ 11.342,00	$	113.420,00
2.4	Excavación manual en suelo (Incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m³	20	$ 38.795,00	$	775.900,00
2.6	Limpieza de material rodado (Incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m³	23	$ 95.292,00	$	2.191.716,00
3.	**ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN**					
3,1	Manta de Hormigón (incluye supervisión técnica, insumos basicos y transporte)	m²	355	$ 118.000,00	$	41.890.000,00
3.2	Empradización con cespedón (Incluye suministro y colocación de material + tierra negra + estacón)	m²	124	$ 11.876,00	$	1.472.624,00
3.4	pernos de acero (soil nailing 1/2")	und	420	$ 2.400,00	$	1.008.000,00
4.	**OBRAS DE DRENAJE**					
4,5	Cuneta en concreto (rectangular) incluye malla electrosoldada Q5	ml	82	$ 44.072,00	$	3.613.904,00
4.8	Cunetas en concreto tipo 1 (Incluye suministro e instalación del material y solado e=0,25m)	ml	97	$ 43.288,00	$	4.198.936,00
4.19	Suministro e instalación de Tubería Ø12" Novafort para conducción a pozo principal (incluye relleno con material seleccionado, compactación, transporte de los materiales al sitio de ejecución de los trabajos)	ml	6	$ 136.918,00	$	821.508,00
4.22	Construcción de cajas de inspección en mampostería y pañete impermeabilizado Tipo 1 de (1,0x1,0x1,5)m (incluye marco y tapa)	und	5	$ 302.807,00	$	1.514.035,00
6.	**OBRAS COMPLEMENTARIAS**					
6.20	Solado en concreto de resistencia 1500 PSI	m³	6	$ 307.517,00	$	1.845.102,00
	VALOR REPRESENTATIVO OBRA-BOSQUES DE LA HACIENDA ZONAS ORIENTAL - OPCIÓN DE DISEÑO 3				**$**	**61.742.541,00**
	A.I.U. 30%				**$**	**18.522.762,00**
	VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRA-BOSQUES DE LA HACIENDA ZONAS ORIENTAL - OPCIÓN DE DISEÑO 3				**$**	**80.265.303,00**

19.7.3 Zona Central (incluye Talud central interiores 11 a 15 y 16 a 20 y talud centro – oriental interiores 1 a 5 y 6 a 10).

A continuación se presentan los presupuestos de las obras que se plantearon para la zona Central para la alternativa 1, 2, y 3.

a. Las obras estimadas para la alternativa 1 de la zona central tienen un costo total $ 71.328.003.00 como costo directo y un AIU estimado del 30% con un valor $ 92.726.404.00 en la Tabla 55 de este capítulo se presenta el cuadro de presupuesto y cantidades de las obras recomendadas

Tabla 55 Costo Obra Alternativa 1 Zona Central

BOSQUES DE LA HACIENDA ZONA CENTRO - OPCIÓN DE DISEÑO 1					
ITEM	**DESCRIPCION**	**UND**	**CANT**	**VALOR UNITARIO**	**VALOR TOTAL ITEM**
1.	**GENERALIDADES**				
1.1	Localización y replanteo	m²	330	$ 2.495,00	$ 823.350,00
1.2	Aislamiento y proteccion de la zona a intervenir H= 2,0 m en repisa y lona verde	ml	180	$ 10.479,00	$ 1.886.220,00
2.	**EXCAVACIONES**				
2.1	Descapote (e=5 cm, Incluye Cargue y disposición final a botadero)	m²	8	$ 11.342,00	$ 90.736,00
2.4	Excavación manual en suelo (Incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m³	12	$ 38.795,00	$ 465.540,00
2.5	Excavación manual en roca blanda o suelo residual (Incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m³	182	$ 95.292,00	$ 17.343.144,00
3.	**ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN**				
3.2	Empradización con cespedón (Incluye suministro y colocación de material + tierra negra + estacón)	m²	172	$ 11.876,00	$ 2.042.672,00
3.4	Barras de anclaje (Longitud 1.20 m)	und	17	$ 246.850,00	$ 4.196.450,00
3.5	Sistema de Confinamiento Celular incluye tierra negra y grava.	m²	427	$ 64.000,00	$ 27.328.000,00
3.6	Pernos de acero (soil nailing 1/2")	und	442	$ 2.400,00	$ 1.060.800,00
4.	**OBRAS DE DRENAJE**				
4.7	Cuneta en concreto (rectangular) incluye malla electrosoldada Q5	ml	161	$ 44.072,00	$ 7.095.592,00
4,8	Geotextil NT-3000 o Similar (Incluye suministro e instalacion)	m²	421	$ 8.350,00	$ 3.515.350,00
4.19	Suministro e instalación de Tubería Ø12" Novafort para conducción a pozo principal (incluye relleno con material seleccionado, compactación, transporte de los materiales al sitio de ejecución de los trabajos)	ml	6	$ 136.918,00	$ 821.508,00
4.22	Construcción de cajas de inspección en mampostería y pañete impermeabilizado Tipo 1 de (1,0x1,0x1,5)m (incluye marco y tapa)	und	8	$ 302.807,00	$ 2.422.456,00
6.	**OBRAS COMPLEMENTARIAS**				
6.19	Alquiler predio	gl	2	$ 349.300,00	$ 698.600,00
6.20	Solado en concreto de resistencia 1500 PSI	m³	5	$ 307.517,00	$ 1.537.585,00
VALOR REPRESENTATIVO OBRA-BOSQUES DE LA HACIENDA ZONA CENTRO - OPCIÓN DE DISEÑO 1					**$ 71.328.003,00**
A.I.U. 30%					**$ 21.398.401,00**
VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRA-BOSQUES DE LA HACIENDA ZONA CENTRO - OPCIÓN DE DISEÑO 1					**$ 92.726.404,00**

b. Las obras estimadas para la alternativa 2 de la zona central tienen un costo total $ 59.415.360.00 como costo directo y un AIU estimado del 30% con un valor $ 77.239.968.00 en la Tabla 56 de este capítulo se presenta el cuadro de presupuesto y cantidades de las obras recomendadas.

Tabla 56 Costo Obra Alternativa 2 Zona Central

BOSQUES DE LA HACIENDA ZONA CENTRAL - OPCIÓN DE DISEÑO 2					
ITEM	**DESCRIPCION**	**UND**	**CANT**	**VALOR UNITARIO**	**VALOR TOTAL ITEM**
1.	**GENERALIDADES**				
1.1	Localización y replanteo	m²	776	$ 2.495,00	$ 1.936.120,00
1.2	Aislamiento y proteccion de la zona a intervenir H= 2,0 m en repisa y lona verde	ml	465	$ 10.479,00	$ 4.872.735,00
2.	**EXCAVACIONES**				
2.1	Descapote (e=5 cm, Incluye Cargue y disposición final a botadero)	m²	10	$ 11.342,00	$ 113.420,00
2.5	Excavación manual en roca blanda o suelo residual (Incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m³	193	$ 95.292,00	$ 18.391.356,00
2.6	Limpieza de material rodado (Incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m³	10	$ 23.897,00	$ 238.970,00
3.	**ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN**				
3.2	Empradización con cespedón (Incluye suministro y colocación de material + tierra negra + estacón)	m²	173	$ 11.876,00	$ 2.054.548,00
3.5	Manto permanete P300 LW o similar	m²	427	$ 44.000,00	$ 18.788.000,00
3.6	Pernos de acero (soil nailing 1/2")	und	1328	$ 2.400,00	$ 3.187.200,00
4.	**OBRAS DE DRENAJE**				
4.5	Cuneta en concreto (rectangular) incluye malla electrosoldada Q5	ml	147	$ 44.072,00	$ 6.478.584,00
4.22	Construcción de cajas de inspección en mampostería y pañete impermeabilizado Tipo 1 de (1,0x1,0x1,5)m (incluye marco y tapa)	und	6	$ 302.807,00	$ 1.816.842,00
6.	**OBRAS COMPLEMENTARIAS**				
6.20	Solado en concreto de resistencia 1500 PSI	m³	5	$ 307.517,00	$ 1.537.585,00
	VALOR REPRESENTATIVO OBRA-BOSQUES DE LA HACIENDA ZONA CENTRAL - OPCIÓN DE DISEÑO 2				**$ 59.415.360,00**
				A.I.U. 30%	**$ 17.824.608,00**
	VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRA-BOSQUES DE LA HACIENDA ZONA CENTRAL - OPCIÓN DE DISEÑO 2				**$ 77.239.968,00**

c. Las obras estimadas para la alternativa 3 de la zona central tienen un costo total $ 61.108.117.00 como costo directo y un AIU estimado del 30% con un valor $ 79.440.552.00 en la Tabla 57 de este capítulo se presenta el cuadro de presupuesto y cantidades de las obras recomendadas.

Tabla 57 Costo Obra Alternativa 3 Zona Central

BOSQUES DE LA HACIENDA ZONA CENTRO - OPCIÓN DE DISEÑO 3					
ITEM	**DESCRIPCION**	**UND**	**CANT**	**VALOR UNITARIO**	**VALOR TOTAL ITEM**
1.	**GENERALIDADES**				
1.1	Localización y replanteo	m²	300	$ 2.495,00	$ 748.500,00
1.2	Aislamiento y proteccion de la zona a intervenir H= 2,0 m en repisa y lona verde	ml	130	$ 10.479,00	$ 1.362.270,00
2.	**EXCAVACIONES**				
2.1	Descapote (e=5 cm, Incluye Cargue y disposición final a botadero)	m²	12	$ 11.342,00	$ 136.104,00
2.4	Excavación manual en roca blanda (Incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m³	13	$ 95.292,00	$ 1.238.796,00
2.6	Limpieza de material rodado (Incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m³	12	$ 23.897,00	$ 286.764,00
3.	**ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN**				
3,1	Manta de Hormigón (incluye supervisión técnica, insumos basicos y transporte)	m²	382	$ 118.000,00	$ 45.076.000,00
3.2	Empradización con cespedón (Incluye suministro y colocación de material + tierra negra + estacón)	m²	172	$ 11.876,00	$ 2.042.672,00
3.4	perno de acero (soil nailing 1/2")	und	160	$ 2.400,00	$ 384.000,00
4.	**OBRAS DE DRENAJE**				
4.5	Cuneta en concreto (rectangular) incluye malla electrosoldada Q5	ml	147	$ 44.072,00	$ 6.478.584,00
4.22	Construcción de cajas de inspección en mampostería y pañete impermeabilizado Tipo 1 de (1,0x1,0x1,5)m (incluye marco y tapa)	und	6	$ 302.807,00	$ 1.816.842,00
6.	**OBRAS COMPLEMENTARIAS**				
6.20	Solado en concreto de resistencia 1500 PSI	m³	5	$ 307.517,00	$ 1.537.585,00
	VALOR REPRESENTATIVO OBRA-BOSQUES DE LA HACIENDA ZONA CENTRO - OPCIÓN DE DISEÑO 3				**$ 61.108.117,00**
	A.I.U. 30%				**$ 18.332.435,00**
	VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRA-BOSQUES DE LA HACIENDA ZONA CENTRO - OPCIÓN DE DISEÑO 3				**$ 79.440.552,00**

19.7.4 Zona Occidental

A continuación en la Tabla 58, se presenta el presupuesto para las obras a realizar en el costado accidental para las tres alternativas de diseño.

Tabla 58 Costo Obra Alternativa 1, 2 y 3 Zona Occidental

BOSQUES DE LA HACIENDA ZONA OCCIDENTAL - OPCIÓN DE DISEÑO 2					
ITEM	**DESCRIPCION**	**UND**	**CANT**	**VALOR UNITARIO**	**VALOR TOTAL ITEM**
1.	**GENERALIDADES**				
1.1	Localización y replanteo	m²	914	$ 2.495,00	$ 2.280.430,00
1.2	Aislamiento y proteccion de la zona a intervenir H= 2,0 m en repisa y lona verde	ml	222	$ 10.479,00	$ 2.326.338,00
2.	**EXCAVACIONES**				
2.1	Descapote (e=5 cm, Incluye Cargue y disposición final a botadero)	m²	80	$ 11.342,00	$ 907.360,00
2.4	Excavación manual en suelo (Incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m³	63	$ 38.795,00	$ 2.444.085,00
2.6	Limpieza de material rodado (Incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m³	60	$ 23.897,00	$ 1.433.820,00
4.	**OBRAS DE DRENAJE**				
4.5	Cuneta en concreto (rectangular) incluye malla electrosoldada Q5	ml	105	$ 44.072,00	$ 4.627.560,00
4.19	Suministro e instalación de Tubería Ø12" Novafort para conducción a pozo principal (incluye relleno con material seleccionado, compactación, transporte de los materiales al sitio de ejecución de los trabajos)	ml	3	$ 136.918,00	$ 410.754,00
4.22	Construcción de cajas de inspección en mampostería y pañete impermeabilizado Tipo 1 de (1,0x1,0x1,5)m (incluye marco y tapa)	und	7	$ 302.807,00	$ 2.119.649,00
6.	**OBRAS COMPLEMENTARIAS**				
6.20	Solado en concreto de resistencia 1500 PSI	m³	3	$ 307.517,00	$ 922.551,00
	VALOR REPRESENTATIVO OBRA-BOSQUES DE LA HACIENDA ZONA OCCIDENTAL - OPCIÓN DE DISEÑO 2				**$ 17.472.547,00**
	A.I.U. 30%				**$ 5.241.764,00**
	VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRA-BOSQUES DE LA HACIENDA ZONA OCCIDENTAL - OPCIÓN DE DISEÑO 2				**$ 22.714.311,00**

19.7.5 Obras Complementarias

Las obras estimadas para las obras complementarias para las tres alternativas son las mismas recomendaciones y tienen un costo total $ 110.945.275,00 como costo directo y un AIU estimado del 30% con un valor $ 144.228.858,00 en la Tabla 59 de este capítulo se presenta el cuadro de presupuesto y cantidades de las obras recomendadas.

Tabla 59 Costo Obra Alternativa 1, 2 y 3 Obras Complementarias

BOSQUES DE LA HACIENDA OBRAS COMPLEMENTARIAS - OPCIÓN DE DISEÑO 1, 2 Y 3					
ITEM	**DESCRIPCION**	**UND**	**CANT**	**VALOR UNITARIO**	**VALOR TOTAL ITEM**
1.	**GENERALIDADES**				
1.1	Localización y replanteo	m²	800	$ 2.495,00	$ 1.996.000,00
1.2	Aislamiento y proteccion de la zona a intervenir H= 2,0 m en repisa y lona verde	ml	250	$ 10.479,00	$ 2.619.750,00
2.	**EXCAVACIONES**				
2.1	Descapote (e=5 cm, Incluye Cargue y disposición final a botadero)	m²	75	$ 11.342,00	$ 850.650,00
2.4	Excavación manual en suelo (Incluye cargue y retiro de material a sitio de disposición final)	m³	70	$ 38.795,00	$ 2.715.650,00
3.	**ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN**				
3,30	Suministro e instalación de geotextil NT-2000	m²	941	$ 5.618,00	$ 5.286.538,00
4.	**OBRAS DE DRENAJE**				
5.	**RELLENOS Y PAVIMENTOS**				
5.2	Relleno con material seleccionado (Incluye suministro y compactación de Base Granular B-600)	m³	189	$ 69.138,00	$ 13.067.082,00
5.4	Riego de liga (Artículo 421-07-INVIAS)	m²	950	$ 1.719,00	$ 1.633.050,00
5.5	MEZCLA DENSA EN CALIENTE MDC-2 Asfalto 80-100 (Suministro, Extendido y Nivelación Manual y Compactación)	m³	57	$ 448.981,70	$ 25.591.956,90
6.	**OBRAS COMPLEMENTARIAS**				
6.1	Suminitro e instalación de barandas tipo IDU M-80	ml	177	$ 127.600,00	$ 22.585.200,00
6.3	Suministro e instalación de bolardo tipo IDU M-63	und	22	$ 106.402,00	$ 2.340.844,00
6.9	Sardinel prefabricado tipo IDU A10	ml	634	$ 50.881,00	$ 32.258.554,00
	VALOR REPRESENTATIVO OBRA-BOSQUES DE LA HACIENDA OBRAS COMPLEMENTARIAS - OPCIÓN DE DISEÑO 1, 2 Y 3				**$ 110.945.275,00**
	A.I.U. 30%				**$ 33.283.583,00**
	VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRA-BOSQUES DE LA HACIENDA OBRAS COMPLEMENTARIAS - OPCIÓN DE DISEÑO 1, 2 Y 3				**$ 144.228.858,00**

Los valores unitarios de los ítems del presupuesto se tomaron en base a los índices representativos de precios del IDU, y datos del Consultor.

Las especificaciones técnicas de las obras que se proponen en este proyecto se encuentran en el Anexo VIII.

19.8 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS FAVORABLE

Como resultado del estudio realizado se plantearon obras de mitigación, las cuales se ubican en las zonas de susceptibilidad alta y media por erosión definidas en este estudio, con base a los resultados emitido por el geólogo y por la consultoría; las tres (3) alternativas u opciones de diseño propuestas son viables en cuanto a estabilidad y proporcionar mejores condiciones al suelo de la zona de estudio.

Para el talud norte se presentaron dos alternativas con un costo estimado de $ 59.030.455.00 y un AIU del 30% para un total de $ 76.739.592.00, y para la alternativa 2 y 3 se presento una alternativa con un costo estimado de $ 37.527.855.00 y un AIU estimado del 30 % para un total de $48.786.212.00. La opción presentada en la alternativa 3 se considero como la más indicada para la zona norte como alternativa de diseño.

El talud oriental cuenta con tres alternativas de diseño a continuación se presentan los presupuestos estimados para cada una de las opciones de diseño: Alternativa 1 $ 81.303.524,00, Alternativa 2 $ 144.438.930,00, Alternativa 3 $ 80.265.303,00. Para este talud se considera la mejor alternativa la presentada en la opción de diseño 3 tanto económica, técnica y constructiva.

Para la zona intermedia se presenta a continuación los presupuestos obtenidos para cada una de las opciones de diseño: Alternativa 1 $ 92.726.404,00, Alternativa 2 $ 77.239.968,00 y Alternativa 3 $ 79.440.552,00. Para esta zona la Alternativa más económica es la alternativa 2 con una diferencia de $2.200.584.00 sobre la Alternativa 3; para la Consultoría la alternativa más favorable es la alternativa 3 debido a que esta no necesita mantenimientos preventivos menores a los 5 años, mientras que la alternativa 2 requiere de mantenimientos preventivos cada 3 años lo cual en el mediano y largo plazo podría requerir de ingresos adicionales, además de facilidades constructivas de la alternativa 3.

Para la zona occidental se presenta una alternativa, la cual se consideró la más indicada para este sector su costo estimado es de $ 22.715.000.00.

Para las obras adicionales que se plantean en la Urbanización se estima un presupuesto de $141.074.000.

Después de realizar el análisis de costos, económico, técnico y constructivo la Consultoría recomienda la alternativa 3 de diseño. Aunque se evaluaron los taludes independientemente de la alternativa en la cual se encontraba, los beneficios de la alternativa 3 son los más favorables.

En el plano GE-269-PL18 ZONIFICACION DE OBRAS, se encuentra la división de las zonas a intervenir si se procede a la ejecución de alguna de las alternativas planteadas en este documento.

20 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en las observaciones de los reconocimientos de campo, los análisis temáticos, las condiciones geológicas y geomorfológicas encontradas en el área del presente estudio, se obtienen las siguientes consideraciones:

- El área de estudio y sus alrededores, está conformada por areniscas, de color gris claro, con pigmentación rosada y amarillo-naranja por meteorización, grano fino a medio, ocasionalmente grano grueso, en estratos delgados a gruesos, en estratificación cruzada e intercalación de capas muy delgadas de arcillolitas, de resistencia blanda, de baja consolidación y friables. Se presentan intercalaciones de niveles de areniscas grises, grano fino-medio, duras, en estratos en general gruesos a muy gruesos, los cuales fueron utilizados en actividades de explotación minera para la producción de arenas. Estos materiales corresponden a los estratos rocosos de la Formación Regadera, Conjunto Superior (E2rs).

- Desde el punto de vista morfológico, el sitio de estudio y alrededores, fue sometido a actividades antrópicas antiguas para el desarrollo de actividades de explotación de arenas, y posteriormente a explanación para el desarrollo urbanístico; está conformado por laderas de origen estructural denudativo y taludes, con pendiente desde moderada hasta abrupta **(<5° a 40°).**

- Los depósitos antrópicos (escombros), son los materiales procedentes principalmente de los desechos de las antiguas actividades de la explotación minera (arenas para usos industriales) desarrolladas en los alrededores del sitio. Estos materiales se presentan distribuidos especialmente en sectores puntuales de la parte sur fuera de la urbanización, son de pequeña magnitud.

- Del análisis de las diferentes aerofotografías, se observa que la zona de estudio y sus alrededores muestran que: las condiciones geológicas y geomorfológicas, regionales y locales, en general son similares para todas las épocas analizadas. Igualmente, no se observaron procesos de inestabilidad.

- Dentro de los métodos de explotación minera para arenas de ciertas características, en el área y alrededores fueron empleados obras subterráneas correspondientes a algunos Túneles; estos elementos se encuentran localizados en algunos puntos especialmente en la parte sur y suroeste, y fuera de la zona de desarrollo de la Urbanización. De acuerdo con la información obtenida, dichos túneles no alcanzaron a ser ejecutados dentro de la zona de cimentación de la Urbanización. Estas obras presentan longitudes de hasta 60m, con diámetros hasta de 4m, aproximadamente; no presentan una dirección definida, y cuyos

métodos de desarrollo fueron variables según las condiciones y características de los estratos rocosos explotados.

- Desde el punto de vista hidrogeológico, las rocas presentes en el sitio del desarrollo de la Urbanización y sus alrededores, por sus condiciones litológicas, de composición arenácea, por su textura granular, moderada consolidación, friables y pendiente estructural, pueden propiciando una capacidad de drenaje alta y conformar acuíferos, capaces de almacenar y transmitir agua, procedente de la escorrentía superficial y subterránea, las cuales por saturación pueden igualmente contribuir de alguna manera a la degradación e inestabilización aunque moderada, de los taludes y originar local y puntualmente caída de detritos, e incrementar los procesos erosivos.

- De acuerdo con lo manifestado por los habitantes de la Urbanización y las visitas realizadas a las edificaciones de la urbanización, las habitaciones correspondientes a los primeros pisos, presentan intensa y constante humedad, las cuales se consideran son derivadas de las condiciones hidrogeológicas de los macizos rocosos, conformantes del área del presente estudio; así como a la falta generalizada de placas de contrapiso, que aíslen la estructura de estas condiciones.

- De acuerdo con los reconocimientos de campo, las características y condiciones geológicas, geomorfológicas y morfodinámicas presentes en el área, el sitio donde se ubica la Urbanización, desde el punto de vista geológico-geomorfológico presenta buenas condiciones de estabilidad.

- Desde el punto de vista morfodinámico, se presentan pequeños procesos de inestabilidad, de las clases de caída de detritos en sitios muy localizados y puntuales, y procesos de erosión de baja intensidad, aunque la falta de obras y medidas de protección ante estos procesos degradacionales, pueden generar desprendimientos menores y deteriorar las condiciones de estabilidad de la zona a mediano plazo y/o ante la presencia de eventos extremos de lluvia.

- Es de resaltar que se considera de vital importancia que las obras de la Urbanización Molino Verde planteadas en el “Estudio de amenaza y riesgo por Procesos de Fenómenos de Remoción en Masa, Proyecto molinos calle 48 JB Sur No 5D-0 int.16- AUS-7376-1” Versión 1 de fecha marzo 15 de 2010 para la “URBANIZACIÓN HACIENDA MOLINOS” el cual según el CT:5791 emitido por el FOPAE **CUMPLE**, sean realizadas por el constructor que realiza la intervención, lo cual garantiza la estabilidad de la zona en el sector sur. Dentro de las obras que plantea el documento se plantea la construcción de un muro de contención en suelo reforzado con geotextil con una altura promedio de 7 m de altura y una inclinación de 70°.

- Las viviendas o apartamentos que configuran cada uno de los bloques del Conjunto Residencial Bosques De La Hacienda aunque se diseñaron con una normatividad antigua, las viviendas cumplen a satisfacción su comportamiento estructural y de seguridad para las personas que allí habitan, según la normatividad bajo la cual fueron diseñados.

- De acuerdo a los análisis de estabilidad que se realizaron para la Urbanización Bosques De La Hacienda se concluye que no hay procesos por fenómenos de remoción en masa; además la vulnerabilidad que presentan las viviendas es baja al igual que el riesgo por un proceso de FRM.

Las viviendas o apartamentos que configuran cada uno de los bloques del Conjunto Residencial Bosques De La Hacienda no presentan evidencia física de deterioro estructural.

Se recomienda realizar trabajos de manejo de escorrentía sobretodo cerca de las vías de acceso peatonal y vehicular, para evitar presencia de socavones y zanjas que permiten infiltración hacia la cimentación y pérdida de suelos con capacidad portante para los andenes.

Se recomienda dar tratamiento de recubrimiento adecuado a los cortes y taludes aledaños a cada bloque con el fin de evitar y/o dar tratamiento a la escorrentía.

De la comparación de la información obtenida de los diferentes métodos de investigación geológica como son: observación Litológica-Estratigráfica superficial; exploración del subsuelo mediante la ejecución de Sondeos Mecánicos, y por el Método Geofísico, se obtienen las siguientes consideraciones:

- Como resultado de la investigación geofísica se concluyó, que si bien los túneles alcanzan hasta la parte externa del parqueadero (TE01-1 y 01-2), éstos no se ubican bajo las líneas de investigación ejecutadas en las zonas inmediatamente colindantes a la urbanización (TE02-1, 02-2, 03-1, 03-2, 04 y 05).

- De la información de los reconocimientos de campo, se encuentra que la ubicación y desarrollo de los túneles se presentan en la parte sur y sureste, y fuera de la zona de desarrollo de La Urbanización Bosques de la Hacienda; igualmente, el único túnel que se aproxima a la zona de la Urbanización es el A-A', cuyo punto final de excavación se ubica a unos 10 m del andén sur frente al Bloque 5 de dicha urbanización. También, la profundidad de dicho Túnel se encontró a 5.5 m, mediante el Sondeo Mecánico 1 (SM-1).

- De la correlación de la información obtenida y analizada de las diferentes interpretaciones tomográficas, figuras 2 a 9, con la aportada en los Sondeos Mecánicos y la obtenida en las observaciones de campo, se deduce que: **i)** las capas de arcillolitas intercaladas en los

diferentes niveles rocosos, corresponden a estratos lenticulares, que no presentan una continuidad definida, y **ii),** el nivel de roca de resistencia intermedia adura (nRd), el cual fue explotado en años anteriores mediante el método de túneles, presenta un acuñamiento y/o adelgazamiento en dirección Noreste de la Urbanización.

Según los métodos de exploración Geofísicos y exploración directa que se realizaron en la Urbanización, se descarta la presencia de túneles en inmediaciones de la Urbanización Bosques de la Hacienda que puedan afectar la estabilidad de las mismas y se pueda presentar un fenómeno de subsidencia.

Se realizó una inspección visual detallada de cada interior tanto en fachada como internamente con el fin de encontrar grietas y/o fisuras estructurales o señales de asentamientos diferenciales que comprometieran el comportamiento de los bloques de apartamentos y no se evidencia ninguna grieta o fisura que comprometa las estructuras, por lo tanto se evidencia solo grietas en pañetes debido a su gran espesor de entre 4 y 6 cm lo cual genera retracción de fraguado y agrietamiento pero solo del mortero y no de la estructura.

Hay algunas zonas que los habitantes del sector han decidido ampliar sobre todo en la zona de los patios de ropas, construyendo un segundo nivel. La mayoría ha empleado columnetas y placa de entrepiso en concreto y bloque No 4 de perforación horizontal como mampostería confinada que a simple vista se ve bien trabajada y que con la presencia de columnetas y viga cinta funciona satisfactoriamente desde el punto de vista estructural.

Sin embargo hay algunas construcciones en la que solamente se ha empleado bloque No 4 de perforación horizontal sin columneta y sin viga cinta, estos espacios si son susceptibles a presentar daño estructural y riesgo inminente a las personas que habitan el primer nivel ya que no tiene ninguna disposición sísmica.

A estas construcciones realizadas y/o terminadas por la comunidad se les debe advertir del problema que se pueden estar generando y que se deberían reforzar sísmicamente continuando la construcción de las columnetas en altura en las esquinas de cada zona a ampliar, con el fin de mitigar su posible efecto de caída o derrumbe de estas construcciones.

Se recomienda en la zona donde se encuentran los vestigios de los túneles en el sector sur de la zona de estudio hacer un llenado con concreto de 3000 PSI y material proveniente de la zona en una proporción de 70 a 30, respectivamente. Considerando la recomendación técnica realizada en el concepto CT-5791 del FOPAE, en relación con la verificación del cumplimiento de los términos de referencia para el estudio de amenaza y riesgo por fenómenos de remoción en masa para la Urbanización Molino Verde, localizada en el área donde se adelantaron las actividades de extracción

que generaron estos túneles, el FOPAE indica que: "*Es importante que el consultor determine cuál será el método de excavación que garantice la eliminación de estos túneles*", para lo cual el consultor que realizó el estudio de amenaza y riesgos de la Urbanización Molino Verde presentó los detalles de intervención y adecuación de estas zonas; en este orden de ideas se considera que el responsable de la implementación de las mismas debe adelantar estas actividades bien sea efectuando los procedimientos recomendados en el mencionado estudio (siendo responsable a nivel de diseño el consultor que las formuló) o los propuestos en los presentes estudios y diseños.

Las medidas y obras planteadas en el presente estudio tienen como finalidad proteger los taludes de la degradación por fenómenos de erosión y a futuro evitar procesos de inestabilidad, así como mejorar las condiciones de drenaje de la Urbanización Bosques de la Hacienda.

Como resultado del estudio y la escogencia de la mejor alternativa de diseño para proteger la zona ante procesos erosivos se escogió la alternativa 3 la cual se muestra en los planos GE-269 PL17 LOCALIZACIÓN OBRAS ALTERNATIVA 3 y GE-269-PL17A y B PERILES Y DETALLES DE OBRAS, donde para la zona norte se plantea el perfilado del talud, para realizar posterior Empradización y la construcción de cunetas. El presupuesto para este sector es de $ 48.786.212.00 incluye AIU.

Para el sector sur oriental se planteó una limpieza del talud y recubrimiento del talud oriental con manta de hormigón, construcción de cunetas y una Empradización en el extremo sur oriental, el valor de esta alternativa para este sector es de $ 80.265.303.00 incluye AIU.

En la zona central se planteó la implementación de recubrimiento con manta de hormigón, la construcción de cunetas y en el talud comprendido en la zona de los interiores 1 a 5 se plantea limpieza y Empradización de la zona. El valor de estas obras es de $79.440.552.00 incluye AIU.

Al costado occidental se planteó la limpieza del talud y un perfilado superficial con construcción de obras de drenaje, el presupuesto para este sitio es de $ 22.714.311.00, incluye AIU.

Adicionalmente se plantearon obras que ayudan a mejorar la circulación de las aguas de escorrentía del sector, además de mejorar las condiciones de estabilidad de los taludes ya que el agua es un agente detonante de procesos de inestabilidad y acelera los procesos erosivos que se presentan en el sector; como obras complementarias se planteó la adecuación de los caminos peatonales con una estructura de pavimento, adecuación de obras de drenaje, barandas entre otras. El presupuesto para estas obras es de $141.074.000.00 incluye AIU.

La implementación de estas obras tendrá un costo total de $372.281.000.00 incluye AIU, sin embargo se recuerda que cualquiera de las tres (3) alternativas planteadas en el presente estudio, cumple con todos los requerimientos técnicos y son viables si se decide implementar alguna de estas obras.

21 BIBLIOGRAFIA

- www.sire.gov.co
- Ficha para Sitios de Intervención en Zonas de Ladera. Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá DPAE. Enero de 2007
- Mapa Geológico de la Sabana de Bogotá. Esc. 1:120.000; INGEOMINAS; 2005.
- Geología Sabana de Bogotá; INGEOMINAS, Memoria Explicativa; año 2005.
- Propuesta metodológica para los estudios de geomorfología aplicados a la ingeniería (Carvajal, J.H, y otros, Documento inédito; INGEOMINAS, Bogotá D.C, 2004).
- Propuesta metodológica para los estudios de geología aplicados a la ingeniería (Padilla, J.P., y otros, Documento inédito; INGEOMINAS, Bogotá D.C, 2003).
- CARO, P., GARCIA, J. Zonificación Geotécnica del Distrito Especial de Bogotá. INGEOMINAS-DAPD. Bogotá, 1988.
- CARVAJAL, José Henry. Características Geomorfológicas de la Sabana de Bogotá. Memoria Explicativa de mapas a escala 1:25.000. INGEOMINAS. Documento Inédito. Bogotá, D. C. 2005.
- PADILLA, Justo. Geología para Ingeniería de la Sabana de Bogotá. Memoria Explicativa de mapas a escala 1:25.000. INGEOMINAS. Documento inédito. Bogotá, D. C. 2005.
- Fotografías aéreas del IGAC, números 160 y 161, del Vuelo C-2161; año 1988,
- Fotografías aéreas del IGAC, números 103 y 104, del Vuelo SAV-415; año 1998,
- Estudio para el Análisis y Caracterización de Tormentas en la Sabana de Bogotá. IRH INGENIERÍA y RECURSOS HÍDRICOS LTDA. – EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ, Noviembre de 1995.
- Estudio de Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá. INGEOMINAS, 1997.
- GUTIÉRREZ & COLEGIAL 1987. Trabajo de Grado Universidad Nacional de Colombia; INGEOMINAS (1997). Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá. Subproyecto No.

7. Estudios Geofísicos. Santa Fe de Bogotá D.C; INGEOCIM Ltda. – UPES – FOPAE (1998) – Escala 1:10.000

- INGEOMINAS 1997, Estudio Geológico para el estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá, Escala 1:50.000.

- INGEOCIM LTDA. – UPES – FOPAE. 1998, Escala 1:10.000.

- HELMENS KARIN & VAN DER HAMMEN. Plioceno y Cuaternario del Altiplano de Bogotá y alrededores. En Análisis Geográficos No. 24. IGAC. Subdirección de Geografía.

- Zonificación por inestabilidad del terreno para diferentes localidades en la ciudad de Santafé de Bogotá, D.C, INGEOCIM LTDA-UPES-FOPAE, 1998.

- Cardona-Arboleda, O, D, (1989). VULNERABILIDAD Y RIESGO POR DESASTRE –TÉRMINOS DE USO COMÚN EN MANEJO DE RIESGO. Primer taller de planificación en manejo de desastres. Oficina Nacional para la Atención de Desastres. Presidencia de la República de Colombia – Universidad Jorge Tadeo Lozano.

- Leone, F. (1999) Concept de vulnerabilite appliquea L'evaluation des risques generes par les phenomenes de mouvements de terrein. Tesis de doctorado, Universidad de Grenoble.

- Soler, F., González, A. y Vesga, L. (1999). Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa en Santafé de Bogotá, Colombia. XI CPMSIF. Fox de Iguazú, Brasil. Adaptado de Leone (1996).

- Cruden, D. y Varnes D. (1991). Landslides types and processes. Universidad de Alberta.

- Sánchez-Silva, M. Taylor, C.A. & Blockley, D.I. HAZARD MANAGEMENT OF PROJECTS IN A EARTHQUAKE. In: Applications of Statistics an Probability.Lemaire, Favre & Marbarki (eds). Balkema, Rotterdam. 1995.

- Carvalho, C. GERENCIAMIENTO DE RISCOS GEOTÉCNICOS EM ENCOSTAS URBANAS: UMA PROPOSTA BASEADA NA ANALISE DE DECISAO. Tesis de Doctorado. Universidad de Sao Paulo. 1996.

- NSR – 10.