DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C. - DPAE

ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO JUAN JOSÉ RONDÓN SECTOR II-LA UNIÓN, DE LA LOCALIDAD DE USME EN LA CIUDAD DE BOGOTA D.C.

INFORME 3

CONTENIDO

1.0	**GENERALIDADES**	**1-0**
1.1	Introducción	1-1
1.2	Alcances	1-1
1.3	Descripción de Actividades Realizadas	1-2
1.3.1	Recopilación y Revisión de la Información Secundaria	1-2
1.3.2	Reconocimientos de Campo	1-2
1.3.3	Levantamientos Topográficos y Elaboración de los Planos Topográficos	1-2
1.3.4	Exploración del Subsuelo	1-2
1.3.5	Ensayos de Laboratorio	1-3
1.3.6	Geología y Geomorfología	1-3
1.3.7	Análisis Geotécnicos	1-3
1.3.8	Análisis Hidrológicos e Hidráulicos	1-4
1.3.9	Evaluación de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo	1-4
1.3.10	Planteamiento de Medidas de Mitigación	1-4
1.4	Presentación del Informe	1-4
2.0	**CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DEL PROBLEMA Y ESTRUCTURACIÓN DEL ESTUDIO**	**2-0**
2.1	Introducción	2-1
2.2	Caracterización Preliminar del Problema	2-1

2.2.1	Descripción del Problema y Sus Posibles Causas	2-1
2.2.2	Delimitación Geométrica del Área de Estudio	2-1
2.2.3	Concepto Preliminar de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo de la Zona de Estudio	2-1
2.2.4	Alternativas de Solución	2-1
2.3	Estructuración del Estudio	2-2
2.3.1	Definición del Estudio	2-2
2.3.1.1	Objeto	2-2
2.3.1.2	Alcances y Limitaciones	2-2
2.3.1.3	Bases metodológicas	2-2
2.3.1.4	Destinatarios	2-2
2.3.1.5	Documentos Básicos y Especificaciones de Trabajo	2-2
2.3.2	Procedimiento de Ejecución del Estudio	2-2
2.3.2.1	Recopilación y Registro de Información Secundaria	2-2
2.3.2.2	Recolección y Registro de Información Primaria	2-3
2.3.2.3	Análisis de Información y Resultados	2-4
2.3.2.4	Conclusiones	2-5
2.3.2.5	Análisis de Alternativas y Diseños	2-5
2.4	Modelos y Metodologías de Análisis	2-5
2.4.1	Análisis Hidráulicos	2-5
2.4.2	Análisis Geotécnicos	2-5
3.0	**TOPOGRAFÍA**	**3-0**
3.1	Alcances	3-1
3.2	Metodología	3-1
3.2.1	Levantamiento Planimétrico	3-1
3.2.2	Levantamiento Altimétrico	3-1
3.2.3	Precisión del Levantamiento	3-1
3.3	Trabajos de Campo	3-1

3.4 Equipos Utilizados 3-2

4.0 ESTUDIO GEOLÓGICO 4-0

4.1 Metodología de Trabajo 4-1

4.2 Marco Geológico Regional 4-1

4.2.1 Rocas del Cretáceo 4-1

4.2.1.1 Grupo Guadalupe - Formación Labor y Tierna (Ksgl- Ksgt) 4-1

4.2.2 Rocas del Cretáceo – Terciario 4-3

4.2.2.1 Formación Guaduas (Ktg) 4-3

4.2.3 Rocas del Terciario 4-4

4.2.3.1 Formación Cacho (Tpc) 4-4

4.2.3.2 Formación Bogotá (Tpb) 4-4

4.2.3.3 Formación La Regadera (Tpr) 4-4

4.2.3.4 Formación Usme (Tmu) 4-5

4.2.4 Depósitos Cuaternarios 4-5

4.2.4.1 Depósitos Fluvioglaciares (Qfg) 4-5

4.2.4.2 Conos del Tunjuelo (Qc) 4-5

4.2.4.3 Depósitos de Terraza (Qta) 4-5

4.2.4.4 Depósitos Fluviocoluviales (Qfc) 4-5

4.2.4.5 Depósitos de Planicie (Qhp) 4-6

4.2.4.6 Depósitos de Ladera (Qdl) 4-6

4.3 Geología Estructural 4-6

4.4 Geología de Detalle 4-7

4.4.1 Modelo Litológico del Barrio Juan José Rondón Sector II - La Unión 4-7

4.4.1.1 Depósito de Ladera 4-7

4.4.1.2 Unidades de Roca 4-8

4.4.2 Modelo Estructural del Barrio Juan José Rondón Sector II - La Unión 4-8

4.5 Geomorfología Regional 4-8

4.5.1 Morfografía 4-8
4.6 Geomorfología Local 4-10
4.6.1 Morfometría 4-10
4.6.2 Morfografía 4-10
4.6.2.1 Ladera Denudada (MEDLR) 4-10
4.6.2.2 Ladera Coluvial (MDLc) 4-10
4.6.2.3 Ladera Antrópica (MALa) 4-12
4.6.3 Procesos Morfodinámicos 4-12
4.7 Referencias Bibliográficas 4-13

5.0 ESTUDIO GEOTÉCNICO 5-0
5.1 Investigación del Subsuelo 5-1
5.1.1 Exploración del Subsuelo 5-1
5.1.1.1 Método Directo 5-1
5.1.1.2 Método Indirecto 5-2
5.1.2 Ensayos In Situ 5-3
5.1.3 Ensayos de Laboratorio 5-8
5.1.4 Caracterización de los Materiales 5-8
5.2 Zonas Homogéneas por Fenómenos de Remoción en Masa 5-14
5.2.1 Metodología 5-14
5.2.2 Caracterización por Zonas Homogéneas 5-14
5.3 Secciones de Análisis 5-17
5.4 Análisis de Estabilidad 5-17
5.4.1 Agentes Detonantes 5-18
5.4.2 Parámetros de Resistencia 5-18
5.4.3 Mecanismos de Falla 5-19
5.4.4 Interpretación de Resultados 5-19

6.0 ANÁLISIS HIDRÁULICO Y DE SOCAVACIÓN DE LA QUEBRADA EL ARRAYANAL 6-0

6.1 Generalidades 6-1

6.1.1 Introducción 6-1

6.1.2 Recopilación de Información 6-1

6.2 Marco Hidrológico General 6-1

6.3 Cálculos de Caudales de Creciente 6-2

6.3.1 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia 6-3

6.3.2 Cálculo de Caudales de Creciente 6-3

6.4 Granulometría de Lecho 6-4

6.5 Características Hidráulicas en el Tramo de Estudio 6-4

6.6 Socavación General 6-6

6.7 Conclusiones y Recomendaciones 6-6

6.8 Bibliografía 6-7

7.0 EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA 7-0

7.1 Introducción 7-1

7.2 Metodología 7-1

7.2.1 Variables Aleatorias: Límites y Distribución de Probabilidad 7-2

7.2.2 Modelos Geotécnicos 7-2

7.3 Evaluación e Identificación de los Factores Detonantes 7-5

7.3.1 Presencia de Agua 7-5

7.3.2 La Actividad Antrópica 7-5

7.3.3 Sismicidad 7-5

7.3.4 Análisis de Resultados 7-5

7.4 Zonificación de la Amenaza 7-7

7.4.1 Criterios Utilizados para le Evaluación de la Amenaza 7-7

7.4.2 Mecanismo de Falla 7-7

7.4.3 Descripción y Características 7-7

8.0 EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA 8-0

8.1 Evaluación y Zonificación de la Vulnerabilidad 8-1

8.1.1 Introducción 8-1

8.1.2 Metodología 8-1

8.1.2.1 Tipología de las Viviendas 8-1

8.1.2.2. Calificación de Daños 8-2

8.1.2.3 Solicitaciones de la Amenaza 8-2

8.1.2.4 Exposición 8-3

8.1.2.5 Costo de Daño 8-3

8.1.2.6 Índice de Vulnerabilidad Física 8-3

8.1.3 Categorización de la Vulnerabilidad 8-3

8.1.4 Evaluación de la Vulnerabilidad 8-3

8.2 Evaluación y Zonificación del Riesgo 8-7

8.2.1 Zonificación por Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa 8-7

8.2.2 Resultados de la Zonificación del Riesgo 8-7

9.0 ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y PREVENCIÓN 9-0

9.1 Introducción 9-1

9.2 Plan General de Acciones 9-1

9.2.1 Medidas Preventivas 9-1

9.2.2 Medidas de Mitigación 9-1

9.3 Planteamiento de Medidas 9-1

9.3.1 Zona I 9-2

9.3.1.1 Localización 9-2

9.3.1.2 Planteamiento de Alternativas 9-2

9.3.2 Zona II 9-2

9.3.2.1 Localización 9-2

9.3.2.2 Planteamiento de Alternativas 9-2

9.3.3 Zona III 9-2

9.3.3.1 Localización 9-2

9.3.3.2 Planteamiento de Alternativas 9-2

9.4 Análisis de Alternativas 9-2

9.4.1 Amenaza Actual y Futura 9-2

9.4.2 Plan de Acción para el Análisis de Alternativas 9-3

9.5 Selección de Alternativas 9-3

10.0 DISEÑOS DETALLADOS 10-0

10.1 Introducción 10-1

10.2 Diseño de la Alternativa Seleccionada 10-1

10.3 Descripción de las Obras 10-1

10.3.1 Replanteo 10-1

10.3.2 Excavación y Perfilado de Taludes 10-1

10.3.3 Entibado 10-1

10.3.4 Construcción Muro en Concreto 10-1

10.3.5 Obras de Drenaje y Subdrenaje 10-1

10.3.6 Demolición Muro en Concreto 10-1

10.3.7 Reconformación de la Ladera 10-1

10.3.8 Retiro del Material 10-1

10.4 Medidas Preventivas y de Manejo General 10-2

10.5 Cantidades de Obra, Presupuesto y Cronograma 10-2

11.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 11-0

ANEXOS

ANEXO 3A Certificaciones IGAC

ANEXO 3B Cartera Electrónica Poligonal Principal

ANEXO 3C Cartera Electrónica de Detalles Levantados

ANEXO 3D Listado de Coordenadas de Detalle

ANEXO 3E Carteras Topográficas de Campo

ANEXO 3F Certificaciones de Calibración de la Estación Utilizada en el Levantamiento

ANEXO 3G Planos Topográficos

ANEXO 4A Registro Fotográfico

ANEXO 4B Levantamiento de Datos Estructurales

ANEXO 4C Planos

ANEXO 5A Registros Estratigráficos

ANEXO 5B Ensayos de Laboratorio

ANEXO 5C Análisis de Estabilidad

ANEXO 5D Planos

ANEXO 7A Planos

ANEXO 8A Inventario de Viviendas

ANEXO 8B Planos

ANEXO 9A Análisis de Probabilidad de Falla con Obras

ANEXO 9B Planos

ANEXO 10A Especificaciones Técnicas de Construcción

ANEXO 10B Memoria de Cantidades de Obra

ANEXO 10C Memorias de Diseño

ANEXO 10D Planos

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C. - DPAE

ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO JUAN JOSÉ RONDÓN SECTOR II-LA UNIÓN, DE LA LOCALIDAD DE USME EN LA CIUDAD DE BOGOTA D.C.

CONTENIDO DE PLANOS

ARCHIVO	PLANO No.	NOMBRE
ERDDJJR01	3.1	Plano Topográfico del Área de Estudio
ERDDJJR02	3.2	Secciones Transversales sobre la Quebrada El Arrayanal
ERDDJJR03	4.1	Geología Regional
ERDDJJR04	4.2	Geología Local
ERDDJJR05	4.3	Geomorfología Regional
ERDDJJR06	4.4	Morfodinámica del Área de Estudio
ERDDJJR07	5.1	Zonas Homogéneas por Remoción en Masa
ERDDJJR08	7.1	Zonificación de Amenaza por Remoción en Masa – Escenario Actual
ERDDJJR09	8.1	Zonificación de Vulnerabilidad por Remoción en Masa – Escenario Actual
ERDDJJR010	8.2	Zonificación de Riesgo por Remoción en Masa – Escenario Actual
ERDDJJR011	9.1	Alternativas de Mitigación
ERDDJJR012	5.2	Secciones Geotécnicas
ERDDJJR013	7.1A	Zonificación de Amenaza por Remoción en Masa – Escenario 10 Años
ERDDJJR014	10.1	Plano de Obra Detallada

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS - DPAE

ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO JUAN JOSÉ RONDÓN SECTOR II- LA UNIÓN, DE LA LOCALIDAD DE USME EN LA CIUDAD DE BOGOTA D.C.

CAPÍTULO 1.0

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El presente documento realizado entre los meses de junio y septiembre de 2003 contiene los resultados del estudio denominado "Estudio de Riesgo por Remoción en Masa y Diseños Detallados de las Obras de Mitigación en el Barrio Juan José Rondón Sector II - La Unión, de la Localidad de Usme en la Ciudad de Bogota D.C", de acuerdo con el contrato de consultoría No CONS-128/2003, suscrito entre la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias y Geoingeniería Ltda.; y que estuvo bajo la interventoría de la ingeniera Lucy Bohórquez.

El objetivo principal del estudio fue determinar las características topográficas, geológicas, geomorfológicas, geotécnicas, hidrológicas e hidráulicas actuales de la zona seleccionada como área de estudio, y realizar la evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo del barrio Juan José Rondón Sector II – La Unión por fenómenos de remoción en masa.

El área del proyecto a manera general tiene 1.5 has, y está enmarcada específicamente entre las carreras 14 Bis Este y 16 Bis Este, desde la Calle 87 Sur hasta 100 m al norte de la margen derecha de la quebrada El Arrayanal.

1.2 ALCANCES

Para la realización del presente informe, dentro de las labores de campo y oficina, se tuvieron los siguientes alcances:

- Llevar a cabo un programa de investigación del subsuelo en el barrio Juan José Rondón Sector II – La Unión; que contemple la exploración directa como: perforaciones, apiques y trincheras, exploración indirecta como sondeos eléctricos verticales (SEV), toma de muestras, ensayos in-sitú y ensayos de laboratorio.

- Obtener la topografía del área del proyecto mediante el levantamiento topográfico detallado a escala 1:500 y complementarla a partir de levantamientos topográficos realizados por Planeación Distrital.

- Determinar las características geológicas y geomorfológicas regionales del área de estudio y locales del barrio Juan José Rondón Sector II – La Unión, complementadas con fotointerpretación y visitas a campo.

- Establecer las características hidrológicas e hidráulicas de la cuenca de la quebrada El Arrayanal, a partir de revisiones bibliográficas y consulta de la información hidrológica de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

- Establecer las características geotécnicas de los materiales que conforman la margen izquierda de la quebrada El Arrayanal a partir del modelo geológico del sitio, información secundaria, exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio e in situ.

- Dentro del análisis de riesgo se involucra la margen derecha de la quebrada El Arrayanal

considerando un modelo geológico basado en el reconocimiento de campo y la caracterización de los materiales mediante la ejecución de un apique en dicho sector, teniendo en cuenta que esta área hace parte de la ronda de protección ambiental del a quebrada.

- Llevar a cabo el levantamiento detallado de la infraestructura expuesta (viviendas, postes de teléfono, postes de alumbrado, torres de energía, pozos de aguas lluvias y aguas negras, sumideros, etc), frente a fenómenos de remoción en masa.

- Establecer el grado de amenaza a que está expuesto cada uno de los predios seleccionados en el barrio Juan José Rondón Sector II – La Unión por remoción en masa, de acuerdo con las escalas establecidas por la DPAE y teniendo en cuenta los resultados de los análisis de estabilidad para los períodos de retorno de 1 y 10 años, respectivamente.

- Determinar el grado de vulnerabilidad para los predios afectados por remoción en masa, teniendo en cuenta las encuestas realizadas y el levantamiento de infraestructura expuesta.

- Establecer el grado de riesgo a que estarían sometidos las zonas afectadas por fenómenos de remoción en masa a partir de los resultados de los análisis de amenaza y vulnerabilidad, para un período de 1 y 10 años.

- Plantear las obras de mitigación y recomendaciones para un período de 10 años, con base en los resultados del análisis de riesgos por remoción en masa.

1.3 DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS

A continuación se describen las actividades desarrolladas en la ejecución del estudio.

1.3.1 Recopilación y Revisión de la Información Secundaria

Durante el desarrollo del presente estudio se acudió a empresas públicas como IGAC, INGEOMINAS, EAAB, UNIVERSIDAD NACIONAL y DPAE, para obtener información geológica, geomorfológica, geotécnica y topográfica del área de estudio.

1.3.2 Reconocimientos de Campo

Inicialmente, los profesionales que participaron en la ejecución del proyecto realizaron una visita de campo el día 17 de junio de 2.003, en conjunto con los representantes de la interventoría y funcionarios de la DPAE, con el fin de reconocer a manera general el área de estudio.

Con el fin de establecer las características geológicas de superficie, geotécnicas y geomorfológicas del área de estudio en general y del sitio específico, se llevo a cabo un reconocimiento detallado entre el 18 y el 27 de junio de 2.003 por parte del geólogo del proyecto.

1.3.3 Levantamientos Topográficos y Elaboración de los Planos Topográficos

Entre el 18 al 21 de junio de 2002, se realizó el levantamiento planimétrico y altimétrico detallado con nivel de precisión a escala 1:500 y curvas de nivel cada 0.5 m., en el barrio Juan José Rondón Sector II – La Unión y sobre la margen derecha del cauce de la quebrada El Arrayanal, donde no se ha urbanizado.

Con el objeto de efectuar los cálculos de socavación en la quebrada El Arrayanal, se efectuarán secciones transversales de 60 metros de longitud, espaciadas cada 50 metros, a través de su curso actual dentro del área enmarcada en la **Figura 1.1**; adicionalmente se detalló la estructura hidráulica, aguas abajo del área de estudio.

El plano topográfico para la base de los planos temáticos, se elaboró haciendo el empalme el levantamiento topográfico realizado por GeoIngeniería Ltda. y los archivos digitales de Catastro suministrados por la DPAE y se complementaron en campo con levantamientos de los predios faltantes, a nivel de observación.

1.3.4 Exploración del Subsuelo

Los trabajos de exploración estuvieron enfocados a la toma de muestras, caracterización de los materiales encontrados, determinación de espesores y localización del nivel freático.

A continuación se describe la exploración del subsuelo realizada y su localización se presenta en la Figura 1.1.

- Realización de dos (2) sondeos eléctricos verticales, con el objeto de localizar el nivel freático, el espesor continuo del relleno que yace discordantemente sobre la unidad de roca, la profundidad a la que esta se encuentra y su litología; en el sector donde se presenta el problema de inestabilidad (grietas por posible deslizamiento) y a lo largo de la ladera de la margen izquierda de la quebrada El Arrayanal, en forma paralela al sector urbanizado.

- De acuerdo a la inspección geológica y geomorfológica realizada en el área de influencia local del proyecto, se determinaron las unidades litológicas a nivel de superficie y los procesos morfodinámicos que están afectando el área, con base en está información se programó la realización de una (1) perforación mecánica y seis (6) perforaciones manuales sobre los rellenos y depósitos de ladera que suprayacen la unidad de roca, con el fin de determinar con exactitud los espesores de dichos niveles, dando prioridad a los sitios que están afectados por procesos activos de remoción en masa

  Sobre la margen izquierda y a la altura de la carrera 14 B Este, sobre el deslizamiento localizado en este sector, se realizarán las perforaciones No. 1 y No. 2, hacia la corona y pata del mismo, respectivamente.

  Sobre la carrera 15 Este y a la altura del segundo deslizamiento se realizarán las Perforaciones No. 3 y No. 4, sobre la corona y pata del mismo.

  Entre las carreras 14 B Este y 14 A Este, sobre la margen izquierda de la quebrada El Arrayanal y hacia la parte alta de la ladera se realizarán las Perforaciones No. 5 y 6.

  La Perforación No. 7, se realizará 50 metros en dirección noroccidente con respecto a las Perforaciones No. 5 y No. 6, sobre la ladera en estudio.

- Además, se realizarán tres (3) apiques sobre la margen izquierda de la quebrada El Arrayanal próximos a las Perforaciones No. I, 2 y No. 4, con el fin de obtener muestras inalteradas de los materiales intervenidos por estos deslizamientos y un (1) apique sobre la margen derecha de la misma, para caracterizar el material aflorante en ese sector.

Con la exploración del subsuelo antes descrita, se busco conformar una densidad de puntos de exploración que permitieran correlacionar la información disponible y capturada en campo (ver la **Tabla 1.1**).

TABLA 1.1
EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

TIPO DE EXPLORACIÓN	TOTAL
Perforaciones	7
Sondeos eléctricos verticales	2
Trinchera	3
Apiques	4

1.3.5 Ensayos de Laboratorio

Con el fin de determinar las características de los materiales encontrados en el sector de estudio, se efectuaron ensayos de clasificación, peso unitario y compresiones inconfinadas a las muestras más representativas de cada perforación. Adicionalmente se realizó tres (3) ensayos de corte directo sobre las muestras obtenidas del apique 1 y 4 y de la trinchera 2, para obtener los parámetros de resistencia de dichos materiales.

1.3.6 Geología y Geomorfología

A partir de la información obtenida en los reconocimientos de campo y de la revisión bibliográfica efectuada, se realizaron los planos de geología regional; adicionalmente con la exploración del subsuelo se hizo la geología detallada del Barrio Juan José Rondón, plasmando el modelo geológico de cada sitio en secciones.

De otra parte con el inventario de procesos morfodinámicos realizado durante la etapa de campo, se realizaron el plano geomorfológico regional y del área de estudio.

1.3.7 Análisis Geotécnicos

Con base a los modelos geológicos establecidos y los parámetros de resistencia obtenidos en ensayos de laboratorio realizados por GeoIngeniería Ltda., determinados por revisión bibliográfica o por retroanálisis, se llevaron a cabo los respectivos análisis de estabilidad para establecer el estado actual de los taludes localizados sobre la margen izquierda y derecha de la quebrada El Arrayanal.

1.3.8 Análisis Hidrológicos e Hidráulicos

De los análisis hidrológicos se determinaron las crecientes con períodos de retorno entre 2.33 y 100 años y los hidrogramas de diseño para el estudio de inundaciones, tanto en el río Tunjuelito como en la quebrada Chiguaza

Con base a los registros de precipitación anual obtenidos para diferentes estaciones, en la EAAB, se estableció el comportamiento de la precipitación con respecto a la altura, en la cuenca Alta y Media del río Tunjuelito; y se determinaron los cambios espacialmente, de la distribución temporal de la lluvia en dicha cuenca.

A partir de los reconocimientos de campo se establecieron las condiciones hidráulicas actuales de la quebrada Chiguaza, el río Tunjuelito y los embalses generados en las gravilleras como consecuencia de las crecientes ocurridas en los meses de mayo y junio de 2.002; y las condiciones hidráulicas impuestas por las diferentes obras (canales, vertedero) realizadas después de dichos eventos.

Con base a la topografía suministrada por las gravilleras y los registros de niveles de agua en cada una de las canteras inundadas, suministrados por Cemex, se llevó a cabo el cálculo del volumen de agua almacenada en los frentes de explotación.

Teniendo en cuenta que las canteras de Santa Inés y la Guaquera se están llenando por infiltración del agua proveniente de la cantera de Ingeniesa y Conagre, se calculó el nivel del agua en el cual quedarían las cuatro minas a una misma cota.

Utilizando las secciones transversales tomadas en los cauces de las corrientes en estudio, el modelo HEC-Ras y las características hidráulicas establecidas tanto para la quebrada Chiguaza como para el río Tunjuelito, se realizó el tránsito de crecientes para los diferentes períodos de retorno y se estimaron los respectivos niveles y áreas de inundación, para la Escuela de Artillería y los barrios Tunjuelito, Meissen, La Playa I, La Playa II y El Preciso. Este ejercicio se realizó para tres escenarios: (1) crecientes en la quebrada Chiguaza y caudal medio en el río Tunjuelito, (2) crecientes en el río Tunjuelito y caudal medio en la quebrada Chiguaza y (3) crecientes simultáneas en el río Tunjuelito y quebrada Chiguaza.

1.3.9 Evaluación de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo

Partiendo de los resultados de los análisis de estabilidad, y mediante la utilización de métodos probabilísticos se realizó la evaluación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa, bajo la condición actual, a 10 y 25 años.

A partir del inventario de los elementos expuestos y de las encuestas, se establecieron parámetros de respuesta ante la solicitud de la amenaza de los elementos físicos, con el fin de determinar el grado de vulnerabilidad.

A partir de los resultados de amenaza y vulnerabilidad se estableció el nivel de riesgo para cada uno de los predios contemplados en el área de estudio ante fenómenos de remoción en masa

1.3.10 Planteamiento de Medidas de Mitigación

A partir de los resultados de los análisis hidráulicos, geotécnicos y de amenaza, vulnerabilidad y riesgo se plantearon las diferentes medidas de mitigación y las recomendaciones respectivas.

1.4 PRESENTACIÓN DEL INFORME

Los resultados del estudio se presentan en los capítulos del 1 al 11. Se aclara que en cada capítulo se incluye el texto, los anexos y los planos correspondientes.

En el **Capítulo 1.0** se describe a manera general los aspectos más importantes del estudio, entre estos los alcances y las actividades realizadas durante la ejecución del proyecto.

En el **Capítulo 2.0** se realiza una caracterización preliminar del problema, se delimita el área de estudio, se determina a manera preliminar la amenaza, vulnerabilidad y riesgo del barrio estudiado, y se establecen los requerimientos y metodologías a emplear para los diferentes análisis.

En el **Capítulo 3.0** se realiza una descripción detallada de la metodología empleada para los levantamientos planimétricos y altimétricos; y se describen los trabajos de campo realizados para el levantamiento de cada sector. En este capítulo se presenta el plano topográfico obtenido a escala 1:500, las secciones transversales levantadas en la

quebrada El Arrayanal, y el **Anexo 3A** que corresponde a las certificaciones IGAC de los mojones utilizados para los levantamientos topográficos, cartera electrónica de la poligonal principal (**Anexo 3B**), cuadros de nivelación y contranivelación, carteras electrónicas de cada sector levantado (**Anexo 3C**), listado de coordenadas de detalle (**Anexo 3D**), carteras topográficas de campo (**Anexo 3E**) y certificaciones de calibración de los equipos utilizados en los levantamientos (**Anexo 3F**). Los planos se presentan en el **Anexo 3G**.

En el **Capítulo 4.0** se presentan las características geológicas y geomorfológicas generales del área de estudio y la detallada para el barrio Juan José Rondón Sector II - La Unión. Hacen parte de este capítulo el **Anexo 4A -** Registro Fotográfico, el **Anexo 4B** - Levantamiento Estructural y **Anexo 4C -** Planos de geología regional (uno), geología del área de estudio (uno), geomorfología general (uno), morfodinámica del área de estudio (uno).

El **Capítulo 5.0** contiene el estudio geotécnico realizado para el barrio en estudio; y los siguientes anexos: **Anexo 5A** - Registros estratigráficos, sondeos eléctricos verticales y registros de perforación, **Anexo 5B -** Ensayos de laboratorio realizados por GeoIngeniería Ltda, **Anexo 5C** - Análisis de estabilidad y **Anexo 5D** - Planos.

En el **Capítulo 6.0** se presentan los resultados de los análisis hidrológicos e hidráulicos; respecto al reconocimiento de las condiciones hidráulicas actuales, estudio de tránsito de crecientes, con el fin de determinar los niveles máximos que se pueden alcanzar y determinación de la socavación en la quebrada y su grado de influencia.

En el **Capitulo 7.0** se presentan los resultados del Análisis de estabilidad para la condición actual y otros escenarios de riesgo, haciendo uso del programa PCSTABL de la Universidad de Purdue. Se efectuarán análisis bajo la condición estática y bajo la condición pseudoestática, teniendo en cuenta el coeficiente de aceleración horizontal correspondiente para la zona, según el Estudio de Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá.

Se obtienen las probabilidades de falla de los taludes considerando diferentes escenarios, con base en el análisis de estabilidad (sin agua – sin sismo, con agua – sin sismo, sin agua – con sismo, con agua – con sismo).

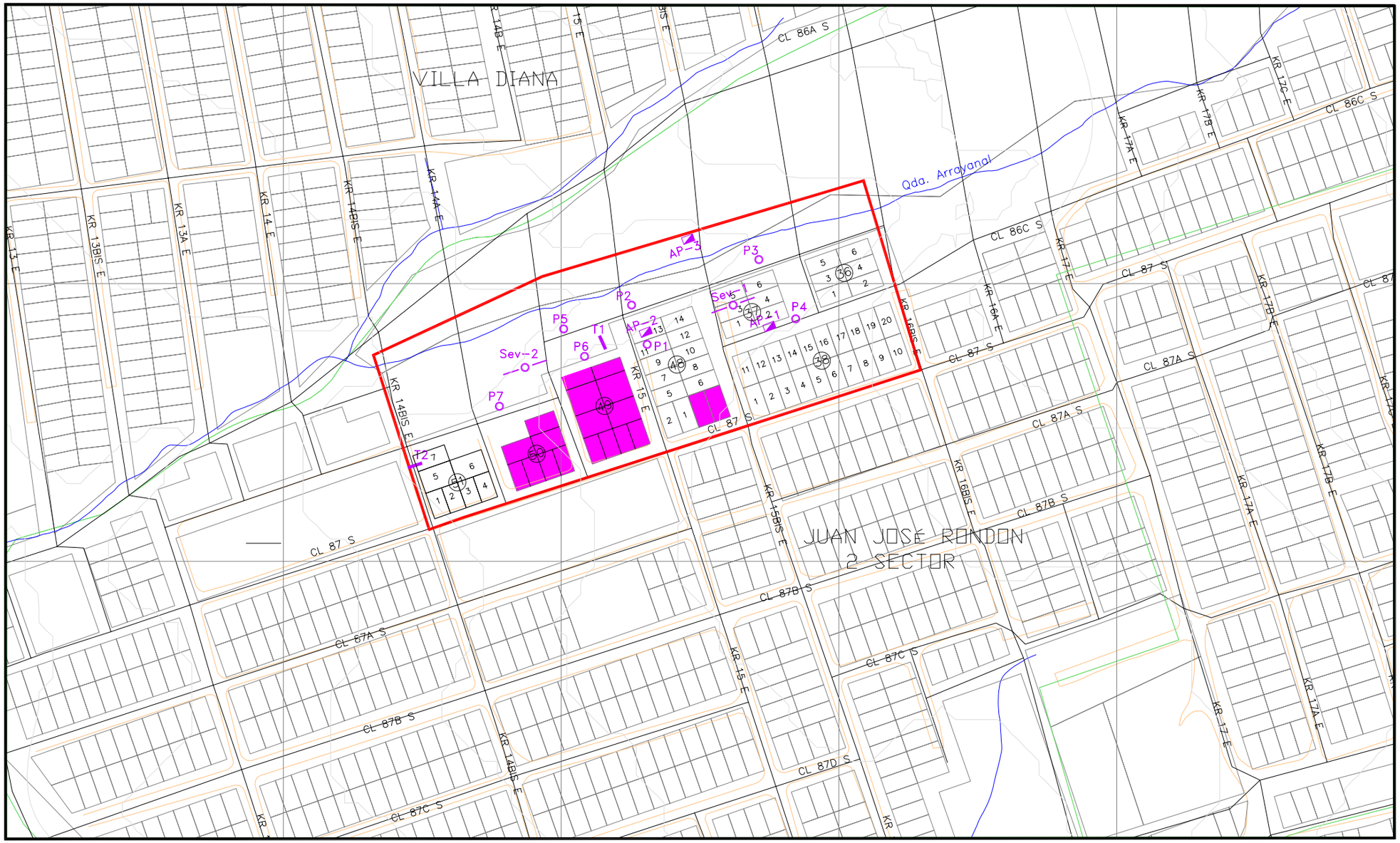
En el **Anexo 7A y 7B** se muestran los resultados de la zonificación y evaluación de la amenaza.

El **Capítulo 8.0** contiene los resultados de la evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo en el área de estudio. Además se incluye el formato de levantamiento de información de campo en el **Anexo 8A** y en el **Anexo 8B** los planos.

En el **Capítulo 9.0** se presentan las Alternativas de Mitigación para cada una de las zonas que presentan fenómenos de remoción en masa o son potencialmente inestables.

En el **Capítulo 10.0** se describe y detalla las obras de mitigación seleccionadas.

En el **Capítulo 11.0** se presentan las Conclusiones y Recomendaciones del informe



ESCALA GRAFICA

0 5 5 10 15 20 25m

ORIGEN DE COORDENADAS

ESFEROIDE INTERNACIONAL 1.924 – DATUM BOGOTA
PROYECCION TRANSVERSA DE MERCATOR

Grid unit:	International metre
Longitude of origin:	74° 04' 51.30" West
Latitude of origin:	04° 35' 56.57" North
Scale factor at origin:	1000000000
Grid co-ordinate at origin:	100000.00 E
Grid co-ordinate at origin:	100000.00 N
Semi major axis:	6378388.0000
Flattening (1/f):	1/297.0

CONVENCIONES GENERALES

- P1 — PERFORACION
- Sev-2 — SONDEO ELECTRICO VERTICAL
- AP-2 — APIQUE
- T1 — TRINCHERA
- CURVA NIVEL CADA 10 m
- CAÑO–QUEBRADA
- LIMITE DEL AREA DE ESTUDIO
- VIVIENDA
- LOTE

BASE LAYOUT DE LA LOCACION

PLANO No.	ARCHIVO	DESCRIPCION

PLANOS DE REFERENCIA

REV	FECHA	DESCRIPCION	POR	APROBO
–	–	–	–	–

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE DESASTRES

CONTRATISTA: GEOINGENIERIA LTDA

DESCRIPCION: **LOCALIZACION GENERAL DEL AREA DE ESTUDIO Y EXPLORACION DEL SUBSUELO**

DISEÑO: GEOINGENIERIA LTDA.	FECHA: JULIO/03	ARCHIVO ACAD:	888/FIGURA No.1.DWG
DIBUJO: GEOINGENIERIA LTDA.	FECHA: JULIO/03	ESCALA:	1:1250
REVISO: .	FECHA: JULIO/03	ARCHIVO:	FIGURA No. 1
APROBO:	FECHA:	REV.	0

CAPÍTULO 2.0

CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DEL PROBLEMA Y ESTRUCTURACIÓN DEL ESTUDIO

2.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo se desarrolló a partir del Informe No. 1, presentado a la DPAE; y se basó en el concepto de cada uno de los profesionales convocados para la ejecución del proyecto, teniendo en cuenta las reuniones interdisciplinarias efectuadas hasta la fecha de entrega del Informe No.1 y las reuniones con la interventoría del proyecto. También está basado en el análisis preliminar de la información secundaria y en las dos primeras visitas técnicas realizadas al área de estudio, una de ellas en compañía de la interventoría del proyecto y un funcionario del DPAE.

2.2 CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DEL PROBLEMA

2.2.1 Descripción del Problema y Sus Posibles Causas

Como consecuencia de la morfología irregular del terreno sobre ambas márgenes de la quebrada Arrayanal, donde se llegan a presentar taludes de fuerte pendiente (>45 grados), de la disposición de material de relleno, de la existencia de un depósito coluvial de poco espesor sobre las rocas arcillosas de la Formación Bogotá y de las fuertes precipitaciones que se presentan a lo largo del año con la presencia de aguas de escorrentía superficial y subsuperficial en todo el área de estudio; se presentan evidencias de antiguos coronas de fenómenos de remoción en masa y el hundimiento del terreno con la formación de escarpes activos de deslizamiento (>3 metros) que pueden llegar ha afectar a mediano plazo la estabilidad de las viviendas localizadas dentro del área de influencia local del fenómeno.

2.2.2 Delimitación Geométrica del Área de Estudio

Teniendo en cuenta las visitas técnicas a la zona de estudio y el plano suministrado en los términos de referencia a escala 1:2500 donde se demarca el barrio Juan José Rondón Sector II – La Unión, se demarcó de manera preliminar el área de estudio, poniéndose a consideración de la interventoría del proyecto (Figura 1.1).

El área designada para la realización del estudio tiene aproximadamente 1.5 has, y está ubicado específicamente entre las carreras 14 Bis Este y 16 Bis este, desde la calle 87 sur hasta 100 metros al norte de la margen derecha de la quebrada El Arrayanal.

2.2.3 Concepto Preliminar de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo de la Zona de Estudio

Los factores intrínsecos y los factores antrópicos mencionados, indican que la amenaza por inestabilidad del terreno en las condiciones actuales es baja para el barrio Juan José Rondón excepto sobre la margen izquierda de la quebrada El Arrayanal limite natural del barrio en mención; y que ésta puede aumentar ante la acción de eventos como: la constante precipitación y el aporte de aguas superficiales y subsuperficiales desde la parte alta de la ladera y como consecuencia de la ruptura de la red de alcantarillado**.**

En los aspectos de vulnerabilidad debe mencionarse que el barrio Juan José Rondón, por su configuración geométrica rectangular, estaría expuesto en parte (algunos de los predios que limitan en la margen izquierda contra la quebrada) a la acción de fenómenos activos y potenciales de remoción en masa o reactivación de deslizamientos antiguos. Falta aún la investigación para conocer si las viviendas están fundadas sobre la roca sedimentaria, sobre suelo residual o sobre el mismo material que conforma el talud, para establecer la respuesta estructural de las edificaciones de este sector.

2.2.4 Alternativas de Solución

Con la información actual, resulta prematuro proponer alternativas de solución, por lo que se considera necesario realizar la investigación y los análisis

completos con el propósito de definir las medidas del caso.
Por ahora, se va a adelantar el seguimiento de los fenómenos antes mencionados en el numeral anterior y aprovechando las visitas continuas al área durante la ejecución del estudio se estará informando frecuentemente sobre la evolución del problema.

2.3 ESTRUCTURACIÓN DEL ESTUDIO

Luego de haber obtenido mayor información con relación a los problemas a estudiar, con base en las reuniones con la Interventoría, las visitas de campo y la discusión interdisciplinaria del grupo de trabajo, se precisan a continuación los diversos aspectos del estudio.

2.3.1 Definición del Estudio

2.3.1.1 Objeto

El objeto del estudio es la evaluación de riesgos asociados al fenómeno de remoción en masa que se presentan sobre la margen izquierda de la quebrada El Arrayanal en el tramo comprendido por el barrio Juan José Rondón Sector II - La Unión, teniendo en cuenta que en está área se encuentra un desarrollo urbano consolidado

2.3.1.2 Alcances y Limitaciones

Realizar la evaluación de riesgos y efectuar el planteamiento de las medidas necesarias para mitigarlo.

La topografía de detalle se efectuará para el barrio a estudiar, de acuerdo con lo indicado en la Figura 1.1.

Desde el punto de vista geotécnico, existen buenos afloramientos en el área; se considera que esto es muy valioso para el estudio y evaluación del problema; por lo que se buscarán los medios pertinentes a complementar dicha información.

La exploración directa del subsuelo está limitada a: determinar el espesor y caracterización de los rellenos que yacen sobre el material rocoso, el nivel freático y el tipo de roca; en estos últimos se correlacionará la litoestratigrafía a través de métodos geofísicos.

Dentro del análisis de riesgo se involucrará la margen derecha de la quebrada Arrayanal considerando un modelo geológico basado en el reconocimiento de campo y la caracterización de materiales mediante la ejecución de un apique en dicho sector, teniendo en cuenta que esta área hace parte de la ronda de protección ambiental de la quebrada, no tiene previstos proyectos de desarrollo urbanístico y además está por fuera del área del estudio contratada.

2.3.1.3 Bases metodológicas

La evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo se realizará con base en la Resolución 364 de Agosto de 2002 emanada por la Dirección de Prevención y Atención de Emergencia (DPAE).

2.3.1.4 Destinatarios

Los destinatarios del estudio son, en primer lugar, las autoridades distritales y locales en materia de prevención de emergencias y desastres, a quienes se les suministran las herramientas para la toma de decisiones en lo que corresponde al problema a estudiar. En segundo lugar, los receptores del informe son los miembros de la comunidad potencialmente afectada con el fin de obtener su participación en las soluciones recomendadas.

2.3.1.5 Documentos Básicos y Especificaciones de Trabajo

El trabajo se adelantará de acuerdo con los siguientes documentos y requerimientos:

- Términos de referencia para la elaboración del estudio suministrados por la DPAE.
- Contrato No. 128 suscrito entre FOPAE y Geoingeniería Ltda.
- Requerimientos del Contratante e Interventoría manifestados en las reuniones de coordinación.

2.3.2 Procedimiento de Ejecución del Estudio

El estudio se adelantará de acuerdo con una metodología de investigación que contempla las siguientes fases o etapas:

2.3.2.1 Recopilación y Registro de Información Secundaria

Se han identificado las siguientes fuentes de información:

- Entidades públicas como la EAAB, DPAE, INGEOMINAS.

- Cartografía, planchas geológicas, levantamientos topográficos: DPAE (Estudios anteriores), DAPD (Planos de barrios), EAAB, Ingeominas.

- Fotografías aéreas: IGAC, DACD, EAAB.

- Registros pluviométricos: Se utilizará la información procesada en el IDEAM.

- Censos de población: DPAE, Alcaldía Local de Usme.

A partir de la obtención y estudio de esta información se ajustarán los programas de obtención de información primaria.

2.3.2.2 Recolección y Registro de Información Primaria

- **Requerimientos de topografía**

Se llevará a cabo la altimetría detallada de cada sector, a escala 1:500 y curvas de nivel cada 0.5 m.

Con el objeto de efectuar los cálculos de socavación en la quebrada El Arrayanal, se efectuarán secciones transversales de 60 metros de longitud, espaciadas cada 50 metros, a través de su curso actual dentro del área enmarcada en la Figura 1.1; adicionalmente se detallará la estructura hidráulica, aguas abajo del área de estudio.

En lo que respecta a la planimetría: localización de viviendas, infraestructura de servicios públicos (agua, luz, gas, teléfonos), vías, corrientes de agua, y en general todo detalle que sea de interés para el presente estudio, se utilizarán los planos de las entidades del Distrito, para montar la información sobre la topografía levantada por Geoingeniería; esta información será revisada y complementada en campo.

La topografía levantada se amarrará a placas del IGAC, colocando 2 mojones de referencia para el replanteo posterior durante el diseño y construcción de obras.

- **Requerimientos de exploración del subsuelo**

Los trabajos de exploración están enfocados a la toma de muestras, caracterización de los materiales encontrados, determinación de espesores y localización del nivel freático.

A continuación se describe la exploración del subsuelo propuesta y su localización se presenta en la Figura 1.1.

- Realización de dos (2) sondeos eléctricos verticales, con el objeto de localizar el nivel freático, el espesor continuo del relleno que yace discordantemente sobre la unidad de roca, la profundidad a la que esta se encuentra y su litología; en el sector donde se presenta el problema de inestabilidad (grietas por posible deslizamiento) y a lo largo de la ladera de la margen izquierda de la quebrada El Arrayanal, en forma paralela al sector urbanizado.

- De acuerdo a la inspección geológica y geomorfológica realizada en el área de influencia local del proyecto, se determinaron las unidades litológicas a nivel de superficie y los procesos morfodinámicos que están afectando el área, con base en está información se programó la realización de perforaciones sobre los rellenos y depósitos de ladera que suprayacen la unidad de roca, con el fin de determinar con exactitud los espesores de dichos niveles, dando prioridad a los sitios que están afectados por procesos activos de remoción en masa. De acuerdo con estos criterios a continuación se relaciona la ubicación de cada una de las siete (7) perforaciones a realizar:

  Sobre la margen izquierda y a la altura de la carrera 14 B Este, sobre el deslizamiento localizado en este sector, se realizarán las perforaciones No. 1 y No. 2, hacia la corona y pata del mismo, respectivamente.

  Sobre la carrera 15 Este y a la altura del segundo deslizamiento se realizarán las Perforaciones No. 3 y No. 4, sobre la corona y pata del mismo.

  Entre las carreras 14 B Este y 14 A Este, sobre la margen izquierda de la quebrada El Arrayanal y hacia la parte alta de la ladera se realizarán las Perforaciones No. 5 y 6.

La Perforación No. 7, se realizará 50 metros en dirección noroccidente con respecto a las Perforaciones No. 5 y No. 6, sobre la ladera en estudio.

- Además, se realizarán tres (3) apiques sobre la margen izquierda de la quebrada Arrayanal próximos a las Perforaciones No. I, 2 y 4, con el fin de obtener muestras inalteradas de los materiales intervenidos por estos deslizamientos y un (1) apique sobre la margen derecha de la misma, para caracterizar el material aflorante en ese sector.

Con la exploración del subsuelo antes descrita, se busco conformar una densidad de puntos de exploración que permitieran correlacionar la información disponible y capturada en campo.

- **Requerimientos de ensayos de campo y laboratorio**

Se realizarán los siguientes ensayos de laboratorio en el caso de los rellenos y suelo residual: ensayos de humedad natural, límites de Atterberg, granulometría, peso unitario y corte directo, para el material rocoso se realizarán pesos unitarios, humedades y compresión inconfinada.

Se considera que en el momento no se puede precisar el tipo y cantidad de ensayos a realizar, por lo tanto se presentará a la interventoría el programa de ensayos de laboratorio oportunamente, en la medida que se vaya realizando la exploración del subsuelo.

- **Inventario de elementos expuestos (Viviendas, infraestructura de servicios, población, infraestructura vial, infraestructura social)**

Inicialmente, se recopilará toda la información existente en entidades del estado, tales como vivienda, infraestructura de servicios públicos, infraestructura vial, infraestructura social (escuelas, colegios, etc.) y después, se buscará chequear y complementar dicha información con base en un recorrido por el área de estudio.

La información será complementada sobre los planos topográficos obtenidos del presente estudio, una vez se haya montado sobre ellos la infraestructura física. Se usará una ficha técnica para la toma de información, la cual se presentará oportunamente a la interventoría del proyecto para su aprobación.

- **Inventario de procesos actuales de inestabilidad**

El inventario local de los procesos actuales de remoción en masa se realizará directamente en campo, a cargo del geólogo y geotecnista que participan en la realización del estudio de riesgos. De acuerdo con las instrucciones de la interventoría, se identificará el tipo de inestabilidad actuante o posible y su estado de actividad, se delimitará el área afectada o potencial y de posible propagación, se identificarán las causas y/o factores detonantes de la inestabilidad, haciendo uso a su vez de una ficha técnica para la toma de información.

- **Inspección geológica y geomorfológica**

Se realizará un reconocimiento geológico regional, con el fin de realizar un levantamiento de datos estructurales que permita evaluar o desechar una probable influencia o control estructural sobre el fenómeno que se está presentando en el barrio Juan José Rondón.

A partir de recorridos de campo, se determinaran a nivel local las unidades litológicas aflorantes y estructuras, así como las unidades geomorfológicas, procesos de inestabilidad (escarpes naturales y antrópicos), grietas, zonas húmedas, dirección del movimiento, etc.

- **Observaciones y registro de información**

Toda la información compilada y analizada será referenciada en los formatos especiales que tiene la firma consultora, con el objeto de llevar un control sobre el material consultado por los profesionales encargados del desarrollo del estudio de riesgos.

En los formatos se identifica la fecha de ingreso del documento, la fecha de consulta y la persona por la cual fue consultado. Así mismo, se describirá brevemente el contenido de la información, resaltando la parte de interés para el desarrollo del presente estudio.

2.3.2.3 Análisis de Información y Resultados

En esta fase del estudio se incluirá:

- Análisis geomorfológico
- Geología regional y de detalle
- Análisis de estabilidad de taludes
- Tránsito de crecientes
- Evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo
- Análisis de alternativas de mitigación

2.3.2.4 Conclusiones

Al finalizar el informe final, se describirá el trabajo de manera condensada, en materia de geología, geomorfología, geotecnia, hidrología e hidráulica, amenaza, vulnerabilidad y riesgo, al igual que de las alternativas de mitigación: esta labor será efectuada por cada uno de los profesionales convocados para la realización del estudio y revisada por el director del proyecto.

2.3.2.5 Análisis de Alternativas y Diseños

Como fase final de la realización de los estudios, se plantearán alternativas sobre las medidas más viables desde los puntos de vista técnico – económico y social para la mitigación del riesgo por inestabilidad del terreno en el barrio Juan José Rondón; y se realizarán los diseños detallados de las obras definidas por la medida de mitigación que se escoja.

2.4 MODELOS Y METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS

2.4.1 Análisis Hidráulicos

- **Objetivos particulares del estudio hidráulico**

El estudio hidráulico busca alcanzar los siguientes objetivos particulares, de acuerdo con los términos de referencia:

1. Reconocimiento de las condiciones hidráulicas actuales.

2. Estudio de tránsito de crecientes, con el fin de determinar los niveles máximos que se pueden alcanzar.

3. Determinación de la socavación en la quebrada, dentro del área de estudio.

La información requerida para realizar lo anterior, es de tipo topográfica e hidrológica.

Para la información topográfica se tomarán secciones transversales por el cauce de la quebrada El Arrayanal.

Para la información hidrológica se plantea obtenerla básicamente del EAAB y del IDEAM.

Los resultados finales serán involucrados en el estudio de evaluación de riesgos.

2.4.2 Análisis Geotécnicos

El objetivo de los análisis geotécnicos es obtener las probabilidades de falla de taludes, como base para la zonificación de la Amenaza por remoción en masa en el barrio Juan José Rondón Sector II – La Unión. La metodología de análisis para el desarrollo del estudio geotécnico es la siguiente:

- Obtención del modelo geológico base del análisis, con base en la información secundaria y con base en los resultados de la exploración de subsuelo.

- Retroanálisis basado en el análisis de estabilidad de deslizamientos ocurridos en el área, teniendo en cuenta la información secundaria y la información obtenida durante la investigación del subsuelo, con el objeto de calibrar los parámetros de resistencia objeto del análisis de estabilidad propiamente dicho.

- Análisis de estabilidad para la condición actual y otros escenarios de riesgo, haciendo uso del programa PCSTABL de la Universidad de Purdue. Se efectuarán análisis bajo la condición estática y bajo la condición pseudoestática, teniendo en cuenta el coeficiente de aceleración horizontal correspondiente para la zona, según el Estudio de Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá.

- Obtención de las probabilidades de falla de taludes considerando diferentes escenarios, con base en el análisis de estabilidad (sin agua – sin sismo, con agua – sin sismo, sin agua – con sismo, con agua – con sismo).

CAPÍTULO 3.0

TOPOGRAFÍA

3.1 ALCANCES

Con el fin de obtener una topografía detallada a escala 1: 500 del área de estudio, Geoingeniería Ltda. realizó un levantamiento topográfico en un área aproximada de 2.0 Hectáreas. Sobre la margen izquierda y derecha de la quebrada El Arrayanal.

Para obtener buenas precisiones en los trabajos de topografía se utilizó estación electrónica total. De la misma forma se capturo información para crear un modelo digital del terreno con curvas de nivel cada 0.50 m.

En el sector de influencia de la quebrada El Arrayanal se detallaron los procesos morfodinámicos apreciables como grietas escarpes, deslizamientos y hundimientos.

Con el objeto de efectuar el tránsito de crecientes en la quebrada El Arrayanal, se efectuaron cinco (5) secciones transversales en los sitios indicados por el ingeniero hidráulico, iniciando en el límite del área de estudio por el costado oriental, continuando cada 50 m, hasta el límite del área de estudio por el costado occidental. Y por último se detalló la estructura hidráulica que controla el caudal de la corriente a 95 m, aguas abajo del límite del área de estudio.

3.2 METODOLOGÍA

3.2.1 Levantamiento Planimétrico

Para el levantamiento de la información de campo solicitada, se utilizaron estaciones totales de topografía debidamente calibradas y realizando una poligonal cerrada de apoyo para la toma de detalles a partir del mojón CD 571 del IGAC y tomando como señal de azimut el punto CD 572, para posteriormente leer ángulos horizontales y verticales de puntos de terreno en una serie de dos lecturas por delta de la poligonal, para garantizar que los errores de cierre cumplieran con una precisión mínima de 1:10.000. De la poligonal principal, se procedió a levantar la información de terreno mediante radiación de puntos para la toma de detalles, garantizando el cubrimiento total del área de estudio, dejando debidamente materializados los deltas con estacas y testigos identificando con pintura reflectiva el nombre respectivo de cada uno de ellos.

3.2.2 Levantamiento Altimétrico

Como complemento de los detalles de planimetría, en los que se les determinó la cota por el método trigonométrico, se densificó la información altimétrica con puntos de quiebre de terreno suficientes para lograr un modelo digital del terreno lo más cercano al real en la medida que las condiciones de vegetación lo permitieron, considerando que en el área de influencia de la quebrada es bastante densa.

3.2.3 Precisión del Levantamiento

La poligonal topográfica realizada en los sectores de levantamiento, tiene una longitud de 451.984 metros presenta un error de cierre de 1:13669.52 en planimetría y de 0.0068 m. en cota trigonométrica; y cubre un 80 % del área de estudio (**Figura 3.1**).

3.3 TRABAJOS DE CAMPO

Una vez efectuado el reconocimiento de la zona de estudio, se buscaron los puntos de apoyo certificados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Existentes en la zona encontrando los mojones CD-571 Y CD-572, para tal fin. En primera instancia se ocupo el CD-571 y se viso el CD-572 como señal de azimut de arranque de la poligonal de amarre, determinando el D-1 Directamente en el barrio Juan José Rondón II sector, materializándolo en la esquina de la carrera 15 Bis este con calle 87 B, el paso siguiente fue trasladar el equipo al D-1 para localizar el punto D-2 en la zona de estudio; punto de partida de la poligonal principal desde el cual se determinaron los deltas D-3 para continuar la toma de información y el D-1-2 para cerrar posteriormente la poligonal y comprobar la precisión del levantamiento, la poligonal principal continuo con el delta D-4 desde el que se ubica el delta D-4-1 punto de poligonal principal y el delta D-5 para toma de información en el límite occidental del área de estudio y desde el cual se materializarían finalmente

los deltas D-6 y D-5-1 para detallar la estructura hidráulica de control de la corriente sobre la carrera 13 Bis este. La poligonal principal se continuo desde el D-4-1 ubicado en la margen izquierda de la quebrada El Arrayanal visando el D-4-2 materializado sobre la margen derecha de la quebrada, se traslado el equipo, al delta D-4-2 para continuar la poligonal sobre la margen derecha y se viso el punto D-1-3, sobre esta misma margen el procedimiento se repitió para los deltas D-1-1 y D-1-2 para cerrar la poligonal desde este último punto con visual al D-2. Finalmente, se trasladó la estación al delta 4-3 y tomando vista en el delta D1-3, se viso el delta 4-2 para comprobar la precisión en la armada y determinar las coordenadas de los Mojones 1 y 2 materializados para los trabajos a que haya lugar como resultado del estudio (Figura 3.1).

3.4 EQUIPOS UTILIZADOS

Para este trabajo se utilizó equipo de precisión debidamente calibrado (**Anexo 3A**), de acuerdo con la siguiente relación:

- Una (1) estación total TOPCON GTS 212, con resolución al segundo.

A continuación se presentan los siguientes Anexos:

- **Anexo 3A** - Certificaciones IGAC de los mojones utilizados para los levantamientos topográficos.
- **Anexo 3B** - Cartera electrónica de la poligonal principal - 1 Carátula 1 página.
- **Anexo 3C** - Carteras electrónicas de detalles levantados - 1 Carátula 21 páginas.
- **Anexo 3D** - Listados de coordenadas de detalles - 1 Carátula 11 páginas.
- **Anexo 3E** - Carteras topográficas de campo - 1 Carátula 7 páginas.
- **Anexo 3F** - Certificaciones de calibración de la estación utilizada en el levantamiento - 1 Carátula 1 página.
- **Anexo 3G** - Planos topográficos
    - Un (1) plano topográficos del área de estudio a escala 1: 500.
    - Un (1) plano con las secciones transversales de la quebrada El Arrayanal, escala 1:250.



FIGURA No. 3.1
ESQUEMA DE LA POLIGONAL
ESC. 1:2500

888-F01

CAPÍTULO 4.0

ESTUDIO GEOLÓGICO

4.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO

En el presente capítulo se presenta el marco geológico y geomorfológico regional del área de estudio, al igual que el modelo geológico detallado que servirá de base para el estudio geotécnico, objeto de la evaluación de riesgos por fenómenos de inestabilidad sobre la margen izquierda de la quebrada El Arrayanal.

Como marco geológico regional, se tomó el Mapa Geológico del "Estudio Geológico para el Proyecto de Zonificación por Fenómenos de Remoción en Masa en los Cerros de Bogotá", elaborado en Enero de 1988 por la firma IGL Ltda para la DPAE y la interpretación de fotografías aéreas del sector, a una escala aproximada de 1:33000 (ver **Figura 4.1**). En este mapa se delimitan las diferentes formaciones rocosas y los depósitos Cuaternarios del sector sur de la Sabana de Bogotá, en donde se enmarca el área de estudio.

La técnica utilizada para la evaluación geológica del área de estudio, se inició con la compilación y análisis de la información disponible, la fotointerpretación geológica y geomorfológica, el reconocimiento y control de campo, perfiles geoeléctricos, trincheras y perforaciones. Información básica requerida para efectuar el análisis geotécnico, la evaluación del riesgo por remoción en masa y el diseño de las obras requeridas para la mitigación, en el barrio Juan José Rondón.

4.2 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El **Plano 4.1 – Geología Regional,** muestra las diferentes formaciones y depósitos geológicos que afloran al suroriente de la Sabana de Bogotá, entre los sectores de los barrios Santa Librada, Yomasa, Alfonso López, Juan Rey, Juan José Rondón y las Violetas entre otros; así como el registro de actividad estructural que ha afectado el área.

Estratigráficamente de más antiguo a más reciente se identifican las formaciones Areniscas de Labor y Tierna (Ksgl-t), pertenecientes a la parte Superior y la parte Media del Grupo Guadalupe. El Paleógeno está representado por la parte superior de la Formación Guaduas (K-Tg), la Formación Cacho (Tpc), la Formación Bogotá (Tpb), la Formación Regadera (Ter) y la Formación Usme (Tmu). Discordantemente sobre las rocas cretáceas y terciarias aparecen importantes depósitos cuaternarios (ver resumen en la **Tabla 4.1**).

Los depósitos cuaternarios cartografiados son, del más antiguo al más reciente: Depósitos Fluvio Glaciares (Qfg); Conos del Tunjuelo a (Qc); Depósitos aluviales (Qta); Depósitos de Pendiente (Qdl) y Depósitos Antrópicos entre otros (Qbe). A continuación se describe cada una de las unidades aflorantes, comenzando por la más antigua.

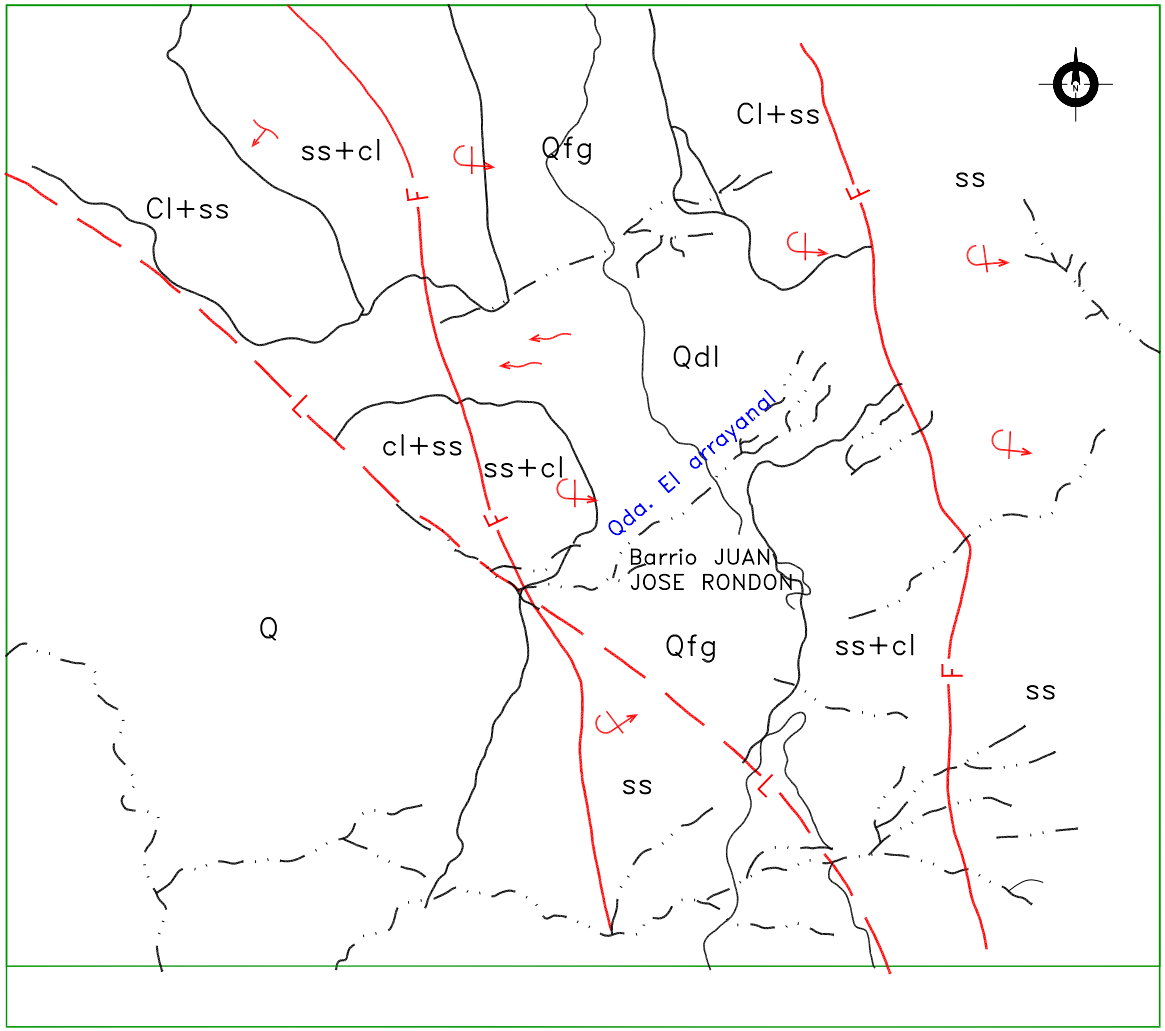
4.2.1 Rocas del Cretáceo

4.2.1.1 Grupo Guadalupe - Formaciónes Labor y Tierna (Ksgl- Ksgt)

El Grupo Guadalupe fue utilizado por primera vez por Hettner (1892), para designar con el rango de Piso de Guadalupe a las areniscas que se encuentran en los cerros orientales del área de Bogotá, depositadas durante el Cretáceo Superior. Hubach (1931), dividió la unidad en un conjunto inferior arcilloso y otro superior, arenoso; posteriormente, elevó el Guadalupe a la categoría de grupo y a cada unidad al rango de Formación, y las denominó Formación Guadalupe Inferior y Superior.

Renzoni G. (1962, 1968) redefinió esta unidad, y elevó la Formación Guadalupe Superior al rango de grupo y coloca la base sobre la última ocurrencia de lodolitas negras de la Formación Chipaque y su techo en la primera ocurrencia de arcillolitas de la Formación Guaduas.[1]

[1] *ACOSTA GARAY, JORGE Y ULLOA CARLOS. 2001. GEOLOGÍA DE LA PLANCHA 246- FUSAGASUGA*



LEYENDA

Qdf+Qfg:	Depósitos
ss:	Areniscas principalmente
ss+cl:	Areniscas principalmente intercaladas con arcillolitas
cl+ss:	Arcillolitas intercaladas con arerniscas
Q:	Depósitos subrecientes

CONVENCIONES

- Vias
- Drenajes
- Contacto Litológico
- F — Lineamiento de Falla
- Dirección de la estratificación
- Dirección del movimiento
- Dirección de la estratificacion invertida

FIGURA No. 4.1
INTERPRETACION GEOLOGICA
Esc.: 1:33000
(Foto 142)

TABLA 4.1
DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS A NIVEL REGIONAL

EDAD GEOLÓGICA		UNIDAD GEOLÓGICA	CONVENCIÓN EN EL PLANO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
CUATERNARIO		Depósitos de ladera	Qdl	Constituidos por bloques y guijos de arenisca cuarzosa, de forma angular a subredondeado, de tamaño heterométrico, embebidos en una matriz arenosa de color amarilla (matriz soportados).
		Depósitos de Planicie	Qhp	Constituidos por gravas y arenas que gradan a arcillas y limos.
		Depósitos Fluviocoluviales	Qfc	Bloques de arenisca, subangulares, con un alto contenido de matriz arcillo limosa.
		Depósitos de terraza	Qta	Constituidas por conglomerados, angulosos, clasto soportados. Materiales transportados y depositados en la zona de transición, entre las formaciones rocosas y la zona plana
		Conos del Tunjuelo	Qc	Gravas cantos y bloques de arenisca, de grano fino a grueso, subredondeados a redondeados, embebidos en una matriz areno arcillosa.
		Depósitos Fluvio Glaciares	Qfg	Bloques y cantos de arenisca de formas subredondeadas a angulares, aplanados, embebidos en una matriz limoarcillosa, producto del transporte de grandes flujos provenientes del Páramo de Sumapáz.
TERCIARIO	Oligoceno – Mioceno	Formación Usme	Tmu	Intercalaciones de lodolitas grises claras, con areniscas de cuarzo y feldespatos, de grano fino, en capas medias paralelas.
	Eoceno Medio	Formación La Regadera	Ter	El conjunto superior está conformado por intercalaciones de areniscas cuarzofeldespáticas y arcillolitas abigarradas, y el conjunto inferior por areniscas cuarzofeldespáticas, de grano grueso a conglomerático, grisáceas.
	Paleoceno Superior a Eoceno	Formación Bogotá	Tpb	Lodolitas, limolitas y arcillolitas abigarradas, separadas por bancos de areniscas arcillosas blandas.
		Formación Cacho	Tpc	Arcillolitas abigarradas de color violáceo.
TERCIARIO – CRETÁCEO	Maestrichtiano Superior a Paleoceno Inferior	Formación Guaduas	K-Tg	Conjunto superior: Arcillolitas abigarradas intercaladas con mantos delgados de carbón; Conjunto medio: Arenisca guía en la base y Arenisca Lajosa en el techo, separadas por arcillolitas compactas que contienen mantos de carbón; Conjunto Inferior: Arcillolitas grises oscuras.
CRETÁCEO	Maestrichtiano	Grupo Guadalupe, Formación Areniscas de Labor y Tierna	Ksgl-t	Arenisca Tierna: Areniscas de grano grueso a conglomerático, con intercalaciones delgadas de lodolitas, limolitas y arcillolitas; Arenisca de Labor: Areniscas de grano fino, arcillosas, compactas, separadas por capas finas de arcillolitas.

Fuente: Geología del Área Metropolitana de Bogotá D.C., PCI – OYO, 2000.

En la región comprendida por los cerros surorientales de la Sabana de Bogotá, el Grupo Guadalupe consta solamente de sucesiones de areniscas de cuarzo, muy finas, grises claras a oscuras, en capas delgadas a muy gruesas, con delgadas intercalaciones de lodolitas y limolitas de cuarzo; en muchos niveles se presenta un alto grado de bioperturbación. Estas características no permiten diferenciar las formaciones en el sentido de Renzoni, y los cambios se interpretan como cambios faciales dentro de la unidad, destacándose que la zona fue afectada por una tectónica muy fuerte. El contacto superior con las lodolitas de la Formación Guaduas es fallado y en posición invertida (Plano 4.1 - Corte Geológico Regional).

Hacia el costado oriental de la fotografía aérea (**Fotografía 4-A.1 del Anexo 4A**), esta unidad refleja una morfología fuertemente escarpada constituida principalmente por capas de areniscas (SS) en posición invertida, de alta resistencia a la erosión.

4.2.2 Rocas del Cretáceo - Terciario

4.2.2.1 Formación Guaduas (Ktg)

Propuesta por Hettner (1892) para designar la secuencia estratigráfica que aflora al oriente de la población de Guaduas, y redefinida por Hubach (1931, 1945, 1957); quienes restringen este término como una sucesión de lutitas con intercalaciones de arenisca y capas de carbón, quedando limitado en

su parte inferior por las areniscas del Grupo Guadalupe y en la parte superior por la arenisca de la Formación Cacho. [1]

La Formación Guaduas aflora en sector oriental del área del proyecto (cerros surorientales de la Sabana de Bogotá), dentro del Sinclinal de Usme en posición invertida, y genera amplios valles separados por pequeñas cuchillas. En este sector la Formación se puede dividir en los tres niveles: el Inferior que consta de arcillolitas con intercalaciones de arenisca de cuarzo, el Medio que consta de areniscas de cuarzo y el Superior que consta de lodolitas rojas.

El contacto inferior de la Formación Guaduas es fallado y ha sido marcado en el tope de la capa de areniscas de cuarzo del Grupo Guadalupe, mientras que el superior es concordante con la Formación Cacho. [1]

4.2.3 Rocas del Terciario

4.2.3.1 Formación Cacho (Tpc)

Compuesta por areniscas, de color pardo a blancuzco, con tamaño de grano de fino a grueso, gradación normal y estratificación cruzada, separadas por un intervalo de lutitas amarillentas a blancuzcas. En el área de estudio está formación aflora en la parte suroriental y en posición invertida, hacia la antigua cervecería Alemana; y desarrolla una morfología sobresaliente.

4.2.3.2 Formación Bogotá (Tpb)

El término Bogotá fue establecido por Hettner (1892) para denominar las arcillas de la parte alta de la Sabana de Bogotá. Posteriormente Hubach (1945) afirma que el límite entre el Guaduas y el Bogotá se distingue fácilmente por el conjunto de areniscas de grano grueso del Cacho. Este mismo autor describe la Formación Bogotá como una secuencia monótona de greda abigarrada (grises, moradas, violáceas y rojas), sin fósiles, que forman horizontes más o menos gruesos, y que van separados por bancos de arenisca arcillosa blanca, la cual le da al relieve un aspecto ondulado. Julivert (1963) propone como sección tipo la unidad que aflora en el flanco oeste del Sinclinal de Usme, en la quebrada El Zanjón.

En el área de estudio esta unidad se divide en dos partes, una inferior que consta de una secuencia alternante de lodolitas rojas y areniscas líticas y feldespáticas, medias a gruesas, levemente conglomeráticas, grises oscuras y verdosas, estratificadas en capas gruesas a muy gruesas, convergentes. La parte superior, aunque se encuentra cubierta discordantemente por depósitos, está conformada por una sucesión monótona de arcillolitas rojas.

El límite superior es neto y erosivo y se colocó en la base de una secuencia muy gruesas de areniscas finas a conglomeráticas de gránulos, pertenecientes a la Formación La Regadera (Ter), la cual se encuentra bien desarrollada en el Valle del Tunjuelo[1.]

Sobre está formación se encuentra localizada el barrio Juan José Rondón Sector II - La Unión.

Hacia el costado oriental y central de la fotografía aérea la Formación Cacho y la Formación Bogotá no son fácilmente identificables, y reflejan una litología constituida por areniscas y arcillolitas (SS+CL) que le imprimen al relieve una morfología ondulada.

El espesor de está unidad en el sector suroriental de la Sabana de Bogotá es de aproximadamente 1200 m, producto de una falla normal denominada para este trabajo Juan José Rondón, que hace repetir la secuencia en dicho sector.

4.2.3.3 Formación La Regadera (Tpr)

La Regadera es el nombre usado por Hubach (1957), como un miembro litológico guía, sobre la cual descansa la base de la Formación Usme. Julivert (1963) eleva esta unidad a la categoría de Formación, sin mencionar su localidad tipo. Depporta (1974) indica que su localidad tipo puede estar en cercanías de la Represa de La Regadera, de acuerdo al nombre dado inicialmente por Hubach (1957).

Esta unidad, aflora en ambos flancos del sinclinal de Usme. Está subdividida en 2 conjuntos: el Inferior compuesto por areniscas blancas, amarillentas y violáceas, de grano fino a conglomeráticas, síliceas, estratificadas en capas gruesas a muy gruesas. El Miembro Superior presenta una secuencia de arcillolitas, de color gris verdoso, con intercalaciones de areniscas cuarzo feldespáticas, de grano medio a grueso, en capas gruesas.

El contacto con la Formación Bogotá es erosivo y se traza en la base de una secuencia espesa de areniscas conglomeráticas y conglomerados que

suprayacen una sucesión de lodolitas; el contacto superior con la Formación Usme es transicional y se traza en el techo de la capa más superior de areniscas de cuarzo.

En el centro y costado occidental de la fotografía aérea esta unidad refleja una morfología escarpada a ondulada, indicando que esta constituida por una alternancia de rocas duras principalmente (SS) afectadas por una dinámica compresiva y distensiva, que permite que se encuentre fallada en algunos sectores y en posición invertida con el flanco oriental del Sinclinal de Usme.

4.2.3.4 Formación Usme (Tmu)

Propuesta por Hubach (1957) para designar unas lodolitas superiores que afloran en el Sinclinal de Usme. Posteriormente Julivert (1963) redefinió la unidad y la dividió en dos partes:

La parte inferior (Tmui) es predominantemente lutítica, con intercalaciones de capas de arenisca finas; y una superior (Tmus) está compuesta por areniscas de cuarzo, gruesas, y por conglomerado de cuarzo.

Está Formación aflora en los contornos de la Represa de La Regadera, donde está constituida por una secuencia de lodolitas grises claras, con esporádicas intercalaciones de arenisca de cuarzo y feldespato, finas, en capas medias, paralelas; su parte superior consta de una secuencia de areniscas de cuarzo, gruesas, con laminación cruzada, en capas muy gruesas, con esporádicas intercalaciones de arcillolitas grises y grises verdosas, plásticas. El espesor estimado para la unidad es de 500 m. [1]

El contacto inferior con la Formación La Regadera es transicional y el contacto superior es discordante con la base de la Formación Tilatá.

Hacia el costado occidental de la fotografía aérea (Figura 4.1 – Interpretación geológica), se refleja un relieve ondulado a ligeramente plano, consecuencia de los intensos procesos de acumulación que caracterizan el área.

4.2.4 Depósitos Cuaternarios

4.2.4.1 Depósitos Fluvioglaciares (Qfg)

Corresponden a pequeños lomos producto de las acumulaciones de flujos provenientes del Páramo de Sumapáz; compuestos principalmente por bloques y cantos de arenisca, de forma suredondeada a angular, embebidos en una matriz limosa.

En la zona de influencia del proyecto se presentan en el curso medio de las quebradas Santa Librada, Bolonia, Yomasita y Juan Rey.

4.2.4.2 Conos del Tunjuelo (Qc)

También se le conoce con el nombre de Conos del Tunjuelito y en el Estudio del Neógeno – Cuaternario de La Sabana se le denominó como Formación Marichuela. Helmes (1990) e Ingeominas (1995), denominó a los conos del Tunjuelito como Formación Río Tunjuelito.

Es un depósito detrítico compuesto por gravas, cantos y bloques redondeados a subredondeados que pueden alcanzar más de un metro de diámetro, embebidos en una matriz areno-arcillosa; su mecanismo de depositación es de aguas torrenciales.

Las gravas, cantos y bloques de este depósito proceden, casi en su totalidad, de las areniscas del Grupo Guadalupe.

4.2.4.3 Depósitos de terraza (Qta)

Se restringen al lecho de las quebradas que disectan el paisaje al suroriente de la Sabana. La litología depende más de la energía y dinámica de cada corriente, así por ejemplo, la fracción gruesa de los aluviones corresponde a conglomerados angulosos clastosoportados. En cuanto a la génesis de las terrazas estas se asocian al levantamiento progresivo de la Cordillera Oriental. [2]

4.2.4.4 Depósitos Fluviocoluviales (Qfc)

Constituidos generalmente por partículas de gran variedad y composición: bloques de arenisca, subangulares donde predomina un alto contenido de matriz arcillo limosa.

Corresponden a depósitos alargados, localizados hacia las partes altas de las quebradas, asociadas tanto a efectos de acumulación gravitatoria como a el efecto de la acción fluvial.

[2] INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS LTDA. (1998). ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR MOVIMIENTOS EN REMOCIÓN EN MASA EN 101 BARRIOS DE LA LOCALIDAD DE USME.

4.2.4.5 Depósitos de Planicie (Qhp)

Los sedimentos agrupados bajo está denominación contienen en su base gravas y arenas que gradan a arcillas y limos; y no superan los 5.0 metros de espesor. Se ubican hacia el sector noroccidental y suroccidental del área de estudio.

4.2.4.6 Depósitos de Ladera (Qdl)

Constituidos por bloques, guijos de arenisca de cuarzo, embebidos en una matriz arcillosa a arcillo arenosa (matriz soportados).

La gran mayoría se encuentran localizados hacia los cauces altos de las diferentes quebradas que drenan las formaciones Usme, La Regadera y Bogotá y casi en su totalidad están asociados al Grupo Guadalupe.

4.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

De acuerdo con la información secundaria, en el área de influencia del proyecto, se tienen tres sectores o regiones estructurales con marcada diferencia (**Plano 4.1- Geología Regional**):

El primero localizado en la parte central del plano, donde se presenta una serie de pliegues apretados desarrollados en la Formación Areniscas de La Regadera (Ter), imprimiéndole al relieve un aspecto rizado, de morfología abrupta en la cual es frecuente encontrar capas invertidas y zonas de intenso diaclasamiento, con una orientación de los estratos en sentido NW y dirección de buzamiento NE con valores mayores a 65° (**Fotografías 4-A.1 a 4-A.5 del Anexo 4A**).

El segundo sector localizado hacia el occidente del plano, presenta una secuencia normal con orientación de los estratos en sentido NE e inclinaciones que no alcanzan los 30°. Está constituido por rocas de la Formación Usme, expuesta casi en su totalidad (Tum), pero con algunos repliegues hacia la Vereda El Uval.

El tercer sector y donde se localiza el área de estudio, corresponde al flanco oriental del Sinclinal de Usme, es frecuente encontrar las capas invertidas, con una orientación de los estratos en sentido NW e inclinaciones menores a los 15°.

A continuación se describen las principales estructuras geológicas del área:

Sinclinal de Usme

Corresponde a la estructura más importante del área y sobre la cual se localizan la gran mayoría de los barrios de la Localidad de Usme. El flanco occidental se halla en posición normal con buzamientos hasta de 45°, mientras que el flanco oriental se encuentra invertido con buzamientos que varía entre 70° y 15°.

Hacia la parte sur de la estructura exhibe un comportamiento tectónico bastante simple, en cuyos flancos sobresale el relieve permitido por las capas competentes de la Formación Regadera, ya hacia el sector central de la estructura es posible encontrar un cierre o estructura asimétrica, cuyo eje tiene una dirección aproximada N10°E y el cual queda decapitado contra la falla que se presenta a lo largo del río Tunjuelito.

Falla de Bogotá

Se presenta al oriente del área de estudio. Corresponde a una estructura con dirección aproximada N10°E y con el plano de falla inclinado hacia el oriente; se evidencia en campo debido al contraste morfológico en el relieve y las cuñas elongadas de rocas del Grupo Guadaluape y la Formación Guaduas. En la zona de estudio los estratos del Grupo Guadalupe (Ksgl-t) se encuentran invertidos.

Hacia el noreste o flanco oriental es frecuente encontrar capas invertidas, como las de las Areniscas de La Regadera y Bogotá, cuya orientación de los estratos presenta un sentido N38W y una inclinación aparentemente suave en superficie, debido a la acción de la Falla de Bogotá.

Falla de Juan Rey

Corresponde a una trazo rectilíneo, con dirección preferencial N60W, a través de la cual sufre un importante cambio en la dirección del rumbo de las capas de la Formación La Regadera, hacia un sentido más oeste, haciendo que el eje del Anticlinal de La Fiscala se deflecte hacia esta dirección (Localizado al oriente de la ventana seleccionada, en el Plano 4.1 – Geología Regional).

A partir de la información secundaria, se programó un reconocimiento de campo donde se realizaron nueve (9) estaciones (Plano 4.1 - Geología Regional), se ejecutó el levantamiento estructural de

los macizos rocosos y la descripción litológica de las unidades allí aflorantes, obteniendo los siguientes resultados: regionalmente, se identificaron tres sistemas principales de diaclasas: 190/68º, 159/70º y 90/70º y algunos planos aislados. Con respecto a los planos de estratificación, estos presentan una dirección de buzamiento predominante 63º y una inclinación de los estratos mayor de 60º hacia el centro del plano, donde aflora La Arenisca de La Regadera, y de 10° aproximadamente hacia el oriente, donde aflora la Formación Bogotá (**Anexo 4B**).

Lineamientos de fallas de dirección aproximada N – S y W - E

En el sector donde se ubica el barrio Juan José Rondón, Juan Rey y Altamira, se presenta una falla normal con orientación aproximada N – S, la cual ha sido denominada para el presente trabajo Falla de Juan José Rondón. Su presencia en el área de estudio hace repetir la secuencia de las rocas pertenecientes de la Formación Bogotá (Tpb), lo que permite que está unidad reporte espesores de más de 1100 metros (ver Plano 4.1 - Geología Regional).

Existen otros lineamientos de falla cuya dirección predominante es W-E, generando el dislocamiento y la no continuidad topográfica del relieve.

4.4 GEOLOGÍA DETALLADA

En este numeral se realiza una descripción de la geología detallada del área de estudio, haciendo énfasis en la estratigrafía, las condiciones estructurales y en los procesos morfodinámicos que han dado origen al paisaje actual local, tomando como base la información regional, el reconocimiento de campo y la exploración del subsuelo.

La inspección geológica se realizó con ayuda de una perforación por rotación y seis perforaciones con barreno manual, dos (2) sondeos eléctricos verticales, tres (3) trincheras y cuatro (4) apiques. La localización de los puntos de exploración se indican en el Plano 4.2 – Geología Local. Las trincheras en su mayoría se realizaron para definir la continuidad de los estratos y para conocer la composición del material del subsuelo. Los apiques se realizaron para constatar la cartografía geológica, muestrear y clasificar los materiales existentes; y los sondeos eléctricos verticales para identificar los cambios de estratificación y los posibles niveles de agua.

La ladera constituida por arcillolitas de la Formación Bogotá (Tpb) y sobre la cual se encuentra localizado el barrio Juan José Rondón Sector II - La Unión, está cubierta discordantemente por depósitos de ladera (Qdl) y rellenos antrópicos (Qbe) de poco espesor, pero de variable composición.

4.4.1 Modelo Litológico del Barrio Juan José Rondón Sector II - La Unión

A continuación se describen cronoestratigráficamente de tope a base, los estratos y materiales aflorantes en el barrio Juan José Rondón; ver resumen en la **Tabla 4.2** y su localización tanto en planta como en los perfiles 1 –1 a 3 – 3 del **Plano 4.2 - Geología Local**.

TABLA 4.2
DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES SUPERFICIALES PRESENTES EN EL SECTOR DE JUAN JOSÉ RONDÓN

DESCRIPCIÓN	CONVENCIÓN EN EL PLANO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
Relleno antrópico	Qbe1	Material arcilloso de color rojizo y suelto.
	Qbe2	Material limoso, algo arcilloso, de color café oscuro, con raíces, material de basura y fragmentos de arenisca
	Qbe3	Limo arcilloso a algo arcilloso, de color gris y café oscuro, con algo de raíces y material de basura (escombros de construcción, zapatos, bolsas, plásticos, etc).
	Qbe4	Limo arcilloso, de color negro a café oscuro, con raíces
Depósito Coluvial	Qdl	Bloques hasta fragmentos de arenisca, de forma subangular a subredondeado y de tamaño heterométrico; en una matriz arcillo arenosa, de color amarilla. Matriz soportados.
Formación Bogotá	Tpb	Arcillolita abigarrada, de color rojiza e intercalaciones de arcillolitas algo arenosas.

4.4.1.1 Depósito de Ladera

Material de Relleno (Qbe1, Qbe2 Qbe3 y Qbe4)

Estas unidades en general consisten en rellenos antrópicos de diferente compactación y composición (Qbe1, Qbe2, Qbe3 y Qbe4); localizados aleatoria

mente sobre la margen izquierda de la quebrada El Arrayanal.

El material (Qbe1), consiste en un suelo arcilloso de color rojizo, con un espesor no mayor a 1.5 m, dispuesto sobre una ladera de moderada pendiente localizada al occidente del área (Plano 4.2 - Geología Local y la **Fotografía 4-A.8 del Anexo 4A**); sin ninguna obra de contención hacia la pata del mismo, lo que permiten que se generen procesos erosivos y flujos de suelo de poca magnitud.

El material denominado como Qbe2, es un limo de color café claro, con raíces, material de basura y fragmentos de arenisca; localizado hacia el costado occidental del cuerpo principal del deslizamiento 1 (**Fotografía 4-A.7 del Anexo 4A**). De acuerdo con las perforaciones 6 y 7 alcanza un espesor máximo de 3.0 metros.

El material (Qbe3) es un limo arcilloso a algo arcilloso, de color gris a café oscuro, con algo de raíces y material de basura. De acuerdo con las perforaciones 1 y 2 alcanza una profundidad de 3.30 metros en la parte alta del deslizamiento activo y de uno a 3.0 metros de profundidad hacia la base.

El material Qbe4, consiste en un suelo limo arcilloso, de color negro con café oscuro y con raíces. Localizado hacia el centro del área de estudio. De acuerdo con las perforaciones 3 y 4 este lleno no alcanza los 3.5 m de profundidad

Depósito Coluvial (Qdl)

Bloques y quijos de arenisca cuarzosa, de forma subangular a subredondeado, de tamaño heterométrico, embebidos en una matriz arenosa, de color amarilla (**Fotografía 4-A.6 del Anexo 4A**).

4.4.1.2 Unidades de Roca

Arcillolitas de la Formación Bogotá (Tpb)

Consisten en arcillolitas a arcillolitas arenosas, de color rojizo a amarillento, con bandas grises y blancas.

En las secciones 1-1 a 3-3 presentadas en el Plano 4.2, se indican los materiales que constituyen el subsuelo en el sector de estudio.

4.4.2 Modelo Estructural del Barrio Juan José Rondón Sector II - La Unión

De acuerdo con la información geológica regional, el área de influencia local del proyecto, está localizada en el sector tres, cuyas características se describieron en el numeral 4.3.

Para entender el comportamiento estructural del área donde se localiza el barrio Juan José Rondón, se realizó un reconocimiento de campo detallado a través de la quebrada y áreas circundantes; siendo imposible encontrar afloramientos frescos que permitieran determinar con el patrón estructural con mayor severidad y claridad.

Sin embargo, se logró realizar tres estaciones (denominadas 10,11 y 12) en el área de influencia local del proyecto (Plano 4.2 - Geología Local) y se logró determinar que el rumbo promedio de los estratos es de N38W con una inclinación de 10° a 15° hacia el NE. Teniendo en cuenta el análisis estructural regional, realizado para este estudio y basado en la información secundaria y de campo, es de anotar, que aunque superficialmente la inclinación invertida de los estratos es muy baja, está se inclina rápidamente en profundidad volviéndose casi vertical. Como consecuencia del plegamiento y la ruptura de la unidades rocosas a la que ha sido sometida la Formación Bogotá por parte de la Falla de Cabalgamiento de Bogotá.

De acuerdo con los datos estructurales registrados en campo, la ladera en su contexto se divide en dos regiones estructurales. Es así, como en la margen izquierda la ladera se comporta como una pendiente estructural hasta el lecho del cauce de la quebrada El Arrayanal; y a partir de este sector y hasta la divisoria de aguas sobre la margen derecha la ladera se comporta como una contrapendiente estructural.

4.5 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

Los aspectos geomorfológicos se presentan de manera general para el área de estudio y se detallan para el sector de Juan José Rondón, considerando que en este último es donde se efectuará el análisis de riesgos por fenómenos de remoción en masa.

4.5.1 Morfografía

A nivel regional se presentan cuatro (4) diferentes expresiones morfogenéticas, las cuales son el

resultado de la interacción entre la resistencia de los materiales que conforman las unidades de roca, la actividad tectónica, la presencia de procesos denudativos y a la incidencia del hombre como agente modelador del paisaje (**Tabla 4.3** y **Plano 4.3** - **Geomorfología Regional**).

A continuación se describe cada una de los modelados geomorfológicos, indicando sus principales geoformas y características:

- **Modelado Estructural:**

Corresponde a aquellas formas del relieve producto de los procesos de levantamiento y plegamiento de la Cordillera Oriental, que para la zona del proyecto presenta las capas en posición invertida y afectadas por fallas, involucrando todas aquellas laderas controladas por la orientación e inclinación de las capas rocosas, con respecto a la inclinación de los taludes naturales y el grado de pendiente de las misma. Es así, como se pueden diferenciar tres unidades geomorfológicas dentro del área de influencia regional del proyecto.

Laderas Estructurales (E): Superficies alargadas con dirección predominante Norteste y Norte – Sur, de alta pendiente, en donde los planos de estratificación invertidos de las formaciones La Regadera (Ter) y Usme (Tum), coinciden con las laderas (Fotografía 4-A.1 y 4-A.2 del Anexo 4A).

TABLA 4.3
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS A NIVEL REGIONAL

MODELADO	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	CONVENCIÓN EN EL MAPA 4.3	CARACTERÍSTICAS
ESTRUCTURAL	Ladera Estructura	E	Superficies alargadas con dirección Noreste y Norte-Sur, de alta pendiente y en donde los planos de estratificación invertidos de las Formaciones La Regadera y Usme coinciden con la ladera.
	Frentes Estructurales	Ef	Superficies alargadas con dirección Noreste y Norte–Sur, de alta pendiente, que se localizan opuestas a la dirección de buzamiento de los estratos invertidos de las Formaciones La Regadera y Usme.
	Espinazos Estructurales	Ee	Zonas donde la topografía y el alto grado de inclinación de los estratos, genera un paisaje de cerros pequeños y delgados.
ESTRUCTURAL - DENUDATIVO	Ladera Cóncava	Mlc	Laderas y frentes estructurales que están enmascarados por más de un proceso agradacional de variable espesor, afectados por procesos de erosión que han alcanzado la categoría de surcos.
	Ladera suavizada	Mls	
	Ladera Alomada	Mla	
	Taludes de terraza	Dtt	
	Laderas cóncavas de drenajes	Dcl	
	Ladera ondulada	Dlo	
AGRADACIONAL	Ladera plana inclinada	Mlp	Zonas de baja pendiente, que han sido sometidas a intensos procesos agradacionales y que han enmascarado la topografía de las rocas infrayacentes.
ANTRÓPICO	Ladera de explotación	Ale	Formas generadas por la acción del hombre sobre el relieve.
	Superficie aplanada	Ase	

Frentes Estructurales (Ef): Superficies alargadas, de alta pendiente, que se localizan opuestas a la dirección de buzamiento de los estratos invertidos; generalmente están asociadas a las formaciones La Regadera y Usme (Fotografía 4-A.1 y 4-A.2 del Anexo 4A).

Espinazos estructurales (Ee): Son aquellos en donde la combinación entre la topografía y el alto grado de inclinación de las capas generan un paisaje de cerros pequeños y delgados, cuyo apice generalmente es agudo. Estas geoformas se encuentran localizadas hacia el costado norte y suroccidental del área de interés (Fotografía 4-A.3 del Anexo 4A).

- **Modelado Estructural – Denudativo**

Corresponde a frentes estructurales que han sido cubiertos discordantemente por procesos agradacionales de poco espesor (depósitos coluviales y fluvioglaciares); y se subdividen dependiendo del tipo y forma de la ladera y los procesos morfodinámicos existentes (Fotografía 4-A.3 del Anexo 4A).

- **Modelado Agradacional**

Zonas de baja pendiente que han sido cubiertos por depósitos agradacionales, que han enmascarado la topografía de las rocas infrayacentes.

- **Modelado Antrópico**

Formas del relieve generadas por la acción del hombre (zonas de llenos y obras de infraestructura).

4.6 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

4.6.1 Morfometría

En el área de estudio existen tres (3) zonas de pendiente claramente definidas. La primera ubicada sobre la margen izquierda, está circunscrita entre la cota 3000 m.s.n.m. hasta la 3025 m.s.n.m, corresponde a una zona de pendientes con intervalos entre 0 y 20° (**Figura 4.2 - Mapa de Pendientes**.).

Los intervalos entre 0 - 5° están asociados a las zonas que han sido habilitadas como vías de acceso, entre 5 y 15° a las zonas adecuadas como áreas de construcción y las comprendidas entre 15 y 20° a las zonas que aún no han sido intervenidas.

La segunda zona ubicada desde el borde del escarpe principal de la ladera hasta el cauce de la quebrada El Arrayanal con una altura media de 20 m, presenta pendientes entre 25 y a 40°, asociadas al valle de la quebrada. Es de anotar que hacia la parte alta del área de estudio la pendiente de la cuenca cambia y presenta inclinaciones menores en promedio de 20 a 25°.

La tercera zona ubicada sobre la margen derecha de la quebrada, desde el lecho hasta el interfluvio, presenta pendientes cuyo intervalo oscila entre 10° y 30°, asociados a zonas de poca intervención antrópica.

4.6.2 Morfografía

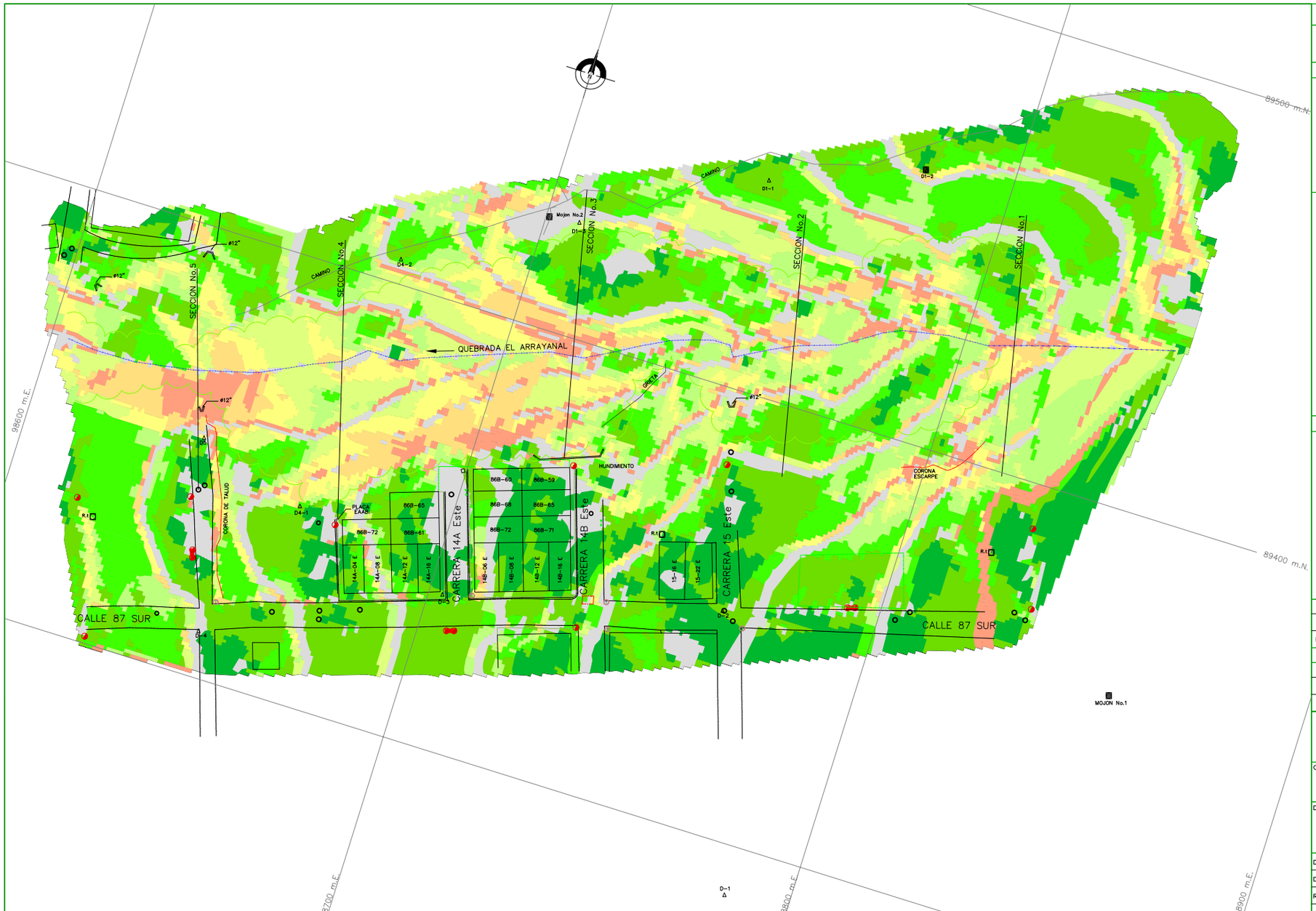
La clasificación de las principales geoformas del terreno, se define como la expresión dinámica del relieve edificado por fuerzas endógenas que han actuado a través del tiempo geológico y modelado por agentes externos, especialmente de tipo climático y antrópico. En el contexto regional, el sitio de estudio pertenece al Modelado denominado Estructural-Agradacional (Plano 4.3 - Geomorfología Regional), que a su vez está constituida por las siguientes geoformas (**Plano 4.4 - Morfodinámica Local**):

4.6.2.1 Ladera Denudada (MEDLR)

A esta unidad pertenece la ladera cóncava a rectilínea que va desde la cota 2995 m.s.n.m., hasta la parte superior de la ladera. Está constituida por suelos residuales arcillosos a arcillo limosos, que hacen parte del perfil de meteorización de las rocas Terciarias de la Formación Bogotá.

4.6.2.2 Ladera Coluvial (MDLc)

Ladera de baja pendiente, excepto en el valle de la quebrada El Arrayanal, constituida por bloques heterométricos en una matriz arcillo arenosa, de poco espesor, susceptibles a presentar proceso de erosión laminar y en surcos.



ESCALA GRAFICA

5 0 5 10 15 20 25 m.

ORIGEN DE COORDENADAS

Grid unit:	International metre
Longtitude of origin:	74° 04' 51.30" West
Latitude of origin:	04° 35' 56.57" North
Scale factor at origin:	1.0000000000
Grid co-ordinate at origin:	100000.00 E
Grid co-ordinate at origin:	100000.00 N
Semi major axis:	6378388.0000
Flattening (1/f):	1/297.0

CONVENCIONES TEMATICAS

0 – 5 GRADOS	6 – 10 GRADOS
11– 15 GRADOS	16 – 20 GRADOS
21– 25 GRADOS	26 – 30 GRADOS
31– 35 GRADOS	36 – 40 GRADOS
> 40 GRADOS	

PLANO No.	ARCHIVO	DESCRIPCION

PLANOS DE REFERENCIA

REV	FECHA	DESCRIPCION	POR	APROBO

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS DE BOGOTA

CONTRATISTA: GEOINGENIERIA LTDA

DESCRIPCION:

ESTUDIOS DE RIESGO POR REMOCION EN MASA Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE MITIGACION EN EL BARRIO JUAN JOSE RONDON SECTOR II LA UNION, DE LA LOCALIDAD DE USME EN LA CIUDAD DE BOGOTA D.C.

PLANO DE PENDIENTES

DISEÑO: GEOINGENIERIA LTDA.	FECHA: JULIO-03	ARCHIVO ACAD:	888/FIGURAS/FIGURA 4.2
DIBUJO: GEOINGENIERIA LTDA.	FECHA: JULIO-03	ESCALA:	SIN
REVISO: GEOINGENIERIA LTDA.	FECHA: JULIO-03	ARCHIVO: FIGURA No. 4.2	REV. 2
APROBO:	FECHA:		

4.6.2.3 Ladera Antrópica (MALa)

Consiste en una geoforma de origen antrópico, reciente, consecuencia de los cortes efectuados durante la construcción del barrio y dispuestos ladera abajo, sobre la margen izquierda de la quebrada El Arrayanal. El material de relleno localizado en la margen izquierda costado occidental de la ladera (Qbe1) está desprovisto de vegetación, pero los localizados en la parte alta y media ladera (Qbe2, Qbe3 y Qbe4), están cubiertos por una vegetación protectora que proporciona algún grado de estabilidad al terreno. En la **Tabla 4.4** se describen las unidades geomorfológicas.

4.6.3 Procesos Morfodinámicos

La identificación de las unidades geomorfológicas y de los agentes dinámicos que actúan sobre cada una de ellas, permiten diferenciar los siguientes procesos (**Plano 4.4 - Morfodinámico Local**).

Sobre la margen derecha y hacia la parte baja de la ladera se presenta fenómenos de reptación moderada y de actividad incipiente; y hacia la parte alta y en dirección aguas arriba de la quebrada El Arrayanal, sobre el límite oriental del área de estudio, se presenta un fenómeno de remoción en masa de actividad incipiente (**Fotografía 4-A.11 del Anexo 4A**), el factor intrínseco relevante que influye en el desarrollo de este proceso lo constituye la litología aflorante (material arcilloso), mientras que los factores de disparo lo constituye las fuertes precipitaciones, las aguas de escorrentía que alimentan este sector y la deforestación.

Sobre la margen izquierda se presentan procesos de erosión y dos deslizamientos activos denominados 1 y 2, sobre materiales no consolidados (**Fotografías 4-A.9 y 4-A.10 Anexo 4A**). Además, se presentan flujos de suelos en los materiales dispuestos sin ningún control (Qbe1), localizados sobre el costado occidental del área de estudio.

TABLA 4.4
UNIDADES GEOMORFOLÓGICOS DEL BARRIO JUAN JOSÉ RONDÓN SECTOR II – LA UNIÓN

TIPO DE GEOFORMA	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	CONVENCIÓN EN EL MAPA 4.4	CARACTERÍSTICAS
ESTRUCTURAL - DENUDATIVO	Ladera Denudativa	MEDLR	Ladera de pendiente cóncava y convexa, de baja pendiente, con evidencias de deslizamientos incipientes y zonas húmedas.
	Ladera Coluvial	MEDLc	Laderas de baja pendiente, excepto el valle de la quebrada El Arrayanal, donde se presentan deslizamiento activos y escarpes activos hacia la base mayores de 1.5 metros.
ANTRÓPICO	Ladera Antrópica	MALa1	Ladera de baja pendiente, con evidencias de flujos de suelo.
		MALa2	Ladera de moderada a fuerte pendiente, con evidencias de fenómenos de reptación.
		MALa3	Ladera de moderada pendiente con fenómenos de remoción activos.
		MALa4	Ladera de baja a moderada pendiente, de formas cóncavas y alta saturación

4.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Acosta Garay, Jorge y Ulloa, Carlos (2001). Geología de la Plancha 246 - Fusagasuga.

[2]Investigaciones geotécnicas Ltda - UPES – FOPAE (1998). Zonificación de Riesgo Por Movimientos de Remoción en Masa en 101 Barrios de la Localidad de Usme.

Investigaciones Geotécnicas Ltda - UPES FOPAE- (1998). Zonificación de Riesgo por Fenómenos de Inestabilidad del Terreno en 27 Barrios de la Localidad de Usme.

Van der Hammen (1965). Plioceno y Cuaternario del Altiplano de Bogotá y Alrededores, IGAC

Universidad de Los Andes - UPES - FOPAE (2000). Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá.

CAPÍTULO 5.0

ESTUDIO GEOTÉCNICO

El estudio geotécnico tiene por objeto obtener los modelos litoestratigráficos propios del área de estudio y la caracterización geomecánica de los materiales presentes, principalmente de aquellos que intervienen en los problemas de estabilidad.

El estudio se llevó a cabo en varias etapas: La primera de ellas consistió en la investigación del subsuelo: exploración y ensayos in situ conducentes a conocer la estratigrafía y las propiedades mecánicas de los materiales. A continuación, se realizaron ensayos de laboratorio sobre muestras extraídas y como conclusión se clasificaron los materiales y se obtuvieron los parámetros de resistencia, los cuales intervienen en los análisis de estabilidad y posterior estudio de la amenaza por remoción en masa.

5.1 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

De acuerdo con los términos de referencia de la DPAE, la investigación del subsuelo consta de una fase exploración directa e indirecta a partir de la ejecución de perforaciones, apiques, trincheras y sondeos geoélectricos; una fase de ensayos de laboratorio sobre muestras representativas y la obtención de los perfiles litoestratográficos objeto de los análisis de estabilidad.

5.1.1 Exploración del Subsuelo

Una vez realizado el reconocimiento de campo, se requirió resolver tres cuestionamientos básicos: el contacto litológico, tipo y el espesor de los materiales aflorantes en el área de estudio.

Determinadas las limitaciones de los diferentes métodos de exploración del subsuelo, se concluyó que para el programa de exploración inicial con respecto a la investigación sobre los depósitos cuaternarios (tipo y espesor del material), la mejor alternativa era la realización de trincheras, apiques, sondeos mecánicos y manuales de muestreo continuo con SPT hasta alcanzar el nivel de roca.

Las unidades litológicas identificadas como resultado de los ensayos in situ, permitió la programación de una segunda etapa de exploración que consistió en la ejecución de sondeos eléctricos verticales, con el fin de determinar el espesor del depósito y definir la posible localización del nivel freático (**Anexo 5A**).

5.1.1.1 Método Directo

Para determinar la estratigrafía y características geotécnicas de los materiales presentes, se realizó un programa de exploración del subsuelo que incluyó una (1) perforación mecánica, seis (6) perforaciones con barreno manual, tres (3) trincheras y cuatro (4) apiques. La localización y el resumen de la exploración del subsuelo realizada se presentan en el **Plano 4.2** y en la **Tabla 5.1**.

Las profundidades de los sondeos oscilan entre 1.50 a 7.40 m, de acuerdo con los espesores tanto de los rellenos como de los suelos superficiales encontrados.

TABLA 5.1
COORDENADAS DE LA EXPLORACIÓN DIRECTA

EXPLORACIÓN	COORDENADAS		PROFUNDIDAD (m)
	NORTE	ESTE	
P1	89380	98735	7.40
P2	89390	98730	5.80
P3	89391	98760	3.30
P4	89380	98762	4.00
P5	89381	98707	2.20
P6	89773	98710	4.00
P7	89353	98678	4.80
AP-1	89380	98733	2.00
AP-2	89390	98740	2.80.
AP-3	89437	98774	1.60
AP-4	89392	98731	2.50
T-1	89383	98719	2.25
T-2	89343	98643	1.50
T-3	89363	98677	4.00

En las siete (7) perforaciones realizadas no se detectó el nivel freático.

Las perforaciones P1 y P2 se ubicaron hacia la margen izquierda de la quebrada El Arrayanal en el área donde se presenta un fenómeno de remoción en masa, con el fin de determinar la secuencia estratigráfica del área, conocer la probable superficie de falla, dilucidar los materiales que están

involucrados en el fenómeno de inestabilidad y conocer la probable localización del nivel freático.

Las perforaciones 3 y 4 se ubicaron en una zona contigua a las perforaciones 1 y 2, con el propósito de caracterizar una zona en apariencia homogénea y potencialmente inestable.

Las perforaciones 5, 6 y 7, se localizaron en el costado nor occidental, con el propósito de conocer las características de los rellenos allí presentes y el contacto suelo – roca.

La conjugación e interpretación de la exploración del subsuelo empleada nos permitió obtener una buena aproximación del modelo geotécnico del área en sentido longitudinal y transversal.

Interpretación de resultados

Como conclusión del uso o empleo del método directo, se obtiene que los espesores del depósito y del suelo residual (< 4 m) son pequeños y el nivel de roca se encuentra en buena parte del área.

5.1.1.2 Método Indirecto

Con base en el plan de exploración del subsuelo y de los trabajos de geología, se consideró oportuno el empleo de métodos geoeléctricos con el propósito de evaluar el espesor del relleno, la composición de los materiales, establecer el contacto suelo – roca y determinar si había algún condicionamiento hidrogeológico regional o alguna influencia tectónica adicional, sin encontrar ninguno de ellos.

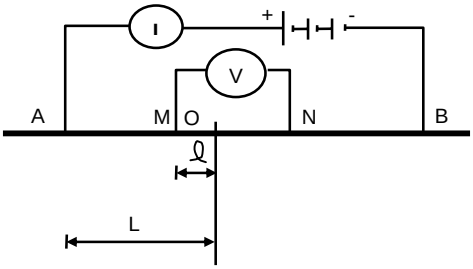
La investigación geoeléctrica se llevó a cabo mediante la ejecución en campo de dos sondeos eléctricos verticales (SEV), cuya localización se muestra en el Plano 4.2 y la **Tabla 5.2**.

TABLA 5.2
PUNTOS DE EXPLORACIÓN INDIRECTA

EXPLORACIÓN	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
SEV-1	89383	98757
SEV-2	89370	98685

El dispositivo de medida utilizado para los SEV es el llamado Schlumberger, que consiste en una línea de emisión que permite entre dos electrodos A - B, hacer pasar una corriente eléctrica continua con intensidad I. Se mide la diferencia de potencial entre los dos electrodos M - N que constituyen una línea de recepción. Los electrodos A - B y M - N están dispuestos simétricamente con relación al centro "O" del dispositivo. La profundidad de penetración del sondeo es directamente proporcional a la separación entre los electrodos, es decir, a medida que se van separando los electrodos, la corriente tenderá a pasar cada vez entre capas más profundas (**Figura 5.1** y Anexo 5A).

FIGURA 5.1
DISPOSITIVO SCHLUMBERGER



Donde:

M y N: Electrodos de Medida

A y B: Electrodos de Corriente

En el subsuelo se identificaron dos unidades geoeléctricas, la primera caracterizada por presentar pendientes positivas suaves y negativas fuertes. La segunda por presentar curvas de pendientes fuertes.

En las **Tablas 5.3 y 5.4** se relaciona el espesor, resistividad y tipo de material interpretado para cada sondeo eléctrico vertical.

TABLA 5.3
CARACTERÍSTICAS Y RESULTADOS DEL SONDEO VERTICAL 1

SEV	PROF. (m)	ESPESOR (m)	RESISTIVIDAD Ohmios* metro	TIPO DE MATERIAL
1	0 -1	1	370	Capa vegetal, arcilla, limo y bloques de arenisca en matriz arcillosa.
	1 - 2	1	600	Cantos, bloques de arenisca en matriz arcillosa, presencia de humedad
	2 - 4	2	80	Fragmentos de arenisca, arcilla y limo alterado
	> 4	-	13	Arcillolitas (Tpb)

TABLA 5.4
CARACTERÍSTICAS Y RESULTADOS DEL SONDEO VERTICAL 2

SEV	PROF. (m)	ESPESOR (m)	RESIS-TIVIDAD Ohmios* metro	TIPO DE MATERIAL
2	0 -1	1	250	Capa vegetal, arcilla y limo, con fragmentos vegetales.
	1 – 2.5	1.5	165	Areniscas arcillosas, arcilla y limos alterados
	> 2.5	-	14	Arcillolitas (Tpb)

Interpretación de resultados

Como conclusión del uso del método indirecto, se obtiene que no fue posible determinar el nivel freático, no obstante se corroboró la información obtenida en el método directo.

5.1.2 Ensayos In Situ

Durante la ejecución de las perforaciones manuales se llevaron a cabo simultáneamente dos actividades conducentes a obtener la caracterización geomecánica de los materiales: ensayos in situ y muestreo detallado.

El avance en los sondeos manuales se llevó a cabo básicamente con el ensayo de penetración estándar, (SPT). El SPT se consideró adecuado dado el carácter heterogéneo del suelo encontrado y teniendo en cuenta que el muestreo inalterado en este tipo de suelos se dificulta. Además de esta manera se obtienen, simultáneamente, muestra alterada para clasificación y estimativo de la resistencia del material a partir de los cuales se puede inferir el nivel de roca.

El número de golpes registrado en campo (N_{45}) fue normalizado (**Tabla 5.5**), para tener en cuenta el confinamiento del material y la relación de energía promedio aplicada, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$N_i' = C_N * N * \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * \eta_4 \qquad \text{Ec.1}$$

En donde:

N'_i Número de golpes corregido para un determinado nivel de transmisión de energía *i.*

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

η_1: Factor de corrección por eficiencia de energía trasmitida del martillo al varillaje y al toma muestras. Se obtiene como la relación entre las eficiencias medias de cada país así, para Japón la eficiencia es del 72%, para USA del 60% y para Colombia del orden de 45%.

η_2: Factor de corrección por longitud del varillaje.

η_3: Factor de corrección por presencia de revestimiento. Debido a que no se utilizó revestimiento, el factor de corrección es 1.0.

η_4: Factor de corrección por diámetro de la perforación. Los diámetros de las perforaciones fueron inferiores a 12 cm, por lo cual el factor de corrección es 1.0.

Con el fin de estimar valores de ángulo de fricción equivalente, ϕ_{eq}, en la misma tabla se promediaron los resultados obtenidos de las siguientes expresiones:

Kishida	$\phi = 15+\sqrt{(20*N_{72})}$	Ec.2
JRB	$\phi =15+\sqrt{(15*N_{72})}$	Ec.3
Shiou & Fukui	$\phi =27+ 0.36\ N_{72}$	Ec.4
JNR	$\phi = 27+ 0.30*N_{72}$	Ec.5

Para terminar, se estiman los parámetros c' y ϕ' por tipo de material siguiendo la metodología propuesta por González, A.J. (1999) que consiste en graficar puntos (σ_v', τ) en planos Mohr-Coulomb donde los coeficientes de una regresión lineal, corresponden a los parámetros geomecánicos efectivos buscados. El esfuerzo efectivo vertical se calcula como la diferencia entre el esfuerzo geostático total y la presión de poros y, el esfuerzo cortante a la

TABLA 5.5
NORMALIZACIÓN DEL ENSAYO SPT

Perf.	Muestra	Profundidad (m)			Golpes/pie			N_{45}	NF	Tipo	γ (T/m^3)	σ_v (Tov/µ")	σ_v' (Ton/m²)	R_s
		de	a	Media	1	2	3							
												0,00	**0,00**	
S-1	1	0,00	0,50	0,250	1	2	4	6	n.e.	1	1,81	0,45	0,45	0,05
S-1	2	0,50	1,00	0,750	4	6	8	14	n.e.	1	1,81	1,35	1,35	0,14
S-1	3	1,00	1,50	1,250	6	8	8	16	n.e.	1	1,81	2,26	2,26	0,23
S-1	4	1,50	2,00	1,750	5	7	10	17	n.e.	1	1,81	3,16	3,16	0,32
S-1	6	3,30	3,80	3,550	6	20	32	>50	n.e.	4	2,16	7,15	7,15	0,71
S-1	7	3,80	4,00	3,900	35	>50	>50	>50	n.e.	4	2,16	7,90	7,90	0,79
S-1	8	4,30	4,80	4,550	25	>50	>50	>50	n.e.	4	2,16	9,31	9,31	0,93
												2,17	**0,00**	
S-2	2	1,20	2,20	1,700	1	2	3	5	n.e.	1	1,81	3,07	3,07	0,31
S-2	3	2,20	2,70	2,450	4	4	5	9	n.e.	1	1,81	4,42	4,42	0,44
S-2	4	2,70	3,20	2,950	5	6	10	16	n.e.	2	2,04	5,39	5,39	0,54
S-2	5	3,30	3,80	3,550	8	8	10	18	n.e.	2	2,04	6,61	6,61	0,66
S-2	6	3,80	4,30	4,050	9	10	11	21	n.e.	2	2,04	7,63	7,63	0,76
S-2	7	4,30	4,80	4,550	9	15	15	30	n.e.	3	2,11	8,66	8,66	0,87
S-2	8	5,00	5,50	5,250	14	17	18	35	n.e.	4	2,16	10,16	10,16	1,02
S-2	9	5,50	5,80	5,650	30	45	>50	>50	n.e.	4	2,16	11,03	11,03	1,10
												0,00	**0,00**	
S-3	1	0,00	0,50	0,250	1	1	2	3	n.e.	1	1,81	0,45	0,45	0,05
S-3	2	0,60	1,10	0,850	6	6	10	16	n.e.	2	2,04	1,62	1,62	0,16
S-3	3	1,10	1,60	1,350	4	6	11	17	n.e.	2	2,04	2,64	2,64	0,26
S-3	4	1,60	2,10	1,850	14	9	16	25	n.e.	3	2,11	3,67	3,67	0,37
S-3	5	2,10	2,60	2,350	7	12	15	27	n.e.	4	2,16	4,74	4,74	0,47
S-3	6	3,00	3,30	3,150	20	40	>50	>50	n.e.	4	2,16	6,47	6,47	0,65
												0,90	**0,00**	
S-4	1	0,50	1,00	0,750	1	1	2	3	n.e.	1	1,81	1,35	1,35	0,14
S-4	2	0,60	1,10	0,850	3	5	6	11	n.e.	1	1,81	1,54	1,54	0,15
S-4	3	1,20	1,70	1,450	2	3	3	6	n.e.	1	1,81	2,62	2,62	0,26
S-4	4	1,70	2,30	2,000	1	1	2	3	n.e.	1	1,81	3,61	3,61	0,36
S-4	5	2,30	3,00	2,650	3	3	3	6	n.e.	1	1,81	4,79	4,79	0,48
S-4	6	3,10	3,50	3,300	3	3	10	13	n.e.	1	1,81	5,96	5,96	0,60
S-4	7	3,60	4,00	3,800	25	40	>50	>50	n.e.	4	2,16	6,97	6,97	0,70
												0,00	**0,00**	
S-5	1	0,00	0,50	0,250	1	2	5	7	n.e.	1	1,81	0,45	0,45	0,05
S-5	2	0,50	1,00	0,750	15	14	10	24	n.e.	3	2,11	1,43	1,43	0,14
S-5	3	1,00	1,30	1,150	20	20	>50	>50	n.e.	4	2,16	2,28	2,28	0,23
S-5	4	1,30	1,60	1,450	19	18	>50	>50	n.e.	4	2,16	2,93	2,93	0,29
S-5	5	1,60	1,90	1,750	15	35	>50	>50	n.e.	4	2,16	3,58	3,58	0,36
S-5	6	1,90	2,20	2,050	38	40	>50	>50	n.e.	4	2,16	4,23	4,23	0,42
												0,00	**0,00**	
S-6	1	0,00	0,50	0,250	1	2	3	5	n.e.	1	1,81	0,45	0,45	0,05
S-6	2	0,90	1,50	1,200	4	4	6	10	n.e.	1	1,81	2,17	2,17	0,22
S-6	3	1,65	2,40	2,025	2	1	2	3	n.e.	1	1,81	3,66	3,66	0,37
S-6	4	2,40	2,90	2,650	3	3	3	6	n.e.	1	1,81	4,79	4,79	0,48
S-6	5	2,90	3,50	3,200	3	4	4	8	n.e.	1	1,81	5,78	5,78	0,58
S-6	6	3,50	4,00	3,750	8	20	29	49	n.e.	4	2,16	6,86	6,86	0,69
												0,00	**0,00**	
S-7	1	0,00	0,50	0,250	1	1	2	3	n.e.	1	1,81	0,45	0,45	0,05
S-7	2	0,50	1,50	1,000	2	2	2	4	n.e.	1	1,81	1,81	1,81	0,18
S-7	3	1,75	2,50	2,125	2	2	2	4	n.e.	1	1,81	3,84	3,84	0,38
S-7	4	2,50	3,00	2,750	9	9	11	20	n.e.	2	2,04	5,02	5,02	0,50
S-7	5	3,00	3,50	3,250	17	12	7	19	n.e.	2	2,04	6,04	6,04	0,60
S-7	6	3,50	4,00	3,750	9	10	11	21	n.e.	3	2,11	7,08	7,08	0,71
S-7	7	4,00	4,80	4,400	10	20	25	45	n.e.	4	2,16	8,56	8,56	0,86

N_{45}	Número de golpes para el 45% de energía del martillo (Estimado para Colombia)
NF	Nivel freático
σ_v	Esfuerzo vertical total
σ_v'	Esfuerzo vertical efectivo
R_s	Parámetro utilizado para el C_N, Rs = σ_v'/p_a
C_N	Factor de corrección por confinamiento efectivo
η_1	Factor de corrección por energía del martillo: La energía de USA es el 60% y la de Japón el 72%
η_2	Factor de corrección por longitud de la varilla
η_3	Factor de corrección por revestimiento interno de tomamuestras
η_4	Factor de corrección por diámetro de la perforación
$N_{normalizado}$	Número de golpes corregido
ϕ'	Ángulo de fricción interna
σ_v'	Esfuerzo vertical efectivo

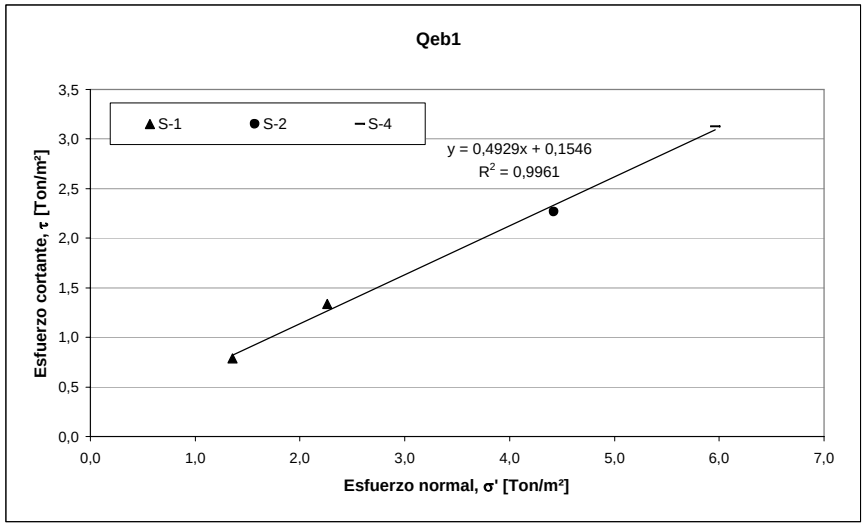
TABLA 5.5
NORMALIZACIÓN DEL ENSAYO SPT

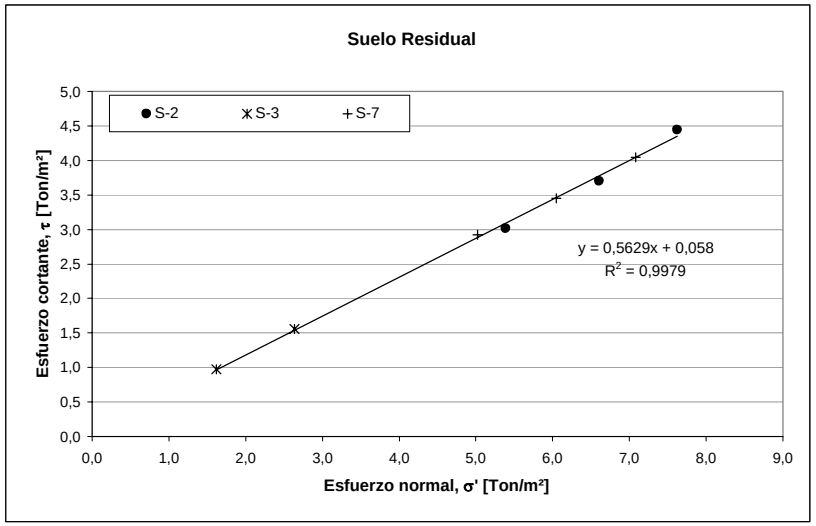
C_N								$C_{N\ promedio}$
Peck	Seed	Meyerhoff-Ishihara	Liao-Whitman	Skempton	Seed-Idriss	Schmertmann	González	
2,000	2,000	2,000	2,000	1,914	2,000	2,000	2,000	1,989
1,667	2,000	2,000	2,000	1,761	2,000	2,000	1,868	1,912
1,497	1,808	1,836	2,000	1,632	1,911	2,000	1,646	1,791
1,384	1,625	1,673	1,779	1,520	1,705	1,956	1,500	1,643
1,112	1,182	1,202	1,183	1,167	1,206	1,316	1,146	1,189
1,079	1,128	1,141	1,125	1,117	1,144	1,238	1,102	1,134
1,024	1,039	1,042	1,036	1,036	1,044	1,117	1,031	1,046
1,394	1,641	1,688	1,805	1,530	1,723	1,978	1,513	1,659
1,272	1,443	1,488	1,503	1,387	1,499	1,694	1,354	1,455
1,207	1,336	1,373	1,363	1,300	1,379	1,538	1,269	1,345
1,138	1,225	1,249	1,230	1,204	1,254	1,376	1,180	1,232
1,090	1,147	1,162	1,145	1,135	1,166	1,265	1,118	1,154
1,048	1,078	1,085	1,074	1,072	1,088	1,170	1,062	1,085
0,995	0,991	0,990	0,992	0,992	0,994	1,054	0,993	1,000
0,967	0,947	0,943	0,952	0,951	0,961	0,997	0,957	0,959
2,000	2,000	2,000	2,000	1,914	2,000	2,000	2,000	1,989
1,608	1,989	1,973	2,000	1,722	2,000	2,000	1,791	1,885
1,445	1,724	1,764	1,948	1,583	1,817	2,000	1,579	1,733
1,335	1,544	1,593	1,650	1,463	1,614	1,841	1,435	1,559
1,249	1,405	1,448	1,453	1,357	1,457	1,640	1,324	1,417
1,145	1,236	1,262	1,243	1,214	1,267	1,393	1,189	1,244
1,667	2,000	2,000	2,000	1,761	2,000	2,000	1,868	1,912
1,626	2,000	1,992	2,000	1,734	2,000	2,000	1,814	1,896
1,447	1,727	1,767	1,954	1,585	1,820	2,000	1,582	1,735
1,340	1,553	1,602	1,664	1,469	1,624	1,854	1,442	1,568
1,246	1,400	1,442	1,446	1,353	1,451	1,632	1,320	1,411
1,173	1,281	1,312	1,295	1,253	1,317	1,458	1,225	1,289
1,120	1,196	1,217	1,198	1,179	1,221	1,335	1,157	1,203
2,000	2,000	2,000	2,000	1,914	2,000	2,000	2,000	1,989
1,649	2,000	2,000	2,000	1,750	2,000	2,000	1,845	1,906
1,493	1,803	1,832	2,000	1,629	1,905	2,000	1,642	1,788
1,410	1,667	1,712	1,848	1,547	1,752	2,000	1,533	1,684
1,343	1,558	1,607	1,672	1,473	1,629	1,861	1,446	1,574
1,287	1,467	1,514	1,538	1,406	1,527	1,730	1,374	1,480
2,000	2,000	2,000	2,000	1,914	2,000	2,000	2,000	1,989
1,510	1,830	1,854	2,000	1,644	1,936	2,000	1,664	1,805
1,336	1,546	1,595	1,654	1,464	1,616	1,844	1,437	1,561
1,246	1,400	1,442	1,446	1,353	1,451	1,632	1,320	1,411
1,183	1,298	1,330	1,315	1,267	1,336	1,482	1,238	1,306
1,126	1,204	1,226	1,207	1,186	1,231	1,347	1,164	1,211
2,000	2,000	2,000	2,000	1,914	2,000	2,000	2,000	1,989
1,571	1,929	1,931	2,000	1,694	2,000	2,000	1,743	1,859
1,320	1,520	1,569	1,614	1,445	1,586	1,806	1,416	1,535
1,230	1,374	1,414	1,411	1,331	1,421	1,593	1,299	1,384
1,168	1,273	1,303	1,286	1,247	1,308	1,446	1,219	1,281

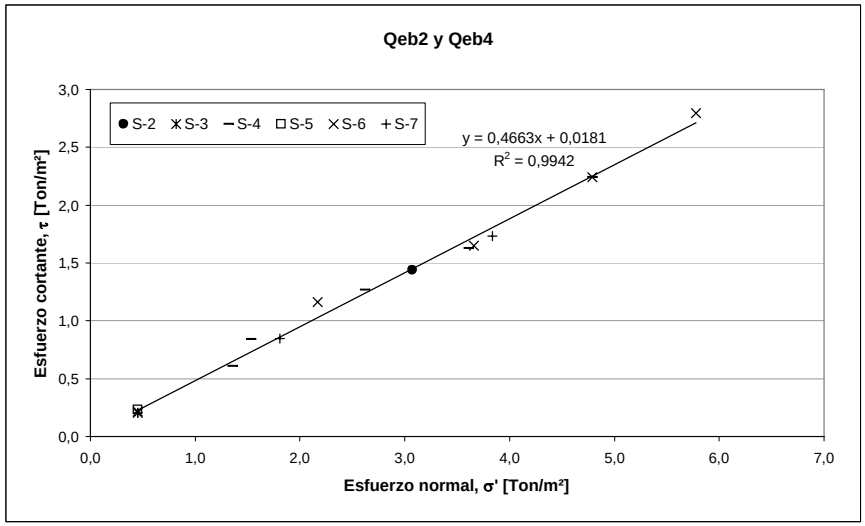
1,115	1,188	1,207	1,189	1,171	1,212	1,323	1,150	1,194
1,052	1,084	1,092	1,081	1,077	1,095	1,178	1,067	1,091

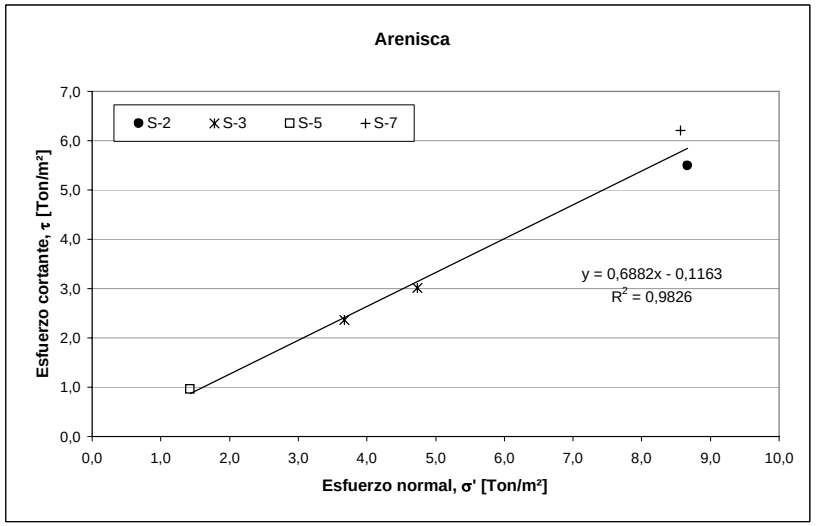
MATERIALES

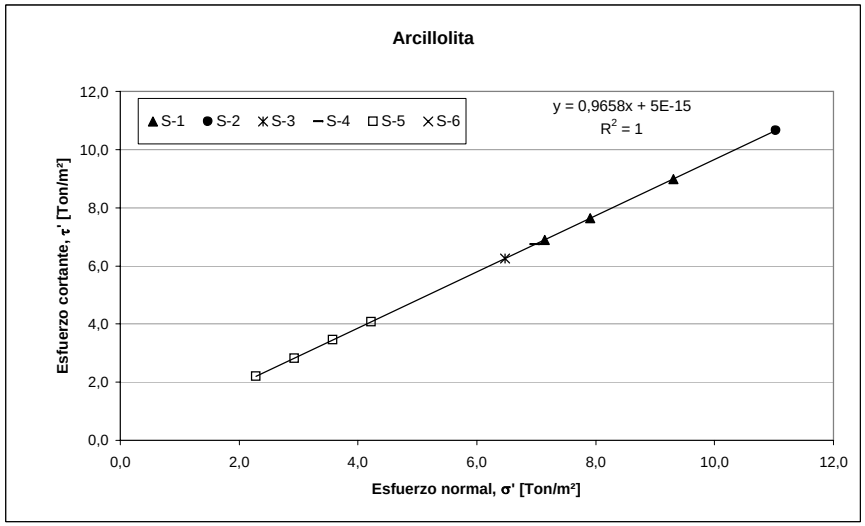
$\gamma_{mat\ 1}$	1	1,806
$\gamma_{mat\ 2}$	2	2,038
$\gamma_{mat\ 3}$	3	2,105
$\gamma_{mat\ 4}$	4	2,164


Qeb1
S-1
S-2
S-4
y = 0,4929x + 0,1546
R2 = 0,9961
Esfuerzo cortante, τ [Ton/m²]
Esfuerzo normal, σ' [Ton/m²]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
0,0
1,0
2,0
3,0
4,0
5,0
6,0
7,0


Suelo Residual
S-2
S-3
S-7
y = 0,5629x + 0,058
R2 = 0,9979
Esfuerzo cortante, τ [Ton/m²]
Esfuerzo normal, σ' [Ton/m²]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
4,0
4,5
5,0
0,0
1,0
2,0
3,0
4,0
5,0
6,0
7,0
8,0
9,0


Qeb2 y Qeb4
S-2
S-3
S-4
S-5
S-6
S-7
y = 0,4663x + 0,0181
R2 = 0,9942
Esfuerzo cortante, τ [Ton/m²]
Esfuerzo normal, σ' [Ton/m²]
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
1,0
2,0
3,0
4,0
5,0
6,0
7,0


Arenisca
S-2
S-3
S-5
S-7
y = 0,6882x - 0,1163
R2 = 0,9826
Esfuerzo cortante, τ [Ton/m²]
Esfuerzo normal, σ' [Ton/m²]
0,0
1,0
2,0
3,0
4,0
5,0
6,0
7,0
8,0
9,0
10,0


Arcillolita
S-1
S-2
S-3
S-4
S-5
S-6
y = 0,9658x + 5E-15
R2 = 1
Esfuerzo cortante, τ' [Ton/m²]
Esfuerzo normal, σ' [Ton/m²]
0,0
2,0
4,0
6,0
8,0
10,0
12,0

profundidad del ensayo, se obtiene como el producto del esfuerzo efectivo vertical por la tangente del ángulo de fricción equivalente estimado antes.

La ecuación de la envolvente de cada material se muestra de la **Figura 5.2 a 5.4** junto con los respectivos parámetros de resistencia, los que se resumen en la **Tabla 5.6**, para cada uno de los grupos de materiales (Qbe2, Qbe3, Qbe4, suelo residual y la arcillolita).

TABLA 5.6
RESUMEN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA EN CONDICIÓN DRENADA A PARTIR DEL SPT

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	γ (ton/m^3)	COHESIÓN (ton/m^2)	(ϕ)
Qbe2	Relleno Antrópico	2.04	0.1	25
Qbe3	Relleno Antrópico	1.81	0.20	27.07
Qbe4	Relleno Antrópico	2.04	0.1	25
SR	Suelo residual	2.15	0.05	29.8
Tpb	Arcillolita	2.16	0.1	44

El resultado obtenido por medio del SPT solo servirá como elemento de juicio o de soporte (como una barrera en el mejor de los casos).

5.1.3 Ensayos de Laboratorio

Sobre las muestras obtenidas durante la exploración del subsuelo se realizó el siguiente programa de ensayos de laboratorio: Ensayos de humedad natural, límites líquido y plástico, lavado sobre tamiz Nº200, peso unitario, análisis granulométrico por tamizado mecánico y corte directo, para la determinación de las propiedades índice del suelo a diferentes profundidades y los parámetros de resistencia.

En la **Tabla 5.7** se presentan los resultados de estos ensayos, referidos a la profundidad de sondeo.

Se realizaron tres (3) ensayos de corte directo para las muestras obtenidas de la perforación 1, el apique 4 y la trinchera 2. El ensayo de compresión inconfinada se realizó sobre la muestra del apique 4.

El corte directo realizado en las muestras de las perforaciones 1 y 2, se hizo con el único objeto de determinar los parámetros movilizados en la superficie de falla del deslizamiento principal y con ellos poder adelantar el análisis de estabilidad general por lo menos para está zona específica, y así poder caracterizar los otros tipos de relleno presentes en el área de estudio. El otro corte se realizó para caracterizar el segundo gran grupo como lo es el suelo residual.

En el **Anexo 5B** se presentan los registros de los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados sobre muestras representativas.

5.1.4 Caracterización de los Materiales

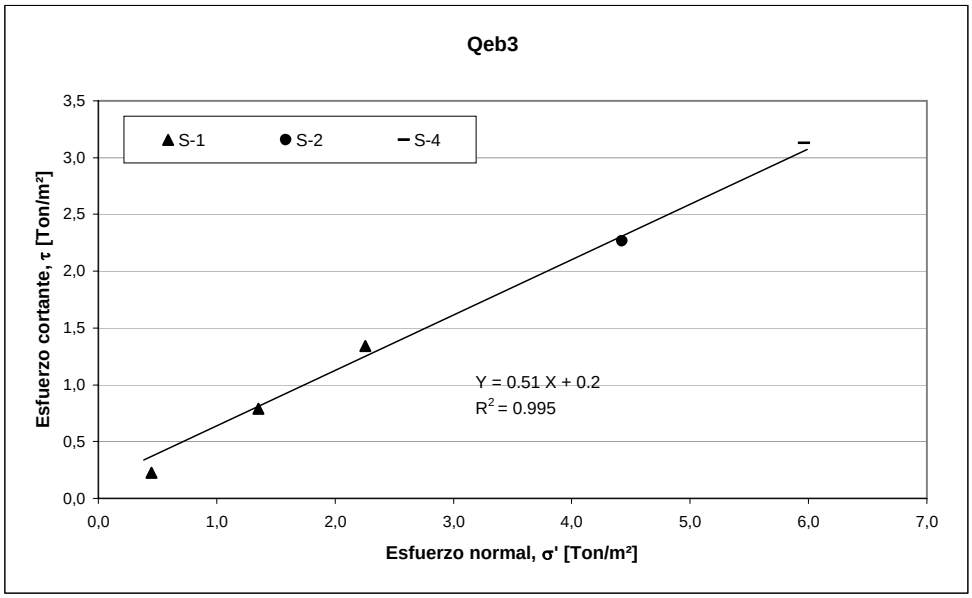
A partir de esta interpretación se determinaron seis (6) niveles o tipos de materiales que conforman el subsuelo en el área de estudio; cada uno de ellos se describe en la **Tabla 5.8** y su espesor en cada perforación se presenta en la **Tabla 5.9**.

TABLA 5.8
NIVELES ESTRATIGRÁFICOS PROMEDIO DE PERFORACIONES

NIVEL 1	**RELLENO.** Limo arcilloso, de color café oscuro a amarillo, con vetas negras y rojizas, algo de raíces y humedad media. De consistencia blanda a semidura y plasticidad alta a media.
NIVEL 2	**RELLENO.** Limo arcilloso, de color habano oscuro, con vetas de óxido, con raíces. De consistencia media a blanda, plasticidad media a alta y humedad media a baja.7
NIVEL 3	**RELLENO.** Limo algo arcilloso, de color café claro con negro, con algo de raíces. De consistencia blanda a media, de seco a húmedo y plasticidad media a baja.
NIVEL 4	**SUELO RESIDUAL**. Arcilla de color rojizo con bandas de color amarillo, de baja a media humedad, de consistencia blanda a dura y plasticidad baja a media.
NIVEL 5	**ROCA**. Arcillolita a arcillolita arenosa de color rojiza y vetas de color gris clara, con intercalaciones de arenisca de color amarillo. De baja humedad, plasticidad media y consistencia dura a rígida.
NIVEL 6	**DEPOSITO**. Bloques hasta fragmentos de arenisca, deforma subangular a subredondeado, de tamaño heterométrico, en una matriz arcillo arenosa, de color amarilla (matriz soportada).

A continuación se hace una descripción de los diferentes niveles estratigráficos encontrados y su clasificación:

FIGURA 5.2
PARAMETROS DE RESISTENCIA



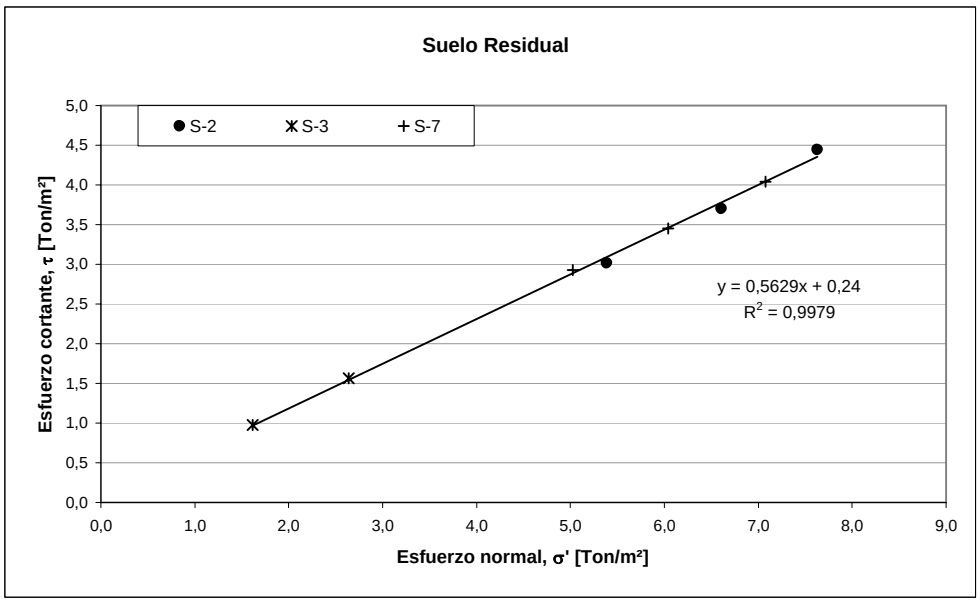
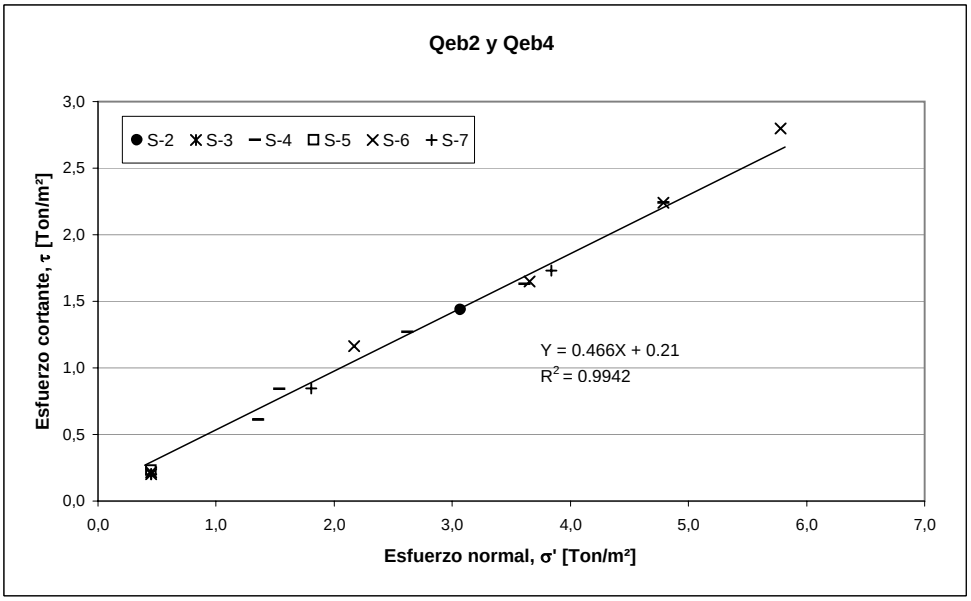


FIGURA 5.3
PARAMETROS DE RESISTENCIA



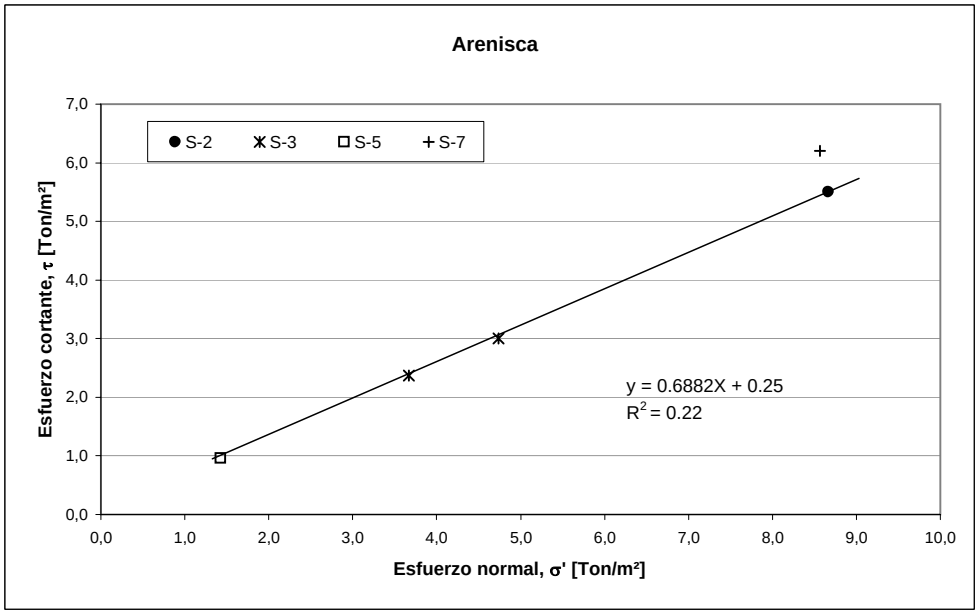


FIGURA 5.4
PARAMETROS DE RESISTENCIA

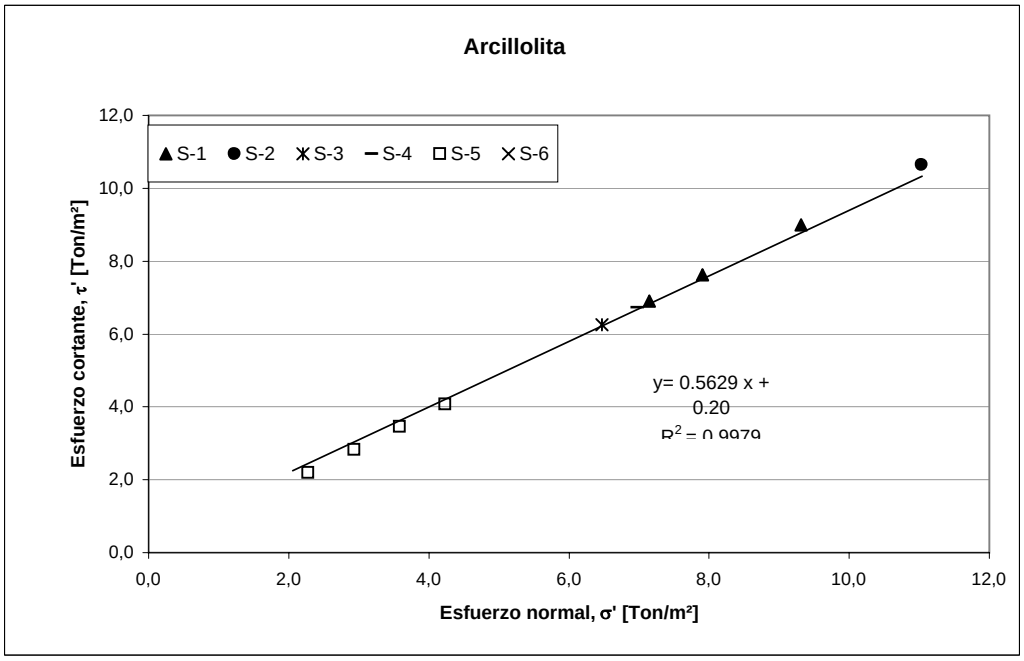


TABLA 5.7
RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO

MUESTRA					PROPIEDADES FÍSICAS							CORTE DIRECTO		SPT
Sondeo	Muestra No	PROF. (m)			Wn (%)	LL	LP	IP	P.T.N°200 (%)	γt (t/m^3)	Penetróm. Inalterado	c' (Kg/m^2)	ϕ (°)	Ncampo (golpes/pie)
		DE	A	PROM										
1	1	0.00	0.50	0.25	**71**	**76.8**	**57.4**	**19.4**		**1.44**				6
1	2	0.50	1.00	0.75										14
1	3	1.00	1.50	1.25										16
1	4	1.50	2.00	1.75	62.6	100.5	68.9	31-6		1.63				17
1	5	2.50	3.30	2.90	66.6	65.7	31.8	33.9				0,54	17,23	
1	6	3.30	3.80	3.55										52
1	7	3.80	4.00	3.90	30	46.4	27.2	19.2		2.09				40
1	8	4.00	7.40	4.80										50
2	1	0.00	1.50	0.75										
2	2	1.50	2.20	1.85	7.65	101.8	73.1	28.7		1.31				5
2	3	2.20	2.70	2.20										9
2	4	2.70	3.20	2.95	33.5	50.7	31.2	19.5		2.04				15
2	5	3.20	3.80	3.50										18
2	6	3.80	4.30	4.05										21
2	7	4.30	4.80	4.55	18.2	38	22	16		2.04				30
2	8	5.00	5.50	5.25										45
2	9	5.50	5.80	5.65						2.23				45
3	1	0.00	0.50	0.25	45.5	58.5	33.2	25.3		1.8				3
3	2	0.60	1.10	0.85										16
3	3	1.10	1.60	1.35	34.4	54	26.1	27.9		2.04				17
3	4	1.60	2.10	1.85	10.9				20.3					25
3	5	2.10	2.60	2.35	21.3	21.3	51.3	21.6						27
3	6	3.00	3.30	3.15	10.9	10.9	40.9	15.3		2.26				40
4	1	0.00	0.50	0.25										3
4	2	0.60	1.10	0.85										11
4	3	1.20	1.70	1.45	85.7	91.5	47.7	43.8		1.57				6
4	4	1.70	2.30	2.00										3
4	5	2.30	3.00	2.65	35.2	65.2	25.3	39.9		1.94				8
4	6	3.10	3.50	3.30										13
4	7	3.60	4.00	3.80	17.9	56.1	20.6	35.5		2.31				40
5	1	0.00	0.50	0.25										7
5	2	0.50	1.00	0.75	15.3	65	21.7	43.3		2.17				24
5	3	1.00	1.30	1.15										20
5	4	1.30	1.60	1.45										18
5	5	1.60	1.90	1.75										35
5	6	1.90	2.20	2.05	16.4	57.7	21	36.7	2.14					40
6	1	0.50	0.50	0.25										5
6	2	0.90	1.50	1.20										10
6	3	1.65	2.40	2.03	45.2	74	46.6	27.4						3
6	4	2.40	2.90	2.65										6
6	5	2.90	3.50	3.20	21	40.4	23.9	16.5		1.93				8
6	6	3.50	4.00	3.75	14.9	41.3	22.4	18.9		2.23				29
7	1	0.00	0.50	0.25										3
7	2	0.50	1.50	1.00	34.1	63	46.2	16.8		1.79				1
7	3	1.75	2.50	2.13										4
7	4	2.50	3.00	2.75	21	53.9	24.7	29.2		1.96				20
7	5	3.00	3.50	3.25	8.6	44	19.8	24.2	26.8	2.11				14
7	6	3.50	4.00	3.75										21
7	7	4.00	4.80	4.40										45
AP1	1	0,10	1,30		22,9	39,3	27,5	11,8						
	2	0,10	1,30		22,9	39,3	27,5	11,8						
	3	1,30	2,00		15,1	37,0	25,3	11,7						
	4	1,30	2,00		15,1	37,0	25,3	11,7						
	5	1,30	2,00		15,1	37,0	25,3	11,7						
AP2	1	2,00	2,80		30,8	42,5	24,2	18,3						
	2	2,00	2,80		30,8	42,5	24,2	18,3						
	3	2,00	2,80		30,8	42,5	24,2	18,3						
	4	2,80	3,00		24,6	44,0	26,4	17,6						
	5	2,80	3,00		24,6	44,0	26,4	17,6						
AP3	1	1,30	1,70		58,1	59,6	45,2	14,4						
	2	1,70	1,80		35,0	57,2	31,4	25,8						
AP4	1	2,20	2,40									0,22	30	
T1	2	1,95	2,25		12,3	35,3	25,6	9,9						
T2	1,0	1,6	4,3		12,6	29,6	23,5	6,1						

TABLA 5.9
RESUMEN ESTRATIGRÁFICO DE PERFORACIONES
(Profundidades dadas en metros)

PERFORACIÓN 1	NIVEL	PERFORAC. 2	NIVEL
0.0 - 2.50	1	0.00 - 2.70	1
2.5 - 3.30	4	2.70 - 4.30	4
3.3 - 7.40	5	4.70 - 5.80.	5
PERFORAC. 3	**NIVEL**	**PERFORAC. 4**	**NIVEL**
0.00 - 0.60	2	0.00 - 3.50	2
0.60 - 1.60	4	3.50 - 4.00	5
1.60 - 3.30	5	**PERFORAC. 6**	**NIVEL**
PERFORAC. 5		0.00 - 3.50	3
0.00 - 0.60	3	3.50 - 4.00	5
0.50 - 2.20	5	**TRINCHERA 1**	**NIVEL**
PERFORAC. 7	**NIVEL**	0.00 - 2.00	3
0.00 - 2.40	3	2.00 - 2.25	4
2.40 - 4.00	4	**TRINCHERA 3**	**NIVEL**
4.00 - 4.80	5	0.00 - 4.50	3
TRINCHERA 2	**NIVEL**	**APIQUE 1**	**NIVEL**
0.00 - 1.50	4	0.00 - 2.00	1
APIQUE 2	**NIVEL**	**APIQUE 3**	**NIVEL**
0.00 - 2.00	2	0.00 - 1.60	4
2.00 - 2.70	4		
2.70 - 2.80	5		

Nivel 1 (Qbe3): Consiste en un relleno antrópico de característica limo arcilloso, de color café oscuro a amarillo, con vetas negras y rojizas, algo de raíces y humedad media. De consistencia blanda a semidura y plasticidad alta a media. De acuerdo con la clasificación USCS el material corresponde a un MH. El espesor de esta capa varía entre 2.50 y 2.70 m y cubre la parte central en la margen izquierda (**Tabla 5.10**).

TABLA 5.10 – NIVEL 1
PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL Qbe3

PROPIEDAD	VALOR
Humedad Natural (%)	62.6-76.5
Límite Líquido (LL)	70.8-101.8
Límite Plástico (LP)	57.4-73.1
Peso Unitario Total (t/m³)	1.31-1.63
Ensayo de Penetración Estándar (glps./pie)	5 - 17
Cohesión (Kg/cm2)	0.20 SPT 0.22 CD 0.54 CD
Angulo de Fricción (ϕ)	27.07 SPT 30 CD 17.23 CD

Nivel 2 (Qbe4): Este nivel se encuentra constituido por un relleno de limo arcilloso, de color habano oscuro, con vetas de óxido, con raíces. De consistencia media a blanda, plasticidad media a alta y humedad media a baja. De acuerdo con la clasificación USCS el material corresponde a un MH - CH. El espesor máximo que alcanza de acuerdo con la perforación 4 es de 3.50 m (**Tabla 5.11**).

TABLA 5.11 – NIVEL 2
PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL Qbe4

PROPIEDAD	VALOR
Humedad Natural (%)	35-85.7
Límite Líquido (LL)	58-91.4
Límite Plástico (LP)	25-47.7
Peso Unitario Total (t/m³)	1.57-1.94
Ensayo de Penetración Estándar (glps./pie)	3-13
Cohesión (Kg/cm2)	0.1 CD
Angulo de Fricción (ϕ)	25 SPT

Nivel 3 (Qbe2): Corresponde a un Limo algo arcilloso, de color café claro con negro, con algo de raíces. De consistencia blanda a media, de seco a húmedo y plasticidad media a baja. De acuerdo con la clasificación USCS el material corresponde a un CH - MH. El espesor máximo que alcanza de acuerdo con la perforación 5 es de 3.50 m (**Tabla 5.12**).

TABLA 5.12
PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL Qbe2

PROPIEDAD	VALOR
Humedad Natural (%)	34.1-45.2
Límite Líquido (LL)	40.4-74
Límite Plástico (LP)	21.7-46.6
Peso Unitario Total (t/m³)	1.79-2.17
Ensayo de Penetración Estándar (glps./pie)	3-10
Cohesión (Kg/cm2)	0.1 CD
Angulo de fricción (ϕ)	25 SPT

Nivel 4 (Suelo Residual): Corresponde a un suelo arcilloso de color rojizo con bandas de color amarillo, de baja a media humedad, de consistencia blanda a dura y plasticidad baja a media. De acuerdo con la clasificación USCS el material corresponde a CH. El espesor máximo que alcanza de acuerdo con la perforación 5, 6 y 7 es de 1.60 m (**Tabla 5.13)**.

TABLA 5.13
PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL SR

PROPIEDAD	VALOR
Humedad Natural (%)	21.0-66.6
Límite Líquido (LL)	44.0-65.7
Límite Plástico (LP)	19.8-31.8
Peso Unitario Total (t/m³)	1.96-2.11
Ensayo de Penetración Estándar (glps./pie)	14-21
Cohesión (Kg/cm2)	0.0 SPT 0.88 CD
Angulo de fricción (ϕ)	29.83 SPT 19.63 CD

Nivel 5 (Roca): Corresponde a una arcillolita a arcillolita arenosa de color rojiza y vetas de color gris clara, con intercalaciones de arenisca de color amarillo. De baja humedad, plasticidad media y consistencia dura a rígida (**Tabla 5.14**).

TABLA 5.14
PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE LA ARCILLOLITA

PROPIEDAD	VALOR
Humedad Natural (%)	14.9-2-30
Límite Líquido (LL)	36-57.7
Límite Plástico (LP)	15-26
Peso Unitario Total (t/m³)	2.02-2.25
Ensayo de Penetración Estándar (glps./pie)	18-52
Cohesión (Kg/cm2)	0.1 SPT 0.2 0.15 IF
Angulo de Fricción (ϕ)	44 SPT 21.3 IS

Nota: IF: Información secundaria

Nivel 6 (Qdl): Constituido por bloques y fragmentos de areniscas, de tamaño heterométrico, embebidos en una matriz arcillo arenosa.

5.2 ZONAS HOMOGÉNEAS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

5.2.1 Metodología

Antes de realizar los análisis de estabilidad y con el fin de facilitar la labor de asignación de la probabilidad de falla, se establecieron zonas de comportamiento homogéneo tanto en conformación como en la dinámica de las laderas, lo cual se logró una vez fue sintetizada la información geológica, geomorfológica y geotécnica. Los criterios de zonificación corresponden a la morfogénesis, litología, pendiente, el área de aporte de aguas o microcuencas y la condición estructural.

Las tres primeras variables están contempladas en las unidades geomorfológicas, que condensan unidades de ladera con morfología, morfogenética, materiales y morfometría similares. De manera complementaria, se eligieron dos criterios que, para el sitio, condicionan la estabilidad: las regiones estructurales y las micro cuencas. Bajo este marco, una unidad geomorfológica pudo sufrir fraccionamientos de acuerdo con uno o los dos criterios mencionados. La codificación de las zonas conservó la nomenclatura de la unidad geomorfológica original añadiendo un identificador numérico romano ascendente para cada subdivisión; Modelado Antrópico conformado por material de relleno, MAla1, se discretizó en MAla 3 – 4 - II, el numeral 3-4 corresponde a la pendiente del terreno y II a la región estructural (en este caso contrapendiente estructural para II y pendiente estructural para I).

La conjunción de los elementos anteriores dió como resultado la división del área en diez (10) zonas homogéneas. La definición de las propiedades físico-mecánicas de los materiales involucrados se realizó en el numeral; no obstante, el proceso involucró, en algunos casos, la extrapolación de la información condensada en ciertos sectores hacia otros donde la investigación geotécnica no fue detallada, esta labor se facilitó gracias a la demarcación de dichas zonas que sintetizan, como se ha dicho, las distintas variables que determinan la condición de estabilidad.

La sinopsis del trabajo de zonificación se encuentra en la **Tabla 5.15 y 5.16** y en el **Plano 5.1 – Zonas Homogéneas**. Las tablas antes mencionadas contienen para cada zona homogénea, la unidad geomorfológica asociada, la región estructural, los materiales, los mecanismos de falla y las secciones de análisis.

5.2.2 Caracterización por Zonas Homogéneas

A continuación se realiza la descripción de los materiales presentes en cada zona homogénea y el resumen de sus propiedades geomecánicas (**Plano 5.1**).

- **Modelado Antrópico (MALa 5-6 II)**

Esta ladera se localiza en la margen izquierda y en la parte central del área de estudio, donde se consolido el barrio Juan José Rondón, conformada por material de composición limo algo arcilloso

TABLA 5.15
ZONAS GEOTECNICAMENTE HOMOGÉNEAS

ZONA	SECCIÓN DE	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	DESCRIPCION	MECANISMO DE FALLA
MALa 5 - 6 II	1	MALa	Esta ladera se localiza en la margen izquierda y en la parte central del área de estudio, donde se consolido el barrio Juan José Rondón, conformada por material de composición limoso algo arcilloso (Qbe3), donde la adecuación urbanística de los terrenos configuraron localmente rellenos con espesores de 2.50 m aproximadamente, que cubren una arcilla de color rojiza a amarillo con un espesor entre 0.80 y 1.60 m.	Rotacional-Traslacional
MALa 3 - 4 II	2	MALa	Esta ladera se localiza en la margen izquierda y en la parte oriental del área de estudio, conformada por material de composición limo arcilloso (Qbe4), con un espesor máximo de 3.50 m, que cubren un suelo residual arcilloso, de color café claro, hacia la base de la ladera.	Rotacional-Traslacional
MEDLc 7 - 8 II	3	MEDLc	Corresponde al sector localizado sobre la margen izquierda y topográficamente más alta del área. Constituida por un depósito de ladera (Qdl) de 1.60 m de espesor aproximadamente y cubriendo discordantemente un suelo arcilloso de color café claro, con vetas negras.	Rotacional
MEDLr 3 - 4 I	4	MEDLr	Sector localizado sobre la margen derecha y hacia la zona topográficamente más alta en el costado oriental del área. Esta constituida por un suelo residual arcilloso y rocas arcillosas de la Formación Bogotá (Tpb). Esta constituye una zona húmeda de recarga, afectada por un proceso de reptación de tipo estacionario.	Rotacional
MEDLr 3 - 4 I	5	MEDLr	Sector localizado sobre la margen derecha y hacia el sector central del área. Esta constituida por un depósito de ladera (Qdl), cubriendo discordantemente un suelo residual arcilloso y rocas arcillosas de la Formación Bogotá.	Rotacional
MEDLr 7 - 8 I	6	MEDLr	En esta zona se expone en superficie un nivel de arcilla de color rojizo con espesores que van de 1.50 a 2.50 m, interpretada como un suelo de arcilla de origen residual.	Rotacional
MEDLr 3 - 4 I	7	MEDLr	En esta zona se expone en superficie un nivel de arcilla de color rojizo con espesores que van de 1.50 a 2.50 m, interpretada como un suelo de arcilla de origen residual.	Rotacional
MEDLr 9 II	8	MEDLr	Esta ladera se localiza en la margen izquierda y en la parte occidental del área. Conformada por suelo residual arcilloso color rojizo.	Rotacional
MALa 7 - 8 II	9	MALa	Zona compuesta por material limo algo arcillos, de color café claro con negro, con algo de raíces (Qbe2), con espesores entre 0.7 y 3.30 m aproximadamente, con un basamento que corresponde en su mayor parte a las arcillolitas de color rojiza.	Rotacional
MEDLc 1 - 2 II	-	MEDLc	Laderas de baja pendiente a excepción en el Valle de la Quebrada El Arrayanal, donde se presenta un deslizamiento activo y evidencias de cicatriz de inestabilidad.	Rotacional

TABLA 5.16
ZONAS GEOTECNICAMENTE HOMOGÉNEAS

ZONA	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	REGION ESTRUCTURAL	SECCION DE ANÁLISIS	EXPLORACION	No. MATERIAL	DESCRIPCIÓN	MECANISMO DE FALLA
MALa 5 - 6 II	MALa	II	1	P1, P2 AP-2, AP-4 T1	1	Qbe3	Rotacional-Traslacional
MALa 3 - 4 II	MALa	II	2	P3,P4 AP-1	2	Qbc4	Rotacional-Traslacional
MEDLc 7 - 8 II	MEDLc	II	3	-	6	Qdl	Rotacional
MEDLr 3 - 4 I	MEDLr	II	4	AP-3	4	SR	Rotacional
MEDLr 3 - 4 I	MEDLr	II	5	-	6	Qdl	Rotacional
MEDLr 7 - 8 I	MEDLr	II	6	-	4	SR	Rotacional
MEDLr 3 - 4 I	MEDLr	II	7	-	4	SR	Rotacional
MEDLr 9 II	MEDLr	II	8	T2 -	4	SR	Rotacional
MALa 7 - 8 II	MALa	II	9	T3 P5, P6, P7	3	SR	Rotacional
MEDLc 1 - 2 II	MEDLc	II	-	-	6	Qbe2	Rotacional

(Qbe3), donde la adecuación urbanística de los terrenos, configuraron localmente rellenos con espesores de 2.50 m aproximadamente, que cubren una arcilla de color rojiza a amarillo con un espesor entre 0.80 y 1.60 m (sección 1 -1).

- **Modelado Antrópico (MALa 3-4 II)**

Esta ladera se localiza en la margen izquierda y en la parte oriental del área de estudio, conformada por material de composición limo arcilloso (Qbe4), con un espesor máximo de 3.50 m, que cubren un suelo residual arcilloso de color café claro hacia la base de la ladera (sección 2 – 2).

- **Modelado Estructural - Denudativo (MEDLc 7-8 II)**

Corresponde al sector localizado sobre la margen izquierda y topográficamente más alta del área. Constituida por un deposito de ladera (Qdl) de 1.60 m de espesor aproximadamente y cubriendo discordantemente un suelo arcilloso de color café claro con vetas negras.

- **Modelado Estructural - Denudativo (MEDLr 3-4 I)**

Sector localizado sobre la margen derecha y hacia la zona topográficamente más alta en el costado oriental del área. Esta constituida por un suelo residual arcilloso y rocas arcillosas de la formación Bogotá (Tpb). Esta zona constituye una zona humedad de recarga, afectada por un proceso de reptación de tipo estacionario.

- **Modelado Estructural – Denudativo (MEDLr 3-4 I)**

Sector localizado sobre la margen derecha y hacia el sector central del área. Esta constituida por un depósito de ladera (Qdl), cubriendo discordantemente un suelo residual arcilloso y rocas arcillosas de la Formación Bogotá.

- **Modelado Estructural – Denudativo (MEDLr 7 – 8 I)**

En esta zona se expone en superficie un nivel de arcilla de color rojizo con espesores que van de 1.50 a 2.5 m, interpretada como un suelo de arcilla de origen residual.

- **Modelado Estructural – Denudativo (MEDLr 3-4 I)**

En esta zona se expone en superficie un nivel de arcilla de color rojizo con espesores que van de 1.50 a 2.5 m, interpretada como un suelo de arcilla de origen residual.

- **Modelado Estructural – Denudativo (MEDLr 9 II)**

Esta ladera se localiza en la margen izquierda y en la parte occidental del área. Conformada por suelo residual arcilloso de color rojizo de acuerdo a la Perforación 7 y la Trinchera 3.

- **Modelado Antrópico (MALa 7 – 8 II)**

Zona compuesta por materiales limo algo arcillosos, de color café claro con negro, con algo de raíces (Qbe2), con espesores entre 0.7 y 3.30 m aproximadamente, con un basamento que corresponde en su mayor parte a las arcillolitas de color rojiza.

- **Modelado Estructural – Denudativo (MEDLc 1 - 2 II).**

Ladera de baja pendiente, constituida por un depósito de ladera de poco espesor (1.60 m aproximadamente). Se evidencia procesos de erosión de grado severo que han alanzado la categoría de surcos, debido al deficiente manejo de las aguas de escorrentía superficial y subsuperficial.

5.3 SECCIONES DE ANÁLISIS

Con el fin de adelantar la tarea de evaluación de estabilidad, se establecieron nueve (9) secciones (sección 1 -1 a 9 – 9) que se muestran en el Plano 5.1 – Planta y 5.2 – Perfil, como se mencionó en el numeral 5.2.2. Estas se subdividieron con base en las zonas geotécnicamente homogéneas. Se asume que el grado de estabilidad de cada sección es atribuible a la región homogénea a la cual pertenece.

5.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

En la etapa del análisis de estabilidad se modelaron, con la ayuda de los métodos de equilibrio límite, para cada zona homogénea, los modos probables de movilización (según el tipo de material y disposición

estratigráfica); en los principales cuerpos de cuaternarios, mediante deslizamientos traslacionales y rotacionales.

Con este tópico, más que obtener valores absolutos del factor de seguridad para condiciones unitemporales (como puede ser el caso de un talud seco sin sismo), se pretende ilustrar el espectro de posibilidades para el que aquellos puedan mantenerse estables o fallar, procedimiento que se constituye en el análisis de sensibilidad.

El resultado del análisis de estabilidad tiene mayor representatividad cuando se expresa en términos de probabilidad de falla, que cuando reporta un factor de seguridad, el cual no es sino un valor numérico de uno de los múltiples eventos factibles. Por ello, la evaluación de estabilidad tiene como objetivo primordial servir de insumo para la estimación de la probabilidad condicional de falla. En este orden de ideas, se estudian tanto las condiciones más críticas como las más probables a las que podrían estar sometidas las laderas. El desarrollo de este tema requirió el tratamiento previo de cuatro tópicos básicos, como son: Parámetros de resistencia, eventos detonantes, mecanismo de falla y el procedimiento de modelación.

5.4.1 Agentes Detonantes

Se establecen como condiciones asociadas a la ocurrencia de lluvias y sismos. Tales condiciones son cuatro, y corresponden a la combinación de ocurrencia o no de lluvias críticas y de sismos de diseño. La determinación de sus valores se explica en el numeral 7.2.1.

5.4.2 Parámetros de Resistencia

Los parámetros de resistencia efectivos al corte (c`, Ø`) de los diferentes materiales, se calcularon a partir de:

- Los resultados del SPT, siguiendo la metodología propuesta González, A. (1999). En las Figuras 5.2 a 5.4 y en el **Anexo 5C**, se muestran las correlaciones de dichos parámetros para cada tipo de material[1] y las memorias de cálculo para cada uno de los materiales involucrados.

- Medición directa a partir de los ensayos de corte, tomadas de las muestras del Apique 2, 4 y de la Trinchera 2.

- Información secundaria seleccionada por similitud litológica[2].

– Retroanálisis bajo el método convencional, con él animo de buscar parejas ordenadas c,ϕ que dieran factores de seguridad igual a 1.0.

  Para el retroanálisis se tomaron los siguientes condicionamientos:

I. Se tomó como superficie original del terreno previo al deslizamiento, la tomada de la cartografía del IGAC del año 1974 a escala 1:2000.

II La superficie de falla se obtuvo a partir de los resultados de los registros de perforación, asumiendo que en la parte superior de la perforación 2 no se tenía registro y el número de golpes era creciente con la profundidad. Se asumió que la superficie de falla estaba a un (1) metro de profundidad.

III. En la perforación 1, si bien el comportamiento del número de golpes con profundidad era similar al anterior, se tenía un nivel donde se reportó la pérdida de agua (entre 2.50 a 3.30) y reblandecimiento del material. Esto permitió asumir que la superficie de falla pasaba por esos dos puntos. El tercer punto fue asumido como un punto fijo que era dado por el escarpe principal localizado en la parte alta de la ladera.

Esto permitió asumir dos (2) superficies de falla probables sobre las cuales se buscaron las parejas ordenadas (c,ϕ), para diferentes condiciones de agua, dado que se desconocía cual era la posición probable de la tabla de agua y si el deslizamiento había sido detonado por este agente o no. En la

[1] *González, Álvaro. (1999). Estimativos de Parámetros Efectivos de Resistencia con el SPT. X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana – SCI –SCG.*

[2] *Investigaciones Geotécnicas Ltda, (2000). Estudio de Riesgos por Remoción en Masa y Diseño detallado de las Obras de Estabilización de un Tramo de la margen derecha de la quebrada Morales en límites con el Barrio El Pinar – Localidad de San Cristóbal.*

Figura 5.5 se muestran las curvas c, ϕ obtenidas del retroanálisis y la posición del corte directo, en el que se destaca que los valores de cohesión son extremos que llevarían a estados muy estables indistinto de la posición de la tabla de agua. Por tal motivo se adoptó que el ángulo de fricción era válido pero su cohesión se iba a recalibrar con las curvas mostradas en la Figura 5.5.

En la **Tabla 5.17** se presenta la variación del ángulo de fricción y cohesión obtenido por correlación con él numero de golpes por pie de campo (N), ensayos de laboratorio, de la información secundaria de Geoingeniería y retroanálisis.

Adicionalmente, los parámetros geomecánicos en condición dinámica se calcularon con la formulación propuesta por Ishihara (1996):

$\phi' d = \phi e$

$c' d = c' e (1 + 1/\propto)$

Donde:

$\phi' d$ = Angulo de fricción para la condición dinámica
$\phi' e$ = Angulo de fricción para la condición estática
$c' d$ = Cohesión para la condición dinámica
$c' e$ = Cohesión para la condición estática
$\propto$ = a/g

En la **Tabla 5.18** y **5.19** se presentan los valores promedio de los parámetros estáticos y dinámicos de resistencia según el tipo de material.

5.4.3 Mecanismos de Falla

Se asume la superficie de falla como rotacional o traslacional, pero se cree que existen por lo menos tres tipos (3) de mecanismos de falla.

Mecanismo I: Se asume que la ladera falló bajo condición natural bajo estados extremos de agua y sismo.

Mecanismo 2: Se considera que sobre la zona donde se localiza la superficie de falla, existe un horizonte reblandecido que no fue detectado por los sondeos 1 y 2. Sin embargo, se considera un horizonte delgado de aproximadamente 0.50 m de espesor, más débil que el material circundante.

Mecanismo 3: El material se asume completamente homogéneo a lo largo del perfil y que la de falla fue de carácter súbita, detonada por un agente externo que saturo la masa y la llevó a su estado crítico.

5.4.4 Interpretación de Resultados

Para complementar lo anterior se realizo un análisis multitemporal de la cartografía, mediante la comparación del plano topográfico actual a escala 1:500 (junio de 2003) y la cartografía del IGAC a escala 1:2000 (1974). Esta correlación permitió establecer la dinámica y cambios morfológicos de las laderas debidos a procesos de erosión y fenómenos de remoción en masa y por otra parte establecer los análisis retrospectivos para establecer los parámetros de resistencia.

Los análisis retrospectivos por el método convencional se realizaron para las secciones 1 – 1 y 2 – 2 para caracterizar el material de lleno Qbe3, Qbe4, el suelo residual y la arcillolita de la Formación Bogotá (**Figuras 5.5 a 5.9**), la caracterización de las demás secciones (3 – 3, 5 – 5, 6 – 6, 7 – 7, 8 – 8 y 9 – 9), se llevo a cabo con base en el SPT y correlaciones o información secundaria.

Zona Homogénea MALa 5-6 II (Sección 1 -1)

Para el análisis de está sección se tomó como base los parámetros de resistencia obtenidos por los métodos enunciados en el numeral 5.4.3. Dichos condiciones de parámetros se combinaron, simulando variaciones en las condiciones del terreno y de la ocurrencia o no de lluvias críticas y de sismos de diseño. Los resultados se relacionan en el Anexo 5C y en la **Tabla 5.20** para el modelo ideal que se presenta en el terreno.

TABLA 5.20
PROBABILIDADES DE FALLA – SECCIÓN 1 -1

VARIABLES DE ANÁLISIS				Fs	Material
ϕmax	**Cmax**	**Lluvia**	**Sismo**		
27.1	0.51	Sin	Sin	2.164	Qbe3
		Sin	Con	1.070	
		Con	Sin	1.199	
		Con	Con	0.589	
Probabilidad de falla (actual)				0.1583	
Probabilidad de falla (10 años)				0.5549	

TABLA 5.17
CORRELACIÓN DE PARÁMETROS

No.	Nombre	Descripción		SPT		Corte Directo		Información Secundaria		Valor Promedio		Valor Mínimo		Valor Máximo	
			γ (Ton/m^3)	Cohesión Ton/m^2	ϕ (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	ϕ (°)	Cohesión (Ton/m^2)	ϕ (°)	Cohesión (Ton/m^2)	ϕ (°)	Cohesión (Ton/m^2)	ϕ (°)	Cohesión (Ton/m^2)	ϕ (°)
1	Qeb3	Limo arcilloso, de color café oscuro a amarillo, con vetas negras y rojizas, algo de raíces y humedad media. De consistencia blanda a semidura y plasticidad alta a media.	1.81	0.51	27.07	0,22	30°			0.13	17.23	0.1	15	0.17	19.5
2	Qeb4	Limo arcilloso, de color café habano oscuro, con vetas de óxido, con raíces. De consistencia media a blanda, plasticidad media a alta y humedad media a baja.	2.04	0.46	25.00	0,54	17.23			0.20	17.23	0.16	15	0.27	19.5
3	Qeb2	Limo algo arcilloso, de color café claro con negro, con algo de raíces. De consistencia blanda a media, de seco a húmedo y plasticidad media a baja.	2.04	0.46	25.00					0.20	17.23	0.16	15	0.27	19.5
4	Sr	Arcilla de color rojizo con bandas de color amarillo, de baja a media humedad, de consistencia blanda a dura y plasticidad baja a media.	2.15	0.56	29.83	0,88	19.63	4	24.4	0.13	17.23	0.1	15	0.17	19.63
5	Tpb	Arcillolita arenosa de color rojiza y vetas de color gris claro, con intercalaciones de arenisca de color amarillo. De baja humedad, plasticidad media y consistencia dura y rígida.	2.16	0.00	44.00			1.5	21.3	0.43	24.9	0.33	19.65	0.56	29.83

TABLA 5.18
ESTÁTICOS

VARIABLES DE ANÁLISIS				SECCIÓN DE ANÁLISIS										
				1-1'	2-2'	3-3'	4-4 R'	4-4 P'	5-5'	6-6'	7-7'	8-8'	9-9'	
Fricción	Cohesión (T/m^2)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	c_{max}	Sin	Sin	2,164	1,852	1,478	4,105	3,992	1,246	2,158	3,565	2,660	1,551	
ϕ_{min}	c_{max}	Sin	Sin	1,559	1,651	1,273	3,722	3,590	1,064	2,013	3,297	2,510	1,327	
ϕ_{max}	c_{min}	Sin	Sin	1,910	1,196	1,313	2,890	2,860	1,044	1,427	2,394	1,701	1,332	
ϕ_{min}	c_{min}	Sin	Sin	1,306	0,993	1,108	2,505	2,458	0,861	1,277	2,125	1,550	1,104	
ϕ_{max}	c_{max}	Sin	Con	1,070	1,160	0,940	2,060	1,934	0,773	1,460	2,072	1,822	1,060	
ϕ_{min}	c_{max}	Sin	Con	0,781	1,048	0,814	1,880	1,749	0,665	1,382	1,931	1,739	0,916	
ϕ_{max}	c_{min}	Sin	Con	0,936	0,718	0,824	1,432	1,369	0,639	0,933	1,366	1,131	0,894	
ϕ_{min}	c_{min}	Sin	Con	0,646	0,604	0,698	1,249	1,184	0,531	0,850	1,225	1,047	0,749	
ϕ_{max}	c_{max}	Con	Sin	1,199	1,308	1,323	3,941	3,824	1,152	2,059	3,440	2,565	1,415	
ϕ_{min}	c_{max}	Con	Sin	0,975	1,249	1,147	3,601	3,467	0,992	1,939	3,205	2,440	1,222	
ϕ_{max}	c_{min}	Con	Sin	0,948	0,658	1,159	2,726	2,693	0,950	1,328	2,269	1,606	1,195	
ϕ_{min}	c_{min}	Con	Sin	0,722	0,594	0,983	2,385	2,335	0,790	1,203	2,033	1,480	1,000	
ϕ_{max}	c_{max}	Con	Con	0,559	0,793	0,883	1,975	1,850	0,710	1,389	1,997	1,753	0,957	
ϕ_{min}	c_{max}	Con	Con	0,470	0,777	0,777	1,817	1,687	0,617	1,329	1,876	1,688	0,839	
ϕ_{max}	c_{min}	Con	Con	0,426	0,360	0,781	1,347	1,287	0,578	0,862	1,291	1,063	0,790	
ϕ_{min}	c_{min}	Con	Con	0,337	0,339	0,674	1,187	1,123	0,484	0,769	1,169	0,996	0,673	
Nombre de archivo														
				SECCIÓN DE ANÁLISIS										
				1-1'	2-2'	3-3'	4-4 R'	4-4 P'	5-5'	6-6'	7-7'	8-8'	9-9'	
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM				0,15830	0,12223	0,01608	0,00017	0,00015	0,01608	0,02728	0,00105	0,01130	0,02005	
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM				0,55490	0,24542	0,05510	0,00068	0,00080	0,05510	0,03672	0,00194	0,01466	0,04976	

TABLA 5.19
ANÁLISIS DINÁMICO

VARIABLES DE ANÁLISIS				SECCIÓN DE ANÁLISIS										
				1-1'	2-2'	3-3'	4-4 R'	4-4 P'	5-5'	6-6'	7-7'	8-8'	9-9'	
Fricción	Cohesión (T/m^2)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	c_{max}	Sin	Sin	2,164	1,852	1,478	4,105	3,992	1,246	2,158	3,565	2,660	1,551	
ϕ_{min}	c_{max}	Sin	Sin	1,559	1,651	1,273	3,722	3,590	1,064	2,013	3,297	2,510	1,327	
ϕ_{max}	c_{min}	Sin	Sin	1,910	1,196	1,313	2,890	2,860	1,044	1,427	2,394	1,701	1,332	
ϕ_{min}	c_{min}	Sin	Sin	1,306	0,993	1,108	2,505	2,458	0,861	1,277	2,125	1,550	1,104	
ϕ_{max}	c_{max}	Sin	Con	1,173	1,606	0,992	2,451	2,228	0,931	2,155	2,744	2,761	1,307	
ϕ_{min}	c_{max}	Sin	Con	0,895	1,497	0,866	2,343	2,115	0,824	2,122	2,661	2,719	1,164	
ϕ_{max}	c_{min}	Sin	Con	0,987	0,892	0,888	1,514	1,401	0,736	1,229	1,628	1,564	1,056	
ϕ_{min}	c_{min}	Sin	Con	0,707	0,779	0,763	1,404	1,287	0,628	1,189	1,543	1,521	0,912	
ϕ_{max}	c_{max}	Con	Sin	1,199	1,308	1,323	3,941	3,824	1,152	2,059	3,440	2,565	1,415	
ϕ_{min}	c_{max}	Con	Sin	0,975	1,249	1,147	3,601	3,467	0,992	1,939	3,205	2,440	1,222	
ϕ_{max}	c_{min}	Con	Sin	0,948	0,658	1,159	2,726	2,693	0,950	1,328	2,269	1,606	1,195	
ϕ_{min}	c_{min}	Con	Sin	0,722	0,594	0,983	2,385	2,335	0,790	1,203	2,033	1,480	1,000	
ϕ_{max}	c_{max}	Con	Con	0,668	1,237	0,883	2,393	2,172	0,674	2,097	2,690	2,707	1,203	
ϕ_{min}	c_{max}	Con	Con	0,584	1,222	0,777	2,300	2,074	0,581	2,080	2,620	2,680	1,086	
ϕ_{max}	c_{min}	Con	Con	0,492	0,529	0,781	1,458	1,346	0,578	1,173	1,575	1,510	0,953	
ϕ_{min}	c_{min}	Con	Con	0,402	0,508	0,674	1,362	1,246	0,484	1,147	1,503	1,482	0,835	
Nombre de archivo														
				SECCIÓN DE ANÁLISIS										
				1-1'	2-2'	3-3'	4-4 R'	4-4 P'	5-5'	6-6'	7-7'	8-8'	9-9'	
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM				0,15801	0,12138	0,01598	0,00018	0,00016	0,01608	0,02684	0,00102	0,01114	0,01881	
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM				0,55460	0,23740	0,05441	0,00069	0,00087	0,05510	0,03198	0,00158	0,01290	0,03781	

FIGURA 5.5
ANÁLISIS RETROSPECTIVO POR MÉTODO CONVENCIONAL – SECCIÓN 1-1´ restituida
MODELO DE FALLA ROTACIONAL ALEATORIA PARA Qbe3

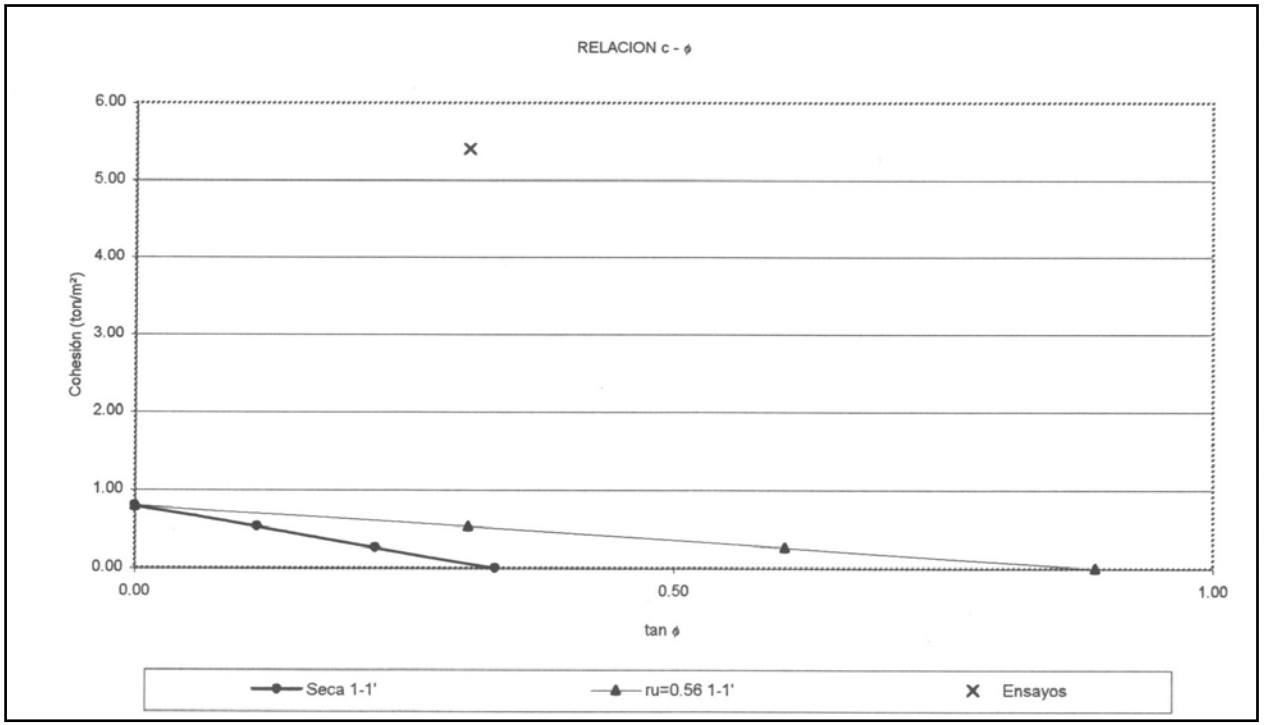


FIGURA 5.6
ANÁLISIS RETROSPECTIVO POR MÉTODO CONVENCIONAL – SECCIÓN 1-1´
MODELO DE FALLA ROTACIONAL ALEATORIA PARA Qbe3

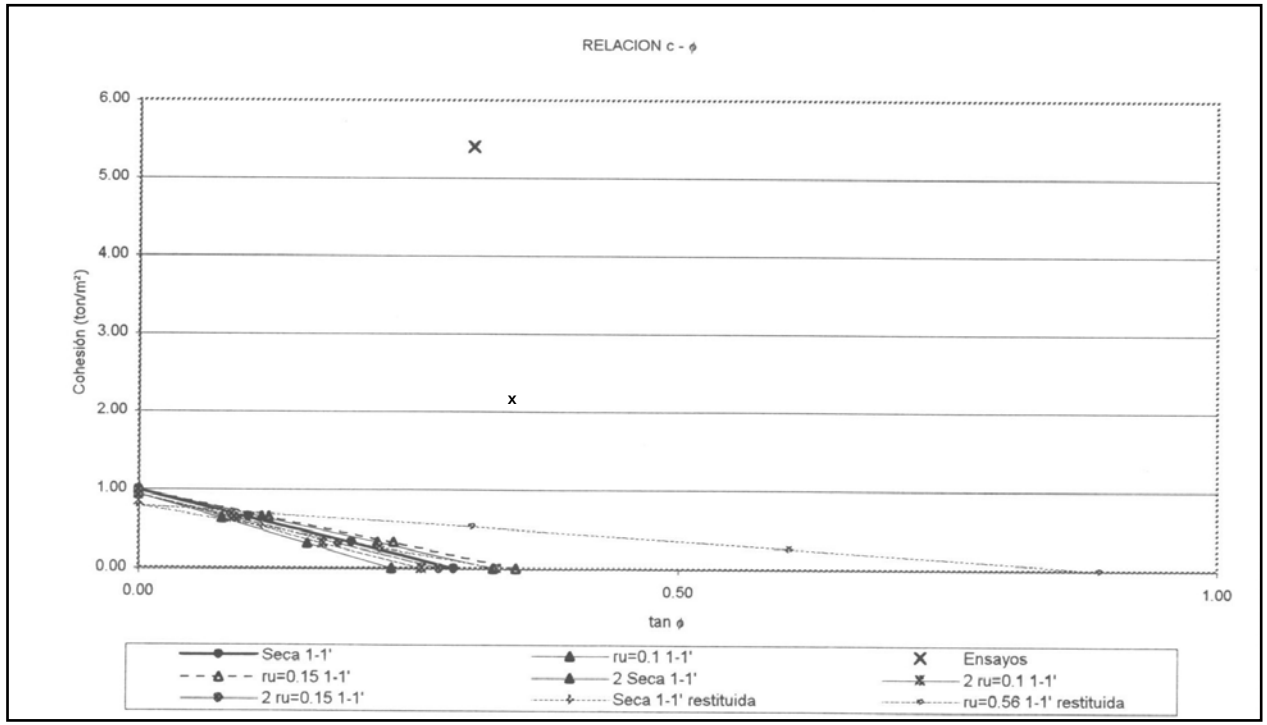


FIGURA 5.7
ANÁLISIS RETROSPECTIVO POR MÉTODO CONVENCIONAL – SECCIÓN 1-1´ restituida
MODELO DE FALLA ROTACIONAL ALEATORIA PARA Qbe3

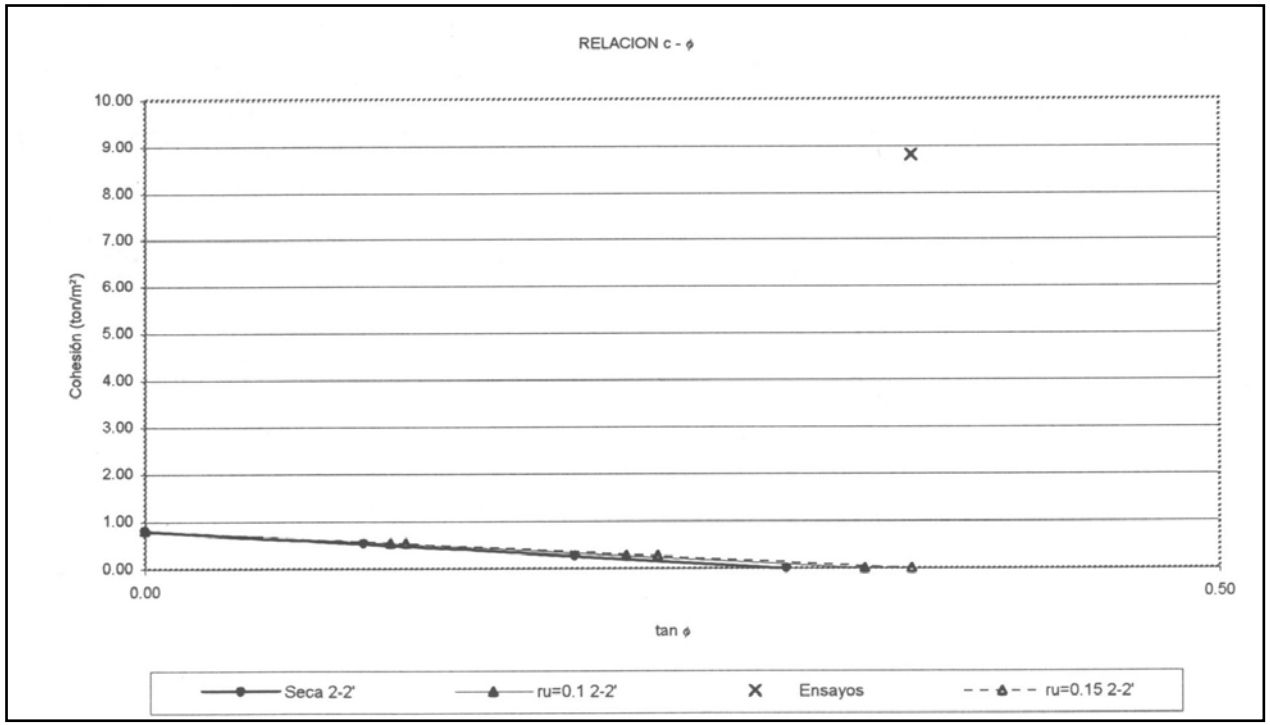


FIGURA 5.8
ANÁLISIS RETROSPECTIVO POR MÉTODO CONVENCIONAL – SECCIÓN 2-2´
MODELO DE FALLA ROTACIONAL ALEATORIA PARA Qbe4

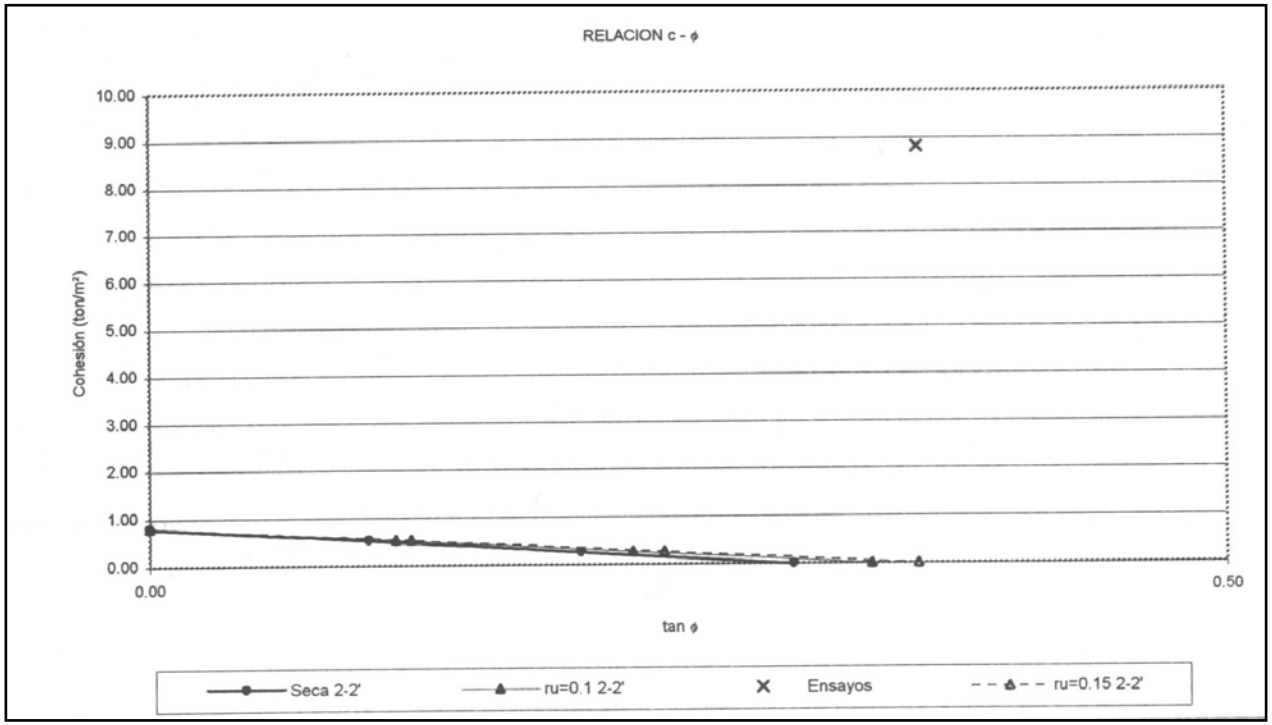
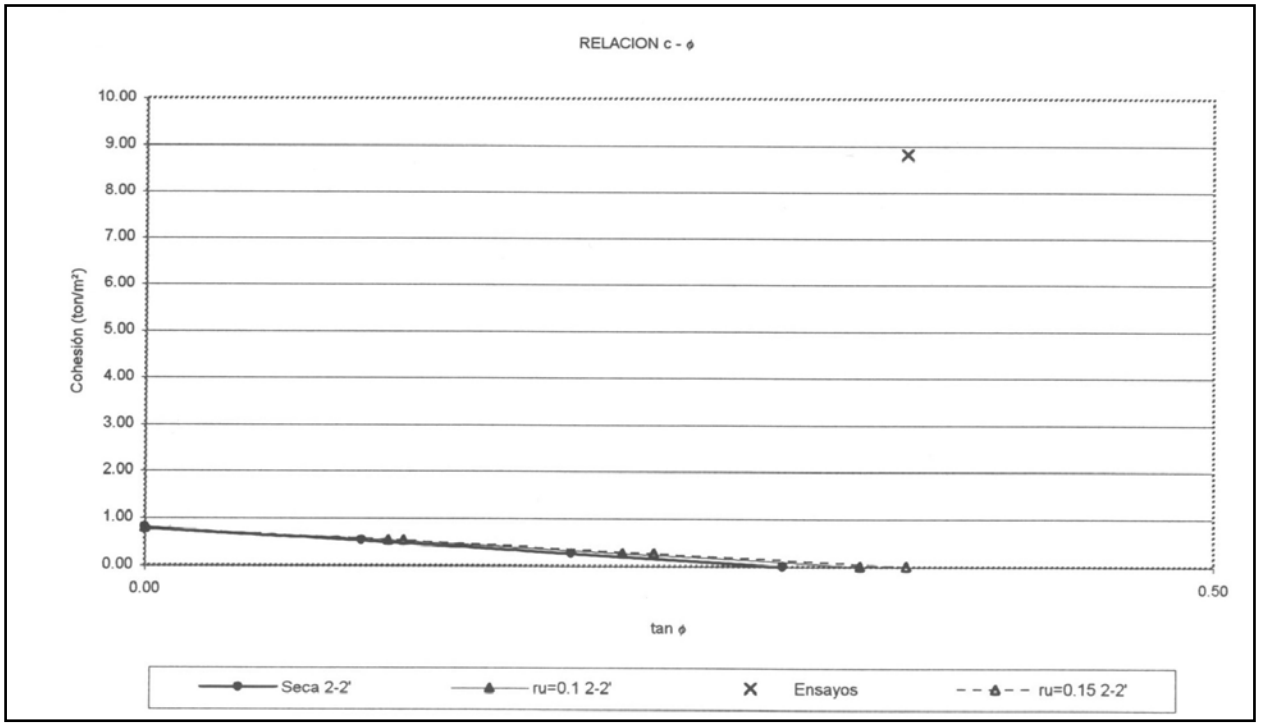


FIGURA 5.9
ANÁLISIS RETROSPECTIVO POR MÉTODO CONVENCIONAL – SECCIÓN 4-4´
MODELO DE FALLA ROTACIONAL ALEATORIA PARA Tbe



Para está sección se asume el material completamente homogéneo a lo largo del perfil y que la falla fue de carácter súbita, detonada por un agente externo que saturo la masa y la llevó a su estado crítico. Está hipótesis tiene como punto desfavorable que no es fácil explicar como se satura la masa, excepto que hubiese existido una ruptura de una línea de agua o de acueducto o alcantarillado.

Así para cada una de las secciones de análisis que se muestran a continuación.

- **Zona Homogénea MALa 3-4 II (Sección 2 -2)**

Los resultados se relacionan en el Anexo 5C y en la **Tabla 5.21** para la condición ideal que se presenta en el terreno.

TABLA 5.21
PROBABILIDADES DE FALLA – SECCIÓN 2 -2

VARIABLES DE ANÁLISIS				Fs	Material
ϕmax	Cmax	Lluvia	Sismo		
25	0.46	Sin	Sin	1.852	Qbe4
		Sin	Con	1.160	
		Con	Sin	0.308	
		Con	Con	0.793	
Probabilidad de falla (actual)				0.122	
Probabilidad de falla (10 años)				0.2454	

- **Zona Homogénea MEDLc 7- 8 II (Sección 3 -3)**

Los resultados se relacionan en el Anexo 5C y en la **Tabla 5.22** para la condición ideal que se presenta en el terreno.

TABLA 5.22
PROBABILIDADES DE FALLA – SECCIÓN 3 -3

VARIABLES DE ANÁLISIS				Fs	Material
ϕ max	Cmax	Lluvia	Sismo		
23	33	Sin	Sin	1.478	Qdl
		Sin	Con	0.940	
		Con	Sin	1.323	
		Con	Con	8.832	
Probabilidad de falla (actual)				0.016	
Probabilidad de falla (10 años)				0.056	

- **Zona Homogénea MEDLr 3-4 I (Sección 4 -4)**

Los resultados se relacionan en el Anexo 5C y en la **Tabla 5.23** para la condición ideal que se presenta en el terreno.

TABLA 5.23
PROBABILIDADES DE FALLA – SECCIÓN 4 -4

VARIABLES DE ANÁLISIS				Fs	Material
ϕ max	Cmax	Lluvia	Sismo		
42.9	24.1	Sin	Sin	4.105	Sr
		Sin	Con	2.060	
		Con	Sin	3.941	
		Con	Con	1.975	
Probabilidad de falla (actual)				0.00017	
Probabilidad de falla (10 años)				0.00068	

- **Zona Homogénea MEDLr 3-4 I (Sección 5 -5)**

Los resultados se relacionan en el Anexo 5C y en la **Tabla 5.24** para la condición ideal que se presenta en el terreno.

TABLA 5.24
PROBABILIDADES DE FALLA – SECCIÓN 5 -5

VARIABLES DE ANÁLISIS				Fs	Material
ϕmax	Cmin	Lluvia	Sismo		
19.5	1.6	Sin	Sin	1.044	Qdl
		Sin	Con	0.639	
		Con	Sin	0.950	
		Con	Con	0.578	
Probabilidad de falla (actual)				0.016	
Probabilidad de falla (10 años)				0.055	

- **Zona Homogénea MEDLr 7-8 I (Sección 6 -6)**

Los resultados se relacionan en el Anexo 5C y en la **Tabla 5.25** para la condición ideal que se presenta en el terreno.

TABLA 5.25
Probabilidades de falla – Sección 6 -6

VARIABLES DE ANÁLISIS				Fs	Material
ϕ max	Cmax	Lluvia	Sismo		
24.1	42.9	Sin	Sin	2.158	Sr
		Sin	Con	2.155	
		Con	Sin	2.059	
		Con	Con	2.097	
Probabilidad de falla (actual)				0.027	
Probabilidad de falla (10 años)				0.036	

- **Zona Homogénea MDLr 3-4 I (Sección 7 -7)**

Los resultados se relacionan en el Anexo 5C y en la **Tabla 5.26** para la condición ideal que se presenta en el terreno.

TABLA 5.26
PROBABILIDADES DE FALLA – SECCIÓN 7 -7

VARIABLES DE ANÁLISIS				Fs	Material
ϕ min	Cmax	Lluvia	Sismo		
18.3	23.1	Sin	Sin	3.297	Sr
		Sin	Con	1.931	
		Con	Sin	3.205	
		Con	Con	1.876	
Probabilidad de falla (actual)				0.0010	
Probabilidad de falla (10 años)				0.0019	

- **Zona Homogénea MEDLr 9 II (Sección 8 -8)**

Los resultados se relacionan en el Anexo 5C y en la **Tabla 5.27** para la condición ideal que se presenta en el terreno.

TABLA 5.27
PROBABILIDADES DE FALLA – SECCIÓN 8 -8

VARIABLES DE ANÁLISIS				Fs	Material
ϕmax	Cmax	Lluvia	Sismo		
24.1	42.9	Sin	Sin	2.660	Sr
		Sin	Con	1.822	
		Con	Sin	2.585	
		Con	Con	1.753	
Probabilidad de falla (actual)				0.011	
Probabilidad de falla (10 años)				0.014	

- **Zona Homogénea MALa 7-8 II (Sección 9 -9)**

Los resultados se relacionan en el Anexo 5C y en la **Tabla 5.28** para la condición ideal que se presenta en el terreno.

TABLA 5.28
PROBABILIDADES DE FALLA – SECCIÓN 9 -9

VARIABLES DE ANÁLISIS				Fs	Material
ϕmax	Cmax	Lluvia	Sismo		
32.2	20.4	Sin	Sin	1.551	
		Sin	Con	1.060	
		Con	Sin	1.415	
		Con	Con	0.957	
Probabilidad de falla (actual)				0.020	
Probabilidad de falla (10 años)				0.049	

En las **Figuras 5.10 a 5.18** se muestran los modelos de las superficies de falla para cada zona homogénea.

En el Anexo 5C se muestran todas las secciones corridas deducidas de la hipótesis manejadas en el numeral 5.4.2 y 5.4.3 (Agentes detonantes y mecanismos de falla).

FIGURA 5.10
SUPERFICIE DE FALLA

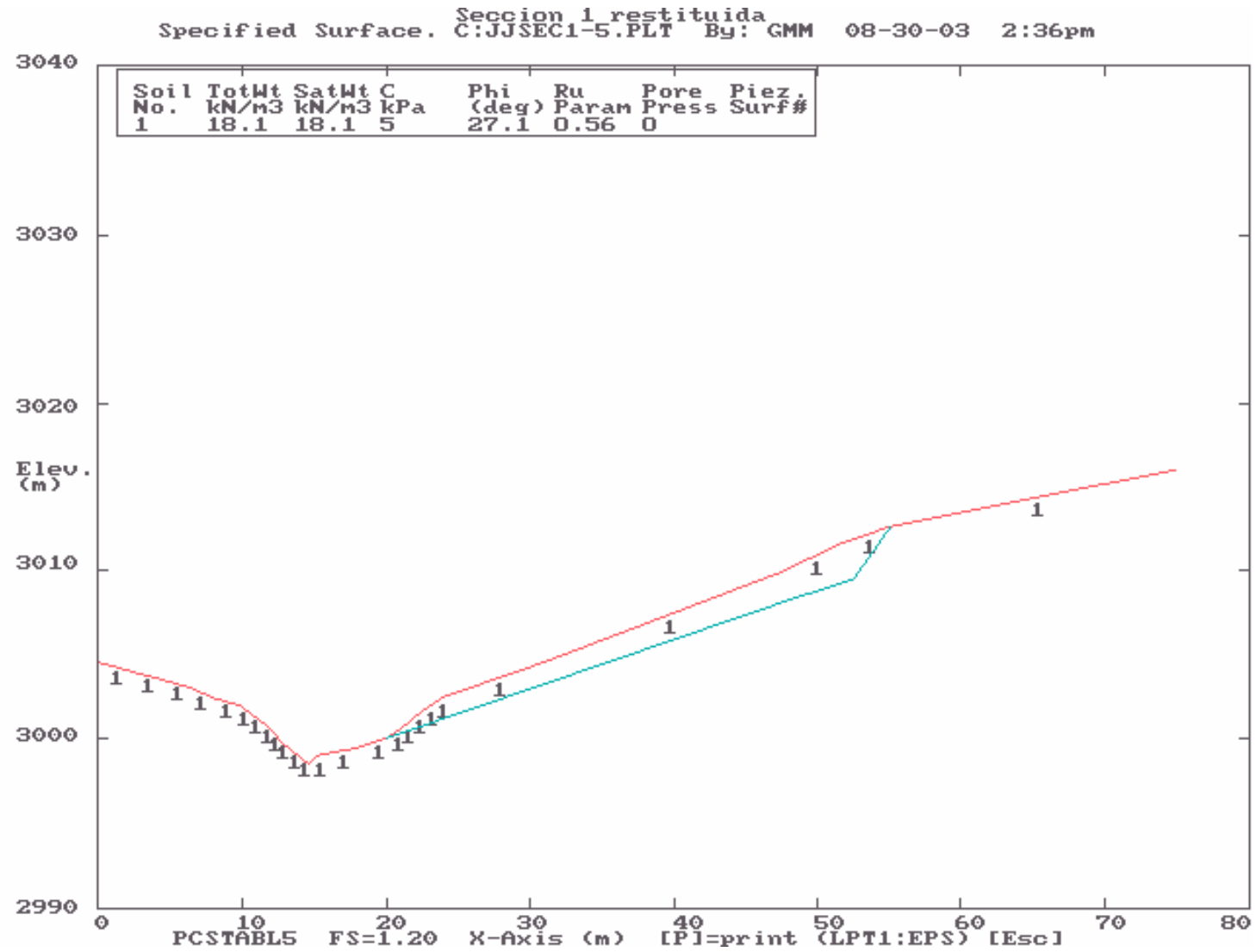


FIGURA 5.11
SUPERFICIE DE FALLA

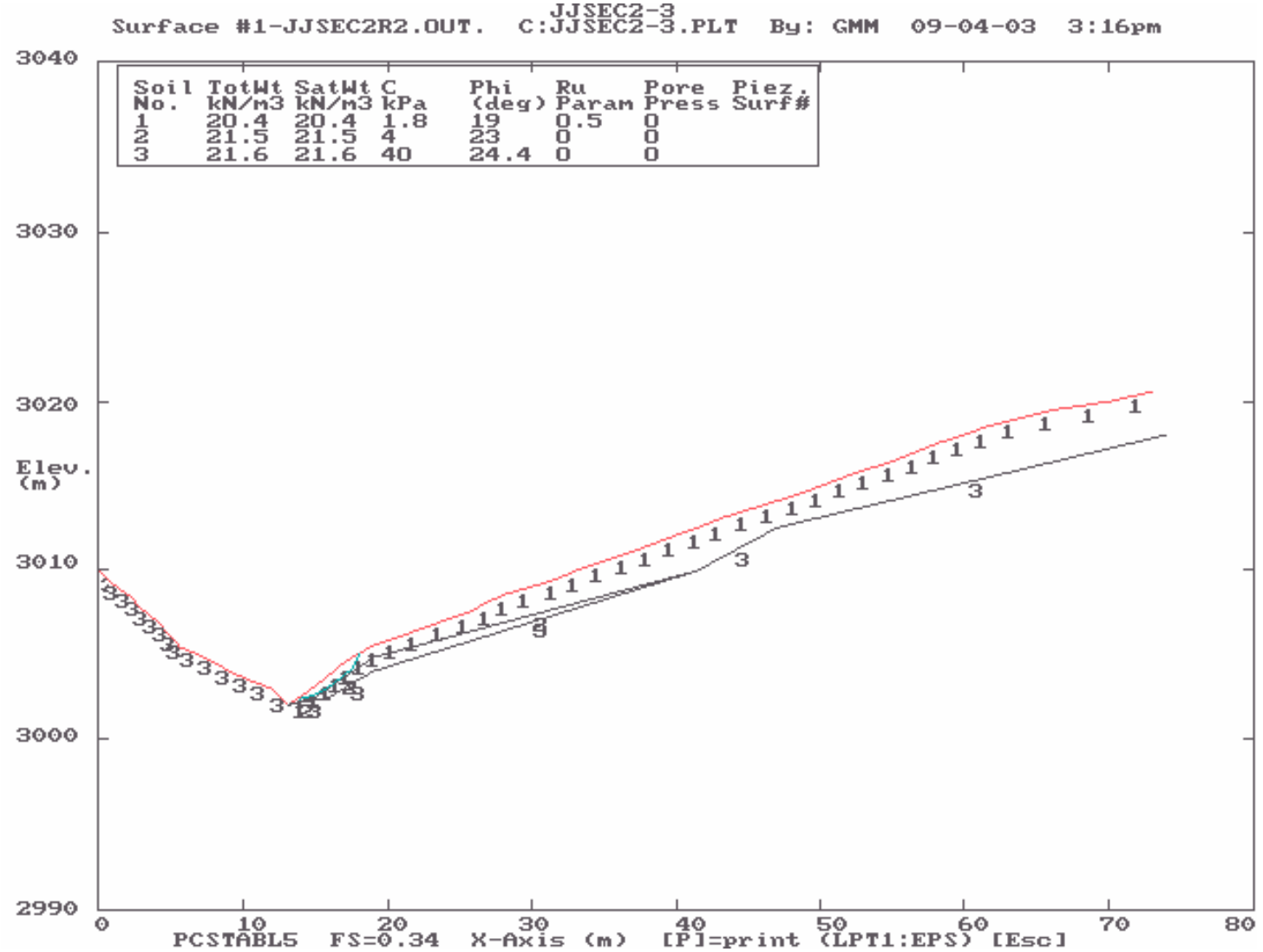


FIGURA 5.12
SUPERFICIE DE FALLA

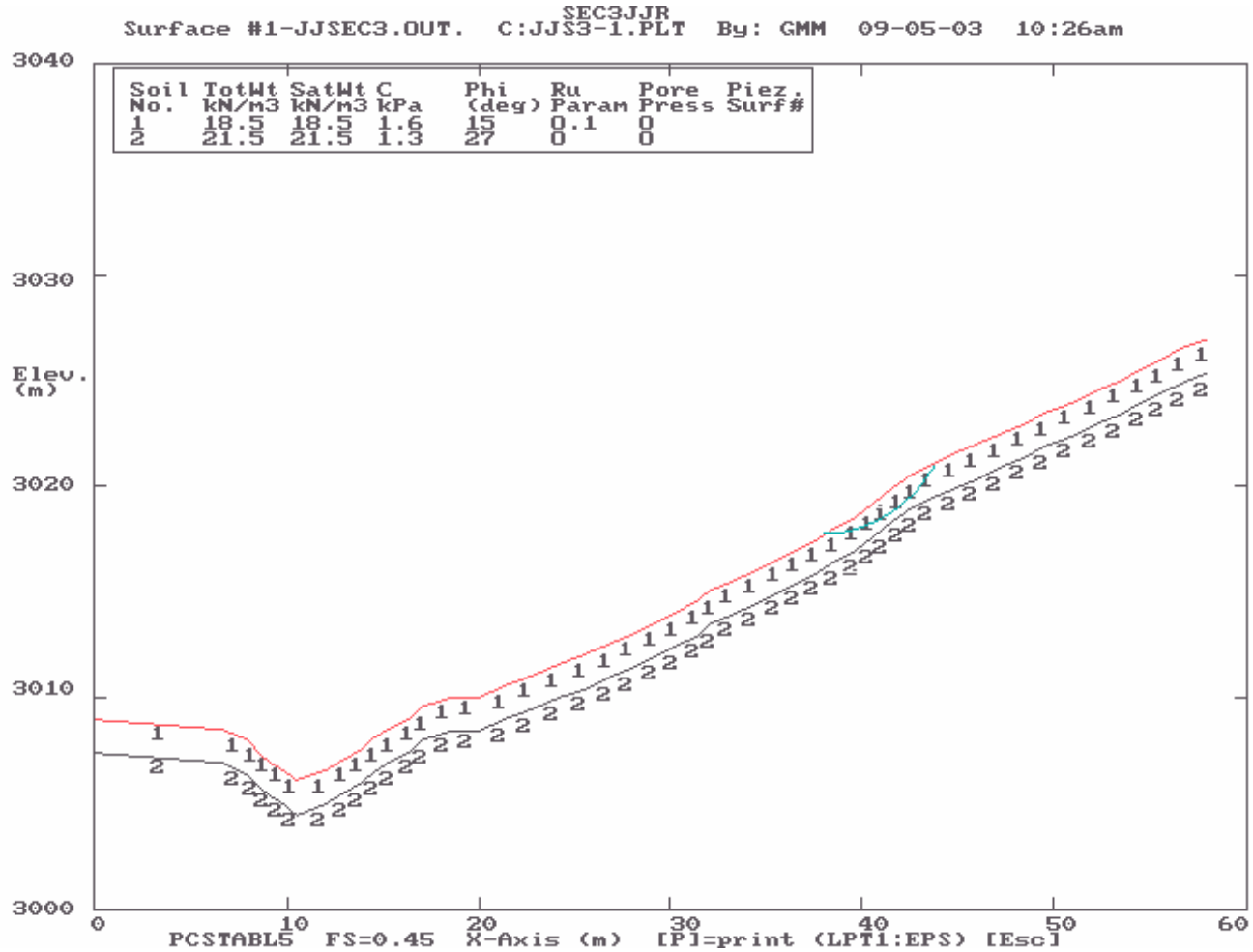


FIGURA 5.13
SUPERFICIE DE FALLA

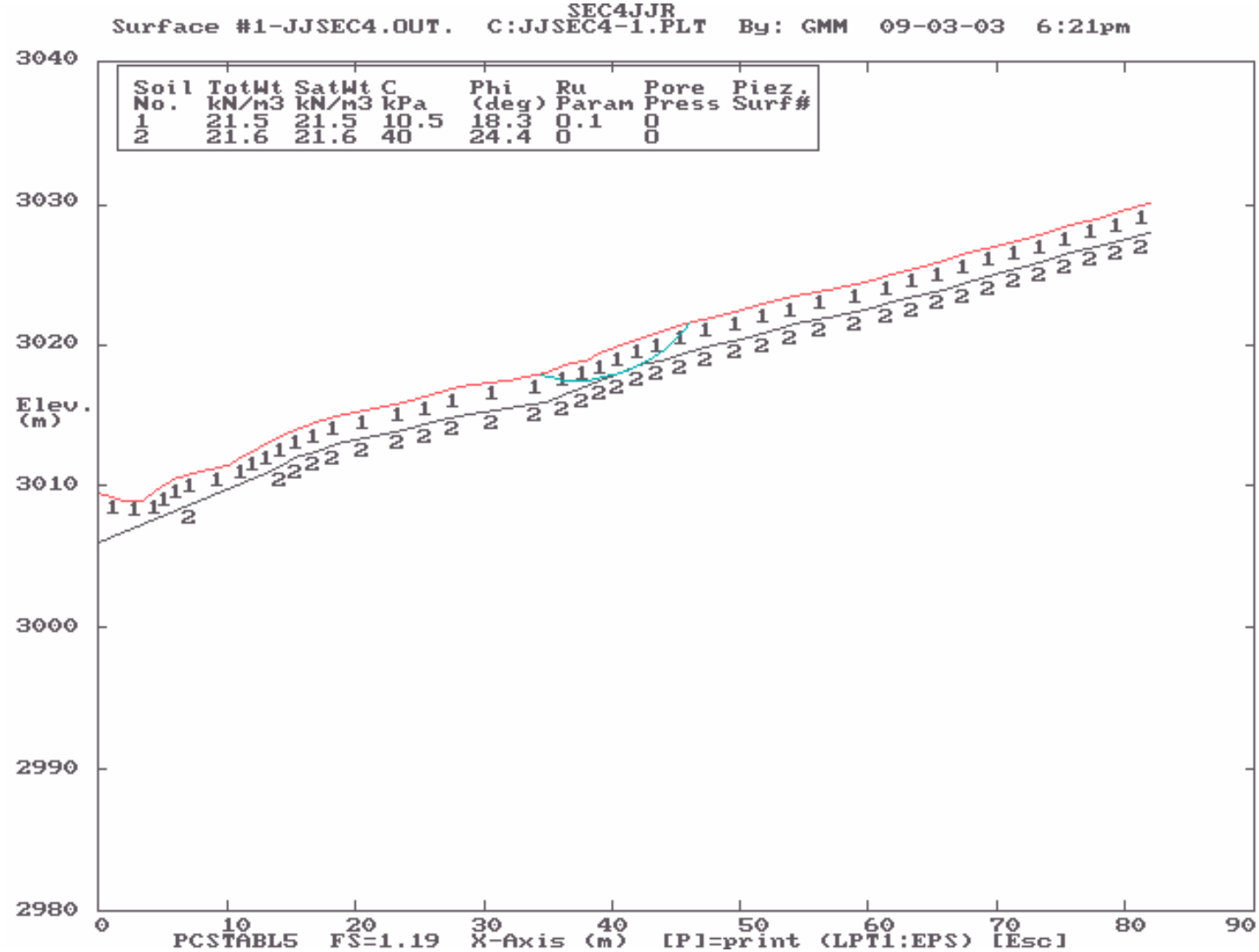


FIGURA 5.14
SUPERFICIE DE FALLA

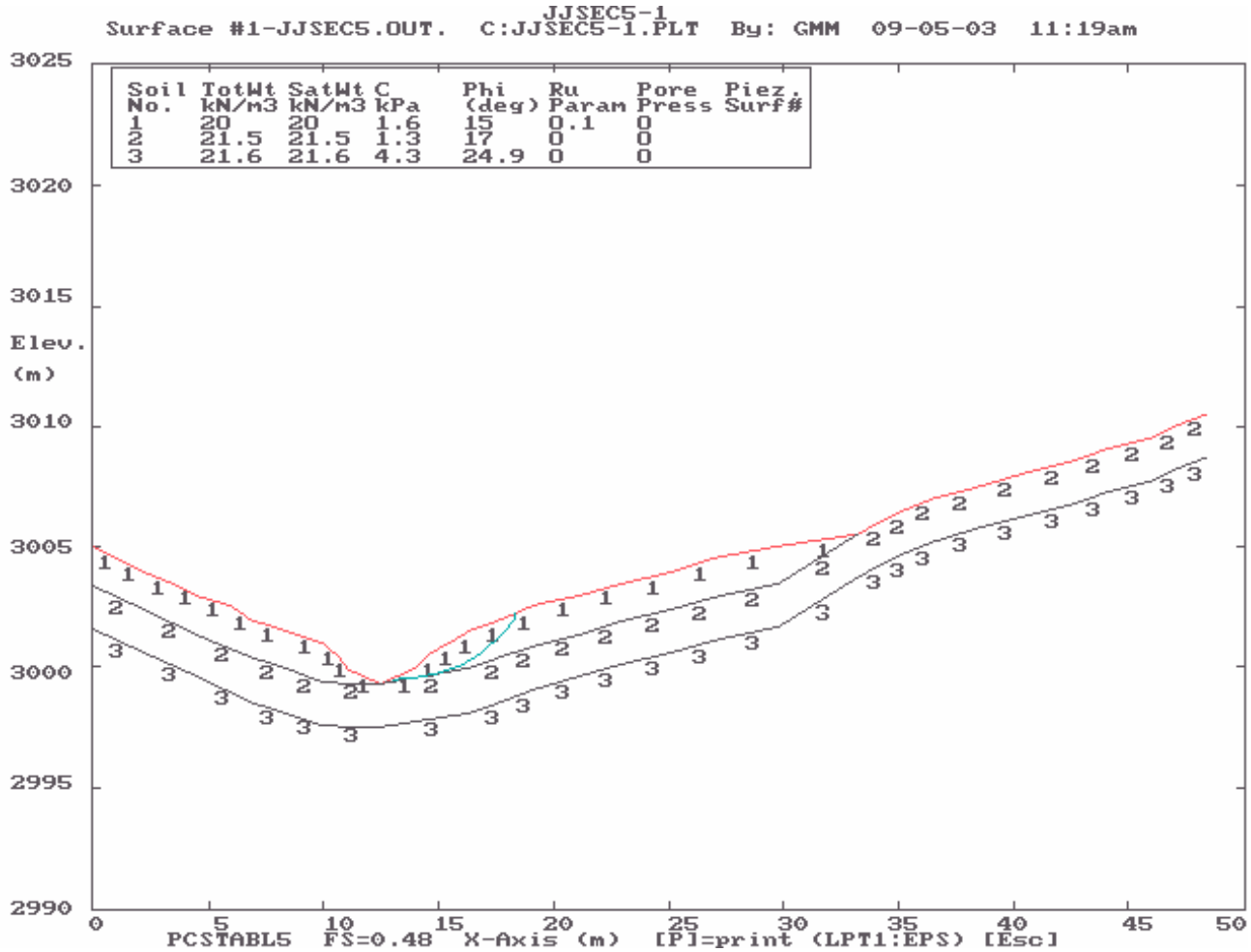


FIGURA 5.15
SUPERFICIE DE FALLA

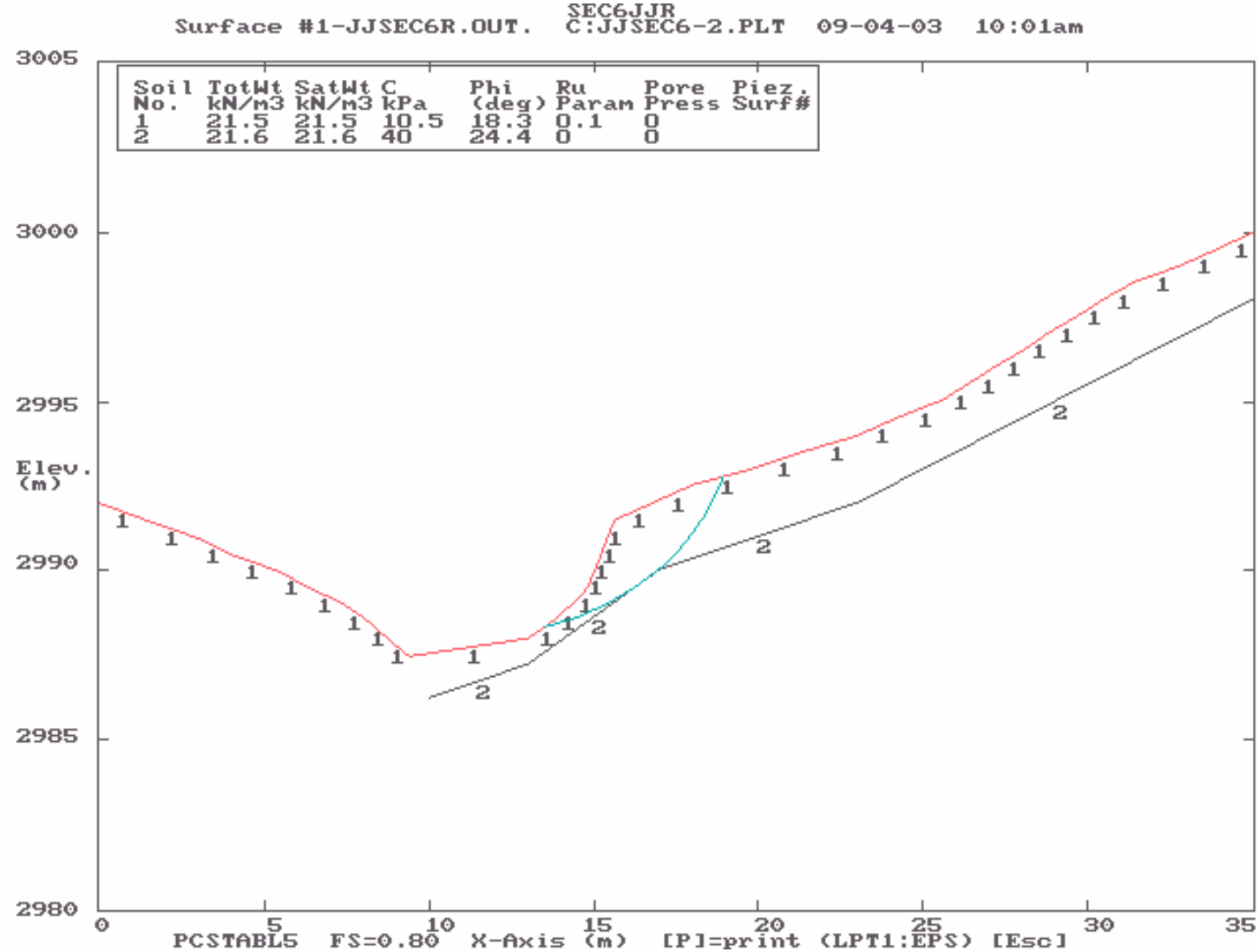


FIGURA 5.16
SUPERFICIE DE FALLA

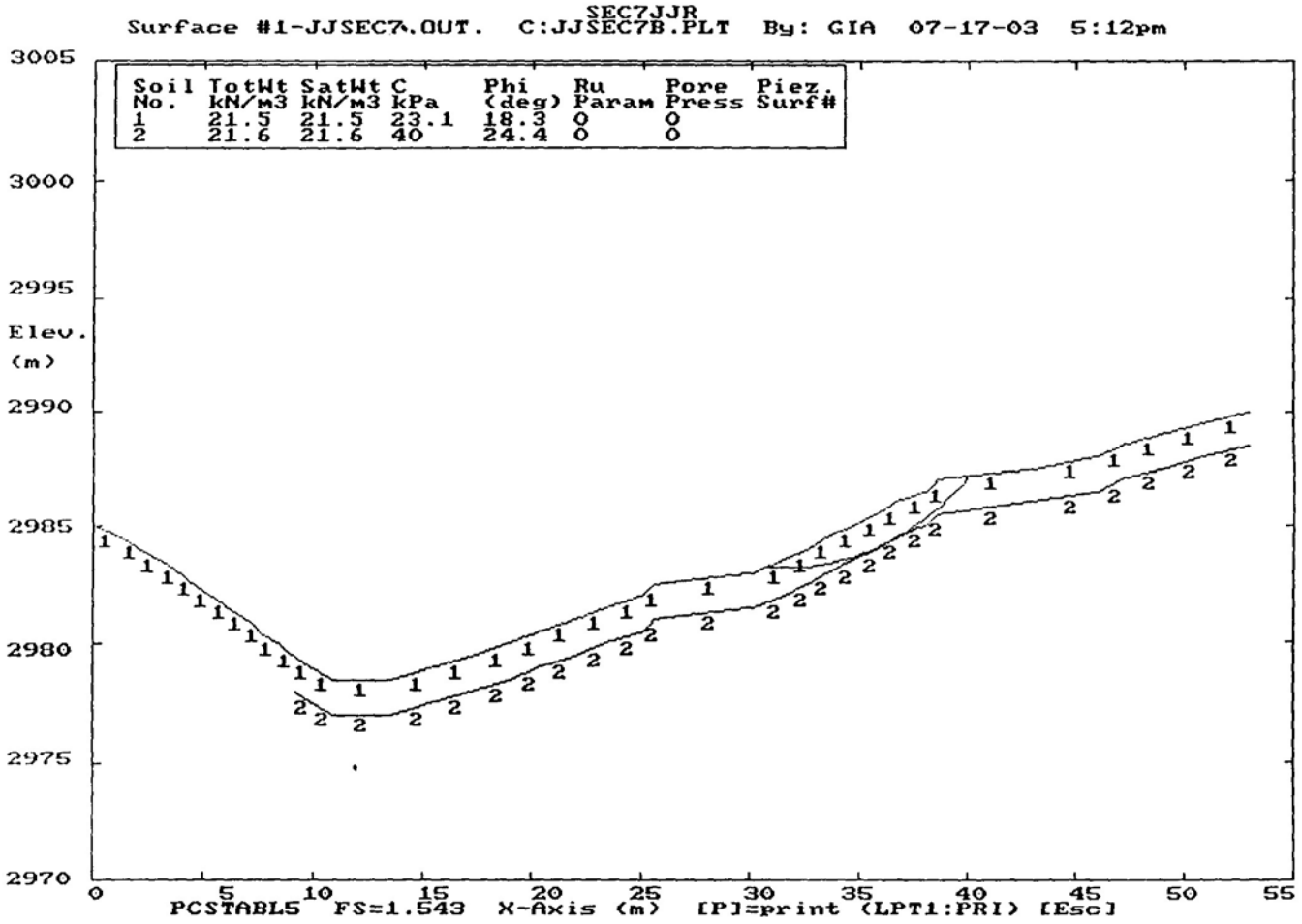


FIGURA 5.17
SUPERFICIE DE FALLA

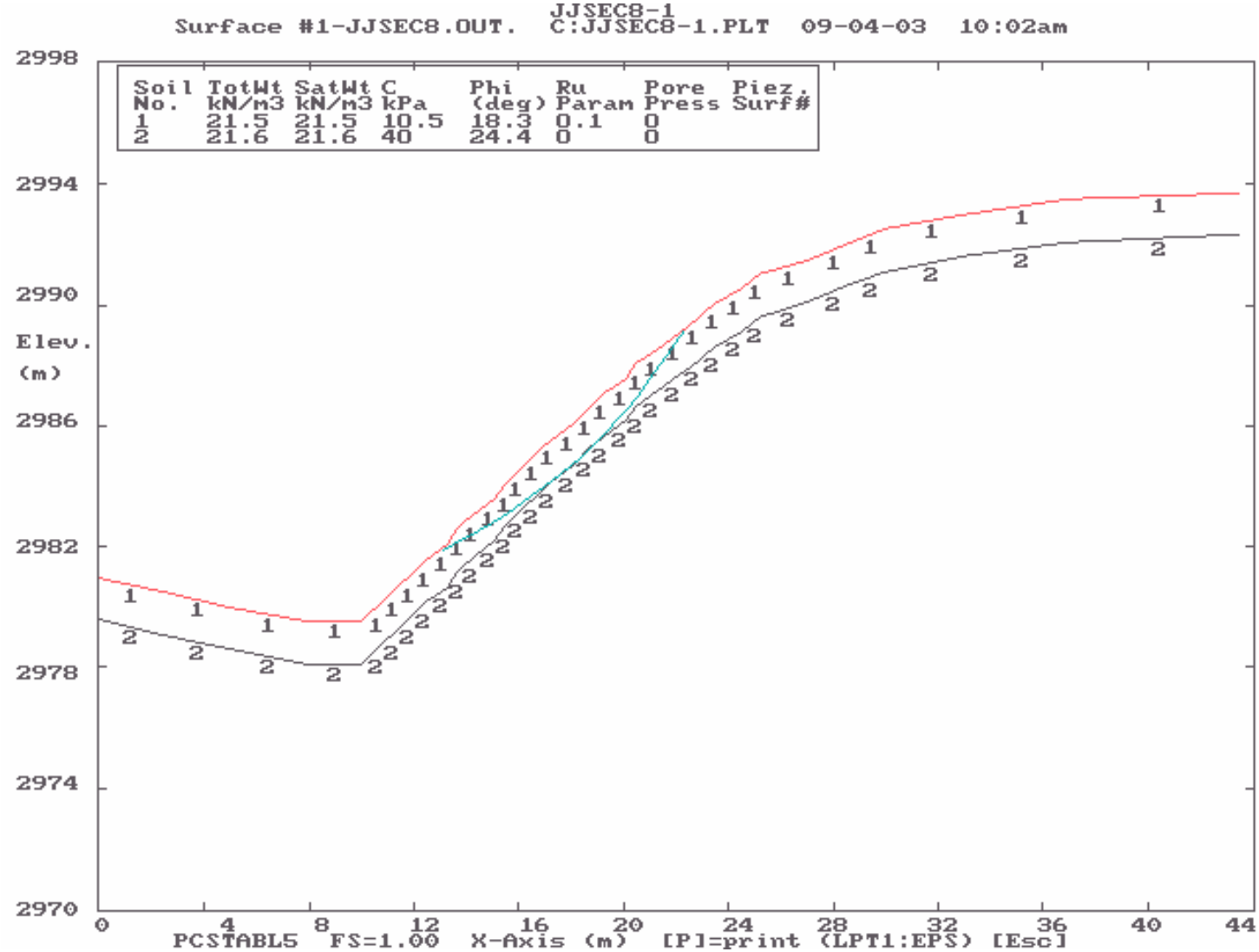
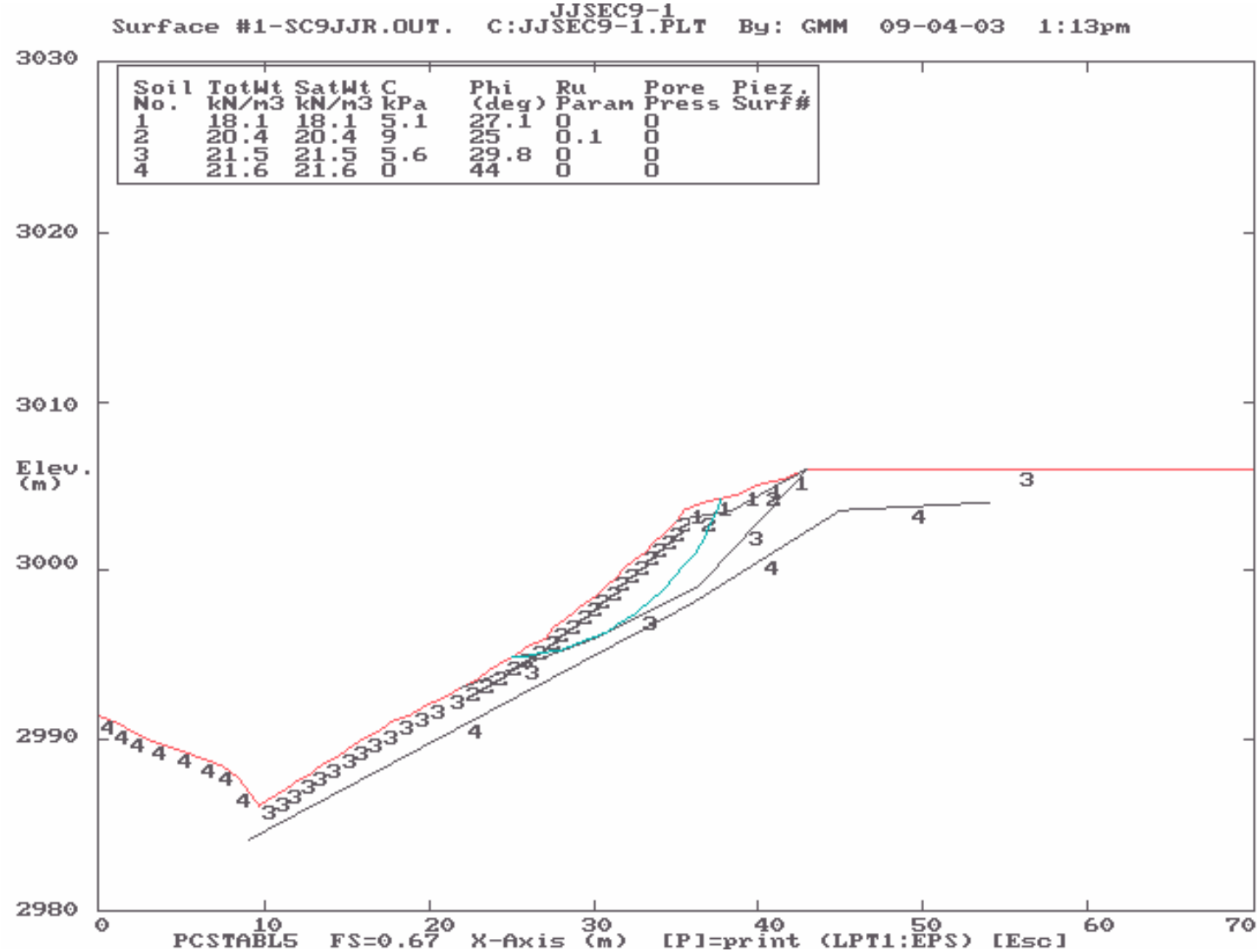


FIGURA 5.18
SUPERFICIE DE FALLA



CAPÍTULO 6.0

ANÁLISIS HIDRÁULICO Y DE SOCAVACIÓN DE LA QUEBRADA EL ARRAYANAL

6.1 GENERALIDADES

6.1.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se evalúan los niveles de agua y los caudales alcanzados por la quebrada El Arrayanal; y se realiza un análisis de socavación en el sitio comprendido entre las coordenadas 98600 a 98800 m. Este y 89300 a 89500 m. Norte a una cota aproximada de 3030 msnm. Para lo que se requiere estudiar las condiciones reales del sitio y su relación o efecto sobre la dinámica del cauce.

Se van a definir los niveles alcanzados por la quebrada para un período de retorno de 25 años, para establecer si es necesario la implementación de obras de protección. Igualmente, se requiere analizar los problemas de estabilidad de las márgenes con la finalidad de prever posibles represamientos del cauce.

6.1.2 RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN

Para los análisis se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Consulta de planchas topográficas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi y de estudios desarrollados en la zona.
- Consulta en la biblioteca y en la sección de hidrología de la EAAB de la información hidrológica existente del área.
- Consulta en la EAAB de las curvas IDF obtenidas con base en la información hidrológica de Bogotá para diferentes localidades.
- Análisis hidrológico e hidráulico del área de estudio.
- Análisis de socavación probable por el método de Maza-Levediev.

6.2 MARCO HIDROLÓGICO GENERAL

En la zona de estudio se presenta un régimen de precipitación caracterizado por lluvias de baja intensidad y larga duración, debido a que se encuentra muy cercana a la divisoria de aguas del sector sur-oriental de Bogotá D.C. y a la influencia del ZCIT. Lo cual obedece a la formación de cinturones de nubes generados por la condensación del aire húmedo procedente de la Amazonía, durante el movimiento regular de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT: sector de la parte tropical donde convergen las masas de aire o corrientes de aire húmedo provenientes de los hemisferios norte y sur), y de otro lado por las Ondas del Este, procedentes del océano Atlántico Venezolano y noreste colombiano (Catatumbo), lo que sucede especialmente hacia los meses de Julio, Agosto y Septiembre.

Dicha particularidad permite que exista una continuidad entre el invierno provocado por la ZCIT cuando baja en Abril-Mayo al Ecuador y cuando regresa hacia los meses de Octubre y Noviembre al Atlántico, generando en la zona andina un **Régimen bimodal** de precipitación, al igual que en el área de estudio.

La información hidrometereológica fue recopilada en la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Se obtuvo la información hidrométrica existente (precipitación máxima en 24 horas y curva de IDF para un periodo de retorno de 8 años) en la estación Pluviográfica más cercana, denominada Juan Rey - código No. 2120204 de la EAAB; ubicada en la zona media de la cuenca de la quebrada Yomasa a 4700 m del área de estudio. En la **Tabla 6.1** se presentan las principales características de la estación empleada.

TABLA 6.1
CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA EMPLEADA

ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ELEVACIÓN	CORRIENTE
JUAN REY	04°33' N	74°05'W	2985	RÍO BOGOTA

La zona presenta una precipitación baja tipo páramo, denominada lluvia horizontal, que se convierte en escorrentía sobre una pendiente fuerte, que a su vez genera tiempos de concentración muy bajos, a la altura del cruce con la vía Oriente.

El área de estudio se encuentra localizada en la cuenca de quebrada El Arrayanal, afluente de la quebrada Yomasa. La quebrada nace en el cerro de Pan de Azúcar de la cuchilla del Boquerón a un nivel aproximado de 3550 msnm.

Las márgenes de la quebrada se encuentran sobre el lecho natural protegido con rastrojo bajo, sin embargo, debido al fenómeno de remoción en masa presente en la margen izquierda, se ha estrangulado la sección transversal ocasionando pequeños encañonamientos del cauce que evidencian socavación local, ocasionada en el momento en que la corriente busca conservar su equilibrio morfológico ya que la corriente se encuentra en la zona torrencial. (**Fotografía 6.1**).

La cuenca presenta poca intervención hacia aguas arriba de la vía del oriente, mientras en la zona de estudio se observa un crecimiento suburbano considerable.



FOTOGRAFÍA 6.1
VISTA DE LA MARGEN DERECHA DE LA QUEBRADA EL ARRAYANAL EN EL SITIO DE ESTUDIO. EN LA PARTE SUPERIOR SE OBSERVA LA CONCENTRACIÓN DEL URBANISMO DEL BARRIO VILLA DIANA, LA FUERTE PENDIENTE LONGITUDINAL DEL CAUCE Y DE LAS MÁRGENES Y LA ESPESA VEGETACIÓN.

6.3 CÁLCULOS DE CAUDALES DE CRECIENTE

Se realizó un estudio hidrológico en cuanto a lluvias y caudales, con base en la información recolectada de la estación más cercana a la zona del proyecto (estación Juan Rey), para estimar los valores más probables de caudal.

La subcuenca en estudio tiene una extensión de 0.57 km², la cual es menor a 10 Km², sin afluentes importantes y dadas las condiciones de la misma se puede definir como cuenca pequeña; característica que en sentido hidrológico indica que el caudal de escorrentía está influenciado principalmente por las condiciones físicas del suelo y la cobertura vegetal, más que por las condiciones hidrológicas e hidráulicas del cauce principal.

Los caudales fueron deducidos para períodos de retorno de 10, 25 y 50 años con base en los registros de precipitación en las curvas IDF para la Estación Juan Rey, las cuales fueron generadas a partir de eventos de aguaceros; y en la definición de la relación lluvia-caudal mediante la aplicación del método de Ven Te Chow, el cual fue adaptado a las condiciones y características de la región en estudio.

Hacia aguas abajo del sitio de estudio se observó un dique en tierra construido por la comunidad con el fin de comunicar los barrios Juan José Rondón Sector II - La Unión y el Villa Diana. El dique se encuentra dentro del lecho de la quebrada y solo cuenta con una tubería de 30” como drenaje, cabe anotar que no se observó obstrucción en la sección de la tubería; sin embargo se aclara que esta estructura fue conformada hace poco tiempo (aproximadamente 2 meses) y que evidencia fuerte erosión por escorrentía que eventualmente puede taponar la sección de la tubería y a su vez represar el cauce (ver **Fotografía 6.2**).



FOTOGRAFÍA 6.2
VISTA DESDE EL DIQUE EN TIERRA HACIA AGUAS ARRIBA DEL CAUCE, EN DONDE SE EVIDENCIA EROSIÓN POR ESCORRENTÍA.

En el sitio no se observan marcas de crecientes correspondientes a eventos extremos, que hayan ocurrido recientemente y se corroboró a partir de indagaciones realizadas a los habitantes del sector.

Los estudios hidrológicos conllevan los siguientes aspectos: Revisión de información, Generación de funciones de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) y el cálculo de caudales de diseño (Q_D) para determinados períodos de recurrencia (Tr).

6.3.1 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia

La forma más común de determinar los eventos de lluvia a usarse en un diseño, es utilizar una tormenta de diseño que involucre una relación entre la intensidad de la lluvia, la duración y las frecuencias o períodos de retorno apropiados para la obra y el sitio. En muchos casos existen curvas calibradas IDF disponibles para muchos lugares, que fueron elaboradas con base a información de estaciones pluviográficas, las cuales registran eventos de tormenta continuos en el tiempo. Para este estudio se dispone de las curvas obtenidas a partir de las precipitaciones máximas en 24 horas de la estación Juan Rey; las cuales se verificaron con base en la curva establecida para un periodo de retorno de 8 años, elaborada por la EAAB para la misma estación.

En la **Figura 6.1** se presenta la curva IDF para varios periodos de retorno.

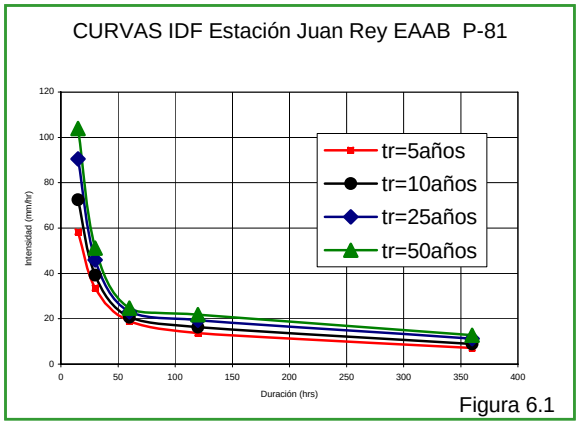


Figura 6.1

6.3.2 Cálculo de caudales de Creciente

Para el cálculo de caudales en diferentes periodos de retorno se recurre al método racional. La idea detrás de dicho método, es que si una lluvia con intensidad (*i*) empieza en forma instantánea y continúa en forma indefinida, la tasa de escorrentía continuará hasta que llegue al tiempo de concentración tc, en el cual toda la cuenca está contribuyendo al flujo en la salida. El producto de la intensidad de la lluvia (*i)* y el área de la cuenca (A) es el caudal de entrada del sistema; y la relación entre este caudal y el caudal pico Q que ocurre en el tiempo (tc) se conoce como el coeficiente de escorrentía C ($0 \leq C \leq 1$). Este se expresa en la fórmula:

$$Q = CiA$$

Donde:

Q es el caudal en m^3/seg
C es el coeficiente de escorrentía y.
A es el área de la cuenca en Km^2

Es necesario conocer algunas características morfométricas de la corriente objeto del estudio con el fin de determinar parámetros relevantes en el cálculo de caudales de creciente. En la **Tabla 6.2** se resumen las principales características.

TABLA 6.2
CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA QUEBRADA EL ARRAYANAL

Corriente	Área (km^2)	Perim. (m)	Long. (m)	h max (m)	Hmin (m)	Δh (m)	S (m/m)
Qda. El Arrayanal	0.57	4.52	1.93	3550	3010	540	0.28

Para el cálculo del caudal de diseño se seleccionaron los períodos de retorno a trabajar. Luego se obtiene el tiempo de concentración de la cuenca mediante la aplicación del método empírico de Ramser Kirpich en el que:

$$t_c = 0{,}0663\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.77}$$

donde, t_c es el tiempo de concentración en horas, *L* es la longitud del cauce en km y *S* la pendiente del cauce en m/m (véase **Tabla 6.3**).

TABLA 6.3
PARÁMETROS DE LA QUEBRADA EL ARRAYANAL

Tr años	tc Min	C	i mm/h	ÁREA km^2	Q M^3/seg
10	10.8	0.42	85	0.57	5.66
25	10.8	0.42	102	0.57	6.79
50	10.8	0.42	115	0.57	7.65

Una vez se calcula el tiempo de concentración, se ingresa a la curva IDF generalizada con el valor de tc y Tr para obtener la intensidad para los períodos de retorno seleccionados.

De los mapas de cobertura vegetal y usos del suelo consultados en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi y a partir de las observaciones de campo, se estima el valor de *C* (Coeficiente de escorrentía según la Tabla 15.1.1. del texto Hidrología aplicada de Ven Te Chow); para un área de bosques, con una zona bien drenada de aproximadamente 65% y con una zona intervenida por el urbanismo de un 35%.

La corriente es alargada de acuerdo a la relación longitud, ancho, con características de drenaje típicas de zona de páramo; presenta un caudal constante y regular con una pendiente pronunciada que permite una velocidad de escorrentía alta (mayor a 2m/seg.).

6.4 GRANULOMETRÍA DE LECHO

Con el propósito de establecer la distribución granulométrica del sedimento presente en el lecho de la quebrada, se realizaron observaciones de campo y se determinó que el cauce tiene un lecho rocoso, con una capa de material residual de arcillas cohesivas y desechos que cambian considerablemente la rugosidad del canal. Además, hacia la parte baja de la margen derecha se presentan bloques subangulares de arenisca, asociados a los depósitos de ladera que cubren discordantemente el material parental, sin estar asociados a la dinámica de la quebrada.

Las características físicas del material del fondo inicial y de los diferentes estratos del subsuelo que pueden llegar a ser descubiertos y erosionados durante el paso de la creciente seleccionada, se determinaron a partir de observaciones de campo efectuadas sobre las muestras de suelo obtenidas en las márgenes.

6.5 CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS EN EL TRAMO DE ESTUDIO

A partir de indagaciones realizadas a los habitantes del sector se determinaron niveles de crecientes y se calibró la sección a partir de la ecuación de Manning.

El procedimiento para la realización del estudio hidráulico en los tramos de cruce de las corrientes fue el siguiente:

- Se realizó el levantamiento topográfico en el sitio de interés, mediante la metodología de nube de puntos que localizan y detallan el área de estudio, adicionalmente se midieron secciones transversales cada 50 m en el tramo seleccionado para determinar la pendiente del fondo de los cauces (ver **Plano 3.1**).

- Se determinaron los parámetros hidráulicos de las secciones con base en la geometría obtenida de topografía y observaciones de campo, con la finalidad de obtener los parámetros hidráulicos de la sección de análisis utilizada para la determinación del caudal de diseño establecido en los análisis hidrológicos.

- Se calculó la curva teórica de calibración de caudales para las secciones transversales, con lo cual se definieron los diferentes niveles de las crecientes, dividiendo las secciones en varios canales cuando era necesario.

- Se realizó el análisis de la información de campo, en los aspectos de topografía e hidráulica, y se estableció la metodología empleada para calcular la socavación a partir de los parámetros hidráulicos obtenidos en la curva de calibración para el caudal de diseño.

- Se determinó el coeficiente **n** de Manning, a partir de los diámetros característicos del lecho y aplicando la Formulación de Strikler y criterio de Ven Te Chow:

$$n = \frac{Ks^{\frac{1}{6}}}{78}$$

  Donde *Ks* es el diámetro característico del lecho en mm.

Se estimó la curva de descarga de la quebrada, con la cual se obtienen los parámetros hidráulicos para el caudal de diseño; asumiendo fondo fijo, flujo uniforme y aplicando la ecuación de Manning, que viene dada por:

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} \sqrt{s}$$

Donde:

Q: Caudal en m^3/s
A: Área mojada en m.
R: Radio hidráulico igual a la relación R=A/P
P: perímetro mojado en m.
S: Pendiente de la línea de energía.

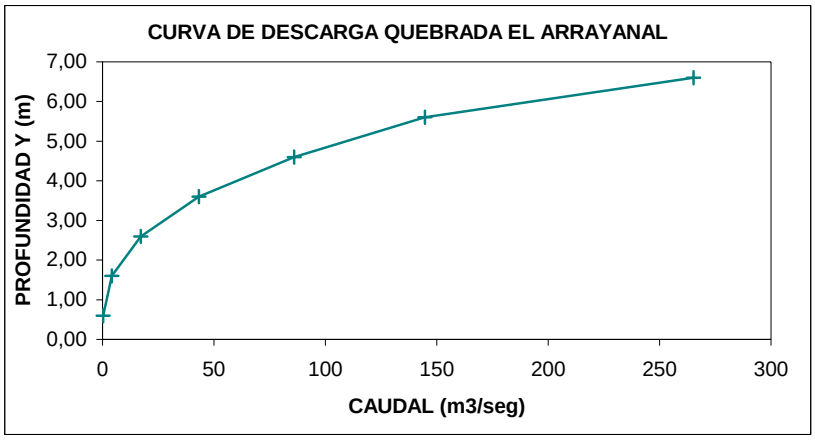
Aplicando la ecuación de Manning con los valores adoptados, se obtuvo la curva de descarga para la sección No.2 de acuerdo al Plano 3.2 - Secciones Trasversales y que se presenta en la **Tabla 6.4** y en la **Figura 6.2**, junto con los parámetros hidráulicos de la sección típica escogida.

TABLA 6.4
PARÁMETROS HIDRÁULICOS Y CURVA DE DESCARGA PARA LA QUEBRADA ARRAYANAL

Cota (msnm)	H (m)	A (m^2)	Be (m)	P (m)	R (m)	V (m/seg)	F	Q (m^3/seg)
3001.4	0.0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
3002.0	0.60	0.35	1.16	1.68	0.21	0.76	0.32	0.27
3003.0	1.60	2.83	3.88	5.06	0.56	1.48	0.37	4.18
3004.0	2.60	8.13	6.71	8.52	0.95	2.11	0.42	17.14
3005.0	3.60	16.27	9.55	12.00	1.36	2.67	0.45	43.36
3006.0	4.60	27.63	13.17	16.15	1.71	3.11	0.46	85.99
3007.0	5.60	45.40	22.25	25.59	1.77	3.19	0.43	144.76
3008.0	6.60	69.07	25.42	29.46	2.34	3.84	0.48	265.21

Nota:
A equivale al área de la sección correspondiente a cada nivel de agua.
P es el perímetro mojado de la sección correspondiente a cada nivel de agua.
R es el radio hidráulico de la sección correspondiente a cada nivel de agua.
V es la velocidad de Manning para cada una de los niveles de agua.
F es el número de Froude.
Q es el caudal que pasa por la sección correspondiente a cada nivel de agua.
H es la altura de la lámina de agua.
Be es el ancho efectivo del canal.

FIGURA 6.2



6.6 SOCAVACIÓN GENERAL

Con el propósito de establecer un criterio para la determinación de la profundidad que podría alcanzar el lecho en un evento extremo, se calculó la socavación general en la sección de estudio en el evento en que se presente la máxima creciente con período de retorno de 25 años para diseño de posibles obras de protección, con base en el Método de Lischtvan-Levediev ya que en el sector de análisis no se presentan cambios de dirección horizontal ni obras que interfieran con el flujo.

De otra parte, Maza obtuvo expresiones del criterio que permiten su aplicación directa, sin tener que utilizar las tablas desarrolladas para la aplicación del criterio en su forma original. Dichas expresiones están en función del material de fondo, en la sección y consideran que la rugosidad es constante en todo el ancho de la sección; por lo tanto, la profundidad de socavación se obtiene a partir de la siguiente expresión, la cual es válida para suelos cohesivos:

$$ds = \left(\frac{\alpha do^{5/3}}{0.68 \beta \mu \varphi \gamma_s^{1.18}} \right)^{\left(\frac{1}{1+X}\right)}$$

Donde:

α es el coeficiente de sección y distribución de gasto.

$$\alpha = \frac{Q_d}{H_m^{\frac{5}{3}} B_e}$$

d_o : Profundidad inicial entre el nivel del agua para el caudal de diseño y el nivel del fondo inicial; en metros.

d_s : Profundidad hasta el fondo ya socavado, en metros. Se mide desde la elevación de la superficie del agua al presentarse el caudal de diseño y sobre la misma vertical en que se mide d_o.

Q_d: Caudal de diseño o caudal máximo de la avenida para la cual se desea calcular la erosión, m^3/seg.

d_m : Profundidad media entre la superficie del agua al pasar el caudal Q_d y el perfil del fondo original, en metros. Se obtiene de dividir el área hidráulica A entre el ancho efectivo Be.

μ : Coeficiente que toma en cuenta las contracciones laterales del flujo que se produce en las caras de los obstáculos que están dentro de la corriente. Cuando no hay obstáculos μ = 1.0.

Be Ancho efectivo de la superficie libre del cauce, en metros. Para este caso es igual al ancho de la corriente analizada.

γs Peso volumétrico seco del material cohesivo.

β Coeficiente que toma en cuenta el período de retorno T en años, del caudal de diseño. Válido para períodos de retorno entre 15 y 1500 años. β es adimensional. Este parámetro se define como:

$$\beta = 0.8416 + 0.03342 \text{ Ln Tr}$$

X Exponente variable que depende del peso volumétrico seco del material cohesivo (γs).

$$X = 0.892619 - 0.58073\gamma_s + 0.136275\gamma_s^2$$

φ Coeficiente de corrección por la densidad del agua durante la avenida.

Para el caso de la sección estudiada se establecieron los parámetros para la aplicación del criterio expuesto en un período de retorno de 25 años, (véase **Tabla 6.5**), teniendo en cuenta que es el utilizado pata diseño de obras de protección geotécnica.

6.7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 25 años es de 6.79 m^3 alcanzando una lámina de agua de 1.80 metros. Para el caudal de diseño se prevé una socavación general de 0.03 m, teniendo en cuenta que exista un lavado del suelo residual presente en el lecho.

TABLA 6.5
CÁLCULOS DE SOCAVACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE LISCHTVAN LEVEDIEV PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 25 AÑOS

PARÁMETROS QUE INTERVIENEN	UNID.	Qda. Arrayanal
Caudal de Diseño (Qd)	m^3/s	6.79
Coeficiente de Manning	-	0.065
Velocidad	(m/s)	1.79
Área Hidráulica (A)	m^2	3.80
Perímetro mojado (P)	m	5.30
Ancho efectivo del canal (Be)	m	4.55
Radio Hidráulico	m	0.72
Tirante medio (dm)	m	0.84
Profundidad inicial (do)	m	1.80
Coeficiente de sección (α)	-	2.01
Coeficiente de frecuencia (β)	-	0.95
Diámetro medio (dm), para suelos granulares	mm	100.00
Exponente variable (Z) para material granular	-	0.28
Coeficiente de corrección por contracción de flujo (μ)	-	0.94
Coeficiente de corrección por densidad del agua (ϕ)	-	1.13
Profundidad del flujo después de ocurrida la socavación (ds)	-	1.83
Socavación General (ds-do)	**m**	**0.03**

La Cuenca de la quebrada El Arrayanal es alargada, con características de drenaje típicas de zona de páramo, presenta un caudal constante y regular con una pendiente pronunciada que permite una velocidad de escorrentía alta. Las márgenes de la quebrada se encuentran sobre el lecho natural protegido con rastrojo. Por lo anterior se recomienda mantener la ronda de protección de la quebrada demarcada por la EAAB y preservar vegetación existente.

6.8 BIBLIOGRAFÍA

- Chow Ven Te, Open Channel Hydraulics,New York, 1959

- Viessman, W., Jr., Introduction to Hydrology 2ª ed. Cap , New York, 1977

- Linsley, R., y Paulhus, Hydrology for enginners, 3ª ed., New York, 1982

- Chow Ven Te, Hidrología Aplicada, 1994

CAPÍTULO 7.0

EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

7.1 INTRODUCCIÓN

El barrio Juan José Rondón Sector II – La Unión, construido recientemente dentro de los límites de la localidad de Usme, corresponde a un barrio que se ha eregido a través del sistema del autoconstrucción y planes de vivienda popular, sin la infraestructura adecuada de vías de acceso, redes de agua, acueducto y alcantarillado.

Las condiciones originales del terreno lo caracterizaban como una zona de relieve ligeramente ondulado a ondulado, conformado por laderas rectas a cóncavas. Estas últimas modificadas como resultado de las explanaciones para la adecuación de las viviendas lotes mediante la disposición de materiales muy heterogéneos dentro de los que se encuentran basuras y limos a limos arcillosos.

En los costados norte y occidental, los límites del barrio están definidos por la quebrada El Arrayanal, sector no desarrollado y actualmente utilizado como área de conservación ambiental. En tanto que los costados sur y oriental, prima un desarrollo urbano semiconsolidado, que carece del adecuado manejo de las aguas de escorrentía superficial y subsuperficial.

Las condiciones geomorfológicas descritas en el Capítulo 4.0 y las variables de tipo climático, geotécnico y antrópico han contribuido en algunos sectores del área a procesos denudativos tales como: erosión y fenómenos de remoción en masa en diferente grado de actividad y desarrollo.

En el presente capítulo se presentan los resultados de la evaluación y zonificación de la amenaza, fundamentada en la definición de la probabilidad de falla y el factor de seguridad de las laderas más representativas de cada zona geotécnicamente homogénea, descrita en el numeral 5.2. En principio, cada zona homogénea se cubre con una sección de análisis (desde la 1 – 1´ hasta la 9 – 9´) con el fin de obtener la mejor cobertura e interpretación del área, a partir de los perfiles estratigráficos y de la caracterización geomecánica de los materiales. Posteriormente se efectúan los análisis de estabilidad con distintas combinaciones de parámetros y de agentes exógenos, para obtener los correspondientes factores de seguridad asociados; y finalmente establecer la probabilidad de falla para cada sección.

La probabilidad de falla es la conjugación de las probabilidades de ocurrencia de los parámetros que intervienen en el análisis y los factores detonantes (factor antrópico, lluvia y sismo).

Para la variable externa “sismo”, se adoptaron los resultados del estudio de “Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá” y su determinación directa está por fuera de los alcances del presente estudio.

Mientras que para la variable agua se tuvo en cuenta que en la exploración del subsuelo no se reportó el nivel freático y que los fenómenos ocurridos se han generado con la presencia de agua, que proviene de los sistemas de acueducto y alcantarillado. Se involucró la relación de presión de poros, ru, para simular las variaciones de saturación de los materiales.

7.2 METODOLOGÍA

La amenaza por remoción en masa se define como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de inestabilidad, dentro de un área y un periodo de tiempo específico. En este caso, los procesos de inestabilidad se asocian tanto a las laderas naturales como aquellas conformadas por rellenos.

Para evaluar la amenaza se adoptó una metodología que permitiera concatenar los resultados del análisis de estabilidad para los diferentes mecanismos de falla, con los factores detonantes y la variación de los parámetros de resistencia de los materiales, la cual fue tomada de la Resolución No. 364 de 2000 de la Alcaldía Mayor de Bogotá[1].

[1] *Sociedad Colombiana de Geotecnia. Términos de Referencia para Estudios de Riesgos por Inestabilidad del Terreno.* Seminario Estudios por Fenómenos de Remoción en Masa. Agosto 31de 2000. DPAE-FOPAE.

7.2.1 Variables Aleatorias: Límites y Distribución de Probabilidad

Se consideraron como variables aleatorias o fuentes de incertidumbre: la cohesión, el ángulo de fricción, el nivel de agua y la aceleración sísmica. Las dos primeras, denominadas endógenas, se estimaron para cada material y las dos últimas, entendidas como los eventos condicionantes o exógenos, recibieron tratamiento basado en los registros históricos disponibles. Todos los demás parámetros se suponen conocidos y con muy baja variabilidad, es decir, determinísticos.

El criterio sugerido para marcar los límites de los intervalos de las variables endógenas se basa en la Resolución del DPAE (2000) como se indica a continuación, aunque las desviaciones de 0.15 para la cohesión y 0.30 para los ángulos de fricción pueden variar considerando los datos de la información disponible:

$$\begin{aligned} c'_{\max} &= c'_{prom} + 0.15c'_{prom} \\ c'_{\min} &= c'_{prom} - 0.15c'_{prom} \\ tg\phi'_{\max} &= tg\phi'_{prom} + 0.30tg\phi'_{prom} \\ tg\phi'_{\min} &= tg\phi'_{prom} - 0.30tg\phi'_{prom} \end{aligned} \qquad \text{(a)}$$

o lo que es lo mismo:

$$c'_{prom} = \frac{c'_{\max}}{1.15}$$

$$tg\phi'_{prom} = \frac{tg\phi'_{\max}}{1.30} \qquad \text{(b)}$$

$$c'_{prom} = \frac{c'_{\min}}{0.85}$$

$$tg\phi'_{prom} = \frac{tg\phi'_{\min}}{0.70} \qquad \text{(c)}$$

El grupo (a) se utiliza cuando la información fuente disponible (primaria, secundaria o del análisis paramétrico) se hace corresponder a los parámetros promedio, mientras que los grupos (b) y (c), cuando los parámetros fuente se suponen como máximos y mínimos, respectivamente. Así entonces, la **Tabla 7.1** muestra los valores frontera.

Finalmente, la probabilidad de ocurrencia y de no ocurrencia de todas las combinaciones de sismo y lluvia críticas se calculó con base en su periodo de retorno (*T*) únicamente y teniendo en cuenta dos escenarios, el actual (un año) y a mediano plazo (10 años) según las expresiones que aparecen a continuación.

$$P^+ = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

$$P^- = 1 - P^+$$

donde:

P^+ = probabilidad de ocurrencia del evento crítico
P^- = probabilidad de no ocurrencia del evento crítico
T = período de retorno
n = período de análisis

7.2.2 Modelos Geotécnicos

Los modelos geotécnicos se elaboraron a partir de la topografía realizada, de los resultados de la exploración del subsuelo, del análisis multitemporal y de la identificación de las zonas homogéneas.

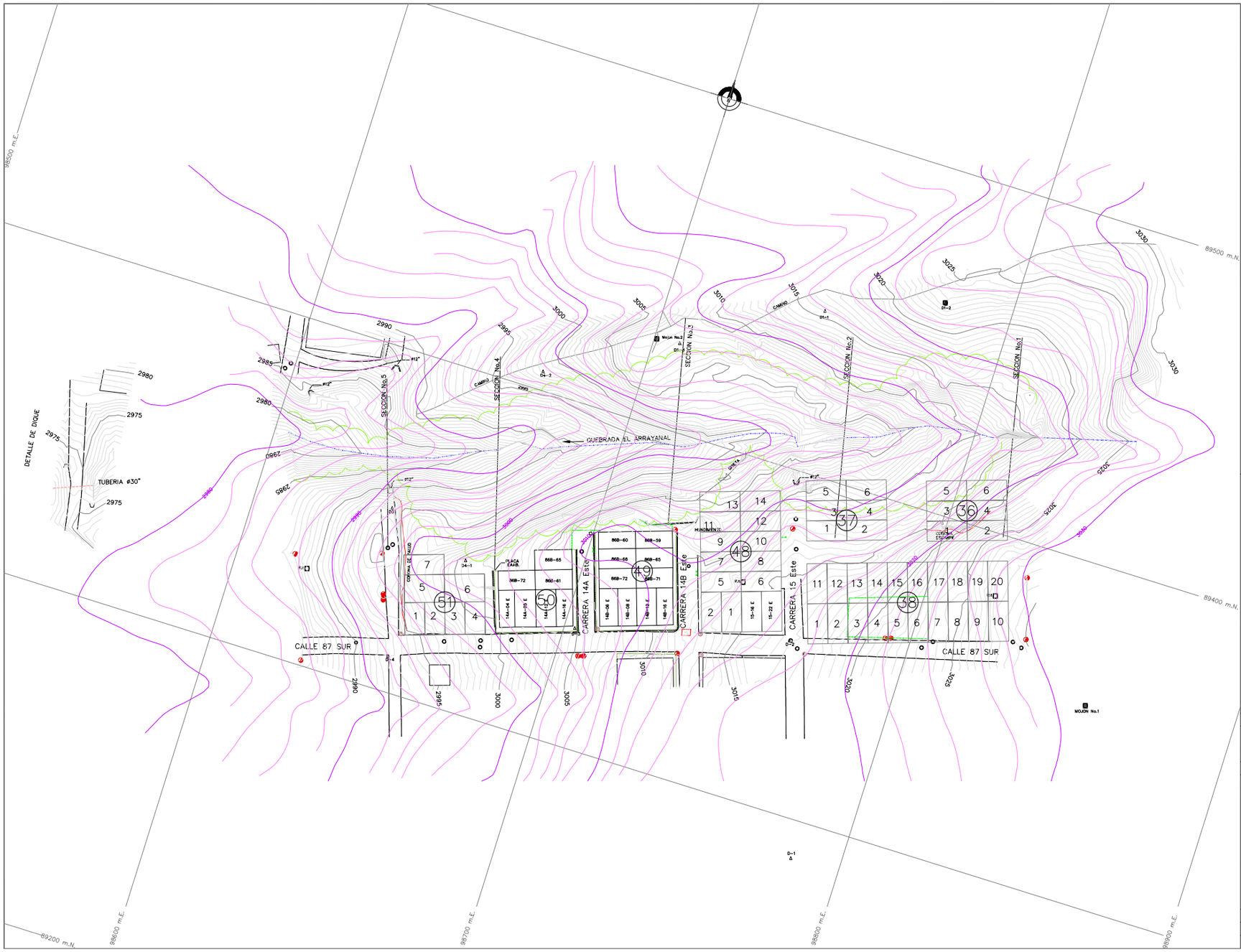
Para determinar la zonificación y la evaluación de la amenaza actual y futura (10 años) de las diez (10) zonas geotécnicamente homogéneas se utilizaron las nueve (9) secciones de análisis: 1 – 1 a 9 – 9, que se muestran en el Plano 5.2 y que se localizan en planta en el Plano 5.1.

El análisis multitemporal se basó tanto en la topografía y el perfil estratigráfico, producto de la investigación del subsuelo como de la superposición de la cartografía IGAC del año 1974 con la actual (**Figura 7.1 – Superposición Cartográfica - planta**). De acuerdo con el análisis, se refleja que en el periodo (1974 - 2003) no se había densificado el proceso de urbanización, que trajo consigo una marcada intervención antrópica sobre la margen izquierda de la quebrada El Arrayanal, contrariamente con la cartografía del año 2003 a escala 1:500, se observa un rápido crecimiento urbanístico, pero conservando aún la tendencia del relieve principalmente sobre la margen derecha de la quebrada El Arrayanal.

En la **Tabla 7.2** se registran las coordenadas de las secciones y la enumeración de las figuras; posteriormente se exponen sus principales características.

TABLA 7.1
CORRELACIÓN DE PARÁMETROS

No.	Nombre	Descripción		SPT		Corte Directo		Información Secundaria		Valor Promedio		Valor Mínimo		Valor Máximo		Observaciones
			γ (Ton/m^3)	Cohesión Ton/m^2)	ϕ (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	ϕ (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	ϕ (°)	Cohesión (Ton/m^2)	ϕ (°)	Cohesión (Ton/m^2)	ϕ (°)	Cohesión (Ton/m^2)	ϕ (°)	
1	Qeb3	Limo arcilloso, de color café oscuro a amarillo, con vetas negras y rojizas, algo de raíces y humedad media. De consistencia blanda a semidura y plasticidad alta a media.	1.81	0.51	27.07	0,54	17,23			0.13	17.23	0.1	15	0.17	19.5	Valor de ϕ max del SPT
2	Qeb4	Limo arcilloso, de color café habano oscuro, con vetas de óxido, con raíces. De consistencia media a blanda, plasticidad media a alta y humedad media a baja.	2.04	0.46	25.00	0,22	30°			0.20	17.23	0.16	15	0.27	19.5	
3	Qeb2	Limo algo arcilloso, de color café claro con negro, con algo de raíces. De consistencia blanda a media, de seco a húmedo y plasticidad media a baja.	2.04	0.46	25.00					0.20	17.23	0.16	15	0.27	19.5	
4	Sr	Arcilla de color rojizo con bandas de color amarillo, de baja a media humedad, de consistencia blanda a dura y plasticidad baja a media.	2.15	0.56	29.83	0,88	19.63	0,4	24.4	0.13	17.23	0.1	15	0.17	19.63	
5	Tpb	Arcillolita arenosa de color rojiza y vetas de color gris claro, con intercalaciones de arenisca de color amarillo. De baja humedad, plasticidad media y consistencia dura y rígida.	2.16	0.00	44.00			0,15	21.3	0.43	24.9	0.33	19.65	0.56	29.83	ϕ max el valor de SPT



ESCALA GRAFICA

5 0 5 10 15 20 25 m.

ORIGEN DE COORDENADAS

Grid unit:	International metre
Longtitude of origin:	74° 04' 51.30" West
Latitude of origin:	04° 35' 56.57" North
Scale factor at origin:	1.0000000000
Grid co-ordinate at origin:	100000.00 E
Grid co-ordinate at origin:	100000.00 N
Semi major axis:	6378388.0000
Flattening (1/f):	1/297.0

NOTAS

1. AMARRE DE COORDENADAS A LOS PUNTOS IGAC.
   CD-571 N = 89.383,171 E = 99.083,917 Z = 3.073,397
   AZIMUT AL PUNTO CD 572 DE: 153°19'37.952"

2. FUENTE: PLANO DE BOGOTA D.E. PLANCHA IGAC, P-10, AÑO 1974, ESCALA 1:2.000

CONVENCIONES GENERALES

- VIA SIN PAVIMENTAR
- TRANSFORMADOR
- POSTE TELEFONOS
- POSTE ENERGIA
- CERCA DE ALAMBRE
- ALCANTARILLA
- QUEBRADA
- EJE CUNETA EN CONCRETO
- MALLA METALICA
- MOJON RONDA TECNICA EAAB.
- CURVA DE NIVEL CADA 5m
- CURVA DE NIVEL CADA 1m
- CAJA DE ENERGIA SENCILLA
- BORDE DE MONTE
- VALVULA
- MURO DE CONCRETO
- PARAMENTO
- POZO DE ALCANTARILLADO
- CAMARA DE TELEFONOS
- VERTICE DE POLIGONAL
- MOJON DEL LEVANTAMIENTO T.
- CAJA POZO DE ALCANTARILLADO

CONVENCIONES TEMATICAS

- CURVA DE NIVEL CADA 5m AÑO 2003
- CURVA DE NIVEL CADA 1m AÑO 2003
- CURVA DE NIVEL CADA 10m AÑO 1974
- CURVA DE NIVEL CADA 2m AÑO 1974

PLANO No.	ARCHIVO	DESCRIPCION

PLANOS DE REFERENCIA

REV	FECHA	DESCRIPCION	POR	APROBO

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS DE BOGOTA

CONTRATISTA: GEOINGENIERIA LTDA

DESCRIPCION:
ESTUDIOS DE RIESGO POR REMOCION EN MASA Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE MITIGACION EN EL BARRIO JUAN JOSE RONDON SECTOR II LA UNION, DE LA LOCALIDAD DE USME EN LA CIUDAD DE BOGOTA D.C. COMPARACION MORFOLOGICA PERIODO 1974 – 2003

DISEÑO: GEOINGENIERIA LTDA.	FECHA: AGOSTO-03	ARCHIVO ACAD:	888/FIGURAS/FIGURA 7.1
DIBUJO: GEOINGENIERIA LTDA.	FECHA: AGOSTO-03	ESCALA:	SIN
REVISO: GEOINGENIERIA LTDA.	FECHA: AGOSTO-03	FIGURA No: 7.1	REV. 0
APROBO:	FECHA:		

TABLA 7.2
COORDENADAS DE LAS SECCIONES DE ANÁLISIS

SECCIÓN	FIGURA	INICIAL		FINAL	
		NORTE	ESTE	NORTE	ESTE
1	1	89418	98720	89349	98765
2	2	89429	98765	89360	98785
3	3	89432	98750	89406	98826
4	4	89433	98795	89406	98831
5	5	89400	98739	89445	98718
6	6	89380	98673	89430	98676
7	7	89377	98623	89327	98638
8	8	89377	98623	89327	98638
9	9	89395	98662	89700	98700

7.3 EVALUACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES DETONANTES

A partir de los reconocimientos de campo, la investigación del subsuelo, la elaboración de los perfiles estratigráficos y los análisis de estabilidad, se concluyó que los factores detonantes de los diferentes procesos de inestabilidad en orden de importancia son:

7.3.1 Presencia de Agua

En la definición de los agentes exógenos, la mayor incertidumbre radica en la relación entre el nivel de agua conexo en el terreno y la ocurrencia de lluvias o el aporte de efluentes provenientes de la red de alcantarillado; en este sentido, en principio se modelaron de dos formas: una (1) colocando una tabla de agua a nivel de superficie como si la rutura se hubiera producido y segundo colocando un horizonte muy pequeño reblandecido.

Para estas dos condiciones se asumieron diferentes valores de ru de acuerdo con la zona homogénea analizada. El valor seleccionado para la zona MALa 5-6 II (sección 1 - 1), corresponde al máximo valor de ru (0.56), considerando que el depósito se encontraba saturado en el momento en que se originó el movimiento de inestabilidad, tal como se dedujo de los análisis de estabilidad. De otra parte se tomaron valores de ru = 0.1, en las zonas donde se presenta un nivel de material delgado muy reblandecido y ligeramente saturado.

7.3.2 La actividad Antrópica

Se considera como el factor detonante que ha influido en el cambio en las condiciones de equilibrio natural de las laderas y principalmente sobre la margen izquierda, por la conformación de llenos hacia las márgenes de la quebrada El Arrayanal.

7.3.3 Sismicidad

Para los análisis de estabilidad se tomo como referencia el estudio de "Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá", realizado por la Universidad de los Andes, Ingeominas y la AIS, en 1997. De este se deduce que el sector en el cual se localiza el barrio Juan José Rondón corresponde a la zona I - Cerros, donde se puede presentar coeficientes de aceleración máxima Am = 0.24g y aceleración nominal An = 0.30g.

7.3.4 Análisis de Resultados

Para estimar la situación actual, los análisis de estabilidad condujeron a factores de seguridad para cada hipótesis (combinaciones tanto de los parámetros geotécnicos como de los factores detonantes), una vez completada está etapa, se calcularon las probabilidades de falla de acuerdo con la metodológica expuesta en la Resolución No. 364[1].

En las **Tablas 7.3 y 7.4** y en el Anexo 5C se muestran los resultados de las probabilidades de falla para cada periodo de análisis bajo condiciones estáticas y dinámicas.

Adicionalmente, el análisis de estabilidad permitió establecer la geometría aproximada de la masa inestable para cada modelo geotécnico (sección 1 -1 y 2 -2) y para las secciones 3 -3 a 9 -9.

De los resultados obtenidos, es evidente que la posibilidad de movilización para el abanico completo de las laderas con mecanismos de falla traslacional y rotacional detonados por la acción de aguas de la red de acueducto y alcantarillado, variando desde caso cero hasta el 16%, si el horizonte involucra un año (Tabla 7.3 y 7.4). Esta representa un nivel de amenaza apenas bajo a medio. La sección 1 -1 (MAla 5-6 II) bajo modelos de falla esencialmente rotacional-planar encierra mayores probabilidades de falla con eventos hasta de 0.158. El referido comportamiento puede cambiar drásticamente a una condición de 10 años, toda vez que la probabilidad de ocurrencia del nivel máximo de agua, asociado al trabajo de los efluentes de la red de alcantarillado aumente en proporción directa con el periodo de diseño. El papel de los efluentes da lugar no solo a

TABLA 7.3
ESTÁTICOS

VARIABLES DE ANÁLISIS				SECCIÓN DE ANÁLISIS										
				1-1'	2-2'	3-3'	4-4 R'	4-4 P'	5-5'	6-6'	7-7'	8-8'	9-9'	
Fricción	Cohesión (T/m^2)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	c_{max}	Sin	Sin	2,164	1,852	1,478	4,105	3,992	1,246	2,158	3,565	2,660	1,551	
ϕ_{min}	c_{max}	Sin	Sin	1,559	1,651	1,273	3,722	3,590	1,064	2,013	3,297	2,510	1,327	
ϕ_{max}	c_{min}	Sin	Sin	1,910	1,196	1,313	2,890	2,860	1,044	1,427	2,394	1,701	1,332	
ϕ_{min}	c_{min}	Sin	Sin	1,306	0,993	1,108	2,505	2,458	0,861	1,277	2,125	1,550	1,104	
ϕ_{max}	c_{max}	Sin	Con	1,070	1,160	0,940	2,060	1,934	0,773	1,460	2,072	1,822	1,060	
ϕ_{min}	c_{max}	Sin	Con	0,781	1,048	0,814	1,880	1,749	0,665	1,382	1,931	1,739	0,916	
ϕ_{max}	c_{min}	Sin	Con	0,936	0,718	0,824	1,432	1,369	0,639	0,933	1,366	1,131	0,894	
ϕ_{min}	c_{min}	Sin	Con	0,646	0,604	0,698	1,249	1,184	0,531	0,850	1,225	1,047	0,749	
ϕ_{max}	c_{max}	Con	Sin	1,199	1,308	1,323	3,941	3,824	1,152	2,059	3,440	2,565	1,415	
ϕ_{min}	c_{max}	Con	Sin	0,975	1,249	1,147	3,601	3,467	0,992	1,939	3,205	2,440	1,222	
ϕ_{max}	c_{min}	Con	Sin	0,948	0,658	1,159	2,726	2,693	0,950	1,328	2,269	1,606	1,195	
ϕ_{min}	c_{min}	Con	Sin	0,722	0,594	0,983	2,385	2,335	0,790	1,203	2,033	1,480	1,000	
ϕ_{max}	c_{max}	Con	Con	0,559	0,793	0,883	1,975	1,850	0,710	1,389	1,997	1,753	0,957	
ϕ_{min}	c_{max}	Con	Con	0,470	0,777	0,777	1,817	1,687	0,617	1,329	1,876	1,688	0,839	
ϕ_{max}	c_{min}	Con	Con	0,426	0,360	0,781	1,347	1,287	0,578	0,862	1,291	1,063	0,790	
ϕ_{min}	c_{min}	Con	Con	0,337	0,339	0,674	1,187	1,123	0,484	0,769	1,169	0,996	0,673	
Nombre de archivo														
				SECCIÓN DE ANÁLISIS										
				1-1'	2-2'	3-3'	4-4 R'	4-4 P'	5-5'	6-6'	7-7'	8-8'	9-9'	
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM				0,15830	0,12223	0,01608	0,00017	0,00015	0,01608	0,02728	0,00105	0,01130	0,02005	
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM				0,55490	0,24542	0,05510	0,00068	0,00080	0,05510	0,03672	0,00194	0,01466	0,04976	

TABLA 7.4
ANÁLISIS DINÁMICO

VARIABLES DE ANÁLISIS				SECCIÓN DE ANÁLISIS										
				1-1'	2-2'	3-3'	4-4 R'	4-4 P'	5-5'	6-6'	7-7'	8-8'	9-9'	
Fricción	Cohesión (T/m^2)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	c_{max}	Sin	Sin	2,164	1,852	1,478	4,105	3,992	1,246	2,158	3,565	2,660	1,551	
ϕ_{min}	c_{max}	Sin	Sin	1,559	1,651	1,273	3,722	3,590	1,064	2,013	3,297	2,510	1,327	
ϕ_{max}	c_{min}	Sin	Sin	1,910	1,196	1,313	2,890	2,860	1,044	1,427	2,394	1,701	1,332	
ϕ_{min}	c_{min}	Sin	Sin	1,306	0,993	1,108	2,505	2,458	0,861	1,277	2,125	1,550	1,104	
ϕ_{max}	c_{max}	Sin	Con	1,173	1,606	0,992	2,451	2,228	0,931	2,155	2,744	2,761	1,307	
ϕ_{min}	c_{max}	Sin	Con	0,895	1,497	0,866	2,343	2,115	0,824	2,122	2,661	2,719	1,164	
ϕ_{max}	c_{min}	Sin	Con	0,987	0,892	0,888	1,514	1,401	0,736	1,229	1,628	1,564	1,056	
ϕ_{min}	c_{min}	Sin	Con	0,707	0,779	0,763	1,404	1,287	0,628	1,189	1,543	1,521	0,912	
ϕ_{max}	c_{max}	Con	Sin	1,199	1,308	1,323	3,941	3,824	1,152	2,059	3,440	2,565	1,415	
ϕ_{min}	c_{max}	Con	Sin	0,975	1,249	1,147	3,601	3,467	0,992	1,939	3,205	2,440	1,222	
ϕ_{max}	c_{min}	Con	Sin	0,948	0,658	1,159	2,726	2,693	0,950	1,328	2,269	1,606	1,195	
ϕ_{min}	c_{min}	Con	Sin	0,722	0,594	0,983	2,385	2,335	0,790	1,203	2,033	1,480	1,000	
ϕ_{max}	c_{max}	Con	Con	0,668	1,237	0,883	2,393	2,172	0,674	2,097	2,690	2,707	1,203	
ϕ_{min}	c_{max}	Con	Con	0,584	1,222	0,777	2,300	2,074	0,581	2,080	2,620	2,680	1,086	
ϕ_{max}	c_{min}	Con	Con	0,492	0,529	0,781	1,458	1,346	0,578	1,173	1,575	1,510	0,953	
ϕ_{min}	c_{min}	Con	Con	0,402	0,508	0,674	1,362	1,246	0,484	1,147	1,503	1,482	0,835	
Nombre de archivo														
				SECCIÓN DE ANÁLISIS										
				1-1'	2-2'	3-3'	4-4 R'	4-4 P'	5-5'	6-6'	7-7'	8-8'	9-9'	
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM				0,15801	0,12138	0,01598	0,00018	0,00016	0,01608	0,02684	0,00102	0,01114	0,01881	
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM				0,55460	0,23740	0,05441	0,00069	0,00087	0,05510	0,03198	0,00158	0,01290	0,03781	

la reducción gradual (progresiva) de la resistencia al corte en los cuerpos naturales como antrópicos, sino que puede provocar la falla general de la ladera.

La prueba de lo anterior radica en que al aumentar el tiempo de exposición (definido como el tiempo de diseño) a 10 años, la probabilidad condicional de deslizamiento aumenta a cantidades superiores al 24.5% en la zona MALa 3-4 II según la sección 2 -2 y mayor al 55% en la zona Mala 5-6 II según la sección 1 – 1 (condición de amenaza alta).

Para las demás zonas homogéneas la probabilidad de falla se mantiene baja en el horizonte actual y a 10 años, con valores menores del 12.5%.

7.4 ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA

7.4.1 Criterios Utilizados para la Evaluación de la Amenaza

De acuerdo con los análisis geológicos, geomorfológicos y geotécnicos, para la evaluación de la amenaza, se tomaron en cuenta los siguientes factores, que influyen en la generación de los fenómenos de inestabilidad:

- El factor antrópico asociado a la ubicación y disposición de rellenos y obras de infraestructura (acueducto y alcantarillado).

- El tipo de materiales presentes en el área, evaluados desde el punto de vista geomorfológico y caracterizados desde el punto de vista geotécnico (Capítulo 5.0 -numeral 5.1.4.2).

- Las condiciones topográficas de los segmentos de laderas localizados sobre ambas márgenes de la quebrada El Arrayanal.

7.4.2 Mecanismo de Falla

De acuerdo con el numeral 5.4.3., se considera que la superficie de falla se asume como rotacional o traslacional, pero se cree que existen por lo menos tres tipos (3) de mecanismos de falla.

Mecanismo I: Se asume que la ladera falló bajo condición natural bajo estados extremos de agua y sismo.

Mecanismo 2: Se considera que sobre la zona donde se localiza la superficie de falla, existe un horizonte reblandecido que no fue detectado por los sondeos 1 y 2. Sin embargo, se asumió un horizonte delgado de aproximadamente 0.50 m de espesor, más débil que el material circundante.

Mecanismo 3: El material se asume completamente homogéneo a lo largo del perfil y que la de falla fue de carácter súbita, detonada por un agente externo que saturo la masa y la llevó a su estado crítico.

7.4.3 Descripción y Características

Conociendo la composición geotécnica de cada zona homogénea y las probabilidades condicionales, el último paso para obtener el mapa de zonificación de amenaza consiste en determinar las zonas con afectación esperadas de los procesos. Dichas distancias fueron marcadas una vez demarcados el alcance del fenómeno de inestabilidad (secciones 1 – 1, 2 – 2 y 9 -9).

Una vez establecidos los datos se pudo dividir el área en tres categorías de similar condición de amenaza: Baja, Media y Alta, para dos horizontes temporales actual y mediano plazo. La clasificación de las zonas se realizó con base en la escala propuesta por González y Millán (1999) para el "Estudio de Zonificación de Santa fe de Bogotá" y que muestra en la **Tabla 7.5**.

En el **Plano 7.1** se muestra la zonificación de la amenaza para el horizonte actual y en el **Plano 7.1-A** se muestra la zonificación de la amenaza para un escenario a 10 años.

TABLA 7.5
CATEGORÍAS DE LA AMENAZA

NIVEL DE AMENAZA		FACTOR DE SEGURIDAD		INTERVALO DE PROBABILIDAD DE FALLA	
		DE	A	DE	A
ALTA	A	0.1954	1.1000	0.9569	0.4430
MEDIA	M	1.1000	1.9362	0.4430	0.1259
BAJA	B	1.9362	4.8764	0.1259	0.0040

Fuente: Tomado de González y Millán, 1999

La calibración del mapa de amenaza se llevó a cabo por contraste con los procesos de remoción en masa actuales, parte importante del estudio y que están tratados en el Capítulo 4.0.

En el primer horizonte, un año o actual, la mayor parte del área posee amenaza baja, se destaca solo un sector que corresponde a la zona homogénea MAla 5-6 II (sección 1 -1), donde la probabilidad de falla alcanza el nivel medio (Tablas 7.3 y 7.4 – Análisis estático y Dinámico); el entorno se transforma drásticamente al aumentar el tiempo de exposición a 10 años, es decir en el análisis a mediano plazo, la zona pasa de un estado de amenaza media a alta. La zona homogénea denominada Mala 3-4 II (sección 2 -2), pasa de un estado de amenaza bajo a medio; mientras que las secciones 3 -3 a 9 -9 mantienen el grado de amenaza en baja, pasando del horizonte actual aun grado de exposición en 10 años (ver Plano 7.1.A – Condición de Amenaza para un escenario a 10 años).

De esta forma, es necesario hacia el futuro preservar la zona sin intervención antrópica manteniendo las superficies libres, evitando el aporte de aguas (servidas o blancas) y protegiendo las superficies expuestas, de lo contrario la condición de amenaza puede desmejorar.

En las Tablas 7.3 y 7.4 se sintetizan las diferentes combinaciones, como las probabilidades condicionales para la falla planar y rotacional con los parámetros estáticos y dinámicos para cada una de las secciones de análisis.

CAPÍTULO 8.0

EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

8.1 EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

8.1.1 Introducción

Se debe tener en cuenta que la vulnerabilidad se define como el nivel de exposición y predisposición de un elemento o conjunto de elementos a sufrir impactos negativos como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural o de origen antrópico no voluntario, de una magnitud dada y que se da por la falta de mecanismos o recursos para contrarrestar dicha situación, o aún por la falta de capacidad de recuperación y restauración de las condiciones iniciales previas a la ocurrencia de un evento o situación.

En el presente capítulo, se encamina a determinar los posibles daños en las construcciones debidos a fenómenos de remoción en masa, para lo cual se aplico la metodología planteada por Frederic Leone (1996)[1] y descrita en el estudio denominado "Evaluación de la Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa en Santa fe de Bogotá – Colombia"., que se basa en la zonificación de amenaza, teniendo en cuenta tanto el área de influencia directa e indirecta como el tipo de solicitaciones a que se verán sometidas las diferentes construcciones.

8.1.2 Metodología

El trabajo consistió en el cálculo del Índice de Vulnerabilidad Física (IVF), para lo cual se tuvo en cuenta:

- La clasificación de la tipología de las viviendas existentes obtenida a partir del censo o inventario de viviendas realizado (**Anexo 8A**).
- Tipo de movimiento, intensidad de las solicitaciones y las características del elemento expuesto.

[1] *Soler, Flavio F et al. Evaluación de la Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa en Santa fe de Bogotá – Colombia. Seminario Estudios de Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa. Agosto 31 de 2002. DPAE-FOPAE.*

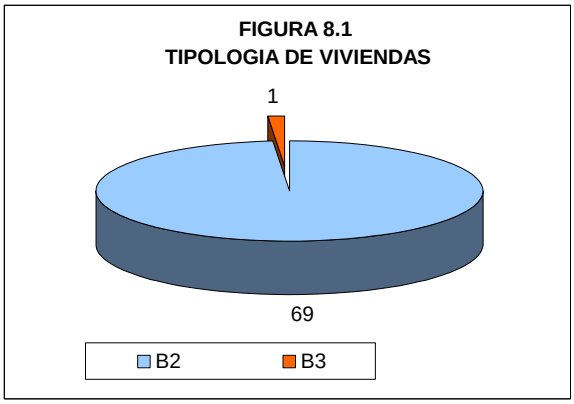
8.1.2.1 Tipología de las Viviendas

A través de la información recopilada en los formatos de campo, se efectúo una clasificación preliminar, en el que se trata de caracterizar o discriminar todas las viviendas por el sistema de construcción relacionada con el grado de resistencia. Bajo este orden de ideas, se definieron cuatro (4) sistemas constructivos en el barrio Juan José Rondón y se clasificaron teniendo en cuenta la metodología de Leone para la tipificación de las viviendas (**Tabla 8.1 y Figura 8.1**).

TABLA 8.1
SISTEMA CONSTRUCTIVO DE LAS VIVIENDAS EN EL SECTOR

TIPO	LEONE	DESCRIPCIÓN
I	B3	Viviendas cuya construcción esta conformada con pórticos, es decir, que posee vigas de amarre en la cimentación, acompañadas de columnas que se encuentran formando pórticos con vigas o con placas de entrepiso.
II	B2	Viviendas que poseen muros portantes sobre cualquier tipo de cimentación, que no se encuentran confinados por ningún tipo de estructura.
III	B2	Corresponde a aquellas viviendas que se encuentran realizadas con elementos prefabricados y que se encuentran apoyados sobre cualquier tipo de cimentación.
IV	B2	Corresponden a los lotes en los que no se ha iniciado ningún tipo de construcción.

FIGURA 8.1
TIPOLOGIA DE VIVIENDAS



El anterior sistema constructivo identificado en el barrio Juan José Rondón, se agrupa o correlaciona de acuerdo con la metodología de Leone (1996), la cual contempla cuatro (4) clasificaciones a saber: B1, B2 B3 y B4, que para efectos del análisis de vulnerabilidad en el presente estudio, se describen como (**Tabla 8.2**)

TABLA 8.2
TIPOLOGÍA DE VIVIENDAS

TIPO	DESCRIPCIÓN
B1	Corresponde a aquellas viviendas de muy mala calidad, sin fundación ni ligazón estructural, denominadas ranchos o tugurios.
B2	Construcciones de calidad regular a mala. No tiene refuerzo estructural ni fundación adecuada. Para el área de estudio, se pueden catalogar dentro de este grupo las casas en mampostería no reforzadas o prefabricadas simples.
B3	Construcciones de buena calidad, reforzadas en materiales tradicionales (concreto, mampostería, hierro), de hasta dos niveles.
B4	Construcciones de muy buena calidad, con refuerzo estructural y adecuada cimentación, de más de dos niveles. En el área de estudio no se encuentra este tipo de estructura.

8.1.2.2 Calificación de Daños

Para la evaluación de la vulnerabilidad de las viviendas se determinaron dos índices de daño (teniendo en cuenta la clasificación presentada en la tabla de tipología de viviendas):

IDa: Índice de daños actuales, debido al estado actual de la estructura. Los daños estructurales se obtuvieron mediante la evaluación cualitativa.

Se deduce de está información que los daños que se observan en las viviendas, se encuentran concentrados en casas que corresponden a la tipología B2, las cuales presentan especificaciones de calidad media, con grados actuales de daños I y II (**Tabla 8.3 -** Clasificación de daños y **Tabla 8.4 -** Porcentaje de daños actuales Tipologías B2 y B3**.**).

TABLA 8.3
CLASIFICACIÓN DE DAÑOS ACTUALES EN LAS VIVIENDAS DEL SECTOR

GRADO DE DAÑO	DESCRIPCIÓN
I	**Ligero**. Correspondientes a fisuras menores de 1 mm de apertura.
II	**Moderados**. Correspondientes a fisuras con apertura entre 1 y 5 mm.
III	**Fuertes**. Correspondientes a grietas con apertura entre 5 y 10 mm.
IV	**Severos**. Correspondiente a grietas con apertura mayor a 1 cm.

TABLA 8.4
PORCENTAJE DE DAÑOS ACTUALES - TIPOLOGÍAS B2 Y B3

TOPOLOGÍA	B2				B3			
GRADO DE DAÑO	I	II	III	IV	I	II	III	IV
TOTAL	14	4	-	--	-	1	-	-

IDp: Índice de daño potencial, el cual está asociado directamente al efecto físico (solicitación) que produce el fenómeno.

Se establecieron cinco categorías para calificar los daños producidos en las viviendas por fenómenos de remoción en masa. En este caso se tuvieron en cuenta las siguientes cinco categorías (**Tabla 8.5**)[2].

TABLA 8.5
CLASIFICACIÓN DE DAÑOS

ÍNDICE DE DAÑO	TIPO DE DAÑO	PORCENTAJE DE DAÑO
I	Daños ligeros no estructurales. Estabilidad no afectada.	0.0 – 0.1
II	Fisuras en paredes (muros). Reparaciones no urgentes	0.2 – 0.3
III	Deformaciones importantes. Daños en elementos estructurales	0.4 – 0.6
IV	Fracturación de la estructura. Evacuación inmediata	0.7 – 0.8
V	Derrumbe parcial o total de la estructura	0.9 – 1.0

8.1.2.3 Solicitaciones de la Amenaza

El tipo de fenómeno más probable que puede afectar los objetos vulnerables (construcciones), lo constituye el deslizamiento rotacional hacia la corona o escarpe principal y traslacional hacia la parte media y baja de la ladera. Estos tipos de fenómenos pueden tener carácter local o generalizado y por lo tanto puede afectar a toda una zona y en mayor grado a todas las casas localizadas dentro o en las vecindades de las zonas inestables. Los daños que pueden sufrir las viviendas se relacionan principalmente con desplazamientos laterales. De acuerdo con los resultados del Capítulo 6.0, no se

[2] *Soler, Flavio F et al. Zonificación Detallada de Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa en el Barrio Nueva Esperanza, Localidad de Usme. Seminario Estudios de Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa. Agosto 31 de 2002. DPAE-FOPAE.*

evidencia un proceso de socavación hacia la base de la ladera, que halla contribuido al fenómeno de inestabilidad que actualmente se presenta.

En la **Figura 8.2** se presenta en forma esquemática la ocurrencia de este tipo de movimiento.

8.1.2.4 Exposición

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

En este sentido, todo movimiento está compuesto por tres grandes zonas que son: La zona de influencia directa (ZID) definida como el área en las que tiene lugar el movimiento, la zona de influencia indirecta (ZII) que corresponde a aquella que puede ser invadido o afectado por la masa deslizada y una última denominada Zona de Influencia Nula (ZIN), en donde no se espera ningún tipo de afectación. Está división obedece a las diferentes solicitaciones a las que son sometidas las estructuras en cada zona de influencia, dependiendo del tipo de proceso de inestabilidad.

De la evaluación de las zonas geotécnicamente homogéneas y, con base en la clasificación de los fenómenos de remoción en masa que afectan los elementos físicos del sector se determinaron las zonas de afectación directa (ZID) e indirecta (ZII) y las no afectadas (ZIN) para cada mecanismo. La primera fue definida considerando la proyección horizontal de la superficie crítica de estabilidad (secciones de análisis 1 - 1, 2 - 2 y 9 - 9) y el límite externo de la zona de influencia indirecta (ZII) se obtuvo con base en las evidencias de campo de los fenómenos de remoción en masa desarrollados y en la distancia de viaje de los cuerpos inestables; esta última fue determinada a partir de la morfometría del talud, altura y pendiente, y la profundidad de la masa involucrada, siguiendo los lineamientos presentados por Finlay et al (1998)[3].

En el Anexo 8A se condensa las longitudes máximas y medias para todos y cada uno de los cuerpos potencialmente inestables discriminados por sección y tipo de geoforma.

[3] *P.J. Finlay, G.R. Mostyn, and R. Feel Landslide Risk Assesment Prediction of Travel Distance*

8.1.2.5 Costo de Daño

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

$$VD = VII * ID$$

8.1.2.6 Índice de Vulnerabilidad Física

Entendido como el porcentaje de pérdida esperado, y evaluado en función del valor inicial de la vivienda antes del evento y el valor final una vez que ocurre el daño.

$$IVF = VD / VII$$

En ella se observa que mientras más cuantiosos sean los daños, la vulnerabilidad también lo será. En la **Tabla 8.6** se muestran los cálculos respectivos.

8.1.3 Categorización de la Vulnerabilidad

La vulnerabilidad se evalúa únicamente para las zonas de influencia directa y de amenaza alta, media y baja. En las zonas de influencia indirecta en general ante fenómenos de remoción en masa no se encuentran elementos expuestos ante un evento. Las categorías se presentan en la **Tabla 8.7**.

TABLA 8.7
CATEGORÍAS DE LA VULNERABILIDAD ANTE FRM

CONDICIÓN	CATEGORÍA
IVF TOTAL > 0.60	ALTA
0.375 < IVF TOTAL < 0.60	MEDIA
IVF TOTAL < 0.375	BAJA

En el **Plano 8.1** se presenta el mapa de la Vulnerabilidad final por remoción en masa[1].

8.1.4 Evaluación de la Vulnerabilidad

De acuerdo con los resultados de la Tabla 8.7, se concluye que la vulnerabilidad de las construcciones localizadas en la parte alta del valle que conforma la quebrada El Arrayanal es baja, excepto en la vivienda identificada con la nomenclatura Carrera 14 E No. 86 B – 59 Sur.

En general en el área de estudio la tipología predominante corresponde Tipo B2 (prefabricadas), altamente vulnerables ante fenómenos de remoción en masa.

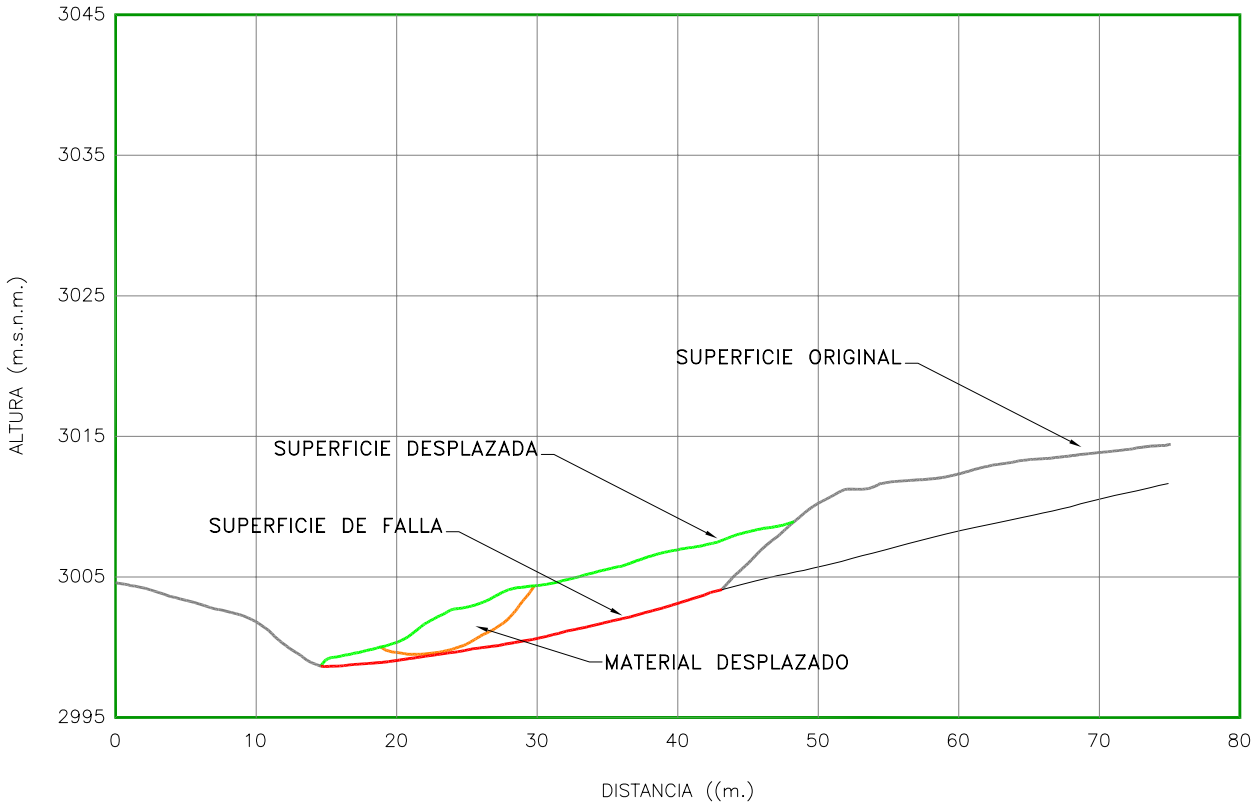


FIGURA No. 8.2
SOLICITACION DE LA AMENAZA

TABLA 8.6
EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y EL RIESGO PARA EL ESCENARIO ACTUAL

Id	LOCALIDAD	BARRIO	MANZANA	PRDIO	DIRECCIÓN	USO	No PISOS	EDAD CONST.	ESTADO CONST.	TIPO	Z. HOMOGÉNEA	TIPO F. R. M.	PERFIL ANÁL.	PROB. FALLA	AMENAZA	ÁREA AFECT.	TASA DAÑO	I. DAÑO	V. VIVIENDA	COSTO DAÑO	I. VULNER.	CAT. VULN.	I. RIESGO	CAT. RIES
1	5	1336	49	10	KR 14 E No. 86 B 59 SUR	1	1	6	REGULAR	7	MAla5-6-II	Traslacional	1	0,55	Media	0,75	0,6	0,45	15000000	6750000	0,45	MEDIO	0,2475	ALTO
2	5	1336	49	8	KR 14 E No. 86 B - 65 SUR	1	1	6	REGULAR	7	MAla5-6-II	Traslacional	1	0,55	Media	0,25	0,4	0,1	15000000	1500000	0,1	BAJO	0,055	BAJO
3	5	1336	49	6	KR 14 E No. 86 B - 71 SUR	1	1	6	REGULAR	7	MEDlc1-2-II	Ninguno		0	Baja	0	0	0	15000000	0	0	BAJO	0	BAJO
4	5	1336	49	0	CL 87 SUR No. 14 B - 16 ESTE	1	1	6	REGULAR	7	MEDlc1-2-II	Ninguno		0	Baja	0	0	0	15000000	0	0	BAJO	0	BAJO
5	5	1336	49	0	CL 87 S No. 14 B - 12 ESTE	1	1	6	REGULAR	7	MEDlc1-2-II	Ninguno		0	Baja	0	0	0	15000000	0	0	BAJO	0	BAJO
6	5	1336	49	0	CL 87 SUR No. 14 B - 08 ESTE	1	1	6	REGULAR	7	MEDlc1-2-II	Ninguno		0	Baja	0	0	0	15000000	0	0	BAJO	0	BAJO
7	5	1336	49	0	CL 87 SUR No. 14 B - 06 ESTE	1	1	6	REGULAR	7	MEDlc1-2-II	Ninguno		0	Baja	0	0	0	15000000	0	0	BAJO	0	BAJO
8	5	1336	49	0	KR 14 B ESTE No. 86 - 72 SUR	1	1	6	REGULAR	7	MEDlc1-2-II	Ninguno		0	Baja	0	0	0	15000000	0	0	BAJO	0	BAJO
9	5	1336	49	0	KR 14 E No. 86 B - 66 SUR	1	1	6	REGULAR	7	MEDlc1-2-II	Ninguno		0	Baja	0	0	0	15000000	0	0	BAJO	0	BAJO
10	5	1336	49	0	KR 14 E No. 86 B - 60 SUR	1	1	6	REGULAR	7	MEDlc1-2-II	Ninguno		0	Baja	0	0	0	15000000	0	0	BAJO	0	BAJO
11	5	1336	0	0	KR 17 E No. 86 B - 65 SUR	1	1	6	REGULAR	1	MAla7-8-II	Ninguno	9	0,049	Baja	0	0	0	15000000	0	0	BAJO	0	BAJO
12	5	1336	0	0	KR 14 B ESTE No. 86 C - 61 SUR	1	1	6	REGULAR	7	MAla7-8-II	Ninguno	9	0,049	Baja	0	0	0	15000000	0	0	BAJO	0	BAJO
13	5	1336	0	0	CL 87 SUR No. 86 A - 16 ESTE	1	1	6	REGULAR	7	MEDlc1-2-II	Ninguno		0	Baja	0	0	0	15000000	0	0	BAJO	0	BAJO
14	5	1336	0	0	CL 87 SUR No. 14 A - 12 ESTE	1	1	6	REGULAR	7	MEDlc1-2-II	Ninguno		0	Baja	0	0	0	15000000	0	0	BAJO	0	BAJO
15	5	1336	0	0	CL 87 SUR No. 14 A - 08 ESTE	1	1	6	REGULAR	7	MEDlc1-2-II	Ninguno		0	Baja	0	0	0	15000000	0	0	BAJO	0	BAJO
16	5	1336	0	0	CL 87 SUR No. 14 A - 04 ESTE	1	1	6	REGULAR	1	MEDlc1-2-II	Ninguno		0	Baja	0	0	0	15000000	0	0	BAJO	0	BAJO
17	5	1336	0	0	KR 14 A ESTE No. 86 B - 72 SUR	1	1	6	REGULAR	7	MEDlc1-2-II	Ninguno		0	Baja	0	0	0	15000000	0	0	BAJO	0	BAJO
18	5	1336	0	0	CL 87 ESTE No. 15 - 16 SUR	1	1	6	REGULAR	2	MALa3-4-II	Rotacional	2	0,24	Media	0,25	0,4	0,1	35000000	3500000	0,1	BAJO	0,024	BAJO
19	5	1336	0	0	CL 87 SUR No. 15 - 22 ESTE	1	1	6	REGULAR	5	MALa3-4-II	Rotacional	2	0,24	Media	0,25	0,4	0,1	20000000	2000000	0,1	BAJO	0,024	BAJO
20	5	1336	48	1	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR	1	MEDlc1-2-II	Traslacional	1	0,16	Media	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,0048	BAJO
21	5	1336	48	2	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDlc1-2-II	Traslacional	1	0,16	Media	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,0048	BAJO
22	5	1336	48	5	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDlc1-2-II	Traslacional	1	0,16	Media	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,0048	BAJO
23	5	1336	48	6	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MALa3-4-II	Traslacional	2	0,24	Media	0,25	0,4	0,1	15000000	1500000	0,1	BAJO	0,024	BAJO
24	5	1336	48	7	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MALa5-6-II	Traslacional	1	0,16	Media	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,0048	BAJO
25	5	1336	48	8	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MALa3-4-II	Traslacional	2	0,24	Media	0,25	0,4	0,1	15000000	1500000	0,1	BAJO	0,024	BAJO
26	5	1336	48	9	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MALa5-6-II	Traslacional	1	0,16	Media	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,0048	BAJO
27	5	1336	48	10	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MALa5-6-II	Traslacional	1	0,16	Media	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,0048	BAJO
28	5	1336	48	11	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MALa5-6-II	Traslacional	1	0,16	Media	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,0048	BAJO
29	5	1336	48	12	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MALa5-6-II	Traslacional	1	0,16	Media	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,0048	BAJO
30	5	1336	48	13	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MALa5-6-II	Traslacional	1	0,16	Media	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,0048	BAJO
31	5	1336	48	14	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MALa5-6-II	Traslacional	1	0,16	Media	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,0048	BAJO
32	5	1336	38	1	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDLc1-2-II	Ninguno	1	0,16	Media	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,0048	BAJO
33	5	1336	38	2	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDLc1-2-II	Ninguno	1	0,16	Media	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,0048	BAJO
34	5	1336	38	3	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDLc1-2-II	Ninguno	1	0,16	Media	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,0048	BAJO
35	5	1336	38	4	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDLc1-2-II	Ninguno	1	0,16	Media	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,0048	BAJO
36	5	1336	38	5	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDLc1-2-II	Ninguno	1	0,16	Media	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,0048	BAJO

TABLA 8.6
EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y EL RIESGO PARA EL ESCENARIO ACTUAL

Id	LOCALIDAD	BARRIO	MANZANA	PRDIO	DIRECCIÓN	USO	No PISOS	EDAD CONST.	ESTADO CONST.	TIPO	Z. HOMOGÉNEA	TIPO F. R. M.	PERFIL ANÁL.	PROB. FALLA	AMENAZA	ÁREA AFECT.	TASA DAÑO	I. DAÑO	V. VIVIENDA	COSTO DAÑO	I. VULNER.	CAT. VULN.	I. RIESGO	CAT. RIES
37	5	1336	38	6	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDLc1-2-II	Ninguno	1	0,16	Media	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,0048	BAJO
38	5	1336	38	7	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDLc1-2-II	Ninguno	1	0,16	Media	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,0048	BAJO
39	5	1336	38	8	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDLc1-2-II	Ninguno	1	0,16	Media	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,0048	BAJO
40	5	1336	38	9	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDLc1-2-II	Ninguno	-	0	Baja	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0	BAJO
41	5	1336	38	10	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDLc1-2-II	Ninguno	-	0	Baja	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0	BAJO
42	5	1336	38	11	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MALa3-4-II	Traslacional	2	0,24	Media	0,25	0,4	0,1	15000000	1500000	0,1	BAJO	0,024	BAJO
43	5	1336	38	12	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MALa3-4-II	Traslacional	2	0,24	Media	0,25	0,4	0,1	15000000	1500000	0,1	BAJO	0,024	BAJO
44	5	1336	38	13	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MALa3-4-II	Traslacional	2	0,24	Media	0,25	0,4	0,1	15000000	1500000	0,1	BAJO	0,024	BAJO
45	5	1336	38	14	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MALa3-4-II	Traslacional	2	0,24	Media	0,25	0,4	0,1	15000000	1500000	0,1	BAJO	0,024	BAJO
46	5	1336	38	15	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MALa3-4-II	Traslacional	2	0,24	Media	0,25	0,4	0,1	15000000	1500000	0,1	BAJO	0,024	BAJO
47	5	1336	38	16	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDlc1-2-II	Ninguno	-	0	Baja	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0	BAJO
48	5	1336	38	17	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDlc1-2-II	Ninguno	-	0	Baja	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0	BAJO
49	5	1336	38	18	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDlc1-2-II	Ninguno	-	0	Baja	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0	BAJO
50	5	1336	38	19	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDlc7-8-II	Ninguno	3	0,016	Baja	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,00048	BAJO
51	5	1336	38	20	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDlc7-8-II	Ninguno	3	0,016	Baja	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,00048	BAJO
52	5	1336	37	1	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MALa 3-4 I	Traslacional	2	0,24	Media	0,25	0,4	0,1	15000000	1500000	0,1	BAJO	0,024	BAJO
53	5	1336	37	2	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MALa 3-4 I	Traslacional	2	0,24	Media	0,25	0,4	0,1	15000000	1500000	0,1	BAJO	0,024	BAJO
54	5	1336	37	3	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MALa 3-4 I	Traslacional	2	0,24	Media	0,25	0,4	0,1	15000000	1500000	0,1	BAJO	0,024	BAJO
55	5	1336	37	4	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MALa 3-4 I	Traslacional	2	0,24	Media	0,25	0,4	0,1	15000000	1500000	0,1	BAJO	0,024	BAJO
56	5	1336	37	5	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MALa 3-4 I	Traslacional	2	0,24	Media	0,25	0,4	0,1	15000000	1500000	0,1	BAJO	0,024	BAJO
57	5	1336	37	6	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MALa 3-4 I	Traslacional	2	0,24	Media	0,25	0,4	0,1	15000000	1500000	0,1	BAJO	0,024	BAJO
58	5	1336	36	1	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDL 7-8 II	Ninguna	3	0,016	Baja	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,00048	BAJO
59	5	1336	36	2	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDL 7-8 II	Ninguna	3	0,016	Baja	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,00048	BAJO
60	5	1336	36	3	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDL 7-8 II	Ninguna	3	0,016	Baja	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,00048	BAJO
61	5	1336	36	4	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDL 7-8 II	Ninguna	3	0,016	Baja	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,00048	BAJO
62	5	1336	36	5	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDL 7-8 II	Ninguna	3	0,016	Baja	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,00048	BAJO
63	5	1336	36	6	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDL 7-8 II	Ninguna	3	0,016	Baja	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0,00048	BAJO
64	5	1336	51	1	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDLc 1-2 II	Ninguna		0	Baja	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0	BAJO
65	5	1336	51	2	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDLc 1-2 II	Ninguna		0	Baja	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0	BAJO
66	5	1336	51	3	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDLc 1-2 II	Ninguna		0	Baja	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0	BAJO
67	5	1336	51	4	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDLc 1-2 II	Ninguna		0	Baja	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0	BAJO
68	5	1336	51	5	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDLc 1-2 II	Ninguna		0	Baja	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0	BAJO
69	5	1336	51	6	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDLc 1-2 II	Ninguna		0	Baja	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0	BAJO
70	5	1336	51	7	SIN NOMENCLATURA	1	1	6	REGULAR		MEDLc 1-2 II	Ninguna		0	Baja	0,1	0,3	0,03	15000000	450000	0,03	BAJO	0	BAJO

El 99% de las construcciones en el área de estudio, se encuentran localizados sobre rellenos recientes. Sin embargo, están cimentadas hasta el nivel de roca por intermedio de columnas.

Se recomienda mejorar el sistema constructivo de la red de acueducto y alcantarillado, para disminuir la vulnerabilidad de las líneas vitales ante un fenómeno de remoción o para minimizar el probable infiltración de agua de las redes actuales.

Para el presente análisis, las áreas identificadas como lotes, se tomaran como construcciones tipo B2 (prefabricadas).

8.2 EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DEL RIESGO

El riesgo es el resultado de relacionar la amenaza y la vulnerabilidad para determinar los efectos económicos asociados a uno de los eventos en las áreas ocupadas. Por lo anterior, el índice de riesgo se define como el porcentaje de pérdida esperado, el cual permitirá establecer intervalos de riesgo, considerando la misma clasificación de la amenaza.

Una vez determinado IVF para cada uno de los predios, el riesgo se calcula como la multiplicación de la probabilidad de falla por el IVF, así:

$$IR = PR * IVF$$

Donde:

IR: Índice de Riesgo

PR: Probabilidad de falla

IVF: Índice de vulnerabilidad física

Esta actividad se realizó en todas las zonas de amenaza y el resultado se muestra en el **Plano 8.2** – Zonificación de Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa.

8.2.1 Zonificación por Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa

De igual manera que la vulnerabilidad, el riesgo e caracterizó de la siguiente manera (**Tabla 8.8**)[1].

TABLA 8.8
CATEGORÍAS DEL RIESGO ANTE FRM

CONDICIÓN	CATEGORÍA
IR PROMEDIO > 0.20	ALTA
0.10 < IR PROMEDIO < 0.20	MEDIA
IR PROMEDIO < 0.10	BAJA

Los mapas temáticos relacionados anteriormente se multiplicaron entre si, dando como resultado la siguiente matriz para el riesgo (**Tabla 8.9**).

TABLA 8.9
MATRIZ DE RIESGO

VULNERABILIDAD	AMENAZA		
	ALTA	MEDIA	BAJA
ALTA	A	M	M
MEDIA	A	M	B
BAJA	M	M	M

8.2.2 Resultados de la Zonificación del Riesgo

Se definieron los siguientes niveles de riesgo para el barrio Juan José Rondón Sector II, La Unión – Localidad de Usme para la condición actual.

- **Zona de Riesgo Alto**

Dentro de esta zona se identificó el siguiente predio (**Tabla 8.10**).

TABLA 8.10
VIVIENDAS EN ZONAS DE ALTO RIESGO

MANZANA	NOMENCLATURA
49	Carrera 14 Este No. 86 B – 59 Sur.

- **Zona de Riesgo Bajo**

Las restantes 69 viviendas localizadas dentro del área de trabajo se consideran que están en riesgo bajo y no son susceptibles en el escenario actual de ser afectadas por el fenómeno de remoción en masa que afecta al sector.

En el área que se encuentra sin urbanizar localizada al costado oriental del área de trabajo, se identifica como una zona de riesgo bajo, sin embargo corresponde a una zona constituida por relleno y de afluencia de aguas subsuperficiales. Por lo tanto, se recomienda no utilizar para el desarrollo urbanístico e incorporar como zona de protección ambiental los siguientes predios (**Tabla 8.11**).

TABLA 8.11

MANZANA	LOTE
36	1,2,3,4,5 y 6
37	1,2,3,4,5 y 6

En la manzana 38, se recomienda que para la incorporación de está zona como área de expansión urbana, se deberá realizar el manejo adecuado de las aguas superficiales y subsuperficiales, seguir las normas técnicas de construcción y cimentar las construcciones hasta nivel de roca.

En la Tabla 8.6 – Evaluación y zonificación de la vulnerabilidad y el riesgo para el escenario actual, se muestran los análisis de vulnerabilidad y riesgo para cada predio localizado dentro del área de estudio.

CAPÍTULO 9.0

ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y PREVENCIÓN

9.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se identifican y registran las principales recomendaciones para la reducción del riesgo, de acuerdo con los alcances establecidos en los términos de referencia y acordados con la entidad contratante; y que son aplicables en el ámbito local de la zona de estudio.

Todas las medidas que se indican en el presente capítulo están a nivel de predimensionamiento y por tanto los presupuestos correspondientes son una estimación realizada a manera general, sin entrar al detalle.

En este sentido, las obras y actividades planteadas son de tipo correctivo y preventivo, toda vez que los problemas de inestabilidad ya se han producido o son potencialmente inestables; se trata, entonces, de limitar los efectos controlando los factores mencionados mediante obras y actividades de reubicación si es el caso.

Las medidas establecidas en el estudio se registran tanto en forma general como en forma separada para cada uno de los sectores, anotando sus características principales, localización y presupuesto aproximado.

9.2 PLAN GENERAL DE ACCIONES

Se establecen las medidas preventivas y de mitigación que buscan en primera instancia bajar el nivel de amenaza o riesgo a la que está expuesta la comunidad, ya sea controlando los procesos de inestabilidad o anulando los niveles de exposición de las viviendas; en segunda instancia mejorando las condiciones del entorno físico y ambiental que contribuyen a la disminución de los procesos de inestabilidad.

9.2.1 Medidas Preventivas

Dentro de este grupo se contemplan:

Regulación del espacio público: Comprende la restricción del suelo que se debe adelantar en áreas no urbanizadas y en lotes producto del programa de reubicación de familias en alto riesgo.

Reubicación de familias en alto riesgo: Se refiere a la reubicación de familias y la adquisición de predios localizados en zonas de alto riesgo.

Obras de protección y control: Busca consolidar el espacio urbano mediante el control de la erosión y reforestación de áreas aledañas.

9.2.2 Medidas de Mitigación

Medidas que buscan mitigar el riesgo en forma directa, con la modificación de las características de los procesos de inestabilidad o de los elementos expuestos.

Dentro de este grupo se contemplan:

Obras de control de erosión:

- Control de la escorrentía superficial
- Conducción de aguas de escorrentía superficial

Estabilización:

- Estabilización mediante estructuras de contención.

9.3 PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS

Con base en los análisis de estabilidad realizados en el Capítulo 7.0 y los resultados de la evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y el riesgo por fenómenos de remoción en masa presentados en el Capítulo 8.0, se requieren medidas de mitigación en dos zonas específicamente para controlar el fenómeno de inestabilidad activo aledaño al barrio Juan José Rondón Sector II – La Unión y localizado hacia la margen izquierda de la quebrada El Arrayanal.

A continuación se presenta las alternativas de mitigación de la amenaza y el riesgo para las áreas afectadas por el fenómeno de inestabilidad.

9.3.1 Zona I

9.3.1.1 Localización

Abarca la zona homogénea denomina MALa 5-6 II (sección 1-1), compuesta por la manzana 48, y el predio 86B-59 de la manzana 49, y sometida a un estado de amenaza alta a corto plazo.

9.3.1.2 Planteamiento de alternativas

Dentro de las posibles alternativas de mitigación del fenómeno de inestabilidad, se consideran:

TABLA 9.1
ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE LA ZONA I

ALTERNATIVA	MEDIDA
1	Eludir del problema de inestabilidad.
2	Incorporar al programa de reubicación de familias en alto riesgo.
3	Construir estructuras de contención.
4	Realizar obras de drenaje y construir una estructura de contención.

9.3.2 Zona II

9.3.2.1 Localización

Abarca la zona homogénea denomina MALa 3-4 II (sección 2-2), constituida por la manzana 37, está sometida a un estado de amenaza media a corto plazo. Los procesos modeladores parecen responder a mecanismos de fallas rotacionales de suelos superficiales.

9.3.2.2 Planteamiento de Alternativas

De acuerdo con los análisis efectuados en los capítulos anteriores, se considera perentorio la construcción de un muro de protección en la pata de la ladera, con el fin de contrarrestar los procesos de socavación lateral de la quebrada y por consiguiente la desestabilización del talud. Por tanto dentro de las posibles alternativas de mitigación se incluirá el muro de protección (**Tabla 9.2**).

TABLA 9.2
ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE LA ZONA II

ALTERNATIVA	MEDIDA
1	Construir el muro de protección de la pata y eludir el problema de inestabilidad, sin permitir el desarrollo urbanístico de la zona.
2	Estructura de protección en la pata y realizar obras de drenaje.
3	Estructura de protección e la pata y continuar con el muro de la Zona I.
4	Estructura de protección en la pata, continuar con el muro de la Zona I y realizar obras de drenaje.

9.3.3 Zona III

9.3.3.1 Localización

Abarcas la zonas homogéneas denominas, MEDLc 7-8 II (sección 3-3), MEDLr 3-4 I (sección 4-4), MEDLr 3-4 I (sección 5-5), MEDLr 7-8 I (sección 6-6), MedLr 3-4 I (sección 7-7), MedLr 9 II (sección 8-8) y Mala 7-8 II (sección 9-9), sometidas a un estado de amenaza baja a corto plazo.

9.3.3.2 Planteamiento de alternativas

Dentro de las posibles alternativas de conservación del grado de amenaza que actualmente es bajo, se consideran:

- No permitir el desarrollo urbanístico de la zona.
- Implementar programas de reforestación y empradización.
- Construir obras de captación e intercepción de aguas superficiales.

9.4 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

9.4.1 Amenaza Actual y Futura

La condición de amenaza actual, varía entre media y baja para el área de estudio, y es el reflejo de las condiciones topográficas, estratigráficas y tectónicas, con un dominio de materiales altamente susceptibles a fenómenos de inestabilidad y erosión (Qbe). Adicionalmente, la acción del hombre que repercute ampliamente en la inestabilidad del área, se refleja en el deficiente manejo urbanístico, expresado en la

ausencia de sistemas controlados y eficientes de transporte de aguas de acueducto y alcantarillado, así como de los sistemas constructivos.

La valoración de las obras tendientes a mejorar este panorama con la consiguiente reducción de la amenaza, vulnerabilidad y el riesgo, deben garantizar la reducción de la probabilidad de falla. El desarrollo conceptual de este tema toma como válidas las variables aleatorias c, ø, la aceleración sísmica y los mecanismos de falla enunciados en el capitulo 7.0. Por lo tanto la estimación de la probabilidad de falla implicó la determinación de los factores de seguridad de cada una de las secciones de análisis con la incorporación de las medidas de mitigación.

Bajo este marco, la evaluación de la amenaza futura (corto plazo) responde al trabajo de las franjas de amenaza alta y media, por tanto se concentró el trabajo a las zonas homogéneas MALa 5-6 II y MALa 3-4 II que corresponden a las secciones 1 - 1 y 2 – 2; obteniendo como resultados

En las Zonas I y II, para dos de las alternativas de solución como lo son: la elusión del problema (mantener las condiciones presentes), y la reubicación, la probabilidad de falla es equivalente a la probabilidad condicional de los taludes para las solicitaciones actuales.

9.4.2 Plan de Acción para el Análisis de Alternativas

Ahora bien, para establecer un criterio de decisión se hace un análisis prospectivo comparativo entre la condición actual y el escenario con la implementación de obras de prevención y mitigación y se compara con los riesgos asumidos en términos de costos de cada alternativa, para el caso en estudio se tienen las siguientes hipótesis:

- Condición actual
- Condición actual con la implementación de obras de mitigación.
- Condición futura sin ninguna obra de prevención y mitigación.
- Condición futura con obras de mitigación.

Para la condición actual se cuenta con los resultados obtenidos en el capitulo 7.0 y 8.0. La condición futura se establece con un tiempo de diseño o de exposición al evento de 10 años, para tal se establece la probabilidad de falla para 10 años con obras y sin obras.

Para cada zona geotécnica homogénea se aplicaron las medidas enunciadas en el numeral 9.3 y se evaluaron las nuevas condiciones de estabilidad, obteniendo los nuevos datos de factor de seguridad y las probabilidades de falla asociadas para los análisis condicionales (**Figura 9.1 a 9.4 –** Árbol de de decisiones).

De igual manera, en la **Tabla 9.3 y 9.4** se presentan los costos aproximados de las obras de estabilización.

9.5 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

El plan de acción recomendado para la reducción de los escenarios y condiciones de riesgo contempla los siguientes componentes: manejo del agua de subsuperficial, estructuras de contención y protección, la reubicación y la reconformación urbanística.

Zona I

La alternativa con mayores beneficios en el control de los fenómenos de inestabilidad, corresponde a la Alternativa 4, que consiste en la implementación de obras de subdrenaje y la construcción de una estructura de contención local. Ellas producen el notable aumento de los factores de seguridad y por ende la reducción de la probabilidad de falla; está última pasa a valores inferiores al 2%.

A pesar de que la alternativa seleccionada presenta probabilidades de falla muy similares a la alternativa 3 y que sus costos se incrementan con respecto a la misma en un millón y tres millones para un año y diez años respectivamente (Figuras 9.1 y 9.2); se escogió la alternativa 4, considerando que a largo plazo el material de fundación del muro se puede reblandecer y perder las características geomecánicas actuales, permitiendo la falla de la estructura de contención.

De otra parte, la selección de la alternativa 4 se justifica al considerar que los costos de inversión de ésta ($151’119.000) son inferiores a los que se requieren en las alternativas 1 y 2 (175’000.000); además es la que mayor beneficio social representa a la comunidad frente a las demás alternativas.

Zona II

La alternativa con mayores beneficios en el control de los fenómenos potenciales de inestabilidad en la zona II corresponde a la alternativa 2, que consiste en la implementación de obras de subdrenaje y la construcción de un muro de protección hacia la base de la ladera, como medida de prevención ante la socavación lateral que podría tener la quebrada Arrayanal.

La alternativa seleccionada es la que mejores beneficios representa, ya que reduce las probabilidades de falla a 2.5% y es la que menores costos de inversión y de riesgo asumido presenta ante las demás

En esta zona, el reordenamientos urbanístico como zona de protección ambiental, minimiza los escenarios futuros de riesgo y mejora la calidad de vida de los pobladores aledaños a este sector.

En el **Anexo 9A** se muestra la probabilidad de falla de las alternativas de mitigación.

En el **Anexo 9B** se muestran las obras de mitigación recomendadas para las zonas I y II.

FIGURA 9.1

ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS - ZONA I (1 AÑO)

(ADAPTADO DE WU et al, 1996)

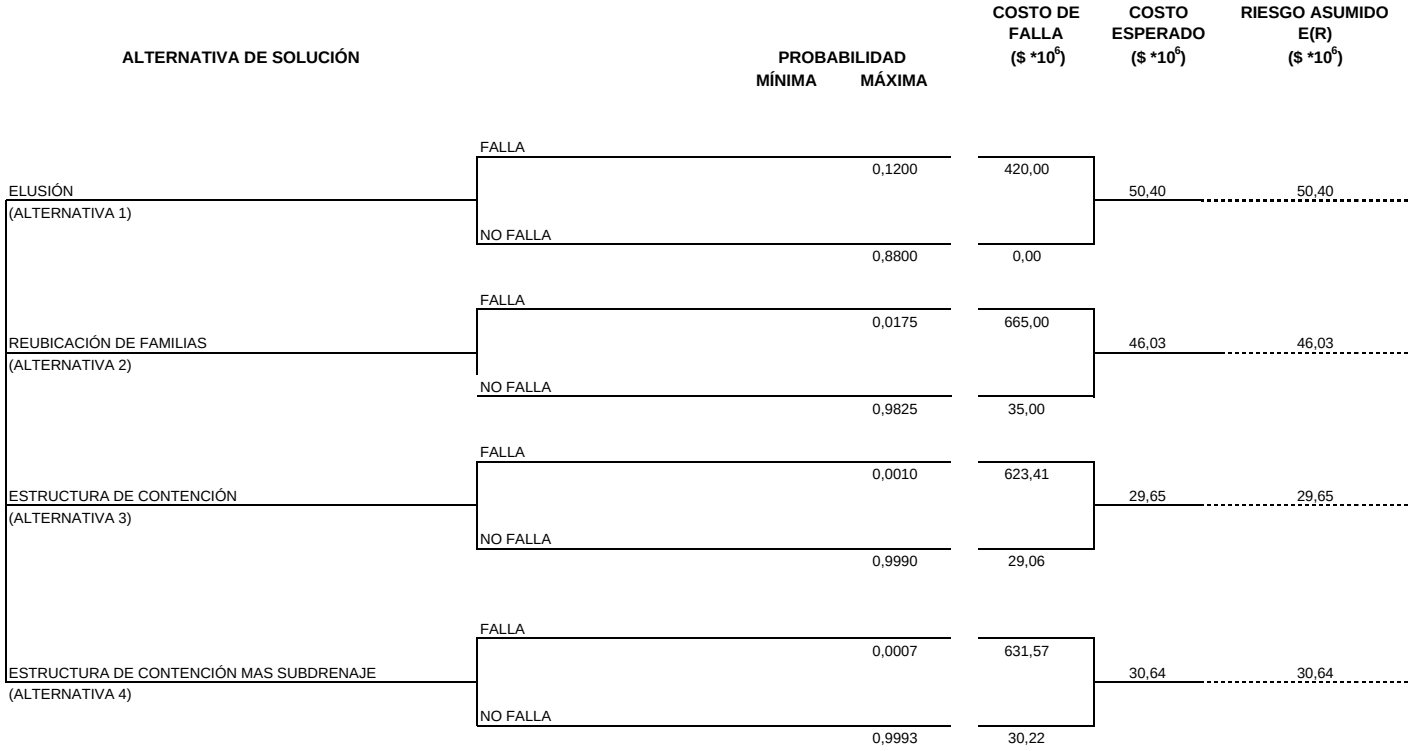


FIGURA 9.2

ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS - ZONA I (10 AÑOS)

(ADAPTADO DE WU et al, 1996)

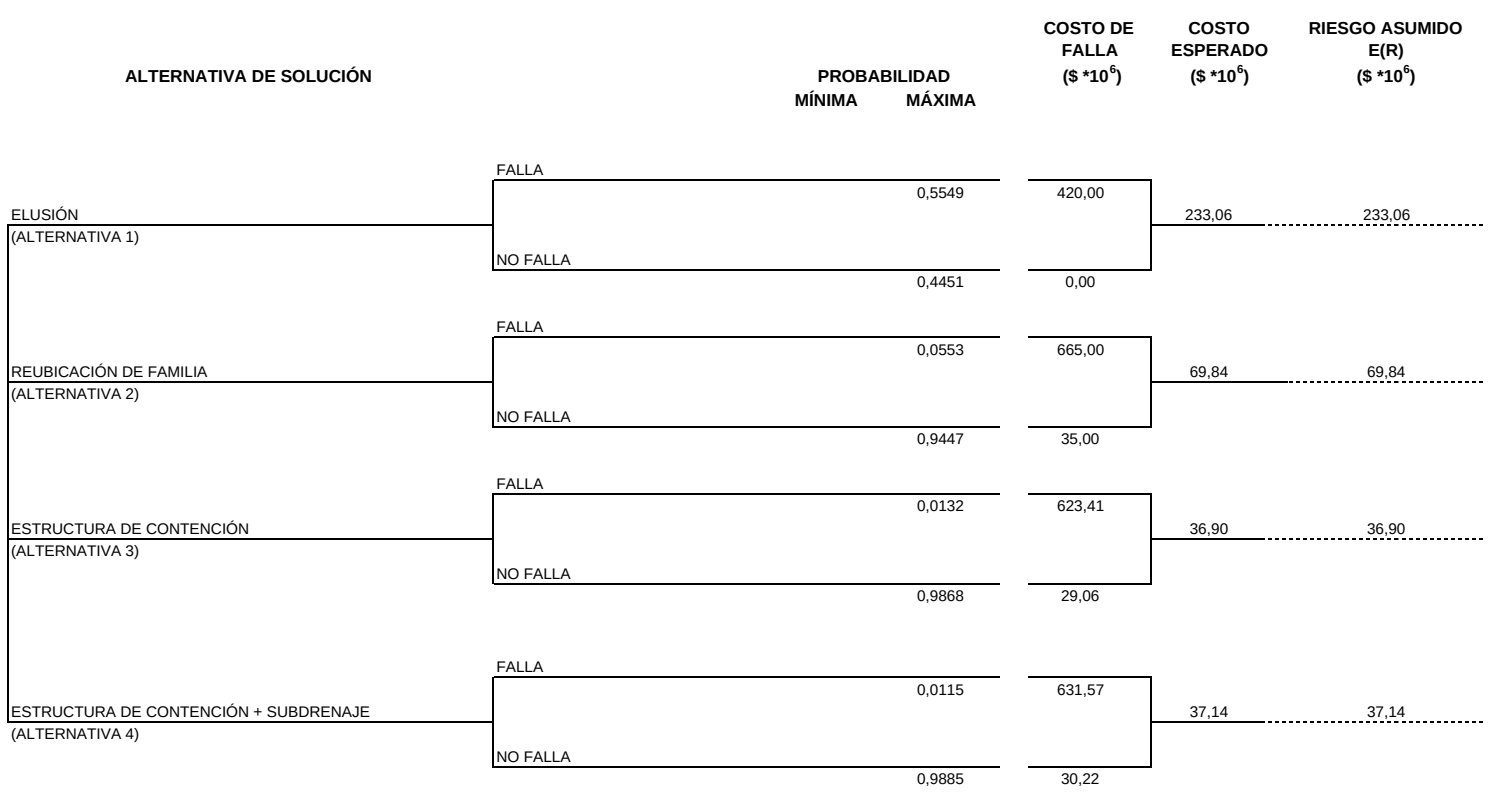


FIGURA 9.3

ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS - ZONA II (1 AÑO)

(ADAPTADO DE WU et al, 1996)

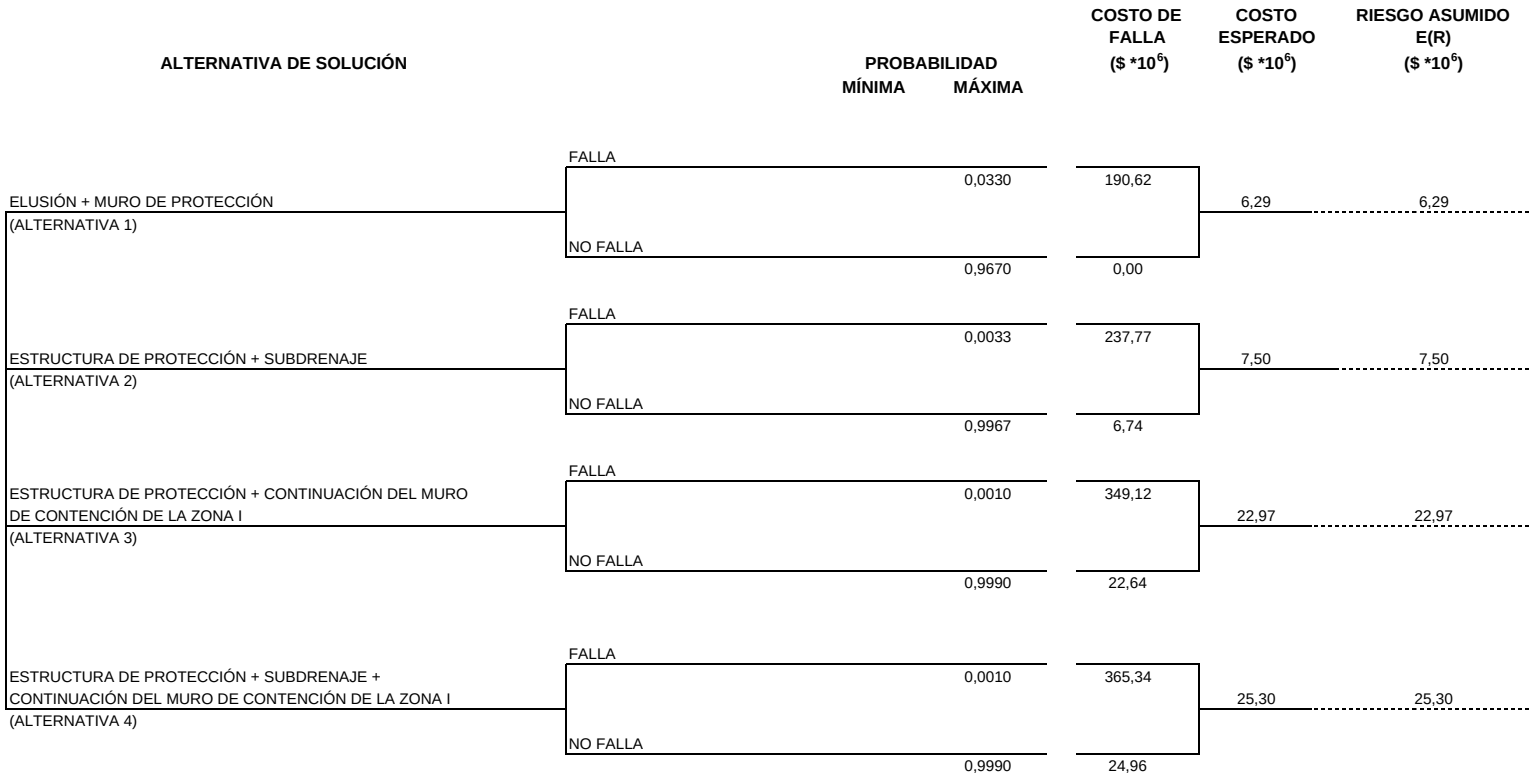


FIGURA 9.4

ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS - ZONA II (10 AÑOS)

(ADAPTADO DE WU et al, 1996)

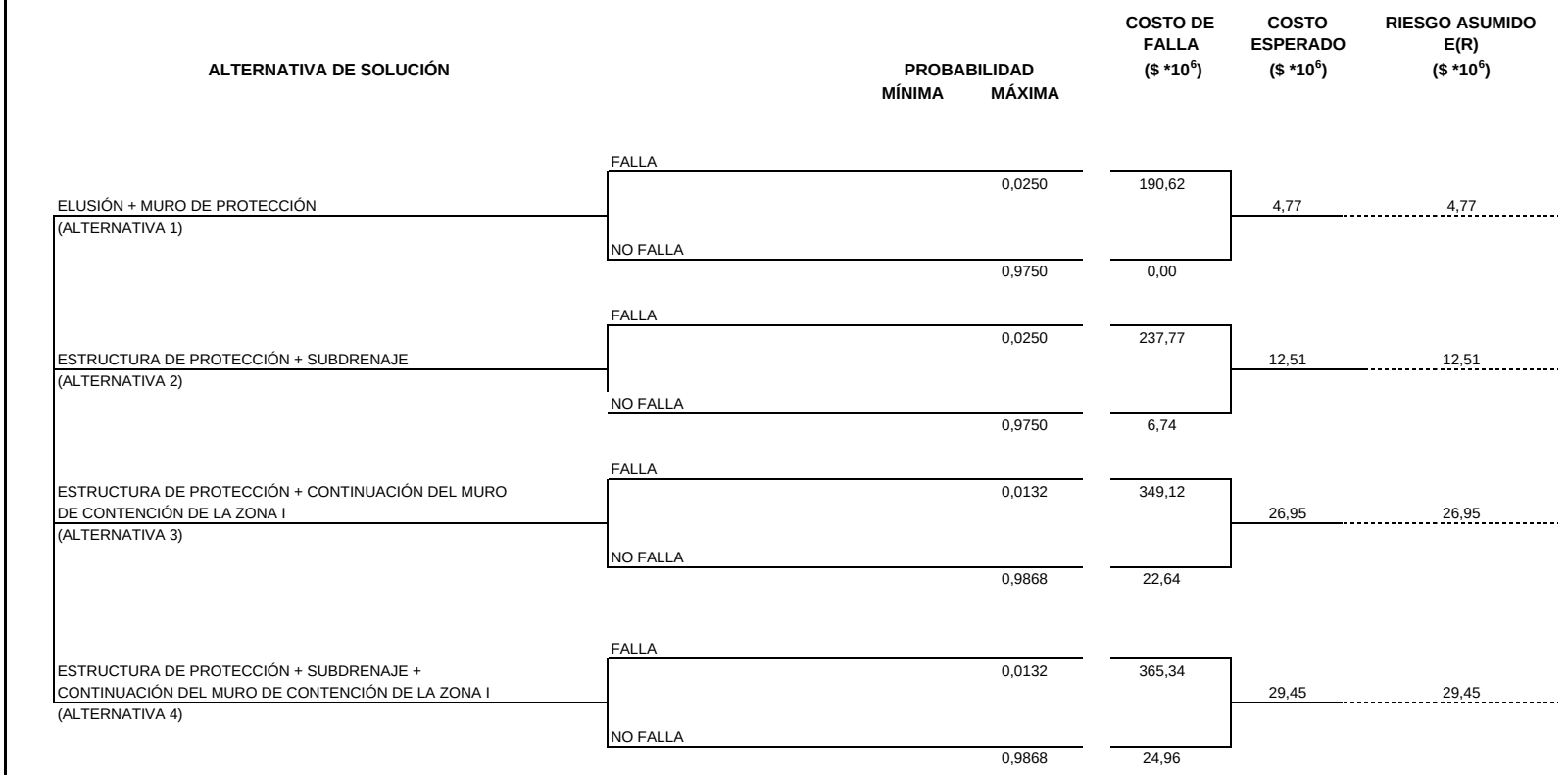


TABLA 9.3
DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN
ZONA I

ZONA	ALTERNATIVA	PROGRAMA	LOCALIZACIÓN	PRESUPUESTO	OBSERVACIONES
I	1	Eludir el problema.		$175.000.000	Este tipo de acción aun cuando es válida como ejercicio técnico para establecer los niveles de riesgo que pueden llegar a asumir la comunidad del barrio Juan José Rondón, pierde total validez por cuanto la degradación del medio físico, es de carácter exponencial y en un futuro no muy lejano puede llegar a magnificarse la problemática de riesgos en el sector. Se incluyen los costos de la vivienda y lotes afectados
	2	Reubicación de familias en alto riesgo.	Se refiere a la reubicación de familias y la adquisición de predios localizados en zonas de alto riesgo. La familia incluida dentro del programa de reubicación correspondería a la propietaria de la vivienda con nomenclatura carrera 14 B Este No. 86 B – 59 Sur.	$175´000.000	Se incluyen los costos de la vivienda y lotes afectados (lotes 6 a 14 de la manzana 48). El costo aproximado de la reubicación incluye costo del predio, costo de trámites de reubicación por predio
	3	Estructura de contención	Se localizará en la manzana 48 y frente al predio identificado con la nomenclatura 86B – 59 Sur de la manzana 49, sobre el eje de la carrera 14 B Este con 86 B, en la parte alta del fenómeno de inestabilidad que se presenta en este sector. Tendrá una longitud aproximada de 40 m, por 4.5 m de altura.	$145´295.500	Consiste en un muro de gravedad. Los costos incluyen el muro y los lotes que se dejarían de construir (lotes 11 a 14 de la manzana 48)
	4	Estructura de contención y realizar obras de subdrenaje.	Se localizará en la manzana 48 y frente al predio identificado con la nomenclatura 86B – 59 Sur de la manzana 49, sobre el eje de la carrera 14 B Este con 86 B, en la parte alta del fenómeno de inestabilidad que se presenta en este sector. Tendrá una longitud aproximada de 40 m, por 4.5 m de altura. Se dejará subdrenajes (lecho filtrante paralelo al muro a lado y lado del mismo y una tubería de desagüe).	$151´119.000	Los costos incluyen el muro, obras de subdrenaje y los lotes que se dejarían de construir (lotes 11 a 14 de la manzana 48)

TABLA 9.4
DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN
ZONA II

ZONA	ALTERNATIVA	PROGRAMA	LOCALIZACIÓN	PRESUPUESTO	OBSERVACIONES
II	1	Estructura de protección y eludir el problema.		$112'097.800	Este tipo de acción aun cuando es válida como ejercicio técnico para establecer los niveles de riesgo que pueden llegar a asumir la comunidad del barrio Juan José Rondón, pierde total validez por cuanto la degradación del medio físico, es de carácter exponencial y en un futuro no muy lejano puede llegar a magnificarse la problemática de riesgos en el sector. Se incluye el costo de los lotes afectados y el de la estructura de protección.
	2	Estructura de protección y realizar obras de subdrenaje.	Se localizará hacia la parte baja de la zona homogénea MALa 3-4 II.	$33´680.405	El costo incluye la estructura de protección y el subdrenaje.
	3	Estructura de protección y continuar con la estructura de contención de la zona I	Se localizará hacia la parte media de la zona homogénea MALa 3-4 II.	$113´216.800	El costo incluye las estructuras de protección y contención.
	4	Estructura de protección, continuar con la estructura de contención de la zona I y realizar obras de subdrenaje.	Se localizará hacia la parte media de la zona homogénea MALa 3-4 II.	$124´799.405	El costo incluye las estructuras de protección y contención, y el subdrenaje.

CAPÍTULO 10.0

DISEÑOS DETALLADOS

10.1 INTRODUCCIÓN

A partir de las consideraciones hechas en los capítulos anteriores y con base en los resultados de los análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, se llevó a cabo la selección de obras para el control geotécnico y el manejo paisajístico y ambiental del talud localizado sobre la margen izquierda de la quebrada El Arrayanal. Tales medidas están destinadas a la conservación de los escenarios de amenaza y por ende de la probabilidad de falla. Están compuestas por tres grandes elementos: el manejo del agua de subsuperficiales, la contención de masas inestables y la protección de las superficies expuestas y potencialmente generadoras de riesgo por fenómenos de remoción en masa.

10.2 DISEÑO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

Dentro de las alternativas de mitigación seleccionadas para la zona I y II (ver Capítulo 9.0), se seleccionó para la zona I la construcción de un muro en concreto ciclópeo y la implementación de obras de subdrenaje. Para la zona II, la alternativa seleccionada consiste en la construcción de un muro en gaviones y la implementación de obras para drenaje subsuperficial.

A continuación se hace una descripción de las actividades a realizar dentro de las labores de construcción:

10.3 DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

10.3.1 Replanteo

Corresponde a la localización, nivelación y control de las obras a ejecutar. El replanteo se hará tomando como base los mojones de referencia dejados durante el levantamiento topográfico efectuado por Geoingeniería Ltda (ver **Plano 3.1**).

10.3.2 Excavación y Perfilado de Taludes

Se hace necesario realizar la labor de excavación y perfilado de los taludes por tramos de 2.0 a 4.0 m, con el fin de garantizar las labores de excavación de la zona donde se realizará la obra. Así mismo, se realizará la excavación sobre el material de fundación (arcillolita), a una profundidad de 0.50 m en promedio.

10.3.3 Entibado

Es necesario entibar cada uno de los tramos donde se realizó la excavación durante todo el proceso de construcción del muro en concreto ciclópeo. Debido a que la altura del talud expuesto durante la excavación es de aproximadamente 4.0 m.

10.3.4 Construcción Muro en Concreto

La labor de construcción del muro en concreto ciclópeo se realizará siguiendo el nivel topográfico dado por el suelo de fundación y en tramos de 4 metros; dejando franjas intercaladas sin ejecutar, las cuales se realizarán una vez se halla fraguado el concreto y conformado el relleno de los tramos aledaños a éstas.

10.3.5 Obras de Subdrenaje

Están constituidas por lloraderos, llenos filtrantes y drenes tipo francés dependiendo de la zona en que se vayan a realizar. El detalle de cada una de las obras antes enunciadas se muestra en el **Plano 10.1**.

10.3.6 Demolición Muro en Concreto

Durante el proceso constructivo se hace necesario demoler un muro en concreto localizado en el costado occidental del área del proyecto. Este muro se encuentra fallado y presentaba cabeceo.

10.3.7 Reconformación de la Ladera

Durante las etapas finales del proceso de construcción es necesario ir adelantando las labores de reconformación de la ladera con el material dispuesto provisionalmente en áreas aledañas al proyecto y limpieza de la zona.

10.3.8 Retiro del Material

Una vez finalizada la obra es necesario retirar el material sobrante del proceso de construcción.

10.4 MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE MANEJO GENERAL

Las principales medidas preventivas consisten: en la implementación de campañas para la reparación de las redes de agua (acueducto y alcantarillado). Estas tareas involucran la participación de la comunidad y de la EAAB.

10.5 CANTIDADES DE OBRA, PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA

En las **Tablas 10.1 a 104**, se muestran las cantidades de obra para las soluciones propuestas y el presupuesto aproximado de las mismas.

En las **Figuras 10.1 y 10.2** se plasma el cronograma para la ejecución de las obras seleccionadas para la zona I y II, en los **Anexo 10 A y 10 B** se relacionan las especificaciones técnicas de construcción y se muestran las memorias de las cantidades de obra, respectivamente.

En el **Plano 10.1 del Anexo 10 C** se presentan los detalles de construcción de las obras seleccionadas para las Zonas I y II.

TABLA 10.1
PRESUPUESTO ESTIMADO DE EJECUCIÓN DE MEDIDAS CORRECTIVAS

MEDIDAS CORRECTIVAS A REALIZAR MURO EN CONCRETO CICLÓPEO (MURO 1)

BARRIO JUAN JOSÉ RONDÓN SECTOR II - LA UNIÓN

ÍTEM		UNIDAD	CANTIDAD
1	**EXCAVACIÓN GENERAL SIN RETIRO**		
1,1	MURO EN CONCRETO CICLÓPEO	**m³**	56,0
1,2	CONFORMACIÓN DE TALUDES (e = 0.20)	**m³**	608,0
2	**RETIRO DE MATERIAL (Expansión del 25%)**	**m³**	244,0
3	**CONCRETO 25000 PSI**		
3,1	CONFORMACIÓN MURO	**m³**	195,2
4	**MORTERO 1:3 (e = 0.10)**		
4,1	BASE MURO (PROTECCIÓN)	**m³**	1,6
5	**SUBDRENAJE**		
5,1	TUBERÍA PVC PERFORADA PARA FILTRO Φ4"	**ml**	62,0
5,2	GEOTEXTIL NT	**m^2**	256,0
5,3	LLORADEROS	**UN**	271,0
6	**RELLENO**		
6,1	MATERIAL DE RELLENO	**m³**	468,8
6,2	LECHO FILTRANTE	**m³**	32,0
7	**DEMOLICIÓN DE MURO**	**GLOBAL**	1,0

TABLA 10.2
PRESUPUESTO ESTIMADO DE EJECUCIÓN DE MEDIDAS CORRECTIVAS

MEDIDAS CORRECTIVAS A REALIZAR MURO EN CONCRETO CICLÓPEO (MURO 1)

BARRIO JUAN JOSÉ RONDÓN SECTOR II - LA UNIÓN

ÍTEM	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1 EXCAVACIÓN GENERAL SIN RETIRO				
1,1 MURO EN CONCRETO CICLÓPEO	**m³**	56,0	$13.000	$728.000
1,2 CONFORMACIÓN DE TALUDES (e = 0.20)	**m³**	608,0	$13.000	$7.904.000
2 RETIRO DE MATERIAL (Expansión del 25%)	**m³**	244,0	$13.000	$3.172.000
3 CONCRETO 25000 PSI				
3,1 CONFORMACIÓN MURO	**m³**	195,2	$270.000	$52.704.000
4 MORTERO 1:3 (e = 0.10)				
4,1 BASE MURO (PROTECCIÓN)	**m³**	1,6	$9.300	$14.880
5 SUBDRENAJE				
5,1 TUBERÍA PVC PERFORADA PARA FILTRO Φ4"	**ml**	62,0	$15.980	$990.760
5,2 GEOTEXTIL NT	**m^2**	256,0	$4.000	$1.024.000
5,3 LLORADEROS	**UN**	271,0	$4.500	$1.219.500
6 RELLENO				
6,1 MATERIAL DE RELLENO	**m³**	468,8	$10.000	$4.688.000
6,2 LECHO FILTRANTE	**m³**	32,0	$43.000	$1.376.000
7 DEMOLICIÓN DE MURO	**GLOBAL**	1,0	$380.000	$380.000
SUBTOTAL				**$74.201.140**
AIU (22%)				**$16.324.251**
IVA (16% del 5% del SUBTOTAL)				**$593.609**
TOTAL				**$91.119.000**

TABLA 10.3
PRESUPUESTO ESTIMADO DE EJECUCIÓN DE MEDIDAS CORRECTIVAS

MEDIDAS CORRECTIVAS A REALIZAR MURO EN GAVIONES (MURO 2)

BARRIO JUAN JOSÉ RONDÓN SECTOR II - LA UNIÓN

ÍTEM	UNIDAD	CANTIDAD
1 EXCAVACIÓN GENERAL SIN RETIRO	**m^3**	84
2 RETIRO DE MATERIAL (Expansión del 25%)	**m^3**	105,0
3 MURO EN GAVIONES		
3,1 GAVIONES	**m^3**	88,0
4 SUBDRENAJE		
4,1 DREN TIPO FRANCÉS	**GLOBAL**	1,0
4,2 GEOTEXTIL NT	**m^2**	127,2
5 MORTERO 1:3 (e = 0.10)		
5,1 BASE DE GAVIONES	**m^2**	36,0

TABLA 10.4
PRESUPUESTO ESTIMADO DE EJECUCIÓN DE MEDIDAS CORRECTIVAS

MEDIDAS CORRECTIVAS A REALIZAR MURO EN GAVIONES (MURO 2)

BARRIO JUAN JOSÉ RONDÓN SECTOR II - LA UNIÓN

ÍTEM	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1 EXCAVACIÓN GENERAL SIN RETIRO	**m^3**	84	$130.000	$10.920.000
2 RETIRO DE MATERIAL (Expansión del 25%)	**m^3**	105,0	$13.000	$1.365.000
3 MURO EN GAVIONES				
3,1 GAVIONES	**m^3**	88,0	$100.000	$8.800.000
4 SUBDRENAJE				
4,1 DREN TIPO FRANCÉS	**GLOBAL**	1,0		$5.329.240
4,2 GEOTEXTIL NT	**m^2**	127,2	$4.000	$508.800
5 MORTERO 1:3 (e = 0.10)				
5,1 BASE DE GAVIONES	**m^2**	36,0	$14.000	$504.000
SUBTOTAL				**$27.427.040**
AIU (22%)				**$6.033.949**
IVA (16% del 5% del SUBTOTAL)				**$219.416**
TOTAL				**$33.680.405**

FIGURA 10.1
CRONOGRAMA

MEDIDAS CORRECTIVAS A REALIZAR MURO EN CONCRETO CICLÓPEO (MURO 1)

BARRIO JUAN JOSÉ RONDÓN SECTOR II - LA UNIÓN

	ACTIVIDAD	SEMANAS								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO									
2	EXCAVACIÓN Y PERFILADO TALUDES									
3	ENTIBADO									
4	CONSTRUCCIÓN MURO EN CONCRETO									
5	INSTALACIÓN DE GEOTEXTIL, TUBERÍA Y LECHOS FILTRANTES									
6	COLOCACIÓN DE LLENOS									
7	DEMOLICIÓN MURO EN CONCRETO ANTIGUO									
8	RECONFORMACIÓN DE LA LADERA Y LIMPIEZA FINAL									
9	RETIRO DEL MATERIAL									

FIGURA 10.2
CRONOGRAMA

MEDIDAS CORRECTIVAS A REALIZAR MURO EN GAVIONES (MURO 2)

BARRIO JUAN JOSÉ RONDÓN SECTOR II - LA UNIÓN

	ACTIVIDAD	DÍAS						
		1	2	3	4	5	6	7
1	LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO							
2	EXCAVACIÓN Y PERFILADO DE TALUDES							
3	CONSTRUCCIÓN DE MURO EN GAVIONES							
4	INSTALACIÓN DE GEOTEXTIL							
5	COLOCACIÓN DE LLENOS							
6	LIMPIEZA FINAL							
7	RETIRO DE MATERIAL							

ANEXO 4A

REGISTRO FOTOGRÁFICO

REGISTRO FOTOGRÁFICO



FOTOGRAFÍA 4-A.1

PLANOS ESTRUCTURALES Y FRENTES ESTRUCTURALES EN SU MAYORÍA ASOCIADOS CON LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN LA REGADERA.



FOTOGRAFÍA 4-A.2

PLANOS ESTRUCTURALES VERTICALES ASOCIADOS CON LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN LA REGADERA. DESARROLLANDO UNA MORFOLOGÍA ESTRUCTURAL (ESPINAZOS ALARGADOS) .



FOTOGRAFÍA 4-A.3

FLANCO ORIENTAL INVERTIDO DEL SINCLINAL DE USME, CONSTITUIDO POR ARENISCAS DE LA REGADERA. ESTRUCTURALMENTE PRESENTAN UNA DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO EN SENTIDO NE Y UN ÁNGULO DE APROXIMADAMENTE 60°.



FOTOGRAFÍA 4-A.4

MODELADO ESTRUCTURAL CONFORMADO POR ROCAS DE LA FORMACIÓN REGADERA (INTERCALACIÓN DE ARENISCAS Y ARCILLOLITAS).



FOTOGRAFÍA 4-A.5

OBSÉRVESE LOS PLANOS DE DIACLASA VERTICALES, PRODUCTO DE LA ACCIÓN COMPRESIVA DE LA FALLA DE BOGOTÁ, QUE HA INVERTIDO LOS ESTRATOS EN EL FLANCO ORIENTAL DEL SINCLINAL DE USME.



FOTOGRAFÍA 4-A.6

DEPÓSITO DE LADERA (Qdl), CONSTITUIDO POR BLOQUES HETEROMÉTRICOS DE ARENISCA, EMBEBIDOS EN UNA MATRIZ ARENO-LIMOSA DE COLOR AMARILLO. AFLORAMIENTO LOCALIZADO EN LA ANTIGUA VÍA A VILLAVICENCIO FRENTE A LA ENTRADA DEL BARRIO JUAN JOSÉ RONDÓN.



FOTOGRAFÍA 4-A.7

DEPÓSITO ANTRÓPICO (Qbe2), CONSTITUIDO POR LIMO-ARCILLOSO DE COLOR NEGRO O MARRÓN, CON BASURAS Y RAÍCES. LOCALIZADO EN EL COSTADO OCCIDENTAL DEL ÁREA DE ESTUDIO EN LAS COORDENADAS 89360 N Y 98640 E.



FOTOGRAFÍA 4-A.8

DEPÓSITO ANTRÓPICO (Qbe1), CONSTITUIDO POR ARCILLAS DE COLOR ROJIZO, SUELTAS, DISPUESTAS SIN NINGÚN CONTROL Y QUE HAN COMENZADO A LAVARSE POR LAS INTENSAS LLUVIAS. AFLORAMIENTO LOCALIZADO EN LAS COORDENADAS 89340 N Y 98640 E.



FOTOGRAFÍA 4-A.9

CUERPO DEL DESLIZAMIENTO ACTIVO No. 1, LOCALIZADO EN LA MARGEN IZQUIERDA DE LA QUEBRADA ARRAYANAL, EN LAS COORDENADAS 89380 N Y 98730 E.



FOTOGRAFÍA 4-A.10

DETALLE DEL DESLIZAMIENTO No. 1, PARTE MEDIA Y BAJA DE LA LADERA. OBSÉRVESE EL HUNDIMIENTO DEL TERRENO (LADERA CÓNCAVA) Y LA TEXTURA RUGOSA DEL TERRENO, INDICIOS DE LA ACTIVIDAD DEL FENÓMENO DE INESTABILIDAD.



FOTOGRAFÍA 4-A.11

DESLIZAMIENTO ACTIVO INCIPIENTE LOCALIZADO EN LA MARGEN DERECHA DE LA QUEBRADA ARRAYANAL EN LAS SIGUIENTES COORDENADAS 89470 E Y 98825 E. NÓTESE EL ESCALONAMIENTO DEL TERRENO Y LA TEXTURA RUGOSA DEL MISMO, CONSTITUYE UNA ZONA HUMEDAD.



FOTOGRAFÍA 4-A.12

GENERACIÓN DE FLUJO DE TIERRA, COMO CONSECUENCIA DE LA DISPOSICIÓN NO TÉCNICA DE MATERIAL ARCILLOSO SOBRE LA LADERA (COSTADO OCCIDENTAL – PARTE BAJA).



FOTOGRAFÍA 4-A.13

GENERACIÓN EN LA MARGEN DERECHA DE LA QUEBRADA ARRAYANAL, DE UN FENÓMENO DE REPTACIÓN SOBRE SUELOS ARCILLOSOS DE LA FORMACIÓN BOGOTÁ (Tpb).



FOTOGRAFÍA 4-A.14



FOTOGRAFÍA 4-A.15

MURO EN CONCRETO CONSTRUIDO EN LA PARTE ALTA DE LA MARGEN IZQUIERDA DE LA QUEBRADA ARRAYANAL. OBSÉRVESE LA FALLA DEL MURO, INDICIO DE LA SUPERFICIE DE FALLA HACIA EL FLANCO IZQUIERDO

ANEXO 10A

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

GEOINGENIERIA LTDA

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS – FOPAE

ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE LITIGACIÓN EN EL BARRIO JUAN JOSÉ RONDÓN SECTOR II – LA UNIÓN LOCALIDAD DE USME

ANEXO 10.A

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN

---

1. EXCAVACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS

1.1 DESCRIPCIÓN

De acuerdo con esta Sección, el Contratista deberá realizar las excavaciones necesarias para la construcción de las obras, de acuerdo con los alineamientos, dimensiones y pendientes requeridos en los planos y aprobados por la Interventoría.

1.2 CLASIFICACIÓN

Las excavaciones para la construcción de las obras, no se clasificarán, cualquiera que sea el tipo de materiales encontrados, incluyendo suelos orgánicos, blandos o duros, roca, etc.

1.3 CONSTRUCCIÓN

1.3.1 Generalidades

El Contratista deberá realizar sus operaciones de manera continua y ordenada de acuerdo con el plan de trabajo aprobado.

No podrá iniciarse excavación alguna, mientras no se hayan completado los trabajos básicos de medida y se hayan colocado las correspondientes estacas de control, de acuerdo con la Interventoría.

Las excavaciones a realizar para la construcción del muro en concreto, se deberán llevar a cabo en tramos de 4 metros de longitud dejando alternamente tramos sin excavar, los cuales se realizarán después de haber fundido la estructura en concreto y haber rellanado los tramos aledaños.

1.3.2 Equipos

El Contratista podrá utilizar cualquier tipo de equipo apropiado para la realización de las excavaciones incluyendo retroexcavadora, cargador y herramientas menores, aprobados por la Interventoría.

El equipo deberá mantenerse en óptimas condiciones de funcionamiento y su capacidad y rendimiento deberán producir el adelanto de la construcción de acuerdo con los programas de trabajo aprobados.

1.3.3 Drenajes

El Contratista deberá tomar a su propia costa, todas las medidas indispensables para mantener drenadas las excavaciones y demás áreas de trabajo. Se instalarán drenes o zanjas temporales, para interceptar el agua que pudiera afectar la ejecución del trabajo y se utilizaran los equipos necesarios para realizar un control efectivo de la misma.

Las excavaciones deberán realizarse con el mayor cuidado en la vecindad de estructuras u obras existentes y deberán utilizarse medios manuales si fuere necesario, para asegurar la estabilidad y conservación de las mismas de acuerdo con éstas normas.

1.3.4 Ejecución de los cortes.

El corte de los materiales se deberá ejecutar de conformidad con los detalles presentados en los planos del proyecto o con las indicaciones explícitamente ordenadas por la Interventoría.

1.3.5 Sobre- excavación.

Se considerará como sobre-excavación, el retiro o ablandamiento de materiales, por fuera de los alineamientos o cotas indicados en los planos o aprobados especialmente por la Interventoría. Las sobre-excavaciones no se pagarán y el Contratista estará obligado ejecutar a su propia costa los rellenos necesarios por esta causa, de acuerdo con las normas y la aprobación de la Interventoría.

1.4 TOLERANCIAS

La distancia entre el borde de la excavación y el eje del proyecto, no será menor que la distancia determinada por la Interventoría.

1.5 MEDIDAS Y PAGOS

Todo trabajo de excavación se pagará al precio unitario del contrato y no se medirán las excavaciones que el Contratista haya efectuado por negligencia o por conveniencia para la operación de sus equipos, fuera de las líneas de pago del proyecto o de las autorizadas. Si dicha sobreexcavación se presenta el Contratista deberá rellenar, los respectivos espacios a su costa, y usando materiales y procedimientos aceptados.

Así mismo, incluirá el costo de equipos y herramientas, mano de obra, desperdicios e imprevistos y demás gastos necesarios para completar esta parte del trabajo en un todo, de acuerdo con los planos y especificaciones y la aprobación de la Interventoría.

1.6 ÍTEM DE PAGO

Estará dado como:

Excavaciones para construcción de obras	m^3

m^3 = metro cúbico. Con aproximación a la unidad. Ejemplo 15 m^3.

2 DEMOLICIONES

2.1 DESCRIPCIÓN

De acuerdo con esta sección, el Contratista deberá ejecutar la demolición estructuras de concreto y otros elementos existentes en las zonas del proyecto y su retiro a áreas de desecho aprobadas por la Interventoría.

2.2 CLASIFICACIÓN

Por tratarse de ser una sola demolición, esta no se clasificará, sin embargo, corresponde a la demolición de estructuras de concreto.

2.3 PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN

2.3.1 Generalidades

El Contratista no podrá iniciar la demolición de elemento alguno, sin la previa autorización de la Interventoría, sobre el alcance y los procedimientos propuestos para adelantar el trabajo. Las operaciones se deberán adelantar estableciendo de antemano los sistemas necesarios para la protección de estructuras, redes de servicios y otras con las normas. Así mismo, se deberán tomar las medidas indispensables para evitar al máximo las molestias a los habitantes vecinos al área de construcción

2.3.2 Equipos

El Contratista podrá usar cualquier tipo de equipo y herramientas apropiados para ejecutar las demoliciones, incluyendo martillos y otras herramientas neumáticas, cargador, equipo de transporte, etc.

2.4 DISPOSICIÓN DE SOBRANTES

El Contratista deberá disponer los materiales sobrantes, producto de las demoliciones necesarias de acuerdo con las instrucciones de la Interventoría.

2.5 MEDIDAS Y PAGOS

En el pago de la demolición se debe incluir el costo de equipos y herramienta, mano de obra, desperdicios e imprevistos y demás gastos necesarios para completar esta parte del trabajo de acuerdo con los planos y estas especificaciones y la aprobación de la Interventoría.

2.6 ÍTEM DE PAGO

Estará dado como:

Demolición	GL

GL = Global. Con aproximación a la unidad. Ejemplo 1 GL.

3 COLOCACIÓN Y COMPACTACIÓN DE RELLENOS

3.1 DESCRIPCIÓN

Esta especificación se refiere al relleno que se debe efectuar después de construir el muro en concreto, con el fin de llenar los espacios libres entre las paredes de la excavación y la estructura de gravedad.

3.2 CLASIFICACIÓN

No se clasificarán considerando que se tendrá uno solo tipo de relleno.

3.3 MATERIALES

El material para los rellenos deberá ser el proveniente de las excavaciones realizadas para la conformación de los muros.

3.4 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN

El material que se utilizará para los rellenos (proveniente de las excavaciones) debe acopiarse en el área que indique la interventoría y protegerse con plásticos para evitar que se sature con la lluvia.

El relleno deberá colocarse y compactarse en capas uniformes que cubran todo el ancho de la excavación realizada para la construcción del muro en concreto, por cada cara del mismo.

Si el material proveniente de la excavación ha perdido humedad se deberá regar agua sobre este hasta que se obtenga una humedad uniforme igual a la óptima, con anterioridad a la extensión y compactación.

La compactación mínima de los rellenos apisonados deberá ser de 85% aproximadamente, con relación a la densidad máxima. Las especificaciones de compactación corresponden al sistema Proctor Modificado, según Norma T-180 de la AASHO, Métodos A o C según sea el caso.

3.5 MEDIDAS Y PAGOS

La unidad de medida para pago será el metro cúbico compacto. La medida se hará sobre la obra debidamente terminada de acuerdo con las normas y especificaciones, con base en las secciones transversales del proyecto, o las tomadas por el Interventor antes y después de fundir el muro en concreto.

El pago se hará al precio unitario del contrato que cubrirá todos los gastos de equipos, materiales, herramientas, suministro de agua y mano de obra necesarios para extender. compactar, nivelar y conformar los terraplenes y todos los demás trabajos complementarios para terminar completamente los rellenos apisonados.

3.6 ÍTEM DE PAGO

Estará dado como:

Rellenos	m^3

m^3 = Metro cúbico. Con aproximación a la unidad. Ejemplo 10 m^3.

4 ESTRUCTURAS DE CONCRETO

4.1 DESCRIPCIÓN

De acuerdo con esta Sección, el Contratista deberá suministrar el concreto y construir las estructuras de concreto simple que forman parte de las obras, dimensiones y detalles requeridos en los planos y aprobados por la Interventoría. Básicamente, se requieren concretos para la construcción del muro localizado en el sector del deslizamiento denominado 1 en los análisis de estabilidad.

4.2 MATERIALES

4.2.1 Cemento Portland

Todo el cemento que se emplee deberá ser Portland normal Tipo I de una marca acreditada que cumpla con la especificación M 85-70 de la AASHO.

El cemento podrá ser suministrado a granel o empacado en bolsas. Deberá ser almacenado de tal forma que se garantice una perfecta protección contra cualquier clase de humedad en todo tiempo. Además el almacenamiento deberá facilitar la inspección e identificación de lotes a fin de gastarlos en el mismo orden en que se reciban.

El cemento que se haya compactado o haya sufrido deterioro, por cualquier causa, no podrá utilizarse. Se deberá usar en la obra la misma marca de cemento empleado en el diseño de la mezcla aprobada. Cualquier cambio deberá ser autorizado previamente por la Interventoría.

4.2.2 Agregados

El agregado deberá ser arena limpia, silícea y lavada, de granos duros y libres de polvo, esquistos, pizarras, álcalis, ácidos, materias orgánicas y sustancias nocivas, que cumpla con los requisitos de la norma AASHO M-6-65. La gradación del agregado fino deberá estar comprendida dentro de los límites de la Tabla mostrada adelante. El módulo de finura, deberá estar comprendido entre 2.5 y 3.0.

El agregado grueso deberá ser material pétreo triturado y clasificado de elementos duros y limpios de polvo, materia orgánica y otras sustancias de carácter nocivo, que cumpla con los requisitos de la especificación AASHO M-80-70. No debe contener piedra o mica desintegrada o cal libre. Tampoco se aceptarán piedras planas o alargadas. El agregado grueso no deberá tener una pérdida mayor al 40% en el ensayo de abrasión de Los Angeles (AASHO T 96-70).La gradación del agregado grueso deberá estar dentro de los límites indicados en la Tabla. El tamaño máximo de los agregados gruesos no deberá ser mayor de una quinta parte de la dimensión mínima entre paramentos de la estructura construida y/o tres cuartos de la distancia entre varillas de refuerzo.

Tabla de gradación de agregados:

TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO (mm)

TAMIZ						
Mm	in	19	25	38	50	65
76.2	3”					100
63.5	2 ½”				100	90-100
50.8	2”			100	95-100	-
38.1	1 ½”		100	95-100	-	35-60
25.4	1”	100	95-100	-	35-60	-
19.0	¾”	90-100	-	35-60	-	10-40
12.7	½”	-	25-60	-	10-30	-
9.5	3/8”	20-55	-	10-30	-	0-15
No. 4		0-10	0-10	0-5	0-5	0-5

TAMIZ	**AGREGADO FINO % QUE PASA**
9.5 mm (3/8”)	100
No. 4	95-100
No. 8	70-90
No. 16	45-80
No. 30	25-55
No. 50	10-30
No. 100	2-10
No. 200	0-5

Las fuentes para la producción de agregados así como los equipos y procedimientos de explotación y elaboración, deberán asegurar el cumplimiento de las normas y el suministro de un material de características homogéneas.

Los agregados deben clasificarse por dimensiones y almacenarse separadamente; si es necesario se construirán divisiones para que no se mezclen entre sí o con polvo o materias extrañas. Antes de iniciar los trabajos de vaciado el Contratista tendrá en los depósitos los agregados necesarios debidamente clasificados en cantidad suficiente para las estructuras que se van a construir.

4.2.3 Agua

El agua que se use para el concreto, así como para el curado, deberá ser limpia, libre de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, sales, álcalis, limo, materia orgánica y otras impurezas. Si la Interventoría lo requiere, el Contratista deberá presentar análisis químicos del agua que proponga utilizar.

4.2.4 Aditivos

El Contratista podrá utilizar aditivos para el concreto cuando esto sea estrictamente necesario para mejorar las condiciones o propiedades de la mezcla, previa autorización escrita de la Interventoría, en cuanto al tipo, clase y sistema de aplicación del aditivo. No se permitirá el uso de aditivos que contengan cloruro de calcio y otras sustancias corrosivas, en estructuras de concreto reforzado.

El suministro e incorporación de aditivos usados por el Contratista en su provecho, será a costa suya.

4.3 MEZCLA DE CONCRETO

4.3.1 Con suficiente anticipación a la iniciación de las respectivas operaciones, el Contratista a través de un laboratorio de ensayo de materiales aprobado, diseñará las mezclas de concreto, que se propone utilizar para los diferentes tipos y resistencias de concreto especificados, con base a los materiales aprobados por la Interventoría.

El diseño de cada mezcla, determinará las proporciones en kilogramos de cada uno de los materiales componentes de la mezcla, incluida el agua, necesarios para producir 1 m^3 de concreto.

El Contratista deberá asegurarse que las muestras de materiales que le sirvan de base para los diseños, sean totalmente representativos de los que se produzcan con destino a la obra.

4.3.2 El Contratista deberá suministrar a la Interventoría con suficiente anticipación a la construcción, todos los elementos necesarios para poder evaluar tanto las características de las mezclas que propone usar como la calidad del concreto terminado; éste comprende muestras representativas de todos los materiales en las cantidades que determine la Interventoría, detalles de los diseños de las mezclas y la elaboración y ensayo de los cilindros de concreto.

De cada mezcla que el Contratista proponga usar, deberá elaborar como mínimo tres juegos de cilindros de concreto, para ser ensayados a los 7, 14 y 28 días respectivamente, después de la fecha de vaciado. Los cilindros de concreto se deberán preparar y curar de acuerdo con la norma AASHO T 126-70 y su resistencia a la compresión se deberá determinar según la norma AASHO T 22-66; todos los trabajos respectivos deberán ser ejecutados bajo la supervisión de la Interventoría.

4.3.3 La aprobación de la Interventoría a los materiales y diseños de las mezclas no se constituyen en forma alguna la aceptación posterior de las obras de concreto ejecutadas por el Contratista con base a ellos, ni lo exime de su responsabilidad de cumplir con todos los requisitos de las especificaciones y los planos.

La aceptación de las obras para fines de pago dependerá de su correcta ejecución y de la aprobación de la resistencia mínima a la compresión especificada para la respectiva clase de concreto, determinada con base en el concreto realmente incorporado en tales obras.

4.4 CIMBRAS- FORMALETAS

Toda obra falsa o cimbra para la construcción de muros u otras obras deberá ser diseñada por el Contratista y aprobada por la Interventoría. En el diseño deberán tenerse en cuenta las cargas muertas y vivas a que la cimbra estará sometida durante y después de la colocación del concreto. Las eventuales deflexiones de la obra falsa, debido a las cargas, deberán compensarse mediante contraflechas, de tal modo que la estructura terminada se ajuste a los niveles indicados en los planos.

Las formaletas, tanto de madera como de acero, se ensamblarán firmemente y deberán tener resistencia suficiente para contener la mezcla de concreto, sin que se formen combas entre los soportes u otras desviaciones de las líneas y contornos que se muestran en los planos. Las formaletas no deben dejar escapar el mortero, y si son de madera, ésta será cepillada o contrachapada y de espesor uniforme.

Al terminar la colocación de las formaletas se deberán revisar todos los soportes y corregir cualquier defecto que pueda dar lugar a deformación o falla. Si tal defecto solamente se advierte durante la colocación del concreto, ésta se deberá suspender hasta que los puntos débiles hayan sido adecuadamente reforzados y apuntalados.

Antes de iniciar la colocación de concreto, se deberán limpiar las formaletas de impurezas, incrustaciones de mortero y cualquier otro material extraño. Su superficie se deberá cubrir con una capa de aceite u otro producto que evite la adherencia y no manche la superficie del concreto.

4.5 PRODUCCIÓN DEL CONCRETO

4.5.1 Equipos

El Contratista podrá usar cualquier tipo de equipos apropiados para la ejecución de las estructuras de concreto, incluyendo mezcladoras equipo de transporte, equipos de colocación de la mezcla, vibradores etc.

El equipo deberá mantenerse en óptimas condiciones de funcionamiento y su capacidad y rendimiento deberán producir el adelanto de la construcción de acuerdo con los programas de trabajo aprobados.

Mezcladoras: La capacidad mínima de las mezcladoras será de 0.15 metros cúbicos (m^3) por cochada (Mezcladora de un Saco). El uso de equipo de menor capacidad o mezclado manual solamente podrá ser autorizado para volúmenes pequeños y elementos de concreto sometidos a bajos esfuerzos. Las mezcladoras deberán ser de un tipo adecuado que permita obtener una mezcla uniforme, deberán tener un depósito para agua y dispositivos que permitan medir con precisión y controlar automáticamente tanto la aplicación de agua como el tiempo de mezclado.

Vibradores : Deberán ser del tipo de inmersión y deberán operar a no menos de cinco mil (5.000) pulsaciones por minuto.

Dispositivos para el transporte y colocación de la mezcla: No deberá causar segregación de los agregados ni producir esfuerzos excesivos, desplazamiento, trepidación o impactos en la obra falsa o en las formaletas.

4.5.2 Mezcla del concreto

Las proporciones de los componentes de la mezcla y las gradaciones de los agregados deberán ser las del diseño previamente aprobado por la Interventoría. Cualquier cambio de cemento, agregados y de sus proporciones en la mezcla, requieren la autorización de la Interventoría y el rediseño de la mezcla, si esta lo considera necesario.

Las cantidades de los componentes de la mezcla se medirán y controlarán por peso, con excepción de agua, que podrá medirse por volumen. Se admitirá el control del cemento por sacos de la capacidad garantizada por el fabricante.

La medida de los agregados por volumen solamente podrá ser autorizada para cantidades de obra pequeñas, bajo la responsabilidad del Contratista y sin perjuicio de la calidad de la obra terminada; en caso de efectuarse, se determinará una relación inicial peso por volumen de agregado y se controlarán estrechamente las variaciones de esta, durante la construcción.

El tiempo de mezcla, después de que todos los componentes se encuentren en el tambor de la mezcladora, no será menor de uno y medio (1 ½) minutos, excepto en mezcladoras de acción forzada, para las cuales la Interventoría fijará el tiempo mínimo requerido. El concreto se mezclará en las cantidades requeridas para uso inmediato.

4.5.3 Concreto Premezclado.

Se podrá usar concreto proveniente de centrales de mezcla siempre que las entregas se efectúen ininterrumpidamente y por los sistemas y equipos aprobados por la Interventoría.

El concreto Premezclado deberá cumplir con los requisitos pertinentes de la norma AASHO M 157- 67.

4.6 COLOCACIÓN DEL CONCRETO

4.6.1 Generalidades

Los procedimientos y dispositivos para el transporte y la colocación del concreto así como la secuencia de ésta, deberán ser previamente aprobados por la Interventoría. Si la secuencia de la colocación esta indicada en los planos, no podrá ser modificada sin la autorización del Interventor.

La iluminación de la zona de trabajo, natural o artificial, durante todas las operaciones de colocación deberán ser suficiente para poder controlar adecuadamente las características y la distribución de la mezcla, la posición de formaletas y acero de refuerzo así como las cotas, regularidad y calidad de las superficies terminadas.

4.6.2 Preparación

Antes de indicar la colocación del concreto, las excavaciones necesarias, obras falsas, formaletas y armaduras, deberán estar totalmente terminadas y aceptadas por la Interventoría.

La superficie de las excavaciones deberá estar limpia, seca y libre de cualquier materia inconveniente y deberán humedecerse inmediatamente antes de recibir el concreto.

El acero de refuerzo, deberá estar firmemente colocado en su posición, revisado y aprobado por la Interventoría. En forma similar deberá encontrarse cualquier tipo de elementos o accesorios metálicos o de otra clase, de acuerdo con los planos que deban quedar embebidos total o parcialmente dentro del concreto.

4.6.3 Vaciado del concreto

La mezcla deberá colocarse antes de que se haya iniciado el fraguado y dentro de los (30) treinta minutos después de ser mezclada. Toda mezcla que no cumpla con estos requisitos o que tenga un asentamiento excesivo, no podrá ser incorporada a la obra y deberá ser removida y retirada por el Contratista y a satisfacción de la Interventoría.

No será permitido colocar mezcla fresca sobre concreto parcial o totalmente fraguado sin que las superficies de contacto hayan sido debidamente preparadas.

El concreto debe vaciarse totalmente en forma continua de manera, que la unidad estructural que se construya quede monolítica.

4.6.4 Compactación y vibrado

El concreto debe ser colocado en capas de 30 cms. de espesor como máximo y cada capa debe ser compactada con vibradores mecánicos, esta labor se complementará con una acción usando barretas y otras herramientas apropiadas según las indicaciones de la Interventoría. Los vibradores no deben emplearse para transportar concreto dentro de las formaletas. No se permite aplicar el vibrador contra las formaletas.

Debe tenerse por lo menos dos máquinas vibradoras de reserva en perfectas condiciones de servicio, cuando se esta trabajando en la fundida de concreto.

La duración del vibrador debe ser apenas lo suficientemente para producir una compactación satisfactoria sin provocar segregación de los materiales; como norma general pueda vibrarse la mezcla durante 20 segundos por 0.10 m2 de superficie aparente.

El vibrador debe ser colocado a distancias uniformes de acuerdo con la efectividad que se vaya observando con el desarrollo del trabajo.

La acumulación de agua en la superficie del concreto debido a la segregación que parezca durante el proceso del vaciado y compactado, debe evitarse en lo posible, mediante adecuado reajuste en la mezcla. El agua que aparezca debe eliminarse y en ningún caso se puede vaciar el concreto sobre estas acumulaciones.

4.6.5 Juntas de construcción

Las juntas de construcción y expansión deberán construirse en los sitios y en la forma indicados en los planos o determinados por la Interventoría. El Contratista no podrá agregar o eliminar juntas sin la previa aprobación de la Interventoría.

Las Juntas de construcción tendrán superficies planas horizontales, verticales o con la indicación que determine la Interventoría y llevarán llave aún cuando esto no este previsto en los planos .

Las superficies de concreto que han de formar una junta, se deberán limpiar con cepillo de acero u otros medios que permitan remover lechada, agregados sueltos y materia extraña. Las superficies limpias se deberán lavar inmediatamente antes de iniciar la colocación de concreto nuevo, cubrir con una capa delgada de mortero de cemento puro antes de depositar el nuevo concreto deberán ajustarse nuevamente los encofrados.

4.7 REMOCIÓN DE CIMBRAS Y FORMALETAS

Los periodos mínimos admisibles, después de la colocación del concreto, tanto para la remoción de formaletas y obra falsa o la colocación de rellenos sobre o a lo largo de la estructura, serán determinados por la Interventoría de acuerdo con las características del concreto de obra. Ninguna de las respectivas autorizaciones de la Interventoría eximirán al Contratista de su responsabilidad por la calidad y estabilidad de la obra o por cualquier defecto o daño que pueda ocurrirle debido a su procedimiento inadecuado en la remoción de formaleta y obra falsa, en las aplicaciones de carga o en combinaciones de ambas.

4.8 TERMINADO DEL CONCRETO - REPARACIONES

La superficie del concreto deberá terminarse inmediatamente después de la remoción de formaletas.

4.8.1 General

En cualquier superficie de la estructura tanto las que quedan expuestas a la vista como el resto, deberán eliminarse cuidadosamente todos los elementos metálicos, tales como varilla. puntillas o alambres de los utilizados para sostener las formaletas o la armadura y que sobresalieran de la superficie. Se removerán hasta una profundidad no inferior a 2.5 cm. bajo la cara exterior del concreto.

Enseguida deberá rellenarse todas las pequeñas aberturas o vacíos, con mortero de cemento, de mezcla igual a la del concreto sin agregado grueso. Las cavidades mayores u hormigueros deberán repararse con la aprobación de la Interventoría. En primer término deberán removerse las partes sueltas o débiles, hasta lograr una superficie densa y dura. Luego se saturarán las superficies de suficiente tiempo y se cubrirán con una capa delgada de mortero de cemento puro se llenará entonces la cavidad con un mortero 1:2 , mezclado con poca agua, debidamente compactado. Se deberá colocar mortero mezclado con suficiente anticipación (20 minutos mínimo) para controlar al máximo la retracción, y se deberá usar un aditivo apropiado para el mismo fin.

En caso de hormigueros muy grandes o profundos deberá hacerse el relleno con una mezcla aprobada de concreto, en forma similar a la indicada atrás. El exceso de hormigueros, será causa del rechazo y reemplazo de la estructura, a juicio de la Interventoría.

4.8.2 Superficies descubiertas.

Además se realizarán las reparaciones del numeral anterior, deberán removerse en forma satisfactoria todas las rebabas, crestas, protuberancias, usando si fuera necesario, piedras de esmeril. La superficie deberá quedar lisa, pulida y uniforme.

Donde se exija en los planos acabados en concreto a la vista, deberá ejercerse cuidado para no destruir la huella de la tabla al hacer los resanes y estos se deberán ejecutar en forma tal que no contrasten con el acabado de las áreas adyacentes.

4.9 CURADO

Todo concreto debe protegerse por un periodo de 7 días después de fundido, para evitar la pérdida de humedad a través de las superficies. El Contratista podrá usar en cada caso los métodos apropiados, aprobados por la Interventoría, como la aplicación continua de agua a las superficies; el cubrirlas con elementos que mantengan la humedad o por la aplicación de compuestos químicos líquidos para curado por membranas impermeables.

4.10 TOLERANCIA

Las tolerancias admisibles para la aceptación de las estructuras de concreto serán las siguientes:

4.10.1 Desviación máxima de las dimensiones, líneas y cotas indicadas en los planos.

a) Dimensiones laterales

Muros de concreto : -2.0 cm. a+ 5 cm.

El desplazamiento de las mismas obras, con respecto a la localización indicada en los planos, no deberán ser mayor que la desviación máxima (+) aquí indicada.

Muros de Concreto ± 2 cm.

4.10.2 Resistencia a la compresión

La resistencia promedio a la compresión de un juego de tres (3) cilindros de concreto, ensayados a los 28 días de fundido y correspondientes a la misma mezcla, no será menor que la resistencia mínima especificada para la respectiva clase de concreto.

4.11 CORRECCIONES -REEMPLAZO DE OBRAS DEFICIENTES

En caso de presentarse defectos de calidad, construcción o acabado o desviaciones mayores que las admisibles, en relación a lo establecido en especificaciones y planos respectivamente, el Contratista deberá hacer las reparaciones adecuadas de acuerdo con la Interventoría o en caso necesario remover y reconstruir las obras afectadas con la aprobación de la Interventoría.

4.12 CONTROL

El Contratista deberá hacer ensayos en el número y frecuencia que estime necesarios, para asegurar el cumplimiento de los requisitos de las normas y el mejor rendimiento a sus operaciones.

Durante el desarrollo de la construcción, la Interventoría realizará los ensayos que estimare necesarios para comprobar si el concreto que se esta produciendo y empleando cumple con las especificaciones requeridas.

4.12.1 Ensayos de materiales

En muestras de materiales con los cuales se esta produciendo el concreto, se realizarán en el número y frecuencia que se consideren convenientes, ensayos de gradación, desgaste, etc. para comprobar el cumplimiento de los requisitos de las normas.

Asimismo, se realizarán o se exigirán copias de los resultados realizados por el fabricante del cemento utilizado.

4.12.2 Asentamiento

Durante las operaciones de mezcla y colocación del concreto, se llevará a cabo un continuo control de la consistencia del concreto, realizando el ensayo normal de asentamiento (AASHO T-119-70) . Se rechazará cualquier concreto para el cual los ensayos indicaren defectos en las proporciones aprobadas de los materiales.

4.12.3 Comprobación de la Resistencia

Se realizarán ensayos normales (AASHO T-22-66) para comprobar el cumplimiento de los requisitos en los planos o estas especificaciones. Para los ensayos de resistencia a la compresión se fundirán como mínimo seis cilindros para cada 30 metros cúbicos (M^3) de concreto fundido.

4.12.4 Muestreo

Las muestras de concreto para los especímenes de ensayo, deberán tomarse en lo posible, en el lugar mismo donde se coloca el concreto siguiendo en un todo las especificaciones de las normas AASHO T-23-70. La Interventoría suministrará los moldes para las muestras. El Contratista suministrará cualquier otro material, mano de obra o elementos necesario para moldear, curar y proteger las muestras en el sitio de la obra y trasladas posteriormente al laboratorio. La totalidad de las muestras serán de propiedad exclusiva de la Entidad Contratante.

Los ensayos de resistencia, se harán con tres especímenes de cada muestreo a los 7 y 28 días de fundido el concreto, respectivamente. Todo concreto debe tener una resistencia mínima promedio en los ensayos, igual o superior a la especificada en cada caso.

4.12.5 Cumplimiento de los requisitos de resistencia

Si en pruebas verificadas no se obtienen las resistencias requeridas, la interventoría puede ordenar cambios en las proporciones de la mezcla para la ejecución de las obras restantes y el refuerzo, o la reconstrucción de las construidas con concretos defectuosos. Estos trabajos serán hechos por cuenta y riesgo del Contratista.

4.12.6 Pruebas adicionales

En caso necesario podrá ordenarse la toma de muestras de concreto fundido en las estructuras para someterlas a ensayos de compresión. Dichas pruebas pueden considerarse como supletorias en caso de duda sobre la resistencia del concreto. Las probetas de ensayo deben tener un diámetro aproximadamente igual a tres veces el tamaño máximo del agregado. La preparación y pruebas de las probetas debe hacerse según lo prescrito en la norma AASHO T-24-68. La extracción de las probetas y muestras se hará por cuenta del Contratista .

4.12.7 Anotación de resultados de los ensayos

Se deberán anotar en el libro especial la fecha y hora en que se toman las muestras de concreto. Los cilindros deben numerarse o marcarse siguiendo un sistema que permita conocer en cualquier momento la fecha de su fabricación y la parte de la estructura a que pertenezcan.

Los resultados de resistencia obtenidos deben anotarse en el libro, lo mismo que cualquiera otra observación ilustrativa sobre condiciones y calidad de materiales con sus resultados.

4.13 MEDIDAS Y PAGOS

4.13.1 Medidas

Con excepción de los casos en que la obra de concreto, forma parte de un Ítem específico de obra, el concreto de acuerdo con los términos del contrato, constituidos y aceptados por la interventoría, se medirá por metros cúbicos (m^3) con aproximación a un decimal, empleando las dimensiones indicadas en los planos explícitamente aprobados por la Interventoría.

4.13.2 Pagos

El pago se realizará al respectivo precio unitario del contrato para cada Ítem, el cual incluirá la remuneración completa por el suministro de los materiales del concreto, su cargue, transporte y almacenamiento; mezclado; cimbras y formaletas; colocación, terminado y curado del concreto; equipos y herramientas; mano de obra, desperdicios e imprevistos y demás gastos necesarios para completar esta parte de la obra en un todo de acuerdo con los planos, especificaciones y aprobación de la Interventoría.

Los aditivos, utilizados con la aprobación de la Interventoría, se mediarán y pagarán de acuerdo con las cantidades efectivamente incorporadas al concreto, al precio unitario acordado con el contrato.

4.14 ÍTEM DE PAGO

Estará dado como:

Concreto	m^3

m^3 = Metro cúbico. Con aproximación a un decimal. Ejemplo 8.1 m^3.

5 RETIRO Y DISPOSICIÓN DE SOBRANTES

5.1 DESCRIPCIÓN

Hace referencia al retiro del material proveniente de las excavaciones y que no haya sido utilizado en la actividad de rellenos; el transporte y disposición del mismo, en el sitio que haya sido aprobado por la Interventoría al inicio del contrato.

5.2 PROCEDIMIENTO

Los excedentes del material sobrante, no utilizables, deberán disponerse en áreas de desecho, aprobadas por la Interventoría.

El Contratista no podrá desechar materiales colocándolas en áreas no aprobadas, ni podrá retirarlos para fines distintos del contrato, sin la autorización previa por escrito de la Interventoría.

El Contratista deberá colocar los materiales sobrantes en las áreas aprobadas de desecho de excedentes, de acuerdo con los requisitos detallados a continuación y la aprobación de la Interventoría.

El material se extenderá en capas sucesivas aproximadamente horizontales, de un espesor suelto no mayor de 30 cms. Cada capa deberá emparejarse y nivelarse satisfactoriamente, antes de la colocación de la siguiente.

Siempre que fuera posible, los materiales se colocarán en forma tal que los de características mas orgánicos queden colocados hacia la parte superior de la sección.

La superficie final, deberá quedar uniforme y pareja, con las pendientes adecuadas para asegurar el correcto drenaje y la mejor apariencia, dentro de los criterios paisajistas de la Entidad Contratante, de acuerdo con la Interventoría.

El material de desecho se debe extender y compactar con pasadas de buldózer o apisonamiento con retroexcavadora, únicamente en el sitio de desecho.

5.3 EQUIPOS

El Contratista podrá utilizar cualquier tipo de equipo apropiado para el retiro y disposición de los sobrantes, incluyendo retroexcavadora, cargador, vehículos de transporte y buldózer, aprobados por la Interventoría.

El equipo deberá mantenerse en óptimas condiciones de funcionamiento y su capacidad y rendimiento deberán producir el adelanto de la construcción de acuerdo con los programas de trabajo aprobados.

5.4 MEDIDAS Y PAGOS

En el pago del retiro y disposición de sobrantes se debe incluir el costo de equipos y herramienta, mano de obra, transporte y demás gastos necesarios para completar esta parte del trabajo de acuerdo con las especificaciones y la aprobación de la Interventoría.

5.5 ÍTEM DE PAGO

Estará dado como:

RETIRO DE MATERIAL SOBRANTE	m^3

m^3 = metro cúbico. Con aproximación a la unidad. Ejemplo 18 m^3.

6 FILTROS

6.1 DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en la construcción de subdrenes de tubería de PVC perforada y material filtrante, en los sitios señalados en los planos e indicados por el Interventor. El trabajo incluye excavación de las zanjas para los filtros, el suministro y la colocación de los tubos de desagüe, la construcción de juntas y de las conexiones de la tubería; el suministro, la colocación y compactación del material filtrante; el recubrimiento de éste con material geotextil no tejido y el desecho de todo material sobrante en zonas aprobadas por el Interventor.

6.2 MATERIALES

6.2.1 Tubería

La tubería de desagüe deberá ser en PVC, ranurada de la parte media hacia arriba, con el objeto de colectar las aguas recogidas en el material filtrante. La tubería deberá cumplir con las dimensiones y los detalles mostrados en los planos.

6.2.2 Materiales Filtrantes

Los materiales filtrantes deben quedar limpios, durables, granulares, no plásticos y aprobados previamente por el Interventor. Se podrán usar arenas y gravas.

Geotextil

Con el objeto de impedir el lavado de finos y evitar la colmatación del filtro, se deberá recubrir el material filtrante con un geotextil no tejido, tal como se indica en los esquemas de detalles y en los planos. Igualmente, se deberá colocar una geomembrana o simplemente un plástico, previamente autorizado por la Interventoría, con el fin de conducir rápidamente las aguas que llegan al fondo del filtro y evitar recarga hacia los niveles inferiores del subsuelo.

6.3 PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN

Las zanjas para los filtros se excavarán en los sitios y con las dimensiones, pendientes y rasantes indicadas en los planos u ordenadas por el Interventor; tendrán taludes verticales y un ancho normal de ochenta (80) centímetros o el que indique en los planos y una pendiente mínima del cinco por mil. La colocación de material filtrante, se deberá efectuar cuidadosamente, de tal forma que no se afecte el geotextil y/o la geomembrana que se instalará previamente a la colocación del material de filtro.

Encima del relleno filtrante se colocará y compactará una capa de material con el espesor necesario para llegar hasta la cota de superficie. Este material será material proveniente de las excavaciones, el cual es generalmente impermeable.

6.4 MEDIDA Y PAGO

La medida será el número de metros lineales, aproximado al metro completo de filtros construidos según lo indicado en los planos, estas especificaciones o lo establecido por el Interventor.

El pago se hará a los respectivos precios unitarios del contrato por toda obra aceptada a satisfacción del interventor, y de acuerdo con el tipo de trinchera drenante, de acuerdo con los detalles de obras y los planos de diseño.

El precio unitario para filtros, cubrirá su construcción de acuerdo con la sección típica especificada o la indicada en los planos del proyecto; incluye la excavación de las zanjas, el suministro y colocación de tubería, del

material filtrante, del geotextil y de la geomembrana, el transporte de todos los materiales, el equipo utilizado, la mano de obra, el desecho de todo material sobrante y en general, todos los gastos necesarios para terminar estos filtros, de acuerdo con los planos y estas especificaciones.

6.5 ÍTEM DE PAGO

Estará dado como:

Filtros	ml

ml = Metro lineal. Con aproximación a la unidad. Ejemplo 10 ml.

7 GAVIONES

7.1 GENERALIDADES

Consisten en cajas rectangulares en malla de alambre galvanizado que se colocan en los sitios indicados en los planos y luego se llenan de piedras con una dimensión mayor que el ojo de la malla y que por su propio peso hacen el efecto de un muro de sostenimiento.

Las canastas o gaviones se disponen convenientemente y luego se van uniendo entre si por medio de fuertes ligaduras con alambre del mismo diámetro y calidad del que forma la malla.

La malla que debe usarse para estas canastas debe ser fabricada con triple torsión y nunca con torsión simple.

7.2 CONSTITUCIÓN DEL GAVIÓN

Las mallas presentan la forma de un hexágono no alargado en el sentido de una de sus diagonales.

Los gruesos o diámetros del alambre varían según las dimensiones de las mallas y aumentan proporcionalmente con la escuadría de estas, de modo que el peso por metro cuadrado de malla permanece constante.

Los tres tipos de malla de triple torsión con que se confeccionan los gaviones metálicos son los siguientes :

- Malla 5 x 7 cm. de escuadría con alambre No. 13 (ø 2 mm.)
- Malla 8 x 10 cm. de escuadría con alambre No. 15 (ø 2.4 mm.)
- Malla de 12 x 14 cm. de escuadría con alambre No. 17 (ø 3 mm.)

Los alambres que forman los bordes del gavión son un número inmediatamente superior al empleado en tela metálica.

El alambre necesario para el cosido y el atirantado de los gaviones puede tomarse como 1 Kg. para cada gavión rectangular de 1 m. de altura y como 0.750 Kg. para cada gavión rectangular de 0.5 m. de altura.

7.3. CALIDAD DEL ALAMBRE

Acero dulce, recocido, excento de escamas u otros defectos, galvanizado en caliente con zinc puro.
Carga mínima de rotura 42 Kg /mm²

Alargamiento; bajo la acción de la carga de 42 Kg/mm², el alargamiento será de 10%, relativo a la longitud de 10 cm.

Flexión ; el hilo sostenido en una prensa de bordes redondeados con un diámetro de dos veces el diámetro del alambre deberá soportar sin romperse 10 plegados sucesivos de 90 grados ; los plegados se efectúan en un mismo plano, con una longitud de 180 grados.

Enrollamiento : el alambre deberá poderse enrollar sobre un cilindro de doble diámetro, en espiras apretadas, sin que el zinc se desprenda o se agriete.

Torsión ; una muestra de 20 cms. de longitud deberá soportar 30 vueltas completas de torsión (360 grados para cada vuelta) sin romperse y sin que el zinc se desprenda o se agriete.

Espesor del zinc; el alambre deberá soportar sin que aparezca el hierro aún parcialmente, cuatro inmersiones sucesivas de un minuto cada una en una solución de sulfato de cobre cristalizado, cuya concentración será una parte por peso de cristales a cinco partes por peso de agua. La temperatura del baño será de 15 grados centígrados entre cada inmersión, las muestras deberán lavarse, secarse y examinarse.

7.4 PUESTA EN LA OBRA DE LOS GAVIONES

7.4.1 Montaje del Gavión

Desplegar el gavión y extenderlo plano sobre el suelo.

Levantar las dos paredes II y IV y las dos cabezas T, de modo que forme un cuerpo rectangular, cuya tapa será el rectángulo.

Ligar sólidamente las aristas; se debe emplear un alambre de la misma calidad y diámetro del que forma la malla; el peso de los alambres de ligadura es de 8 a 10% del peso de los gaviones.

7.4.2 Colocación del Gavión en su Sitio

Colocar el gavión en el sentido conveniente, de modo que: el número de lados libres de la tapa, en contacto con las aristas de los gaviones vecinos sea mínimo. Esta operación facilita el armado de los gaviones entre sí.

Amarrar con cuidado y sólidamente las aristas verticales del gavión con las aristas verticales de los gaviones vecinos.

Por medio de una pieza de madera aplanar las caras que van a estar en contacto con los gaviones vecinos y con alambre galvanizado ligar dichas caras en contacto lo más cerca posible de las aristas de la base.

Con una barra o varilla gruesa de hierro de 1.50 aproximadamente de longitud y pasando la punta por la malla de la base, más cerca del vértice a modo de palanca, estirar lo más posible la cara inferior, para que quede en el plano de alineamiento que se ha fijado; por último cuando la barra quede en posición vertical, enterrarla en el suelo por medio de una almadena.

7.4.3. Llenado De Los Gaviones

a. Llenado de los gaviones que constituyen la placa de fundación :

Se utilizan piedras redondeadas o de arista cuadrada, dependiendo de los materiales disponibles en cada sitio de construcción, de una dimensión mayor que el ancho de la malla, disponiéndolas de modo que entre sí quede el menor espacio posible; debe evitarse usar piedras demasiado grandes que restarían flexibilidad a la placa de fundación.

b. Llenado de los gaviones que constituyen el cuerpo de la obra :

Contra el enrejado de la malla que forma las paredes del gavión, disponer de un paramento de piedras gruesas, mayores que la abertura de la malla.

En la parte del gavión, si no se encuentra suficiente cantidad de piedra gruesa, colocar piedra más menuda pero no inferior en ningún caso a 8 centímetros de diámetro.

c. Tirantes

Cuando la altura del gavión sea de un metro, es necesario atirantar interiormente los paramentos opuestos, a fin de que al ser rellenado no presenten dichos paramentos convexidades en su superficie.

A este mismo objeto, y tendiendo siempre a que el gavión, una vez relleno, aparezca siempre perfectamente regular, y no presente deformidad alguna en su estructura, es conveniente, antes de rellenarlo, escuadrar sus paramentos en el sentido de su mayor longitud por medio de un entablado que se sostiene por puntales, generalmente de hierro.

Colocado el gavión en el sentido conveniente, según haya sido proyectada la obra, tensar la malla con una palanca o barra de hierro, para darle la forma y medida que le corresponde y atar cuidadosamente las aristas verticales que se encuentran contiguas en dos gaviones en contacto. El paramento en cuya arista gire la tapa habrá de estar en contacto con el gavión anteriormente rellenado, de forma que la tapa pueda ser cerrada por el espacio libre que deberá ocupar el gavión siguiente. Después de estas operaciones puede procederse al rellenado del gavión, sin olvidar la colocación de los tensores internos.

Los tirantes están constituidos por trozos de alambre del mismo calibre y calidad del que forma la malla, y se aseguran por medio de un amarre que abarque varias mallas.

A medida que adelanta el relleno del gavión a cada treinta y tres centímetros de altura, es conveniente colocar tirantes de alambre en sentido horizontal del mismo grueso de la malla, que tienden a hacer solidarios los paramentos o caras opuestas a fin de evitar su deformación por la presión del material que se retiene, tal como se ha aludido anteriormente. En sentido longitudinal, pueden distanciarse unos de otros de 70 a 80 centímetros, procurando alternar la posición que ocupan los de una hilada en sentido horizontal (si entran varias según la profundidad del gavión) con la que ocupen los de la hilada inmediata inferior.

Terminado el relleno, falta ya sólo la operación de cerrar la tapa para tener completamente terminado el gavión, y para ello se dispone generalmente, de una pequeña palanca o llave con el extremo ligeramente curvado, maniobrando de trecho en trecho (cada 30 centímetros, por ejemplo), se obliga a coincidir en una sola arista los bordes de las caras contiguas, forzando así el cierre. Lograda esta aproximación en cada parte donde se ha accionado la palanca, se deja antes de retirarla, un punto de sutura con alambre suelto.

En todos los gaviones cualquiera que sea su emplazamiento en la obra se coloca tirantes:

Tirantes que unan las cabezas a las paredes.

Tirantes que unan las paredes entre si.

En los gaviones que forman la placa de fundación, se colocan además tirantes que unan entre si la base y la tapa.

7.4.4 Cocido Ordinario

Completado, pues, el trabajo que afecta a cada gavión de por sí, basta añadir que deben igualmente coserse las aristas de cada gavión con las correspondientes de los gaviones contiguos, y que gracias a esta disposición

lograse una intima trabazón en toda la obra, constituyendo un verdadero bloque que tendrá sobre los similares de mampostería, la ventaja enorme de ser eminentemente flexible, que es la característica de los sistemas, verdaderamente insustituibles para la defensa fluviales y para multitud de aplicaciones a que se han dedicado.

7.5 MEDIDA Y PAGO

La medida será el número de metros cúbicos de gavión completamente terminado (incluye la totalidad de los gaviones en obra), de acuerdo con los planos, estas especificaciones y las instrucciones del Interventor.

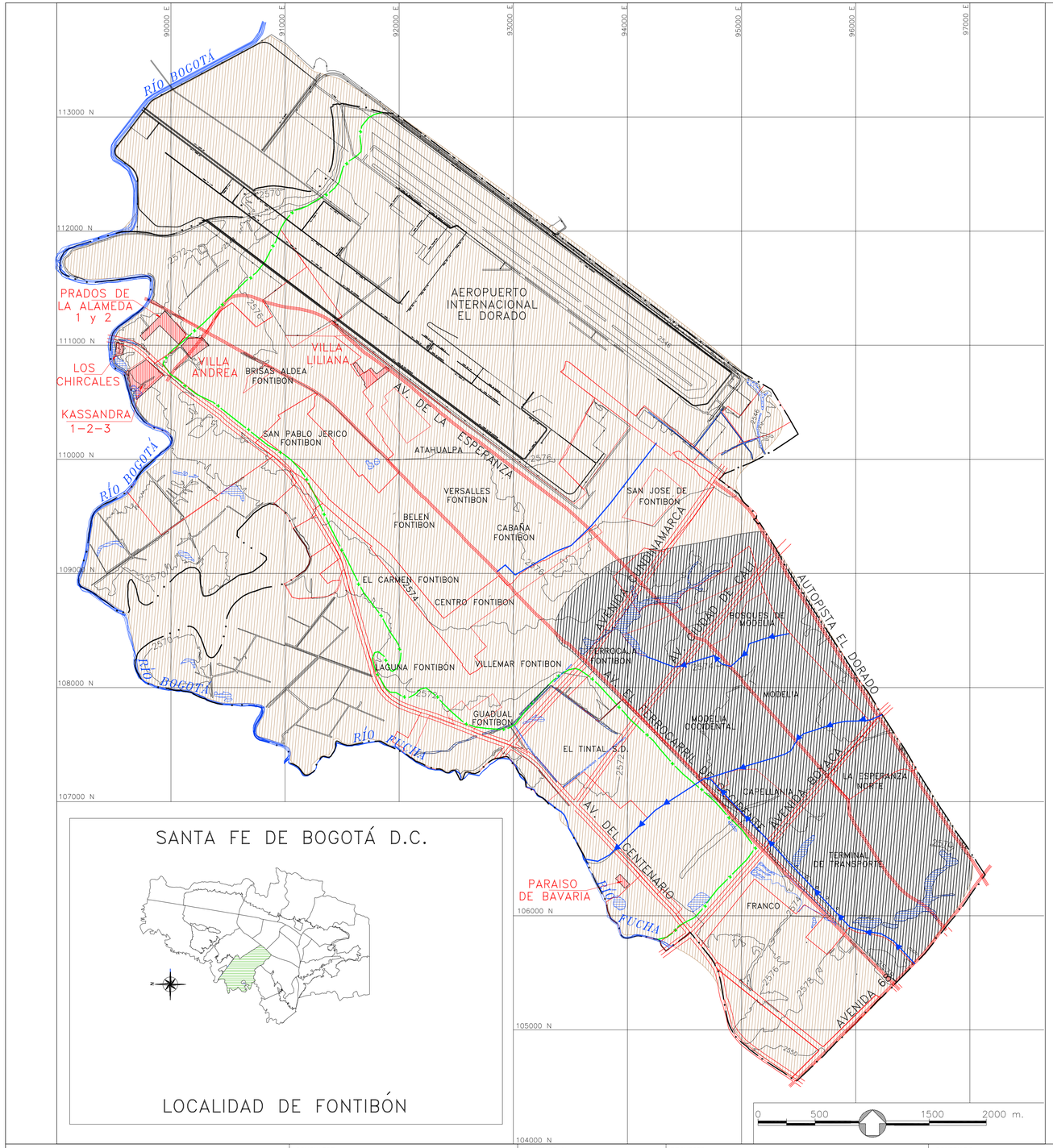
El pago se hará al precio unitario del contrato, una vez terminada la obra de gaviones. El precio unitario deberá cubrir todos los costos de suministro, instalación y acabado de la obra.

7.6 ÍTEM DE PAGO

Estará dado como:

Gavión	m^3

M^3 = Metro cúbico. Con aproximación a la unidad. Ejemplo 10 m^3.



SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

LOCALIDAD DE FONTIBÓN

REFERENCIA

LEYENDA

Z3 — ZONA 3 – LACUSTRE A
Constituida por depositos de arcillas blandas con profundidades mayores de 50m. Pueden aparecer depositos ocasionales de turbas y o arenas de espesor intermedio a bajo.

Z4–LB — ZONA 4 – LACUSTRE B
Tiene las mismas caracteristicas de la zona 3 – lacustre A pero los depositos superficiales son más blandos que los anteriores. Además, corresponde a la zona en que la profundidad hasta la roca base es mayor.

SIMBOLOS

- Curvas de Nivel
- Límite de Localidad
- Ríos
- Perímetro de Servicios
- Canales
- Plan Vial
- Humedales
- Barrio en Estudio
- Contacto de zonas sismicas

Fuente:
Información del IGAC e INGEOMINAS (1995).

ALCALDÍA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.
UPES – FOPAE

CONSULTOR: INGETEC S.A. INGENIEROS CONSULTORES

CONTRATO No.: 1314–001–98

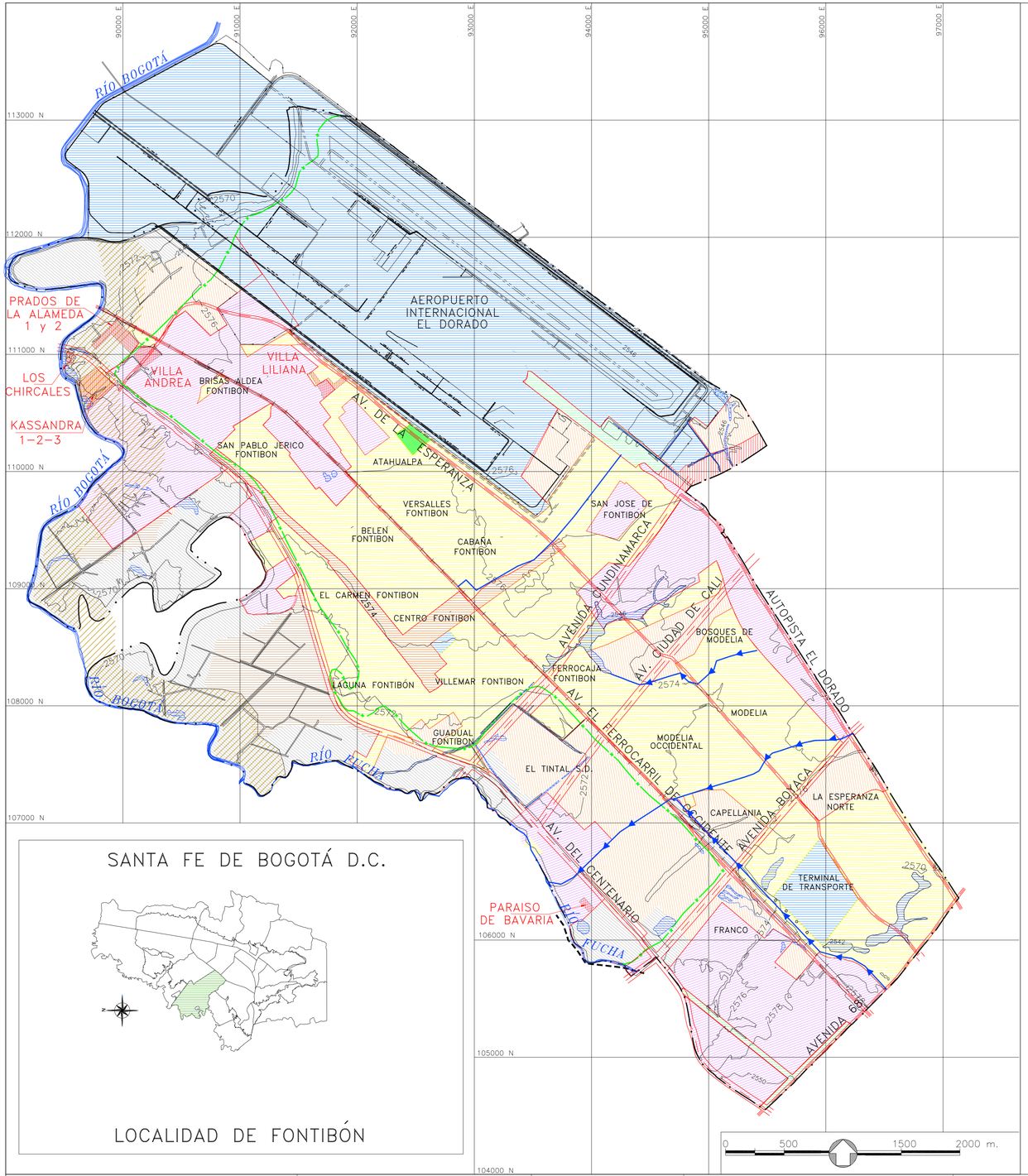
PROYECTO: ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR INUNDACIÓN EN DIFERENTES SECTORES DE SANTA FE DE BOGOTÁ

CONTENIDO: ZONIFICACIÓN SISMICA

REVISIONES: 1: 2: 3:

DISEÑÓ:	REVISÓ:	ESCALA:	PLANO No.
M. Bulla	M. Sanches	Gráfica	2.3
DIBUJÓ:	APROBÓ:	FECHA:	ARCHIVO:
E. Pinto	G. Cortés	Agosto–1998	Sismica.dwg

C:\PLANOS\MAQUI04\672\UPES\GEOLOG\SISMICA.DWG



SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

LOCALIDAD DE FONTIBÓN

REFERENCIA

LEYENDA

- Residencial
- Comercial
- Industrial
- Institucional
- Recreacional
- Comercial–Residencial
- Industrial–Comercial
- Area No Desarrollable
- Area Sin Desarrollar
- Agricola

CONVENCIONES

- Curvas de Nivel
- Ríos
- Canales
- Humedales
- Límite de Localidad
- Perímetro de Servicios
- Plan Vial
- Barrio en Estudio
- Zona de Manejo y Preservacion Ambiental

Fuente:

Plano base suministrado por la UPES.

ALCALDÍA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

UPES–FOPAE

CONSULTOR: INGETEC S.A. INGENIEROS CONSULTORES

CONTRATO No.: 1314–001–98

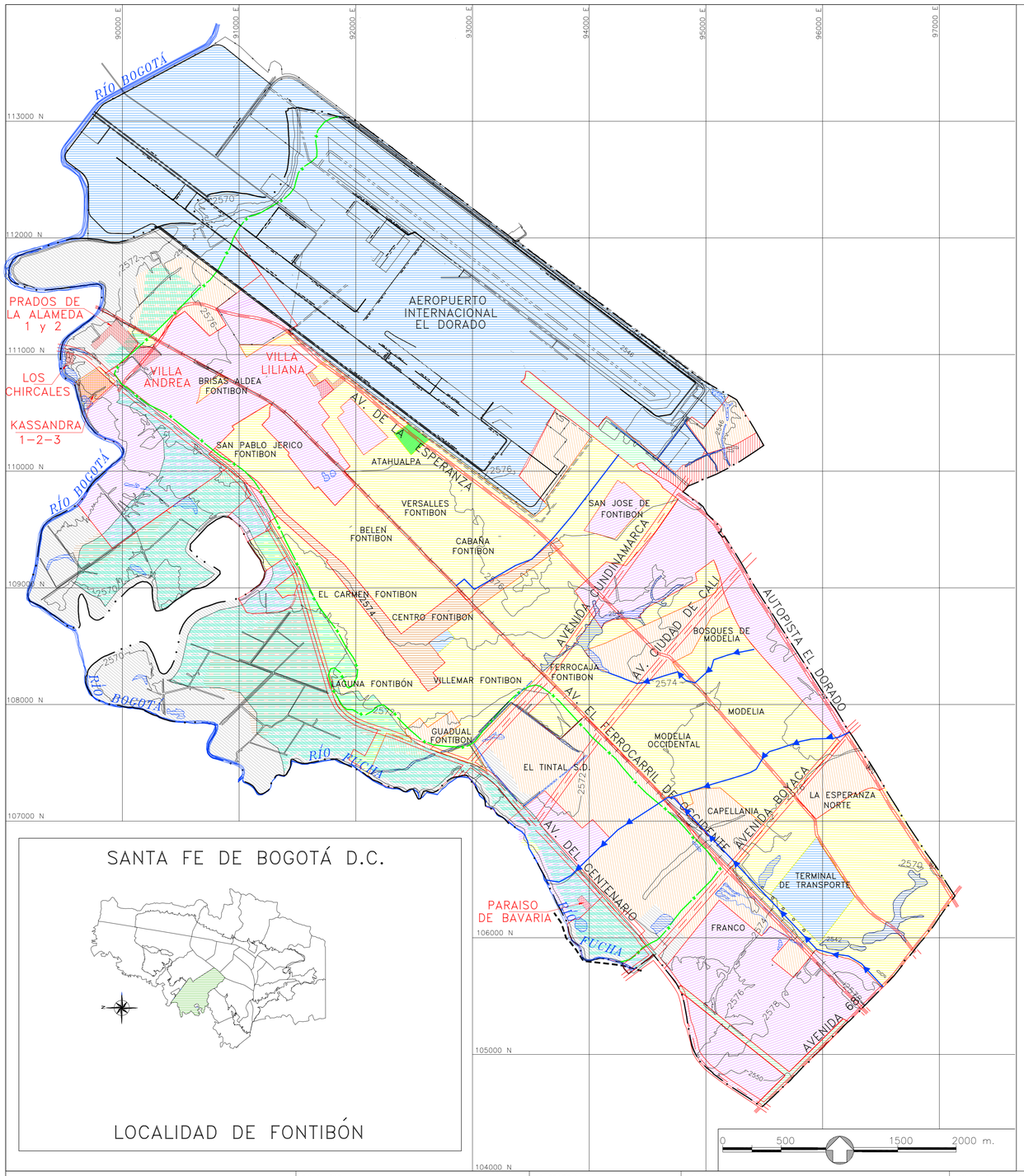
PROYECTO: ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR INUNDACIÓN EN DIFERENTES SECTORES DE SANTA FE DE BOGOTÁ

CONTENIDO: ACUERDO 26 DE 1996 PLAN DE ORDENAMIENTO FÍSICO DEL BORDE OCCIDENTAL DE LA CIUDAD NIVEL 1 DE ZONIFICACIÓN

REVISIONES:
1:
2:
3:

DISEÑÓ:	REVISÓ:	ESCALA:	PLANO No.
M. Cáceres G. Prieto	E. Giraldo	Gráfica	2.5
DIBUJÓ:	APROBÓ:	FECHA:	ARCHIVO:
N. Reyes	G. Cortés	AGOSTO–1998	NIVEL1.DWG

PLANOS\MAQUI006\HIDROLOG\UPES\NIVEL1.DWG



SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

LOCALIDAD DE FONTIBÓN

REFERENCIA

LEYENDA

- Residencial
- Comercial
- Industrial
- Institucional
- Recreacional
- Comercial–Residencial
- Industrial–Comercial
- Area No Desarrollable
- Area Sin Desarrollar
- Agricola

CONVENCIONES

- Curvas de Nivel
- Ríos
- Canales
- Humedales
- Límite de Localidad
- Perímetro de Servicios
- Plan Vial
- Barrio en Estudio
- Area Suburbana de Expansión

Fuente:

Plano base suministrado por la UPES.

ALCALDÍA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

UPES–FOPAE

CONSULTOR: INGETEC S.A. INGENIEROS CONSULTORES

CONTRATO No.: 1314–001–98

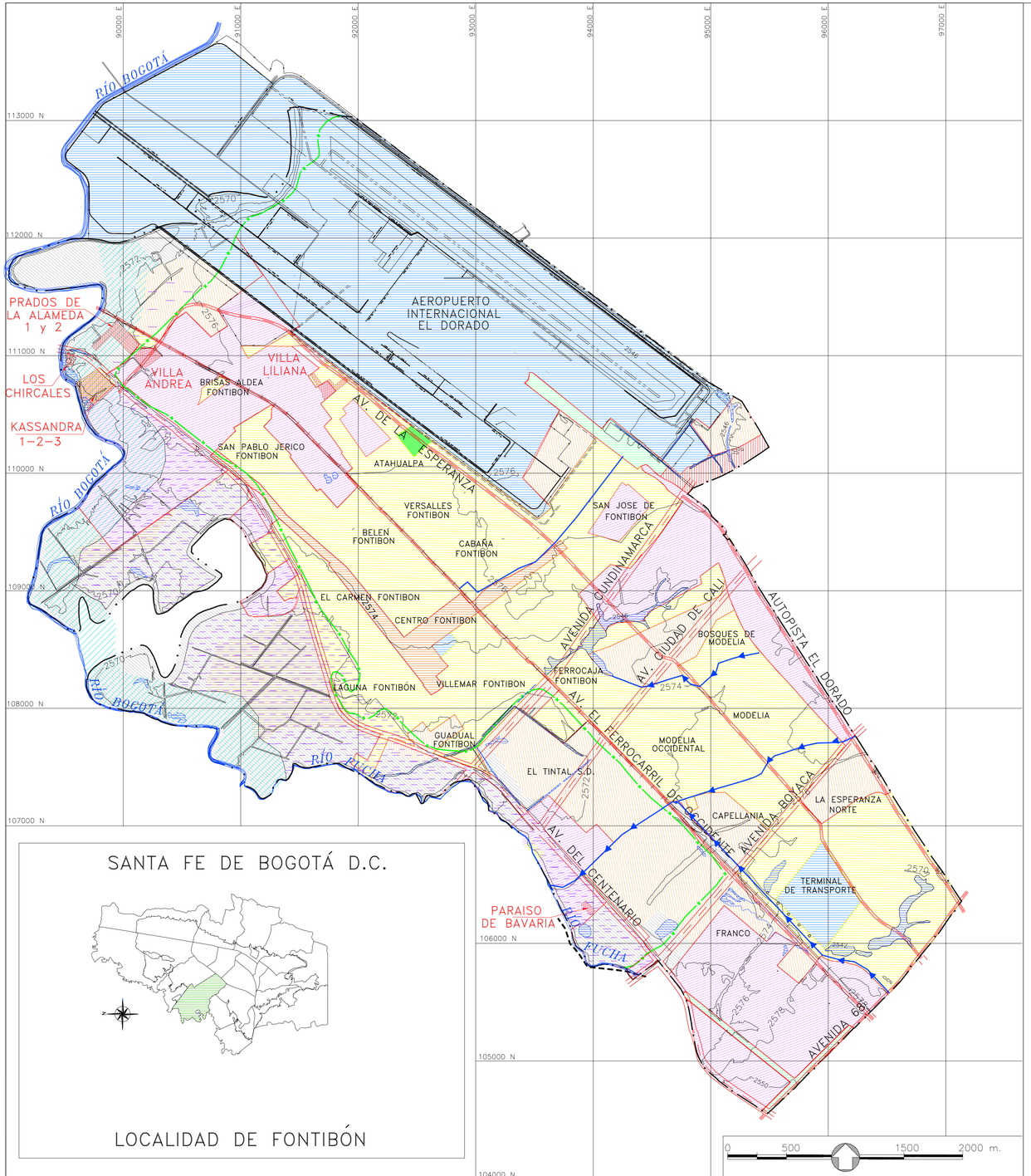
PROYECTO: ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR INUNDACIÓN EN DIFERENTES SECTORES DE SANTA FE DE BOGOTÁ

CONTENIDO: ACUERDO 26 DE 1996 PLAN DE ORDENAMIENTO FISÍCO DEL BORDE OCCIDENTAL DE LA CIUDAD NIVEL 2 DE ZONIFICACION

REVISIONES:
1:
2:
3:

DISEÑÓ:	REVISÓ:	ESCALA:	PLANO No.
M. Cáceres G. Prieto	E. Giraldo	Gráfica	2.6
DIBUJÓ:	APROBÓ:	FECHA:	ARCHIVO:
N. Reyes	G. Cortés	AGOSTO–1998	NIVEL2.DWG

PLANOS\MAQUI006\HIDROLOG\UPES\NIVEL2.DWG



SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

LOCALIDAD DE FONTIBÓN

REFERENCIA

LEYENDA

- Residencial
- Comercial
- Industrial
- Institucional
- Recreacional
- Comercial–Residencial
- Industrial–Comercial
- Area No Desarrollable
- Area Sin Desarrollar
- Agricola

CONVENCIONES

- Curvas de Nivel
- Límite de Localidad
- Ríos
- Perímetro de Servicios
- Canales
- Plan Vial
- Humedales
- Barrio en Estudio
- Área Industrial
- Forestal y Recreativo Pasivo

Fuente:

Plano base suministrado por la UPES.

ALCALDÍA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

UPES–FOPAE

CONSULTOR: INGETEC S.A. INGENIEROS CONSULTORES

CONTRATO No.: 1314–001–98

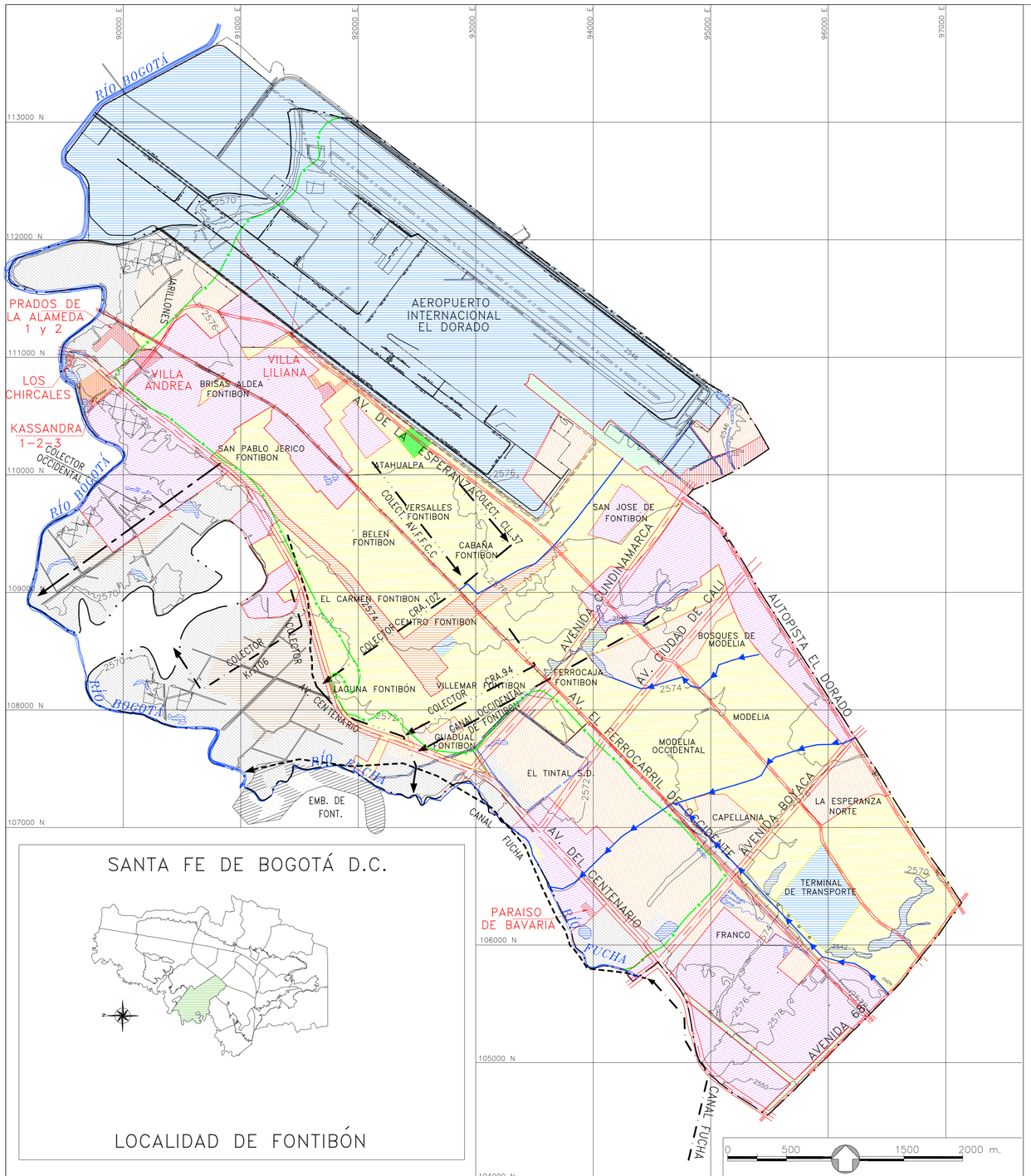
PROYECTO: ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR INUNDACIÓN EN DIFERENTES SECTORES DE SANTA FE DE BOGOTÁ

CONTENIDO: ACUERDO 26 DE 1996 PLAN DE ORDENAMIENTO FISÍCO DEL BORDE OCCIDENTAL DE LA CIUDAD NIVEL 3 DE ZONIFICACIÓN

REVISIONES:
1:
2:
3:

DISEÑÓ:	REVISÓ:	ESCALA:	PLANO No.
M. Cáceres G. Prieto	E. Giraldo	Gráfica	2.7
DIBUJÓ:	APROBÓ:	FECHA:	ARCHIVO:
N. Reyes	G. Cortés	AGOSTO–1998	NIVEL3.DWG

PLANOS\MAQUI006\HIDROLOG\UPES\NIVEL3.DWG



SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

LOCALIDAD DE FONTIBÓN

LEYENDA

- Residencial
- Comercial
- Industrial
- Institucional
- Recreacional
- Comercial–Residencial
- Industrial–Comercial
- Area No Desarrollable
- Area Sin Desarrollar
- Agricola

CONVENCIONES AGUAS LLUVIAS

- Canal Existente
- Colector Existente
- Troncales programa Santa Fe I
- Troncales Proyectadas
- Jarillones
- Embalse

CONVENCIONES

- Curvas de Nivel
- Ríos
- Canales
- Humedales
- Límite de Localidad
- Perímetro de Servicios
- Plan Vial
- Barrio en Estudio

Fuente:

Plano base suministrado por la UPES.

ALCALDÍA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

UPES–FOPAE

CONSULTOR: INGETEC S.A. INGENIEROS CONSULTORES

CONTRATO No.: 1314–001–98

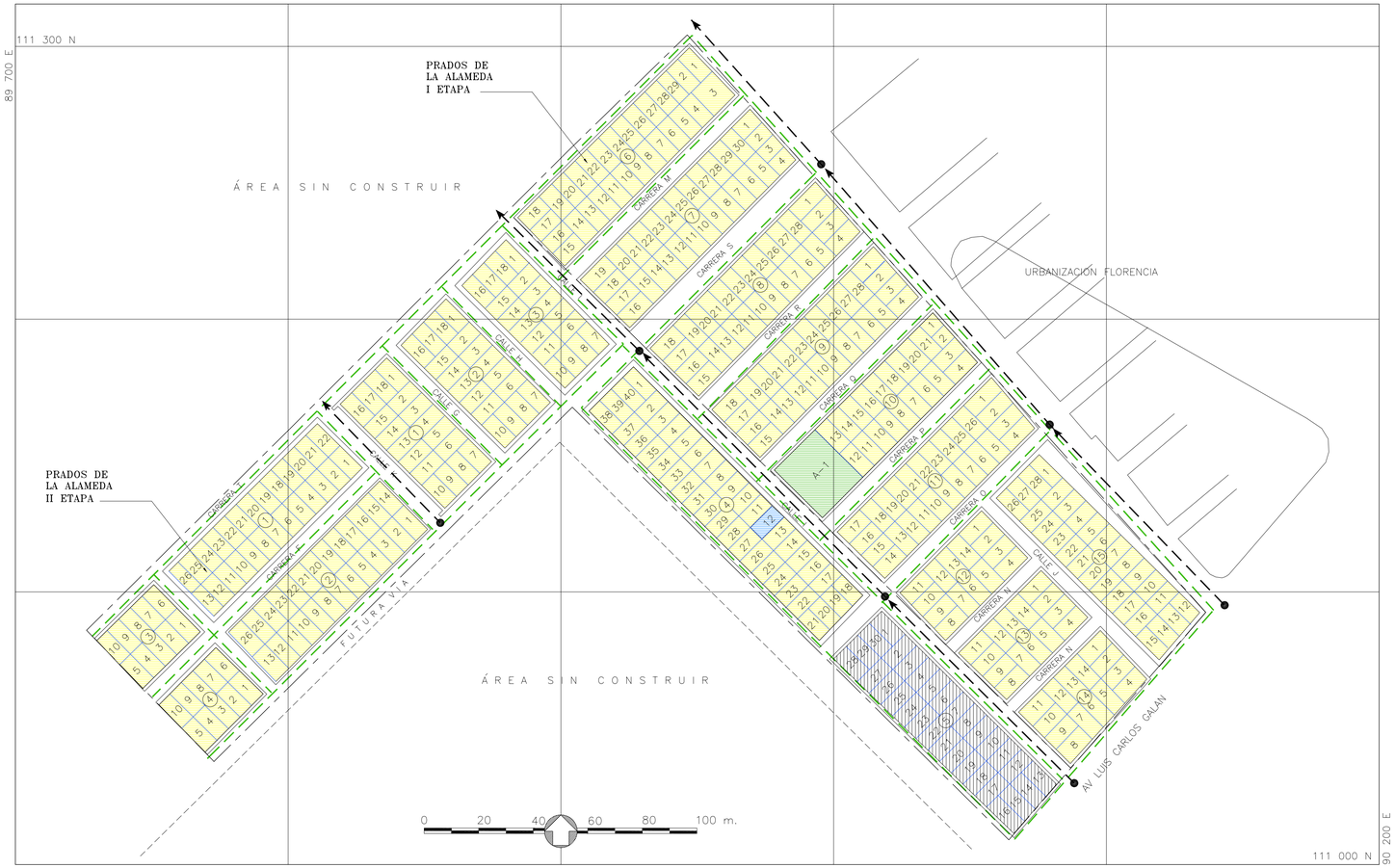
PROYECTO: ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR INUNDACIÓN EN DIFERENTES SECTORES DE SANTA FE DE BOGOTÁ

CONTENIDO: USO ACTUAL DEL SUELO SISTEMA DE AGUAS LLUVIAS EXISTENTES Y PROYECTADAS

REVISIONES:
1:
2:
3:

DISEÑÓ:	REVISÓ:	ESCALA:	PLANO No.
M. Cáceres G. Prieto	E. Giraldo	Gráfica	2.10
DIBUJÓ:	APROBÓ:	FECHA:	ARCHIVO:
N. Reyes	G. Cortés	AGOSTO–1998	CANALES.DWG

PLANOS\MAQUI006\HIDROLOG\UPES\CANALES.DWG



ANEXO FOTOGRÁFICO

REFERENCIA

NOTAS:

1. El trazado de las redes del sistema de Alcantarillado de aguas residuales y Acueducto corresponde a la información suministrada por la comunidad.

CUADRO DE ÁREAS

Descripción	Junta Comunal		Ingetec S.A.	
	m^2	%	m^2	%
Total Barrio	47.050,00	100	46.528,18	100
Vivienda			28.646,06	60,88
Comercio			–	–
Institucional	–	–	68,20	0,15
Industria				
Zona Verde	1.451,30	3,08	520,74	1,11
Vías	14.719,50	31,28	17.293,18	37,17

CONVENCIONES:

- Límite de barrio
- Vivienda
- Vivienda dos propietarios Sin construir
- Institucional
- Zonas Verdes
- Alcantarillado Aguas Residuales Existente
- Red de Acueducto Existente

ALCALDÍA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

UPES–FOPAE

CONSULTOR: INGETEC S.A. INGENIEROS CONSULTORES

CONTRATO No.: 1314–001–98

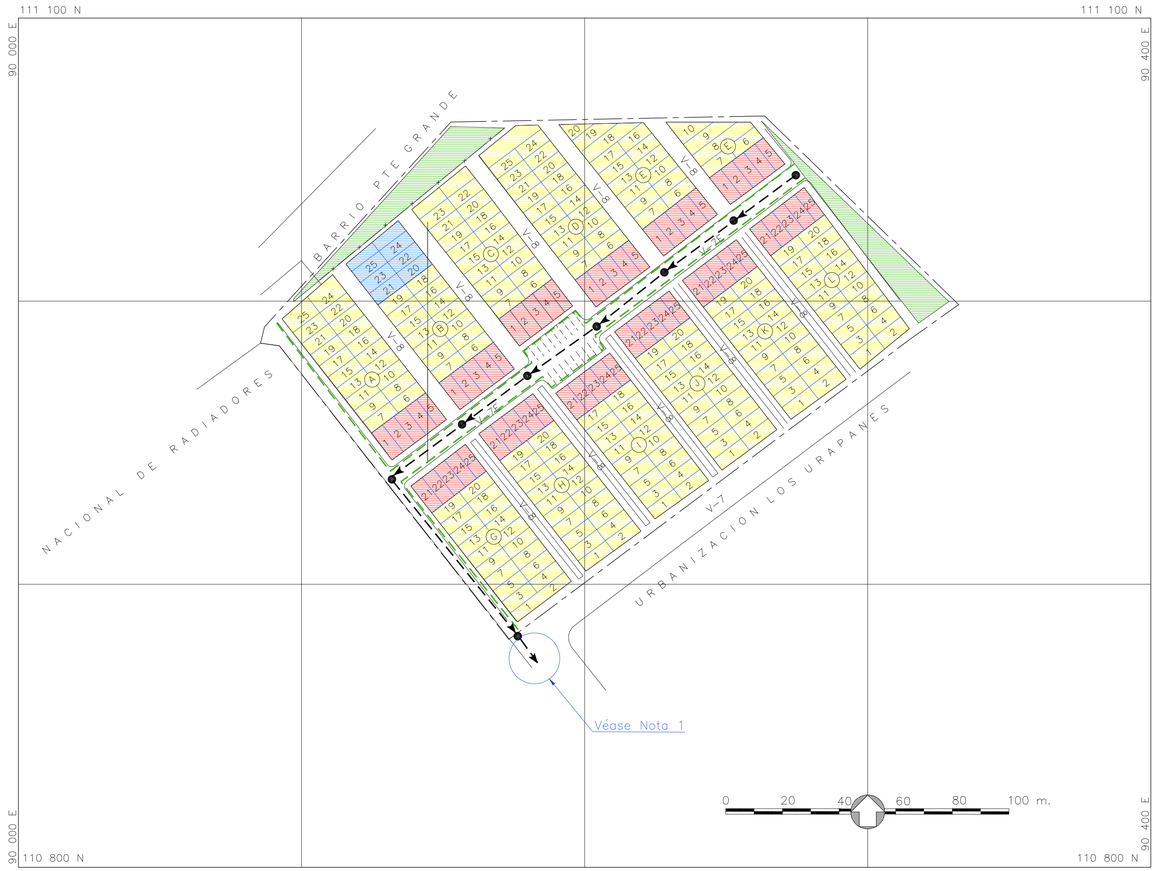
PROYECTO: ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR INUNDACIÓN EN DIFERENTES SECTORES DE SANTA FE DE BOGOTÁ

CONTENIDO: USO ACTUAL DEL SUELO BARRIO PRADOS DE LA ALAMEDA

REVISIONES: 1: 2: 3:

DISEÑÓ:	REVISÓ:	ESCALA:	PLANO No.
M. Cáceres G. Prieto	E. Giraldo	Gráfica	2.14
DIBUJÓ:	APROBÓ:	FECHA:	ARCHIVO:
N. Reyes	G. Cortés	AGOSTO–1998	PRADOS–D.DWG

PLANOS\MAQUI006\HIDROLOG\UPES\PRADOS–D.DWG



ANEXO FOTOGRÁFICO

REFERENCIA

NOTAS:

1. El trazado de las redes del sistema de Alcantarillado de aguas residuales y Acueducto corresponde a la información suministrada por la comunidad.

2. La entrega de la red de aguas residuales del barrio es al pozo de la red de alcantarillado de aguas residuales de la urbanización los Urapanes.

CUADRO DE ÁREAS

Descripción	Junta Comunal		Ingetec S.A.	
	m^2	%	m^2	%
Total Barrio	25.600,00	1,00	26.228,63	100
Vivienda			12.874,33	49,09
Comercio			3.439,30	13,11
Institucional	420,00	1,64	454,71	1,73
Industria				
Zona Verde	702,62	2,74	1.222,43	1,73
Vías			8.237,86	31,41

CONVENCIONES

- Límite de barrio definido por la Consultoría
- Vivienda
- Comercio
- Institucional
- Zonas Verdes
- Alcantarillado Aguas Residuales Existente
- Red de Acueducto Existente

ALCALDÍA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.
UPES-FOPAE

CONSULTOR: INGETEC S.A. INGENIEROS CONSULTORES

CONTRATO No.: 1314-001-98

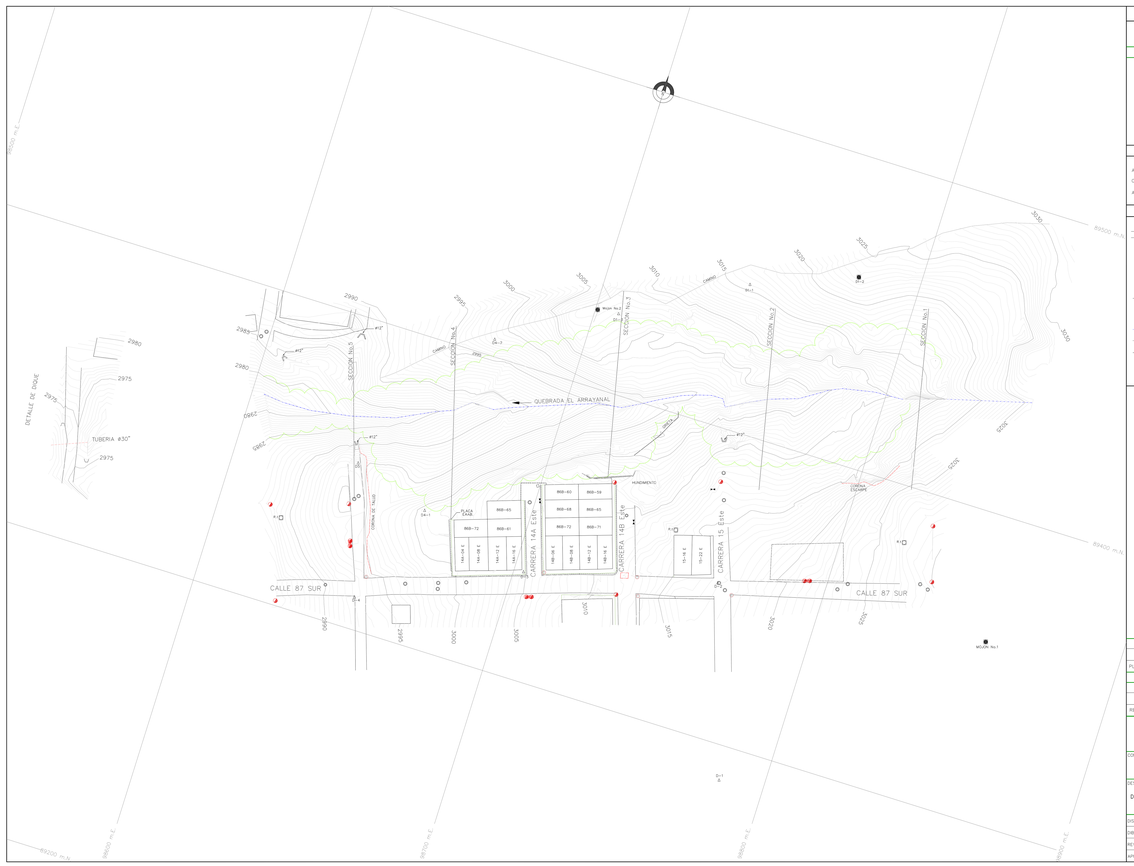
PROYECTO: ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR INUNDACIÓN EN DIFERENTES SECTORES DE SANTA FE DE BOGOTÁ

CONTENIDO: USO ACTUAL DEL SUELO BARRIO VILLA ANDREA

REVISIONES:
1:
2:
3:

DISEÑÓ:	REVISÓ:	ESCALA:	PLANO No.
M. Cáceres G. Prieto	E. Giraldo	Gráfica	2.15
DIBUJÓ:	APROBÓ:	FECHA:	ARCHIVO:
N. Reyes	G. Cortés	AGOSTO-1998	V-ANDREA.DWG

PLANOS\MAQUI006\HIDROLOG\UPES\VIAL.DWG



ESCALA GRAFICA

0 5 10 15 20 m.

ORIGEN DE COORDENADAS

Grid unit:	International metre
Longitude of origin:	74° 04' 51.30" West
Latitude of origin:	04° 35' 56.57" North
Scale factor at origin:	1.0000000000
Grid co-ordinate at origin:	100000.00 E
Grid co-ordinate at origin:	100000.00 N
Semi major axis:	6378388.0000
Flattening (1/f):	1/297.0

NOTAS

AMARRE DE COORDENADAS A LOS PUNTOS IGAC.

CO-571 N = 89.383,171 E = 99.083,917 Z = 3.073,397

AZMUT AL PUNTO CO 572 DE: 153°19'37.952"

CONVENCIONES GENERALES

- VIA SIN PAVIMENTAR
- TRANSFORMADOR
- POSTE TELEFONOS
- POSTE ENERGIA
- CERCA DE ALAMBRE
- ALCANTARILLA
- QUEBRADA
- EJE CUNETA EN CONCRETO
- MALLA METALICA
- MOJON RONDA TECNICA EAAB.
- CURVA DE NIVEL CADA 5m
- CURVA DE NIVEL CADA 1m
- CAJA DE ENERGIA SENCILLA
- BORDE DE MONTE
- VALVULA
- MURO DE CONCRETO
- PARAMENTO
- POZO DE ALCANTARILLADO
- CAMARA DE TELEFONOS
- VERTICE DE POLIGONAL
- MOJON DEL LEVANTAMIENTO
- CAJA POZO DE ALCANTARILLADO

PLANO No.	ARCHIVO	DESCRIPCION

PLANOS DE REFERENCIA

REV	FECHA	DESCRIPCION	POR	APROBO

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS DE BOGOTA

CONTRATISTA: GEOINGENIERIA LTDA

DESCRIPCION:

ESTUDIOS DE RIESGO POR REMOCION EN MASA Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE MITIGACION EN EL BARRIO JUAN JOSE RONDON SECTOR II LA UNION, DE LA LOCALIDAD DE USME EN LA CIUDAD DE BOGOTA D.C.

PLANO DE TOPOGRAFIA AREA DE ESTUDIO

DISEÑO: GEOINGENIERIA LTDA.	FECHA: JULIO-03	ARCHIVO ACAD:	886/PLANOS/ERDDJJR01
DIBUJO: GEOINGENIERIA LTDA.	FECHA: JULIO-03	ESCALA:	1:500
REVISO: GEOINGENIERIA LTDA.	FECHA: JULIO-03	ARCHIVO: ERDDJJR01	ARCHIVO: 3-1 / REV.: 0
APROBO:	FECHA:		