

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE RIESGO GEOLOGICO DE LA LOCALIDAD DE MAITANA ESTADO MIRANDA.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela para
Optar al título de Ingeniero Geólogo
Por las Brs.
Navarro Reina, Marisela
Pereira Castillo, Mónica de los Angeles

Caracas, Noviembre de 2004

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE RIESGO GEOLOGICO DE LA LOCALIDAD DE MAITANA ESTADO MIRANDA.

Tutor académico:
Ing. Armando Díaz Quintero

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela para
Optar al título de Ingeniero Geólogo
Por las Brs.
Navarro Reina, Marisela
Pereira Castillo, Mónica de los Angeles

Caracas, Noviembre de 2004

AGRADECIMIENTO

A dios nuestro señor, padre creador por haber infundado en mi, la fortaleza, la templanza y la paciencia.

A la Universidad Central de Venezuela, por ser mi segunda casa y haberme proporcionado esta gran oportunidad para mi formación profesional.

A nuestro tutor: Ing. Armando Díaz Quintero, gracias por haber sido antes de tutor un segundo padre y gran consejero en los momentos más difíciles y de decaimiento.

A la Escuela de Geología, Minas y Geofísica por su gran aporte en mi formación como profesional y como ser humano.

A mis padres Luis Pereira y Luisa de Pereira, los cuales siempre soportaron mis malas crianzas y me apoyaron infinitamente sin nunca bacilar.

A mis hermanos Luis, Patricia y Sergio, gracias por su gran aporte en todo momento.

A mi sobrina Luisana, a mi tía Reina

A mis ángeles guías, a mis abuelos maternos y paternos que aunque no están en vida se que siempre estuvieron a mi lado.

A Marisela, mi gran amiga y hermana por apoyarme en todo momento y siempre darme animo en los momentos más difíciles y de decaimiento.

A Rocio Navarro por su incondicional colaboración y apoyo. Gracias.

A la comunidad de Maitana en especial a Richard y Gerly, por habernos brindado esta gran oportunidad y su confianza.

A nuestros compañero de campo, los ingenieros Gustavo, Carmen y David.

Al IMME por permitirnos usar el laboratorio de suelos, al Ing Duilio Marcial por su aporte académico e incondicional, a Sergio Rodríguez y Leo.

A mis compañeros de la Escuela de Geología por su apoyo.

Al Ing. Igor por su aporte y ayuda en un momento de gran dificultad.

A Doris Olivar, por su gran paciencia a la hora de elaborar nuestros mapas.

Al Ing. Diego Bautista, gracias por ayudarme a culminar esta meta.

Mónica Pereira.

*“La amistad es un alma que habita en dos cuerpos;
un corazón que habita en dos almas”.*

Aristóteles.

AGRADECIMIENTO

A Dios, nuestro señor por haberme guiado en el camino del saber, por su presencia constante ofreciéndome aliento y perseverancia para continuar mis anhelos.

A la ilustre Universidad Central de Venezuela, por facilitarme todas las herramientas requeridas para lograr alcanzar mis metas.

A mi tutor: Ing. Armando Díaz Quintero, por su incansable apoyo y dedicación exclusiva para lograr una investigación que proporcione aportes documentales necesarios en la sociedad venezolana, por ser un gran consejero y por ser una persona preocupada en verme lograr esta meta.

A la comunidad de Maitana, Estado Miranda, por la gran ayuda proporcionada para el desarrollo efectivo de esta meta.

Al Ing. Duilio Marcial, por todo el aporte y ayuda proporcionada en la realización de los ensayos de suelos en el laboratorio del IMME.

Al IMME, A Sergio Rodríguez y a Leo.

A mis padres, por su apoyo y el esfuerzo que me brindaron en todo momento.

A mis hermanos, por apoyarme y darme fortaleza para no desfallecer.

A mi hermano Paco, aunque no esta en vida, siempre esta a mi lado y se que esta feliz por mí.

A mi amiga Mónica, por su amistad incondicional, por estar conmigo en los momentos más difíciles, por su fortaleza y gran perseverancia.

A Diego, por su amor, su amistad, su ayuda incondicional y apoyo incansable. Por siempre estar allí.

A mis compañeros de estudios, por estar siempre preocupados y proporcionando su apoyo.

A los Ing. Carmen, Gustavo y David, por el gran aporte que proporcionaron a nuestro trabajo.

Al Ing. Igor, por su gran ayuda en un momento de mucha dificultad.

A Doris Olivari, por toda la ayuda proporcionada y paciencia en la elaboración de nuestros mapas.

A mi amiga y compañera de habitación Alejandra por apoyarme y llenarme de fortaleza.

Marisela Navarro.

“La constancia no está en empezar sino en perseverar”

Leonardo de Vinci.

Navarro R. Marisela, Pereira C. Mónica

ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO DE LA LOCALIDAD DE MAITANA, ESTADO MIRANDA

**Tutor Académico: Ing.Armando Díaz Quintero. Tesis.Caracas, UCV. Facultad
de Ingeniería. Escuela de Geología. 2004. # pag.**

Palabras claves: Inestabilidad, vulnerabilidad, amenaza, zonas de riesgo, control y planificación.

Resumen

La localidad de Maitana se encuentra ubicada al noreste del Municipio Guaicaipuro, Estado Miranda. Cuenta con un área de 243 Ha. y una población aproximada de 1700 personas con carencias del tipo socioeconómicas. Es un sector que ha crecido sin ningún tipo de control y planificación trayendo consigo una modificación intensa en el uso del suelo y una concentración de asentamientos humanos en zonas de topografía de fuerte pendiente y zonas propiamente inestables. Se han presentado diversidad de movimientos de remoción en masa o deslizamientos que han generado pérdidas económicas e incomodidad en la población. Es por ello que se hizo necesario realizar una evaluación de la amenaza y vulnerabilidad presente en la zona a fin de generar un mapa de riesgo geológico que permita señalar que zonas son aptas para urbanizar, siguiendo para ello una serie de normativas que controlen esta acción. Ante la limitación en Venezuela de métodos establecidos para reflejar los riesgos geológicos en mapas, a través de esta investigación se propone una gama de criterios simplificados y sencillos que contribuyan de manera efectiva al análisis físico integral de todas las variables que causan inestabilidad. A fin de controlar la acción de los procesos de remoción en masa, se ha propuesto diseñar un sistema de captación y disposición de la escorrentía superficial, adicionalmente este sistema prevé la captación de aguas subterráneas en las laderas.

ÍNDICE

CAPITULO I	
INTRODUCCIÓN.....	1
Justificación e importancia del tema de la Investigación.....	2
Objetivo de General de la Investigación	2
Objetivos Específicos de la Investigación.....	3
Limitaciones.....	4
CAPITULO II	
MARCO REFERENCIAL.....	5
Estabilidad de un talud en un macizo rocoso	8
Terminología.....	35
Mecanismos de rotura	39
Ensayos en el laboratorio.....	39
Ensayos en roca.....	45
Ensayos en suelos.....	54
Coluvión.....	56
Inestabilidad de los coluviones.....	
Método de análisis para el calculo del factor de seguridad de taludes en suelo	57 58
Peligrosidad, riesgo y vulnerabilidad.....	59
Cartografía temática.....	59
Tipos de mapas de peligrosidad y sus contenidos	59
CAPITULO III	
GEOLOGÍA FÍSICA.....	61
Relieve.....	61
Pendientes.....	61
Clima y Vegetación.....	61
Geología y suelo	62
Hidrografía.....	62
Sismicidad.....	64
CAPITULO IV	
GEOLOGÍA REGIONAL.....	67
Faja de la Cordillera de la Costa	67
Faja de Caucagua- El Tinaco	70
Faja de Paracotos	75
Faja de Villa de Cura	76
Faja de Corrimiento	78

CAPITULO V	
GEOLOGÍA LOCAL.....	80
Unidades litológicas.....	80
Geología Estructural Local.....	84
Petrografía.....	85
Resultados de la petrografía de las secciones finas analizadas.....	86
Geología Estructural.....	89
CAPITULO VI	
METODO.....	90
FASE 1: Pre Campo	90
Estudio Fotogeológico.....	91
FASE 2: Campo	99
FASE 3: Trabajo de Laboratorio	99
Método Geológico.....	99
Petrografía.....	100
Métodos Geotécnicos.....	100
Ensayos de caracterización de suelos.....	101
Análisis de estabilidad de taludes en suelos.....	132
Ensayos de caracterización de rocas.....	137
Clasificación geomecánica de un macizo rocoso	139
Índice de Resistencia Geológica GSI.....	139
Índice de la Calidad de la Roca RQD.....	140
Índice de Barton.....	144
Clasificación Geomecánica RMR.....	148
Análisis de Estabilidad en Macizos Rocosos.....	149
Análisis de Estabilidad de Taludes.....	150
FASE 4.....	181
Cartografía Temática.....	182
Mapa Litológico – Estructural.....	182
Mapa Clinométrico.....	183
Mapa de Orientación de Taludes.....	184
Mapa de Proceso Geomorfológico	184
Mapa de Amenaza Geológica	185
Sectorización de la Amenaza	186
Mapa de Vulnerabilidad.....	186
Mapa de Riesgo Geológico.....	189
Sectorización de Riesgo.....	189

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	191
Conclusiones.....	191
Recomendaciones.....	195
REFERENCIAS.....	196
ANEXOS.....	198
1 Resumen de resultados del ensayo por granulometría: Tamizado en seco.....	198
2 Resumen de resultados del ensayo por granulometría: Por hidrómetro.....	211
3 Resumen de resultados del ensayo de límites de consistencia.....	213
4 Resumen de resultados del ensayo para determinar el peso específico.....	214
5 Resumen de resultados del ensayo de consolidación.....	215
6 Resumen de resultados del ensayo para determinar el peso unitario.....	216
7 Resumen de resultados del ensayo de corte directo.....	218
8 Resumen de resultados del ensayo de carga puntual.....	236
9 Resumen de resultados del ensayo Martillo de Smidth.....	239
10 Clasificación de Barton.....	340
11 Resultados obtenidos de la aplicación del programa ROCLAB.....	347
12 Mapas temáticos.....	354

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS

1	Diagramas que indican la persistencia relativa de las discontinuidades.....	19
2	Diagramas que muestran las definiciones sugeridas de la apertura de discontinuidades abiertas y el ancho del relleno de las discontinuidades.....	24
3	Caso de discontinuidades sencillas	26
4	Esquemas de macizos rocosos	32
5	Fuerzas actuantes en una falla planar	37
6	Modos de fallas en macizos rocosos.....	38
7	Esquema del equipo de carga puntual.....	42

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS

8	Vista en nicoles paralelos y nicoles cruzadas de la filita micácea grafitosa.....	87
9	Vista en nicoles cruzadas (superior) y nicoles paralelos (inferior) de la filita cuarzo micácea	88
10	Vista en nicoles cruzadas (superior) y nicoles paralelos (inferior) de la filita micácea grafitosa.....	88
11	Vista de la aerofotografía # 030412 588 ^a (1958).....	92
12	Vista de la aerofotografía # 0304167 599 (1982).....	93
13	Ensayo por Hidrómetro.....	110
14	Cuchara de Casagrande y ranuradores	112
15	Calibración del Picnómetro.....	124
16	Consolidómetro.....	126
17	Equipo de Corte Directo	129
18	Preparación de la muestra en el equipo de corte directo.....	131
19	Representación gráfica del talud (C-MAI- A 11).....	134
20	Representación gráfica del talud (C-MAI- A9).....	135
21	Representación gráfica del talud (C-MAI- A 10).....	136
22	Representación gráfica del talud (C-MAI- A 10).....	137
23	Representación estereográfica del talud QM – 1 – W y sus discontinuidades.....	153
24	Representación estereográfica del talud QM – 1 – E y sus	

discontinuidades.....	154
-----------------------	-----

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS

25	Representación estereográfica del talud QM – 2 – W y sus discontinuidades	155
26	Representación estereográfica del talud QM – 2 – E y sus discontinuidades	156
27	Representación estereográfica del talud QM – 3 – E y sus discontinuidades	157
28	Representación estereográfica del talud QM – 4 – W y sus discontinuidades	158
29	Representación estereográfica del talud QM – 5 – W y sus discontinuidades	159
30	Representación estereográfica del talud QM – 9 y sus discontinuidades	160
31	Representación estereográfica del talud QM – 12 y sus discontinuidades	161
32	Representación estereográfica del talud QM – 16 y sus discontinuidades	162
33	Representación estereográfica del talud QM – 18 y sus discontinuidades	163
34	Representación estereográfica del talud QM – 19 y sus discontinuidades	164
35	Representación estereográfica del talud QM – 21 y sus discontinuidades	165
36	Representación estereográfica del talud QM – 22 y sus discontinuidades	166

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS

37	Representación estereográfica del talud QM – 23 y sus discontinuidades	167
38	Representación estereográfica del talud QM – 24 y sus discontinuidades	168
39	Representación estereográfica del talud QM – 25 y sus discontinuidades	169
40	Representación estereográfica del talud C – MAI – A y sus discontinuidades	170
41	Representación estereográfica del talud C – MAI – 5 y sus discontinuidades	171
42	Representación estereográfica del talud C – MAI – 9 y sus discontinuidades	172
43	Representación estereográfica del talud C – MAI – 12 y sus discontinuidades	173
44	Representación estereográfica del talud N – AUT - A1 y sus discontinuidades	174
45	Representación estereográfica del talud N – AUT – A2 y sus discontinuidades	175
46	Representación estereográfica del talud N – AUT – A3 y sus discontinuidades	176
47	Representación estereográfica del talud N – AUT – A8 y sus discontinuidades	177

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS

48	Representación estereográfica del talud S – AUT – A4 y sus discontinuidades	178
49	Representación estereográfica del talud S – AUT – A6 y sus discontinuidades	179
50	Representación estereográfica del talud COR – A3 y sus discontinuidades	180

LISTA DE TABLAS

TABLAS

1	Conversión del rumbo y buzamiento	15
2	Terminología para la medición del espaciamiento	17
3	Terminología utilizada para la medición de la persistencia en discontinuidades	18
4	Terminología utilizada para describir el grado de meteorización de la roca.....	21
5	Terminología recomendada por ISRM para describir el grado de meteorización de las paredes de las discontinuidades.....	22
6	Terminología utilizada para describir la abertura modal de las discontinuidades.....	23
7	Terminología utilizada para clasificar el material por su tamaño de grano	25
8	Clasificación del contenido de humedad por ISRM.....	28
9	Clasificación del flujo de discontinuidades individuales no rellenas.....	29
10	Descripción del número de familias de discontinuidades de acuerdo con la ISRM.....	30
11	Terminología empleada para describir los diferentes tipos de macizos rocosos.....	31
12	Terminología empleada para describir el tamaño de bloque con su respectivo J_v (diaclasa/m ³).....	33
13	Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).....	48

LISTA DE TABLAS

TABLAS

14	Ensayos aplicados de acuerdo con el tipo de material presente en la zona de estudio.....	101
15	Terminología relacionada con la humedad del material.....	102
16	Terminología relacionada con la forma de las partículas.....	102
17	Terminología relacionada con la angularidad de las partículas en los suelos granulares.....	103
18	Terminología relacionada con la reacción al ácido clorhídrico.....	103
19	Terminología relacionada con la consistencia del suelo.....	104
20	Terminología relacionada con la cementación.....	104
21	Terminología relacionada con la estructura.....	105
22	Terminología relacionada con la plasticidad de la fracción fina de los suelos.....	105
23	Resultados obtenidos del gráfico de A. Casagrande.....	114
24	Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).....	116
24-1	Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).....	117
24-2	Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).....	118
24-3	Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).....	119
24-4	Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).....	120
24-5	Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).....	121

LISTA DE TABLAS

TABLAS

25	Resultados obtenidos para la determinación de la estabilidad de taludes. Monolito 1.Saturada.....	133
25-1	Resultados obtenidos para la determinación de la estabilidad de taludes. Monolito 2.Saturada	134
25-2	Resultados obtenidos para la determinación de la estabilidad de taludes. Monolito 3.Saturada.....	135
25-3	Resultados obtenidos para la determinación de la estabilidad de taludes. Monolito 3.No drenado.....	136
26	Resultados obtenidos a través de la aplicación del RQD.....	142
26-1	Resultados obtenidos a través de la aplicación del RQD.....	142
26-2	Resultados obtenidos a través de la aplicación del RQD.....	143
26-3	Resultados obtenidos a través de la aplicación del RQD.....	143
27	Resultados obtenidos a través de la aplicación del sistema de clasificación de Barton.....	144
27-1	Resultados obtenidos a través de la aplicación del sistema de clasificación de Barton.....	145
27-2	Resultados obtenidos a través de la aplicación del sistema de clasificación de Barton.....	145
27-3	Resultados obtenidos a través de la aplicación del sistema de clasificación de Barton.....	146
27-4	Resultados obtenidos a través de la aplicación del sistema de clasificación de Barton.....	146

LISTA DE TABLAS

TABLAS

28	Resultados obtenidos a traves de la aplicación del sistema de clasificación RMR.....	147
28-1	Resultados obtenidos a traves de la aplicación del sistema de clasificación RMR.....	148
28-2	Resultados obtenidos a traves de la aplicación del sistema de clasificación RMR.....	149
28-3	Resultados obtenidos a traves de la aplicación del sistema de clasificación RMR.....	149
29	Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-1-W.....	152
30	Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-1-W.....	152
31	Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-1-E.....	153
32	Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-2-E.....	154
33	Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-2-E.....	154
34	Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-3-E.....	155
35	Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-3-E.....	156
36	Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-4-W.....	156
37	Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-5-W.....	157
38	Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-5-W.....	158
39	Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-9.....	158

LISTA DE TABLAS

TABLA

40	Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-12.....	159
41	Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-16.....	160
42	Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-18.....	161
43	Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-19.....	162
44	Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-21.....	163
45	Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-22.....	164
46	Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-23.....	165
47	Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-24.....	166
48	Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-25.....	167
49	Condiciones geométricas y geológicas del talud C-MAI-A4.....	168
50	Condiciones geométricas y geológicas del talud C-MAI-A5.....	169
51	Condiciones geométricas y geológicas del talud C-MAI-A9.....	170
52	Condiciones geométricas y geológicas del talud C-MAI-A9.....	171
53	Condiciones geométricas y geológicas del talud C-MAI-A12.....	171

LISTA DE TABLAS

TABLA

54	Condiciones geométricas y geológicas del talud N-AUT-A1.....	172
55	Condiciones geométricas y geológicas del talud N-AUT-A2.....	173
56	Condiciones geométricas y geológicas del talud N-AUT-A2.....	174
57	Condiciones geométricas y geológicas del talud N-AUT-A3.....	175
58	Condiciones geométricas y geológicas del talud N-AUT-A8.....	175
59	Condiciones geométricas y geológicas del talud S-AUT-A4.....	176
60	Condiciones geométricas y geológicas del talud S-AUT-A6.....	177
61	Condiciones geométricas y geológicas del talud COR A3.....	178
62	Resultados en la determinación del factor de seguridad de los taludes en roca.....	180
62-1	Resultados en la determinación del factor de seguridad de los taludes en roca.....	181
62-2	Resultados en la determinación del factor de seguridad de los taludes en roca.....	181

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICOS

1	Gráfico de plasticidad de A. Casagrande.....	113
2	Precipitación media anual para la Cuenca de la Quebrada Maitana En Maitanita.....	63
3	Precipitación media para la Cuenca de la Quebrada Maitana en Maitanita.....	64
4	Esquema de la metodología para la realización de los mapas de amenaza y riesgo.....	189
5	Quebrada Maitana. Muestra 5. Afloramiento 12. Esfuerzo aplicado en dirección perpendicular al plano de foliación.....	363
6	Quebrada Maitana. Muestra 17. Afloramiento 25. Esfuerzo aplicado en dirección paralela al plano de foliación.....	364
7	Corozal. Muestra 1. Afloramiento 1. Esfuerzo aplicado en dirección perpendicular al plano de foliación.....	365
8	Carretera Maitana. Muestra 6. Afloramiento 6. Esfuerzo aplicado en dirección paralela al plano de foliación.....	366

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICOS

9	Carretera Maitana. Muestra 3. Afloramiento 2. Esfuerzo aplicado en dirección perpendicular al plano de foliación.....	367
10	Autopista Regional del Centro. Muestra 4. Afloramiento 4. Esfuerzo aplicado en dirección perpendicular al plano de foliación.....	368
11	Autopista Regional del Centro. Muestra 8. Afloramiento 6. Esfuerzo aplicado en dirección perpendicular al plano de foliación.....	369
12	Monolito 1. Corte directo. Envolvente de falla.	332
13	Monolito 2. Corte directo. Envolvente de falla.	333
14	Monolito 3. Corte directo. Envolvente de falla.	334
15	Monolito 3. Corte directo. Envolvente de falla.	335

Navarro R. Marisela, Pereira C. Mónica

ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO DE LA LOCALIDAD DE MAITANA, ESTADO MIRANDA

**Tutor Académico: Ing.Armando Díaz Quintero. Tesis.Caracas, UCV. Facultad
de Ingeniería. Escuela de Geología. 2004. # pag.**

Palabras claves: Inestabilidad, vulnerabilidad, amenaza, zonas de riesgo, control y planificación.

Resumen

La localidad de Maitana se encuentra ubicada al noreste del Municipio Guaicaipuro, Estado Miranda. Cuenta con un área de 243 Ha. y una población aproximada de 1700 personas con carencias del tipo socioeconómicas. Es un sector que ha crecido sin ningún tipo de control y planificación trayendo consigo una modificación intensa en el uso del suelo y una concentración de asentamientos humanos en zonas de topografía de fuerte pendiente y zonas propiamente inestables. Se han presentado diversidad de movimientos de remoción en masa o deslizamientos que han generado pérdidas económicas e incomodidad en la población. Es por ello que se hizo necesario realizar una evaluación de la amenaza y vulnerabilidad presente en la zona a fin de generar un mapa de riesgo geológico que permita señalar que zonas son aptas para urbanizar, siguiendo para ello una serie de normativas que controlen esta acción. Ante la limitación en Venezuela de métodos establecidos para reflejar los riesgos geológicos en mapas, a través de esta investigación se propone una gama de criterios simplificados y sencillos que contribuyan de manera efectiva al análisis físico integral de todas las variables que causan inestabilidad. A fin de controlar la acción de los procesos de remoción en masa, se ha propuesto diseñar un sistema de captación y disposición de la escorrentía superficial, adicionalmente este sistema prevé la captación de aguas subterráneas en las laderas.

INTRODUCCIÓN

La comunidad de Maitana, ubicada al noreste del Municipio Guaicaipuro, estado Miranda es una comunidad rural que abarca un área de 243 Ha y que pertenece a la Cordillera de la Costa. Se caracteriza por presentar un paisaje montañoso de fuerte pendiente, posee un acuífero con gran capacidad de recarga y cursos de agua como lo es la Quebrada Maitana.

Por su facilidad de acceso vial se ha visto propensa a invasiones con la consiguiente proliferación de viviendas del tipo informal; generándose asentamientos sin un debido control y planificación.

A pesar de pertenecer a la Zona Protectora el Área Metropolitana de Caracas, bajo la clasificación de zona 6 y existiendo unas normativas de uso, existe una escasa vigilancia y control de las autoridades.

Además de este problema, se evidencia una marcada carencia del tipo socioeconómica (en servicios, viviendas, características de la población).

Aunado a esto, el sector sufre problemas de inestabilidad, habiéndose presentado diversidad de deslizamientos que han provocado daños en las viviendas allí localizadas, generando pérdidas monetarias a sus habitantes, dificultándose además el acceso a dicha localidad todo lo cual genera malestar a sus pobladores.

Los habitantes de la comunidad asumieron la problemática existente y a raíz de ello, la junta de vecinos (JUVEMA) solicitó ayuda técnica a la Universidad Central de Venezuela, a fin de solicitar propuestas que permitan solventar los problemas existentes en la zona.

Se hizo solicitud de un estudio de riesgo geológico que permita delimitar las zonas aptas donde puedan desarrollarse de proyectos de urbanismo controlado; así como también, de la delimitación de zonas de alto riesgo a fin de tomar medidas pertinentes que si bien son muy costosas, podrán ser aprovechadas a través de proyectos del tipo agrícola que beneficien a la comunidad.

Dicha solicitud, promovió la realización de este trabajo que será un aporte importante para el beneficio de la comunidad.

El estudio se inicio a través de un reconocimiento de la zona de interés observándose en detalle la problemática existente para la generación de posibles soluciones.

Justificación e importancia de la investigación

La realización de este trabajo de grado surge como respuesta a una solicitud de la comunidad de Maitana ubicada en el Estado Miranda que motivados ante la problemática existente se les hizo imprescindible requerir la ayuda técnica necesaria a la Universidad Central de Venezuela.

Este trabajo permitirá que los habitantes de la comunidad tomen previsiones ante las condiciones de amenaza presentes, organizarse en casos de emergencias, así como también contribuirá a que el desarrollo del urbanismo se lleve cabo bajo normas de ocupación. Se hará necesaria la participación de la comunidad para establecer programas de mantenimiento de los drenajes y taludes.

El interés fundamental radica en que la población pueda mejorar su nivel de vida y así solventar la problemática existente.

Este trabajo representa un aporte metodológico que puede ser aplicado a todo sector que lo requiera, adaptándolo por supuesto a las condiciones naturales que corresponda.

Objetivos de la investigación

Objetivo general

Elaborar un mapa de riesgo geológico en la localidad de Maitana, Estado Miranda a través del procesamiento de información recopilada del tipo geológico, cartográfico y aerofotográfico, así como la generada en la fase de campo.

Objetivos específicos

1- Establecer desde el punto de vista geológico los contactos formacionales intraformacionales aproximados, las estructuras geológicas mayores, trazas y extensión así como también la orientación de los planos estructurales más relevantes.

2- Caracterizar físicamente la zona en estudio, en base a las expresiones topográficas presentes.

3- Establecer a partir del estudio de las fotografías aéreas el área de cobertura, la tendencia evolutiva de la zona y principalmente el análisis de los aspectos relacionados con la geodinámica superficial.

4- Determinar la estabilidad de los taludes en roca y en suelo presentes en la zona de estudio.

5- Identificar las zonas estables e inestables de acuerdo a los resultados obtenidos previamente.

6- Elaborar un mapa de riesgo geológico a través de un análisis físico integral de las variables que causan inestabilidad así como de los efectos expresados en los procesos geomorfológicos.

Limitaciones

- Falta de financiamiento por entes públicos y privados para agilizar el proceso de investigación y la ejecución de ensayos de perforaciones exploratorias en la zona de estudio.

- Escasa información documental sobre los aspectos fundamentales para la elaboración de un mapa de riesgo geológico particularmente en Venezuela por la carencia de métodos preestablecidos que permitan la construcción de este tipo de instrumento de estudio.

- El no poseer un estudio social más detallado de la comunidad donde se evidenciar las debilidades y fortalezas en los ámbitos físico, ambiental, social, económico, político, cultural del sector en estudio.

- Es importante resaltar que este tipo de trabajo de investigación llevado a cabo en un contexto real amerita la participación de otros entes (profesionales, institucionales, gubernamentales y otros) a fin de generar un estudio amplio y global que proporcione aportes significativos de manera efectiva para otros investigadores que se aboquen a este tipo de actividad.

CAPITULO II

Los fundamentos y conceptos teóricos utilizados que permitieron cumplir con los objetivos del presente trabajo de grado son innumerables los cuales serán presentados en este capítulo desarrollando los más relevantes para el cumplimiento de los objetivos señalados anteriormente.

.- Estabilidad de un talud en un macizo rocoso

Motta (1975), señala que durante los últimos años, el fracaso de estructuras sobre masas rocosas ha puesto de manifiesto una serie de problemas relacionados directamente con la estabilidad de taludes en rocas. En este orden de ideas se han reportado las apariciones de grietas de grandes magnitudes, o ha ocurrido colapsos muchas veces catastróficos (falla de Va Jont).

Uno de los primeros signos de inestabilidad en un talud rocoso lo constituye la aparición de grietas de tracción en su cresta o muy cerca de ellas, cuya aparición se debe a una redistribución de esfuerzos y de masas en el interior del macizo rocoso. Esto determina un aumento de los esfuerzos normales y de corte en las discontinuidades. Generalmente la aparición de tales grietas va seguida por un hundimiento de la cresta e hinchamiento al pie del talud, lo cual está determinado por el desarrollo de superficie de ruptura en el interior del macizo.

La estabilidad de un talud en un macizo rocoso, depende de la interrelación de factores de diversas índoles, los cuales se incluyen dentro de los siguientes grupos:

.-Factores Geológicos

Según Motta (1975), los análisis de estabilidad de taludes en macizos rocosos requieren un riguroso conocimiento de la geología estructural del mismo, lo cual implica un estudio de la geometría y naturaleza de las discontinuidades, así como de

un reconocimiento de los posibles modos de falla correspondientes a la orientación de las citadas discontinuidades.

Las discontinuidades en un macizo, tales como estratificación, laminación, así como aquellas de origen tectónico (fallas, diaclasas, foliación, etc.) son determinantes en el comportamiento de los macizos rocosos, y la determinación de la configuración, continuidad y características superficiales de dichas discontinuidades, dependerán del proceso geológico que les dio origen y cualquier superficie de ruptura que se genere en el talud dependerá de la manera como se encuentren distribuidas tales superficies, así como de la resistencia al corte a lo largo de las mismas.

Además de la geología estructural, existen otros factores geológicos importantes y que deben tomarse en cuenta, en los estudios sobre el comportamiento de un macizo de rocoso, entre los que se mencionan la geología histórica, la petrología y la petrografía.

La reconstrucción de la historia de un macizo rocoso es importante puesto que ella suministra información acerca de cuales fueron los procesos geológicos que contribuyeron a su génesis. Por otra parte se pueden obtener indicios acerca de posibles movimientos de cizalla ocurridos a lo largo de las discontinuidades y deslizamientos ocurridos en un pasado geológico y que pueden influir en la estabilidad actual del macizo en cuestión.

.-Factores Mecánicos

Motta (1975) afirma que, no solo es importante conocer la geología estructural, la génesis y la historia de un macizo, ya que los taludes constituyen estructuras tan complejas que no basta solamente con un conocimiento detallado de los factores geológicos para predecir su comportamiento. Obviamente es necesario conocer los parámetros mecánicos de la roca y sus defectos para enfrentar los correspondientes análisis de estabilidad de los taludes sobre ellos implantados.

Los macizos rocosos representan un sistema constituido por elementos de roca que están separados unos de otros por discontinuidades, tales como fallas de

diaclasas, estratificación, foliación, cuyo comportamiento depende en alto grado de las características de sus superficies, así como de la geometría de las mismas. Estas características pueden cuantificarse mediante parámetros geométricos, mecánicos, etc.

El proceso cinemático de ruptura de un talud en un macizo rocoso está influenciado de manera determinante por estos parámetros, en especial por la resistencia al corte, ángulo de fricción, cohesión, dilatación, etc., que dependen de las características superficiales de las discontinuidades.

La presencia de planos de discontinuidad, en el interior de un macizo, es un índice de que éste no es tan resistente como la roca que lo constituye, por tanto un análisis de la fábrica (relación entre los planos de debilidad) junto con observaciones complementarias permiten definir aproximadamente la geometría interna del macizo y suministran información acerca de las propiedades mecánicas de la roca.

Otro de los factores mecánicos determinantes en la estabilidad de un talud es la presión ejercida por el agua que circula a través de éste, sobre las paredes de los canales de circulación, en cuyo caso la estabilidad depende de la permeabilidad del macizo, la cual a su vez está influenciada por las características de la superficie, por el material de relleno y por la separación de las superficies de discontinuidad.

.-Factores Climáticos

Motta (1975) señala que, los factores climáticos juegan un papel importante en el comportamiento de taludes en macizos rocosos y que deben ser tomados en cuenta en los estudios sobre los factores que inciden en la estabilidad de un talud.

Por ejemplo, los cambios bruscos de temperatura contribuyen al fracturamiento de las rocas debido a los procesos de dilatación y contracción a que se encuentran sometidas las mismas. Por otra parte, en muchos lugares, la mayoría de los deslizamientos están asociados con la estación lluviosa, puesto que durante ese periodo las rocas se encuentran sometidas a un régimen de infiltración muy alto,

siempre y cuando existan canales por donde pueda circular el agua a través del macizo, lo cual determina un aumento de las presiones de poro.

En otras regiones de climas más fríos, las bajas temperaturas hacen que el agua que circula en el interior del macizo se congele. Una vez congelada el agua, ésta actúa a manera de cuña ejerciendo fuerzas de tracción que tienden a abrir las grietas aún más, debido a que el agua congelada ocupa más espacio que el agua líquida.

En resumen, los estudios de estabilidad de taludes no constituyen un problema elemental, han sido desarrollados muchos métodos de análisis, cuya aplicación en cada caso requiere un estudio detallado de todas las variantes enumeradas, con el fin de seleccionar el método más adecuado para el cálculo.

La aplicación del método más adecuado en la resolución de problemas de estabilidad, para un talud en particular, no constituye una garantía de que el talud permanecerá estable por tiempo ilimitado, por otra parte, existen problemas de estabilidad de taludes en roca, que están muy lejos de ser resueltos por los ingenieros e investigadores dedicados a tan importante rama de la mecánica de rocas.

.- Terminología

La Sociedad Venezolana de Mecánica del Suelo e Ingeniería de Fundaciones (1983) indica que, uno de los aspectos fundamentales, cuando se describe un macizo rocoso, es utilizar una terminología unificada en cuyo campo, existe un gran número de términos que no admiten confusión alguna, a los cuales no nos referiremos en este trabajo, sin embargo, debido a que en el campo de la mecánica de rocas intervienen geólogos, ingenieros de minas y civiles, indistintamente, existen discrepancias importantes en la terminología, por lo que a continuación se describen las definiciones asociadas a los términos discontinuidades, diaclasas, fallas, fracturas, grietas, fisuras, estratificación y foliación o esquistosidad.

.-Discontinuidad

Piteau (1971) define “discontinuidades estructurales o planos de debilidad” incluyendo cualquier estructura de origen geológico que separa bloques sólidos de un macizo rocoso tales como diaclasas, fallas, etc. Estas estructuras tienen resistencia apreciablemente menor que la roca intacta y constituyen discontinuidades mecánicas en el macizo rocoso.

El mismo autor introduce además el término “discontinuidades mayores o principales como aquellas estructuras que están suficientemente desarrolladas y tienen suficiente continuidad, de tal manera que la falla por corte a lo largo de ella no incluye corte alguno de roca intacta”.

La ISRM, 1975 establece la siguiente definición: “Cualquier superficie a lo largo de la cual cualquier propiedad de un macizo rocoso es discontinua. Esto incluye superficies de fractura, planos de debilidad, planos de estratificación, pero el término no debería ser restringido solamente a continuidad mecánica”.

Posteriormente, en 1981, la misma propone la siguiente definición: “El término general para cualquier discontinuidad mecánica en un macizo rocoso, que tiene una resistencia a la tracción nula o muy baja. Es el término colectivo para la mayoría de las diaclasas, planos de estratificación débiles, planos de esquistosidad débiles, zonas débiles y fallas”.

En base a lo antes expuesto, quizá lo más importante al describir una discontinuidad es que son superficies de debilidad que imparten a la roca una condición de anisotropía de resistencia. En este sentido y para fines descriptivos de este trabajo, el autor utilizará el término genérico “discontinuidad” para referirse indistintamente a diaclasas, fallas, foliación y estratificación, teniendo en cuenta que la resistencia al corte en estas superficies, siempre es menor que la resistencia de la roca intacta que constituye el macizo.

.-Diaclasa (Joint)

La ISRM (1981) (citado en Salcedo 1983), define una diaclasa de la siguiente manera: "Un quiebre o fractura de origen geológico en la continuidad de una roca, a lo largo de la cual no ha habido desplazamiento visible". (En realidad una diaclasa puede tener desplazamiento en sentido perpendicular a su plano). Un grupo de diaclasas paralelas lo denomina "set" que hemos traducido como "familia" y la intersección de familias de diaclasas forma un "sistema". Las diaclasas paralelas a planos de estratificación o foliación, las denominan diaclasas de estratificación o de foliación, respectivamente. Tal como lo expresan en la literatura referente a geología estructural, a pesar de que las diaclasas son tan comunes, son las estructuras más difíciles de analizar, debido a una serie de características típicas. Hay suficientes evidencias de campo que demuestran que las diaclasas pueden desarrollarse en todas las edades de la historia de rocas. En rocas sedimentarias, por ejemplo, las diaclasas pueden desarrollarse en forma temprana después de la sedimentación, aun cuando todavía los sedimentos no se han consolidado totalmente; así mismo, se pueden desarrollar hacia el final de la etapa de compresión tectónica activa y estar asociadas con fallas y pliegues, o pueden desarrollarse mucho después, cuando cesa la etapa de deformación activa. Es más, se considera que para el desarrollo de diaclasas no necesariamente se requiere deformación tectónica. En vista de estas observaciones, se puede ver que las diaclasas no son el resultado de un solo mecanismo.

Otros términos asociados con diaclasas que es conveniente definir se describen a continuación:

.-Diaclasas Maestras

Salcedo (1983) define una diaclasa maestra como las que cortan a través de un gran número de capas o unidades de roca y pueden ser seguidas hasta en longitudes de decenas o cientos de metros. Las diaclasas con un orden de magnitud más pequeño

pero que todavía están bien definidas se llaman “diaclasas mayores” y las de menor longitud e importancia, se denominan “diaclasas menores”.

Desde el punto de vista de la relativa importancia de su frecuencia y tamaño, en algunas localidades se puede ver que una familia de diaclasa es dominante, siendo más grande y/o más frecuente que las otras familias; las más dominantes se denominan “diaclasas primarias” y las otras “diaclasas secundarias”. Estos términos se refieren solamente al grado de desarrollo y no son términos genéticos.

.-Fallas

Salcedo (1983) dice que, es una fractura o zona de fractura a lo largo de la cual ha ocurrido el desplazamiento relativo de un lado respecto a otro. La clasificación de las fallas, lo cual es ampliamente tratado en textos de geología estructural, depende de la relación con las capas que corta, de su buzamiento, desplazamiento y de la mecánica de fallamiento. Desde el punto de vista de estabilidad de taludes en macizos rocosos, las fallas son discontinuidades adicionales con menor resistencia al corte que la roca intacta, a lo largo de las cuales puede haber rotura por corte bajo ciertas condiciones cinemáticas y de niveles de esfuerzos.

.-Grieta

Según Salcedo (1983), el término se utiliza para definir una fractura pequeña.

.-Fisura

Salcedo (1983) afirma que, son grietas pequeñas planares, y se considera que tanto las fisuras como los poros de una roca originan respuestas no lineales en el proceso de carga-deformación a bajos niveles de esfuerzos; asimismo disminuyen la resistencia a la tracción, siendo responsables de la variabilidad y dispersión en los resultados de ensayos.

.-Fractura

Según Salcedo (1983), es el término general para cualquier discontinuidad mecánica en la roca, tales como diaclasas, fallas, grietas, fisuras.

.-Estratificación

De acuerdo con Salcedo (1983), es una superficie característica de rocas sedimentarias que separa capas de igual o diferente litología. Estas superficies también pudieran estar presentes en rocas metamórficas que se hayan originado por metamorfismo de rocas sedimentarias.

.-Foliación o esquistosidad

La ISRM (1981) establece que, son superficies penetrativas, desarrolladas por orientación de minerales durante el metamorfismo, perpendiculares a la dirección del esfuerzo máximo. Aun cuando no existe un criterio único en la literatura especializada en geología estructural, el término esquistosidad se utiliza cuando las superficies paralelas individuales que constituyen la roca, son apreciables y distinguibles a simple vista. Para rocas de granos más finos se utiliza el término foliación.

.- Mineralogía, litología y meteorización

Encarta (2003), establece la siguiente definición de mineralogía: “Identificación de minerales y estudio de sus propiedades, origen y clasificación”.
(p.s.n)

Visor (1999), Define litología:”Ciencia que estudia las características y la clasificación de las rocas. Para ello se vale del reconocimiento a simple vista,

basándose principalmente en el color, la textura, estructura, granulometría y composición mineralógica”. (p.s.n)

Visor (1999), define meteorización como:”Conjunto de procesos externos que modifican las formas de la superficie terrestre. Comprende la desintegración y la descomposición de las rocas por procesos físicos, químicos y biológicos”. (p.s.n)

Salcedo (1983), los constituyentes minerales, el tipo de roca y su grado de meteorización son factores asociados a la estabilidad de un talud en roca.

Rocas diferentes y los productos de su alteración tienen debilidades y resistencias diferentes; por ejemplo, el arreglo litológico y estructural de una secuencia sedimentaria es muy diferente al de rocas ígneas y metamórficas.

Los procesos de meteorización de una roca dan como resultados minerales diferentes a los de la roca original de propiedades y comportamiento distinto, afectando, por ejemplo, su peso específico, la densidad seca y su resistencia a los esfuerzos.

Cada tipo particular de roca se caracteriza por una cierta textura, resistencia cohesiva, macro y micro-estructura. Lo más importante de las propiedades de una roca es la naturaleza de los minerales y la resistencia de los constituyentes. Una roca no puede ser resistente si sus componentes minerales son débiles; por otro lado, si los minerales son resistentes, la roca puede todavía ser débil debido a una fábrica desfavorable.

Rocas que contienen minerales solubles tales como la halita (sal), el yeso, calcita y la dolomita, son particularmente susceptibles a la disolución y a la alteración física, particularmente cuando ocurren cambios en la mesa de agua. A lo largo de las discontinuidades puede ocurrir debilitamiento debido a la naturaleza soluble de ciertos materiales que rellenan diaclasas. Asimismo, las fluctuaciones en la mesa de agua pueden contribuir a alteración y cambios periódicos en las propiedades mecánicas. Feda (1966), ha publicado resultados mostrando que en gneises y esquistos altamente meteorizados, la fluctuación de la mesa de agua causó una reducción en la cohesión y el modulo de deformación de $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{3}$ de su valor original.

Los cambios en el contenido de humedad pueden originar presiones de expansión peligrosas.

Muchos deslizamientos han sido atribuidos a la baja cohesión y fricción de minerales tales como grafito, talco, clorita, sericita.

Los cambios en el contenido de humedad también pueden producir el quiebre y rotura de rocas debido a la acción de “resquebrajamiento”. Este fenómeno es muy típico de algunas lutitas.

.-Descripción de las discontinuidades

Salcedo (1983) afirma que, las discontinuidades de un macizo rocoso pueden ser descritas mediante la observación de afloramientos, mediante la observación de núcleos provenientes de perforaciones y por métodos de fotogrametría terrestre. En este trabajo se hace mayor énfasis en la obtención de la información requerida de afloramientos, tomando como base los métodos sugeridos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, ISRM 1981.

.-Orientación de las discontinuidades

De acuerdo a Salcedo (1983), se determina mediante el uso de una brújula con clinómetro, definiendo el buzamiento (ángulo que forma la recta de máxima pendiente del plano con la horizontal) y la dirección de buzamiento medida desde el Norte en el sentido de las agujas del reloj.

En Venezuela, es más corriente en el trabajo geológico el uso de los términos rumbo y buzamiento. De manera de realizar una conversión rápida de un término a otro se ha preparado la siguiente tabla que será de utilidad para estos fines:

Tabla 1: Conversión del rumbo y buzamiento

RUMBO	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO
NE	S	90 + rumbo
NE	N	270 + rumbo
NW	S	270 - rumbo
NW	N	90 - rumbo
NS	E	90
NS	W	270
EW	N	0
EW	S	180

Los resultados de las mediciones de orientación de campo para una “región estructural” (región con propiedades similares), pueden ser representados de diferentes formas:

- a) En mapas geológicos mediante simbología ampliamente conocida.
- b) Mediante perspectivas en bloques diagramáticos donde se puede observar la relación entre la distribución espacial de las discontinuidades y la obra civil.
- c) Mediante las denominadas rosetas de discontinuidades donde se representa el rumbo de las mismas.
- d) Mediante diagramas de polos, utilizando generalmente la red de proyección equiareal.
- e) En proyecciones hemisféricas (equiareal o equiangular), representando la envolvente de todas las medidas de campo.

.- Espaciamiento de las discontinuidades

Salcedo (1983), el espaciamiento de discontinuidades adyacentes controla el tamaño de bloques individuales de roca intacta. En la medida que la frecuencia de fracturas es mayor, la cohesión global del macizo es menor. Así mismo una roca

fuertemente fracturada, por ejemplo, puede cambiar el modo de falla del macizo de translacional a circular. El espaciamiento de discontinuidades individuales tiene una gran influencia en la permeabilidad y características de flujo de macizo rocoso. Así vemos que en general la conductividad hidráulica de un sistema de fractura, será inversamente proporcional al espaciamiento, si la abertura de discontinuidades individuales es comparable.

Para medir el espaciamiento se utiliza una cinta métrica de 3 metro de longitud mínima, graduada en milímetros, y una brújula. La cinta se coloca de tal forma que sea aproximadamente perpendicular al sistema de discontinuidad a ser medido. Seguidamente se registran todas las distancias entre discontinuidades adyacentes a lo largo de una longitud mínima de 3 metros, a menos que el espesor de la masa rocosa observada sea menor de 3 metros. En general la longitud de muestreo debe ser preferiblemente mayor que diez veces el espaciamiento medido. Las distancias deben ser medidas dentro de un 5% de sus valores absolutos. Finalmente se mide con una brújula el ángulo más pequeño (α) entre la cinta de medición y el sistema de discontinuidad, con un error no mayor de 5 grados.

El espaciamiento más frecuente (espaciamiento modal) se calcula por la siguiente ecuación:

$$S: dm.\text{sen}(\alpha)$$

Donde dm es la distancia medida más común.

Los resultados deben ser presentados indicando el espaciamiento modal máximo y el mínimo; la siguiente terminología ha sido recomendada por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (SIMR):

Tabla 2: Terminología recomendada por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (SIMR) para la medición del espaciamiento en las discontinuidades.

DESCRPCIÓN	ESPACIAMIENTO
Extremadamente cerrado	< 20 mm.
Muy cerrado	20-60 mm.
Cerrado	60-200 mm.
Moderado	200-600 mm.
Espaciado	600-2000 mm.
Muy espaciado	2000-6000 mm.
Extremadamente espaciado	> 6000 mm.

El espaciamiento puede ser expresado como el inverso del número de discontinuidades por metro que es lo que se denomina frecuencia.

.-Persistencia de la discontinuidad

Según Salcedo (1983), este término describe la extensión areal o el tamaño de la discontinuidad. Se considera como uno de los parámetros más importantes del macizo rocoso pero uno de los más difíciles de cuantificar. Las discontinuidades de un “set” particular pueden ser más continuas que otras. De esta forma los “sets” menores tienden a terminar contra los “sets” de fracturas principales o pueden terminar en roca sólida.

La determinación de la persistencia es de gran importancia, principalmente en aquellas discontinuidades orientadas en forma desfavorable a la estabilidad, ya que el grado de persistencia determinaría el grado al cual se produciría rotura de la roca intacta a lo largo de la superficie de falla.. En general, un macizo con discontinuidades poco persistentes tendrá una gran resistencia inherente, mientras que un macizo con discontinuidades 100% persistentes, tendrá una debilidad inherente y la falla ocurrirá a magnitudes de esfuerzos mucho menores que los requeridos para cortes de roca intacta.

Para medir la persistencia se requiere una cinta métrica de 10 metros de longitud mínima. El procedimiento para medir la persistencia es el siguiente:

A.- Los afloramientos deben, en primer lugar, ser descritos en base a la persistencia relativa de las diferentes discontinuidades, en tres grupos: persistente, sub.-persistente y no-persistente.

B.- Se deben hacer esfuerzos para medir las longitudes de las discontinuidades en dirección del rumbo y en la dirección del buzamiento, en el caso de afloramientos limitados a un solo plano de exposición es imposible obtener estos datos.

Las longitudes modales indicadas para cada familia de discontinuidades pueden ser descritas como sigue:

Tabla 3: Terminología utilizada para la medición de la persistencia en discontinuidades.

Muy baja persistencia	<1 m.
Baja persistencia	1-3 m.
Persistencia media	3-10 m.
Alta persistencia	10-20 m.
Muy alta persistencia	> 20 m.

C.- Es recomendable registrar el tipo de terminación de la discontinuidad.

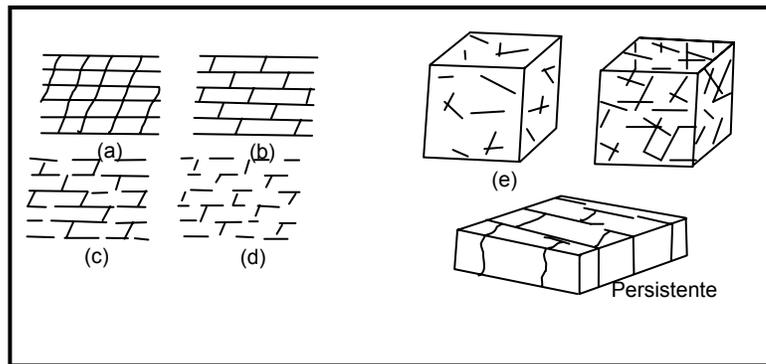


Figura 1. Diagramas que indican la persistencia relativa de las discontinuidades. Tomado de Análisis comparativo de los métodos de estabilidad de taludes y su control. p 3 – 11 (1993)

.- Rugosidad

Encarta (2003), define rugosidad como: "Calidad de rugoso. Que tiene pliegues u ondulaciones".

De acuerdo a Salcedo (1983), se reconocen dos "ordenes" para clasificar las rugosidades de la pared de una discontinuidad, las cuales afectan las características de movimiento o la resistencia al corte de las discontinuidades. Las rugosidades mayores o de escala de primer orden son denominadas "ondulaciones". Por su dimensión, es poco probable que sean cizalladas; para propósitos prácticos son ondulaciones en un plano. Las rugosidades de segundo orden, se denominan asperezas. Estas son suficientemente pequeñas y podrían ser cizalladas durante el movimiento a lo largo del plano de la discontinuidad.

En los análisis de estabilidad, se considera que el efecto de la ondulación puede influir en la dirección del desplazamiento de corte del bloque deslizante con respecto al plano promedio de discontinuidad. En términos generales, la pared de la discontinuidad puede presentar la ondulación que generalmente causa dilatación durante el desplazamiento de corte, así como también la rugosidad (a pequeña escala), la cual tiende a ser dañada durante el desplazamiento de corte, a menos que

las paredes de la discontinuidad posean alta resistencia y/o los niveles de esfuerzos sean tan bajos que solo ocurre dilatación. Si se conoce la dirección del deslizamiento, las asperezas y ondulaciones deben ser medidas en tres dimensiones en lugar de dos. El propósito de las mediciones de los perfiles de las paredes de las discontinuidades es estimar la resistencia al corte.

.-Términos descriptivos de la rugosidad

Salcedo (1983), cuando se realizan estudios preliminares o en etapa de factibilidad y no se necesita mayor precisión, la descripción de las rugosidades puede ser limitada a términos descriptivos en base a dos escalas de observación: pequeña escala (cm.); escala intermedia (m).

Los siguientes grupos han sido recomendados por la ISRM (1981).

- I Rugosa (irregular) escalonada
- II Lisa, escalonada
- III Pulida (Slickensided), escalonada
- IV Rugosa (irregular), ondulada
- V Lisa, ondulada
- VI Pulida (Slickensided), ondulada
- VII Rugosa (irregular), planar
- VIII Lisa, planar
- IX Pulida (Slickensided), planar

El término “slickensided” es utilizado solamente si hay evidencias claras de previos desplazamientos de corte a lo largo de la discontinuidad.

.-Descripción del grado de meteorización del macizo rocoso

El grado de meteorización se refiere al grado de alteración del macizo; ya que la meteorización da como resultado una disminución de la competencia de la roca desde el punto de vista ingenieril.

Salcedo (1983), corresponde al macizo rocoso como un todo y propone la siguiente tabla donde se muestra los términos descriptivos usados para referirse al grado de meteorización de la roca.

Tabla 4: Terminología utilizada para describir el grado de meteorización de la roca.

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN	GRADO
Fresco	No hay señales visibles de meteorización. Si acaso una tenue decoloración en superficies de discontinuidades más desarrolladas.	I
Levemente meteorizado	Decoloración indica meteorización de la roca intacta y superficies de discontinuidad. La roca puede estar algo más débil externamente, que en condición fresca.	II
Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad de roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo. La roca puede estar presente fresca o descolorada como un enrejado discontinuo o en forma de pedazos individuales.	III
Altamente meteorizado	Más de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo.	IV
Completamente meteorizado	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado. La estructura del macizo original está prácticamente intacta.	V
Suelo residual	Todo el material rocoso está descompuesto o desintegrado el suelo. La estructura del macizo original y su textura ha sido destruida. Hay un gran cambio de volumen, pero el suelo no ha sido transformado.	VI

.-Grado de meteorización de las paredes de la roca

Goodman (1976), se refiere al grado de meteorización de las paredes de discontinuidades individuales o de un sistema particular que podría ser un plano de deslizamiento potenciado. La ISRM ha recomendado la siguiente descripción:

Tabla 5: Terminología recomendada por la ISRM para describir el grado de las paredes de las discontinuidades.

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN
Fresco	Rocas sin señales visibles de meteorización.
Decolorada	El color fresco de la roca original ha cambiado. El grado de cambio de color debe ser indicado y si está confinado a constituyentes minerales particulares.
Descompuesta	La roca se ha meteorizado a la condición de un suelo en el cual la estructura original está todavía intacta, pero alguno de los granos minerales se han descompuesto.
Desintegrado	La roca se ha meteorizado a la condición de un suelo en el cual la estructura original está todavía intacta. La roca es friable pero los granos minerales no se han descompuesto.

Pruebas índices manuales

Goodman (1976), afirma que en las paredes de las discontinuidades, deben ser realizadas las siguientes pruebas manuales:

.- Prueba con el dispositivo de Schmidt

Goodman (1976), este dispositivo portátil, también denominado Martillo de Schmidt, determina la dureza al rebote de la roca intacta. Su descripción detallada puede verse en los métodos sugeridos por la ISRM, (1981). El Martillo de Schmidt está constituido por un vástago de acero sobre el que golpea una masa impulsada por un resorte de energía determinada. El índice de Schmidt se determina por el rebote de la masa sobre el punzón que está en contacto con la roca. Existen varios modelos de acuerdo a la energía de impacto, sin embargo, el que recomienda las normas es el martillo tipo” L “que tiene una energía de 0.74 Nm. El impacto se aplica sobre una superficie limpia de la roca, perpendicular a la discontinuidad. La prueba puede hacerse bajo condiciones saturadas que da el valor más conservador, y bajo

condiciones secas. Especial cuidado se debe tener en evitar que el impacto mueva la superficie que está siendo ensayada pues el rebote medido será artificialmente bajo; estos resultados deben descartarse.

Cada superficie debe ser ensayada como mínimo 10 veces, aplicando el martillo a un nuevo sitio de la superficie, antes de cada impacto. Las 5 lecturas más bajas de cada grupo de 10 se descartan y se anota el valor promedio “R” de las 5 lecturas más altas. El rebote de Schmidt normalmente está en un rango de 10 a 60; los números más bajos se obtienen en rocas “débiles”. Rocas “muy débiles” y “extremadamente débiles” no pueden ser ensayadas con el martillo tipo “L”.

Con los resultados del rebote de Schmidt y la densidad de la roca se puede estimar la resistencia a la compresión de la pared de la discontinuidad.

.- Abertura

Goodman (1976), la abertura es la distancia perpendicular que separa las paredes adyacentes de una discontinuidad abierta. Los métodos sugeridos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Roca limita el término “abertura” a discontinuidades abiertas donde el espacio es aire o agua; cuando se trata de una discontinuidad abierta y rellena con arcilla, por ejemplo, utilizan el término “ancho”. La abertura modal de las discontinuidades debe ser determinada y descrita utilizando los siguientes términos:

Tabla 6: Terminología utilizada para describir la abertura modal de las discontinuidades.

ABERTURA	DESCRIPCION
< 0.1 mm	Muy cerrada
0.1 – 0.25 mm	Cerrada
0.25 – 0.5 mm	Parcialmente abierta
0.5 – 2.5 mm	Abierta
2.5 – 10 mm	Moderadamente ancha
10 mm	Ancha
1 – 10 cm.	Muy ancha
10 – 100 cm.	Extremadamente ancha
> 1 m	Cavernosa

Las discontinuidades individuales que tengan abertura mucho mayores que el valor modal, deben ser cuidadosamente descritas indicando su localización y datos de orientación.

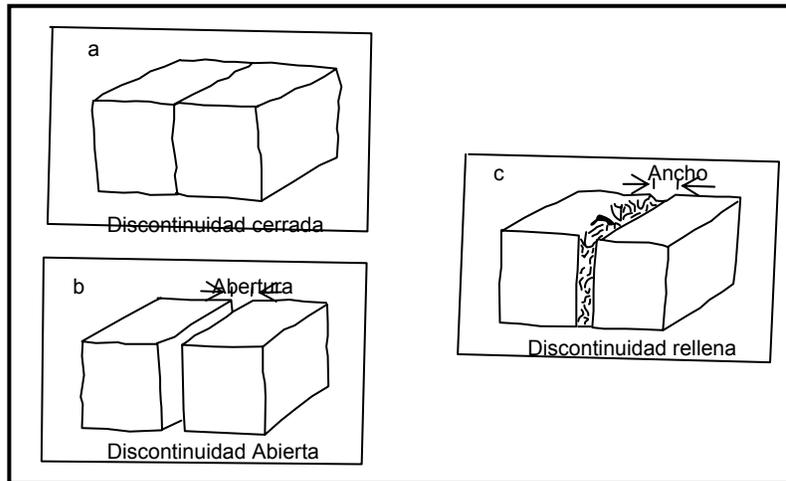


Figura 2. Diagramas que muestran las definiciones sugeridas de la apertura de discontinuidades abiertas y el ancho del relleno de las discontinuidades. Tomado de Análisis comparativo de los métodos de estabilidad de taludes y su control. p 3 – 26 (1993)

.- Relleno

Goodman (1976), este término describe el material que se encuentra separando las paredes adyacentes de una discontinuidad, por ejemplo: Calcita, cuarzo, clorita, yeso, arcilla, limo, brecha de falla, etc. La distancia perpendicular entre las paredes de la discontinuidad se llama “ancho de la discontinuidad rellena”.

En general la descripción de campo debe ser organizada de forma tal que incluya los siguientes factores:

a.- Geometría

Goodman (1976), el ancho se mide el mínimo y el máximo y se estima el ancho modal.

Goodman (1976), la rugosidad de la pared se puede medir determinando su amplitud promedio y compararla con el ancho promedio. Estos datos son de utilidad cuando se estudian las características de resistencia y deformación en forma muy detallada.

b.- Tipo de relleno

Goodman (1976), se refiere a la mineralogía; como a la fracción más fina de un relleno generalmente controla la resistencia al corte a largo plazo. Por lo tanto se debe determinar la composición mineralógica de los materiales más finos, especialmente en los casos donde se sospecha la presencia de arcillas activas o expansivas.

Goodman (1976), tamaño de partícula; una descripción cuantitativa muy general de la granulometría de los rellenos de discontinuidades puede realizarse estimando los porcentajes de arcillas, limo, arena y fragmentos de roca (+/- 10%). En esta tabla se presenta la escala de Wentworth donde se clasifica el material por su tamaño de grano.

Tabla 7: Terminología utilizada para clasificar el material por su tamaño de grano (escala de Wentworth).

TÉRMINO	DIÁMETRO (MM)
Peñones	200 - 600
Peñas	60 - 200
Grava gruesa	20 - 60
Grava media	6 - 20
Grava fina	2 - 6
Arena gruesa	0.6 - 2
Arena media	0.2 - 0.6
Arena fina	0.06 - 0.2
Limo, arcilla	< 0.06

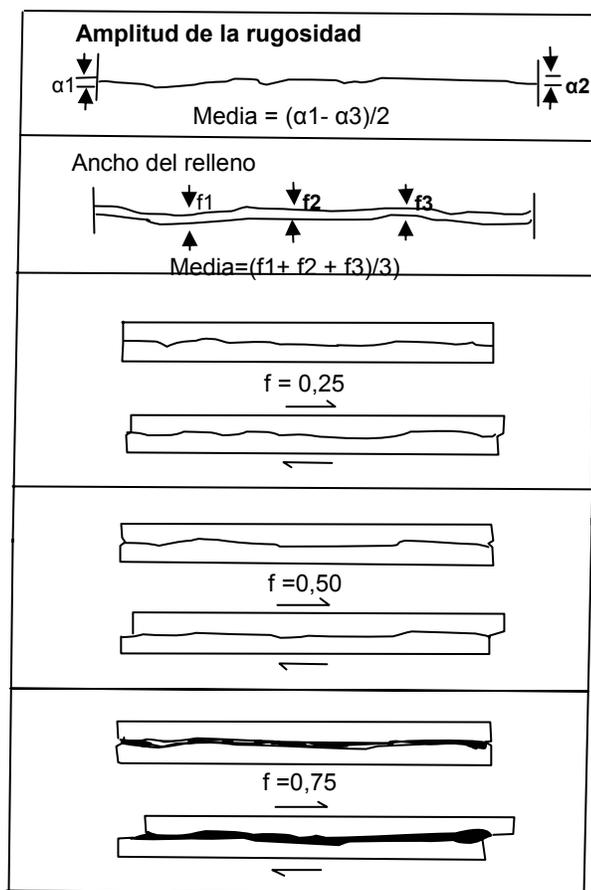


Figura 3. En el caso de discontinuidades sencillas, la amplitud de la rugosidad y el espesor del relleno pueden ayudar a estimar la cantidad del desplazamiento al corte requerido. Tomado de *Análisis comparativo de los métodos de estabilidad de taludes y su control*. p 3 – 28 (1993)

-Grado de meteorización

Goodman (1976), las discontinuidades rellenas que se han originado como resultado de meteorización preferencial a lo largo de las discontinuidades, pueden tener relleno de roca descompuesta o roca desintegrada. Los términos se definen como siguen:

. Descompuesta: La roca está meteorizada a la condición de un suelo en el cual se conservan las estructuras originales pero algunos o todos los granos minerales se han descompuesto.

. Desintegrada: La roca está meteorizada a la condición de un suelo en el cual se conservan las estructuras originales. La roca es friable pero los granos minerales no están descompuestos.

c.- Resistencia del relleno

Goodman (1976), los índices manuales a utilizar son los indicados anteriormente; así mismo se puede utilizar un penetrómetro de bolsillo para suelo.

- Resistencia al corte

Goodman (1976), en casos específicos puede ser necesario tomar muestras imperturbadas del relleno para realizar ensayos de resistencia al corte tales como corte directo, triaxial, etc.

- Relación de preconsolidación (O.C.R.) y desplazamiento previo

Goodman (1976), la ocurrencia de desplazamientos previos puede ser evidenciada por la presencia de estrías, zonas cizalladas y pulidas. Si este es el caso, la estimación del O.C.R de los materiales arcillosos no es tan importante debido que la discontinuidad estará muy cerca de la resistencia residual. Sin embargo, sino se encuentran indicio de desplazamiento, el O.C.R es importante ya que la resistencia pico drenada de la arcilla intacta puede ser mucho más alta que la resistencia residual.

d.- Humedad y permeabilidad

Goodman (1976), La Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas ha propuesto describir el contenido de humedad y la permeabilidad del relleno de la discontinuidad de acuerdo a la siguiente clasificación:

Tabla 8: Clasificación del contenido de humedad por la sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM).

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
W1	Los materiales del relleno están muy pre-consolidados y secos; es difícil que haya un flujo significativo debido a la muy baja permeabilidad.
W2	Los materiales de relleno están mojados pero no existe agua libre
W3	Los materiales de relleno están húmedos; Hay gotas ocasionales de agua.
W4	Los materiales de relleno muestran signos de lavado; hay flujo continuo de agua (estimar litros/min.).

.- Flujo

Goodman (1976), el flujo a través de macizos rocosos ocurre principalmente a lo largo

de discontinuidades; esto es debido a lo que se denomina “permeabilidad secundaria”. Hay casos, sin embargo, como por ejemplo algunas rocas sedimentarias, en que la “permeabilidad primaria” puede ser significativa, de forma que una gran parte del flujo ocurre a través de los poros de la roca intacta. El flujo de discontinuidades individuales no rellenas, puede establecerse de acuerdo a la siguiente descripción:

Tabla 9: Clasificación del flujo de discontinuidades individuales no rellenas.

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
I	La discontinuidad es muy cerrada y seca; no parece posible flujo a lo largo de ella.
II	La discontinuidad está seca sin evidencia de flujo de agua.
III	La discontinuidad está seca pero muestra evidencia de flujo de agua. Ejemplo mancha de oxidación.
IV	La discontinuidad está mojada pero no hay agua libre.
V	La discontinuidad muestra flujo; ocasionalmente hay gotas de agua pero no hay flujo continuo.
VI	La discontinuidad muestra flujo continuo de agua (estimar litros/min. Y describir presión relativa).

Las discontinuidades rellenas pueden ser descritas de acuerdo a lo indicado en humedad y permeabilidad de materiales de relleno.

.- Número de familias (sets)

Goodman (1976), tanto el comportamiento mecánico como la apariencia del macizo rocoso son dominados por el número de familias de discontinuidades que se interceptan entre sí. El comportamiento mecánico se afecta porque el número de familias determina la extensión en la cual el macizo rocoso puede deformarse, sin que ocurra rotura de la roca intacta. La apariencia del macizo es afectable porque el número de familias determina el grado de “sobreeexcavación” que tiende a ocurrir cuando se excava con explosivos.

En el análisis de la estabilidad de taludes en roca, el número de familias puede ser un factor dominante aunque la orientación de las discontinuidades respecto a la superficie libre se considera de primaria importancia. Un gran número de discontinuidades pueden cambiar el modo potencial de falla de translación o volcamiento rotacional o circular.

En el campo se debe distinguir entre diaclasas sistemáticas y no sistemáticas. Las primeras son en general persistentes con discontinuidades individuales paralelas o sub.-paralelas, mientras que las no-sistemática se presentan en forma aleatoria.

La ISRM 1981 (citado en Salcedo 1983), sugiere describir el número de familias que ocurren localmente a lo largo de un túnel de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 10: Descripción del número de familias de discontinuidades de acuerdo con la ISRM.

I	masivo; discontinuidad ocasional aleatoria.
II	1 familia.
III	1 familia más una aleatoria.
IV	2 familias
V	2 familias más una aleatoria
VI	3 familias
VII	3 familias más una aleatoria.
VIII	4 o más familias.
IX	Roca triturada.

El número de familias de diaclasas es uno de los factores que incluyen algunas clasificaciones de macizos rocosos con fines de ingeniería.

.- Tamaño de bloque

Goodman (1976), el tamaño de bloque también es un factor indicador del comportamiento del macizo rocoso. Las dimensiones de los bloques están determinadas por el espaciamiento, el número de sistemas y la persistencia de las discontinuidades. El número de familias y la orientación determina la forma de los bloques resultantes que pueden tener diferentes formas tales como cúbicas, romboédrica, tetraédrica, laminar, etc.

Las propiedades combinadas de “tamaño de bloque” y la resistencia al corte entre los bloques determinan el comportamiento mecánico del macizo rocoso bajo un nivel dado de esfuerzos. Los macizos rocosos compuestos de grandes bloques tienden

a ser menos deformables y en el caso de construcciones subterráneas, desarrollan un efecto de arco favorable. En el caso de taludes un “tamaño de bloque” pequeño puede originar que el modo potencial de falla se asemeje al de un suelo. (Ej. Circular o rotacional). En casos excepcionales el tamaño de bloque puede ser tan pequeño que puede ocurrir flujo.

La descripción del macizo rocoso como un todo puede realizarse de acuerdo a la siguiente descripción:

Tabla 11: Términos empleados para describir los diferentes tipos de macizos rocosos.

TÉRMINO	DESCRPCIÓN
Masivo	Pocas discontinuidades o espaciamiento muy ancho.
En bloque	Aproximadamente equidimensional
Tabular	Una dimensión considerablemente más pequeña que las otras dos.
Columnar	Una dimensión considerablemente más grande que las otras dos.
Irregular	Amplia variación de tamaño de bloque y forma.
Triturada	Severamente diaclasada a “cubitos de azúcar”.

La ISRM 1981 (citado en Salcedo 1983), define dos parámetros denominados “Índice de tamaño de bloque (Ib)” y “Conteo volumétrico de diaclasas (Jv)”, para caracterizar cuantitativamente a un macizo rocoso.

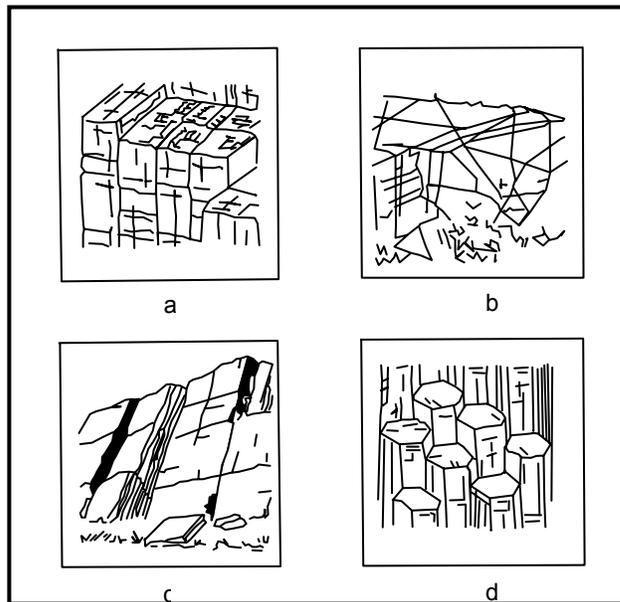


Figura 4. Esquemas de macizos rocosos: a) en bloques b) irregular c) tabular d) columnar. Tomado de ISRM. p 161. (1981)

a.- Índice de tamaño de bloque (Ib)

Goodman (1976), Se estima seleccionando a simple vista varios bloques típicos y midiendo sus dimensiones promedio. Su objetivo es representar las dimensiones promedio de bloques de roca típicos.

Cada sitio de medición debe ser caracterizado por un índice modal (Ib) y un rango que indique el índice típico más grande y el más pequeño. El número de familias de discontinuidades debe ser registrado paralelamente con Ib, debido a que si solamente existe una o dos familias, cualquier intento para convertir Ib a “volúmenes” puede ser irreal.

En el caso de rocas sedimentarias donde existan dos familias de diaclasas perpendiculares más la estratificación, Ib es correctamente definido por:

$$Ib: S1+S2+S3/3$$

Donde S1, S2 Y S3, son los espaciamientos modales de cada discontinuidad.

b.- Control volumétrico de diaclasas

Goodman (1976), se define como la suma del número de diaclasas por metro para cada sistema presente. Las discontinuidades aleatorias también pueden ser incluidas, pero generalmente tienen poco efecto en los resultados. Es recomendable que el conteo se realice en una longitud de 5 a 10 m. para expresar los resultados como número de diaclasas por metro. El observador debe estar colocado viendo la dirección del rumbo de cada sistema de diaclasa y contar perpendicularmente al rumbo, de manera de evitar el factor de corrección angular.

Los términos descriptivos siguientes dan una impresión del correspondiente tamaño de bloque:

Tabla 12: Terminología empleada para describir el tamaño de bloque con su respectivo J_v (diaclasa/m³).

DESCRIPCIÓN	J_v (diaclasas/m ³)
Bloques muy grandes	< 1
Bloques grandes	1-3
Bloques de tamaño mediano	3-10
Bloques pequeños	10-30
Bloques muy pequeños	>30

Valores de $J_v > 60$ representarían a la roca triturada.

El cálculo de J_v está basado en los espaciamientos promedio y no en los espaciamientos modales. Generalmente ambos resultados son similares, pero el espaciamiento tiende a tener una distribución normal logarítmica.

.- Efecto del tiempo en estabilidad de taludes

Goodman (1976), la estabilidad de un talud puede depender en menor o mayor grado del tiempo, en función de las características geológicas que constituyen

el talud. En general, el efecto del tiempo se considera reduciendo las fuerzas resistentes por un “factor de tiempo”.

Es aceptado que un talud que puede ser estable al ser cortado, puede fallar debido a ajustes y deterioro gradual con el paso del tiempo. Sin embargo como lo indica Piteau (1971), el término “paso del tiempo” para rocas duras puede representar decenas de años para que se genere una superficie de rotura profunda, mientras que fallas de carácter superficial por desmoronamiento o caídas de roca pueden ocurrir en pocos años o en menos tiempo.

- Efecto del agua subterránea en estabilidad de taludes

El agua subterránea constituye uno de los factores más importantes que incluyen en la estabilidad de taludes. Piteau (1971), indica que la presión de agua en discontinuidades ha sido probablemente el factor que ha causado más fallas de taludes que la sumas de las otras causas juntas. En este sentido, es de gran importancia conocer el carácter y la influencia del régimen hidrogeológico y principalmente de la distribución depresiones de agua.

Piteau (1971), resume los efectos del agua como sigue:

-Efectos físicos y químicos de presiones de poro en materiales de relleno en diaclasas, alterando sus parámetros de fricción y cohesión.

-Efectos físicos originando fuerzas de levantamiento en la superficie de falla potencial, ejerciendo presiones de agua en las discontinuidades. Esto reduce la resistencia al corte a lo largo de la superficie de falla al reducir el esfuerzo normal efectivo que actúa sobre ella.

-Efectos físicos y químicos de la presión de agua en la roca intacta produciendo una disminución en la resistencia a la compresión de la misma, particularmente en los casos donde los esfuerzos confinantes han sido reducidos.

.- Mecanismos de Rotura

Goodman (1976), la inestabilidad de macizos rocosos, puede ocurrir por fallas a lo largo de discontinuidades preexistentes, por falla de la roca intacta o por una superficie de falla combinada, parte a lo largo de las discontinuidades y parte a través de roca intacta. Para ello se requiere considerar mecanismos bidimensionales y tridimensionales para el diseño de taludes en macizos rocosos.

A continuación se describe los modos de fallas en macizos rocosos, haciendo referencia a los métodos de análisis de estabilidad para cada caso.

a.- Fallas Planares

Salcedo (1983), los modos de fallas a lo largo de discontinuidades 100% persistentes, se analiza en forma bidimensional y se basan en las siguientes condiciones:

- . La superficie de falla es continua y se asume subparalela al rumbo del talud de corte, por lo tanto, el análisis puede ser realizado utilizando métodos de equilibrio límite, para un ancho unitario de talud.

- . La superficie de falla debe “aflorar” en el talud, es decir su buzamiento debe ser menor que la pendiente del talud.

Ver figura:

- . La resistencia al corte a lo largo del plano de discontinuidad que constituye la superficie potencial de falla, es mucho menor que la resistencia de la roca intacta.

- . El nivel de esfuerzos al cual está sujeto el talud tal que no se produce rotura de la roca intacta.

- . Existen superficies laterales de separación, de resistencia al corte despreciable, las cuales definen los límites laterales del bloque fallado.

- . El bloque deslizado se considera rígido, indeformable y no sujeto a momentos.

b.- Fallas Planares sin grieta de tensión

En la figura, se presenta el caso de un deslizamiento planar sin desarrollo de grieta de tensión. Para el caso de superficie horizontal, el factor de seguridad (F), se obtuvo considerando el equilibrio de fuerzas sobre el bloque ABC en el plano de deslizamiento AB, resultando:

$$F: 2c \operatorname{sen} \psi + f \gamma H \operatorname{sen} (\psi_f - \psi_p) \operatorname{sen} \psi_p + t g \phi / t g \psi_p \quad (V-1)$$

Donde:

c= cohesión

ϕ = ángulo de fricción. γ = peso unitario de la roca.

ψ_f y ψ_p = indicados en la figura.

El cálculo del peso del bloque (W), considerado γ rígido, y los esfuerzos normales (sn) y cortante (t) en la superficie de falla de longitud l (AB), se realizan mediante las siguientes expresiones:

$$W = \frac{1}{2} \gamma H * H \operatorname{sen} (\psi_f - \psi_p) \operatorname{cos} \psi_p \operatorname{cosec} \psi_f. \quad (V-2)$$

$$S_n = (W/l) \operatorname{cos} \psi_p = \frac{1}{2} \gamma H \operatorname{sen} (\psi_f - \psi_p). \quad (V-3)$$

$$\operatorname{Cos} \psi_p \operatorname{cosec} \psi_f.$$

$$\tau = (W/l) \operatorname{sen} \psi_p. \quad (V-4)$$

Es interesante destacar que para el caso de falla planar, sin presiones de agua, con la superficie del terreno inclinada a un ángulo δ respecto a la horizontal, la expresión (V-1) es la misma, lo que indica que el factor de seguridad es independiente de esa inclinación δ . Esto fue inicialmente publicado por Taylor (1948), y es consecuencia de asumir la falla plana, puesto que para superficies de falla curvas, la inclinación de la superficie del terreno sí influye en el factor de seguridad. Así mismo, hay que señalar que cuando se asume la presencia de una mesa

de agua, el factor de seguridad dependerá en general de la inclinación de la superficie del terreno. (Chowdhury, 1978).

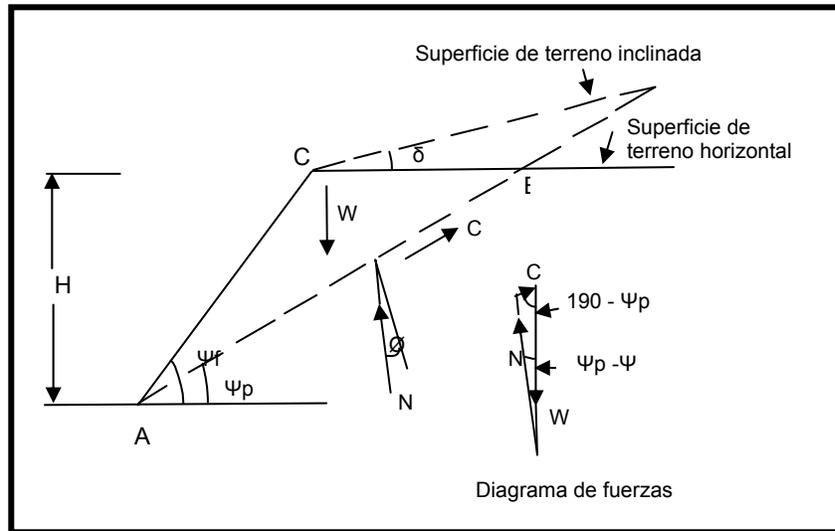


Figura 7. Fuerzas actuantes en una falla planar a lo largo de una discontinuidad 100% persistente. Chowdhury. P 182. (1978)

g.- Fallas Cuneiformes

El caso más sencillo de fallas cuneiformes ocurre por deslizamiento en una combinación de dos planos como se indica en la figura 66. El bloque fallado se considera un tetraedro cuyas caras están definidas por los dos planos de discontinuidad, la cara y la cresta del talud. La dirección del deslizamiento está controlada por la recta de intersección de los planos de discontinuidad.

Esta tipo de fallas deben ser analizadas por métodos tridimensionales y sus estudios pueden realizarse mediante análisis vectoriales o mediante el uso de proyecciones hemisféricas.

La evaluación cinemática y análisis de estabilidad de taludes en macizos rocosos, mediante el uso de proyecciones hemisféricas ha sido ampliamente tratada entre otros, por Goodman (1976), Hoek y Bray (1979), John (1968), Londe et al. (1969 y 1970) y Hendron et al. (1971).

h.- Fallas Rotacionales

Cuando el macizo rocoso está altamente fracturado y/o la roca intacta está tan meteorizada que su resistencia ya no es muy superior a la resistencia a lo largo de las discontinuidades, se puede predecir una rotura cuya forma es independiente de la orientación de las discontinuidades. En estos casos, la superficie de falla puede ser aproximada a un arco circular y los análisis de estabilidad se realizan mediante los métodos ampliamente conocidos en mecánica de suelos, tales como: Fellenius, Bishop, Sarma, Jambu y Morgenstern & Price.

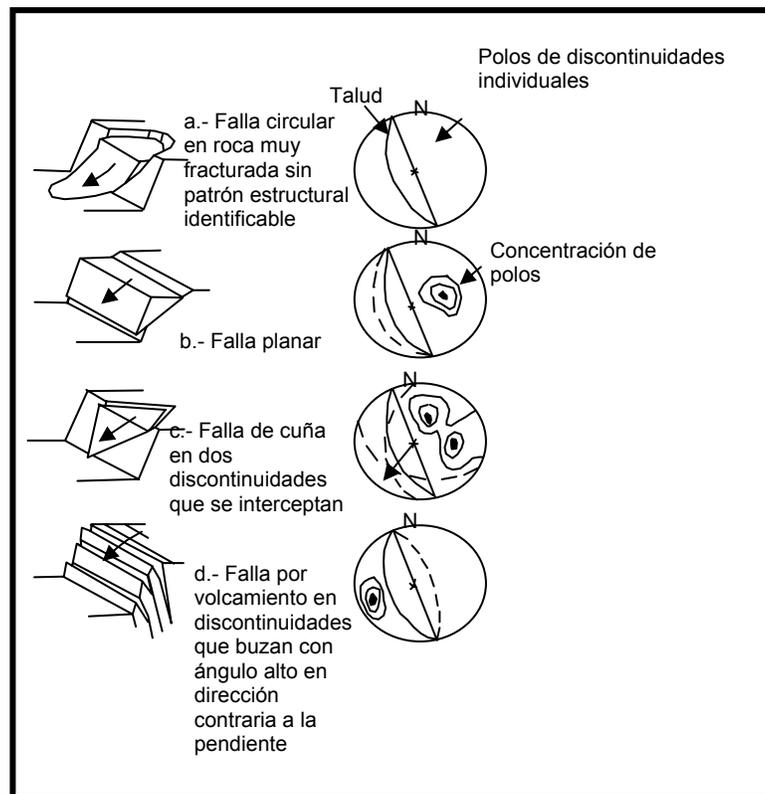


Figura 8. Modos de falla en macizos rocosos y su representación en proyecciones hemisféricas. (Hoek y Bray, 1974)

.- Ensayos en el laboratorio

Los ensayos de laboratorio permiten determinar algunos parámetros que inciden en la estabilidad de taludes. A través de ellos podemos comprender, interpretar y extrapolar los resultados de los ensayos in situ.

.-Ensayos en roca

Manual de ingeniería de taludes (1986), señala que los ensayos en roca, tratan de determinar la propiedad geomecánicas de la roca matriz mediante el ensayo de muestras de roca, tallada de testigos de sondeos o de bloques irregulares.

Una vez determinadas las características resistentes de las rocas se pueden adoptar los diferentes criterios de rotura, que permitan controlar las características de respuesta de los macizos rocosos frente a diversas acciones.

Los ensayos de resistencia empleados son los siguientes:

.-Martillo de schmidt

Oteo (1978), ideado en un principio para estimar la resistencia a compresión simple del hormigón, se ha modificado convenientemente dando lugar a varios modelos, tipo L, N, P, etc., alguno de los cuales resulta apropiado para estimar la resistencia a compresión simple de la roca.

Su uso es muy frecuente dada la manejabilidad del aparato, pudiendo aplicarse sobre roca matriz y fundamentalmente sobre las discontinuidades (resistencia de los labios).

Consiste en medir la resistencia al rebote de la superficie de roca ensayada.

La medida del rebote se correlaciona con la resistencia a la compresión simple, mediante un gráfico debido a Millar (1965) que contempla la densidad de la roca y la orientación del martillo respecto del plano ensayado.

El desarrollo del ensayo consiste en una preparación de las zonas elegidas, eliminando la pátina de la roca meteorizada. Se efectúan 10 percusiones con el martillo en la zona elegida y se eliminan los 5 valores más bajos, efectuándose el promedio de los restantes.

Una vez ensayada todas las zonas necesarias, se llevan al gráfico de correlación y se obtienen unos valores estimativos de la resistencia a la compresión simple de la roca, obteniendo una idea de su estado y calidad.

El registro de los datos se realiza sobre unos impresos preparados a tal fin, que facilitan la interpretación de los mismos.

Es necesaria la toma de alguna muestra-bloque y su ensayo en laboratorio para calibrar las medidas.

.-Ensayo de carga puntual

Es uno de los ensayos de uso más extendido, debido a que el aparato necesario para su realización es fácilmente transportable. El objeto principal de este ensayo consiste en estimar la resistencia a compresión simple.

Es necesario realizarlo en número considerable por la variación de las características de los macizos rocosos a fin de poder analizar los resultados estadísticamente.

Oteo (1978), los objetivos y aplicaciones consiste en: determinar un índice de resistencia en muestras de roca de geometría irregular o cilíndrica (sin preparaciones especiales), las cuales son sometidas a carga entre dos piezas cónicas de punta redonda.

Los resultados son utilizados para clasificación y caracterización geotécnica de la roca intacta. Igualmente, pueden establecerse correlaciones con la resistencia a la compresión y a la tensión uniaxial.

El ensayo mide el Índice de Resistencia a carga Puntual, I_s (50) y el Índice de Anisotropía, I_a (50).

La prueba puede ser realizada en un equipo portátil, fácil de transportar al campo (si fuese necesario), permitiendo estimar la resistencia de la roca en forma rápida y simple.

Selección de las muestras

Las muestras de roca a ser ensayadas pueden tener forma cilíndrica (núcleos), bloques regulares o muestras de mano irregulares, sin necesidad de someterlas a preparaciones especiales. Las dimensiones mínimas para cada caso se indican en el capítulo de procedimientos del ensayo.

Debe obtenerse un número suficiente de muestras (10 a 20) de la misma litología, que cumplan con los requerimientos de tamaño y forma para los diferentes tipos de ensayos.

Aparatos y equipos necesarios

La máquina del ensayo, consiste en un sistema de carga (placas de carga cónicas, bomba y gato hidráulicos), un sistema para medir la carga (P) necesaria para romper la muestra y un sistema para medir la distancia (D) entre las puntas de carga, con las siguientes especificaciones:

a) El sistema de carga debe poder ajustarse para ensayar muestras de roca con un tamaño comprendido entre 25 y 100 mm preferiblemente.

b) La capacidad de carga debe ser suficiente para romper las muestras más grandes y resistente. Una capacidad de 5.000 Kg. es suficiente para las dimensiones indicadas anteriormente.

c) La máquina debe ser diseñada y construida de manera que no permita distorsiones durante la aplicación de cargas de falla sucesivas y que las puntas cónicas se mantengan coaxiales en un rango de $\pm 0,2$ mm durante el ensayo.

d) Las placas de carga deben tener forma cónica (60 grados), truncada esféricamente ($r: 5$ mm) según se ilustra en la figura. Deben estar construidas de material suficientemente duro (tungsteno o acero), que no se dañe durante el ensayo.

e) El sistema de medida de carga (manómetro, celda de carga (P) requerida para la rotura de la muestra con una precisión de $\pm 5\%$ P. Es esencial que posea un indicador de carga máxima, de manera que la carga de rotura quede registrada y pueda ser leída después de la falla.

f) El sistema de medida debe resistir al ariete hidráulico y a las vibraciones, de forma que conserve la precisión de las lecturas durante ensayos sucesivos.

g) La distancia (D) entre los puntos de contacto roca-cono se medirá con una precisión de $\pm 2\%$ D. El sistema debe permitir verificar el “desplazamiento nulo” cuando las puntas están en contacto y preferiblemente incluir el ajuste a cero.

2) Un vernier o regla metálica, un transportador.

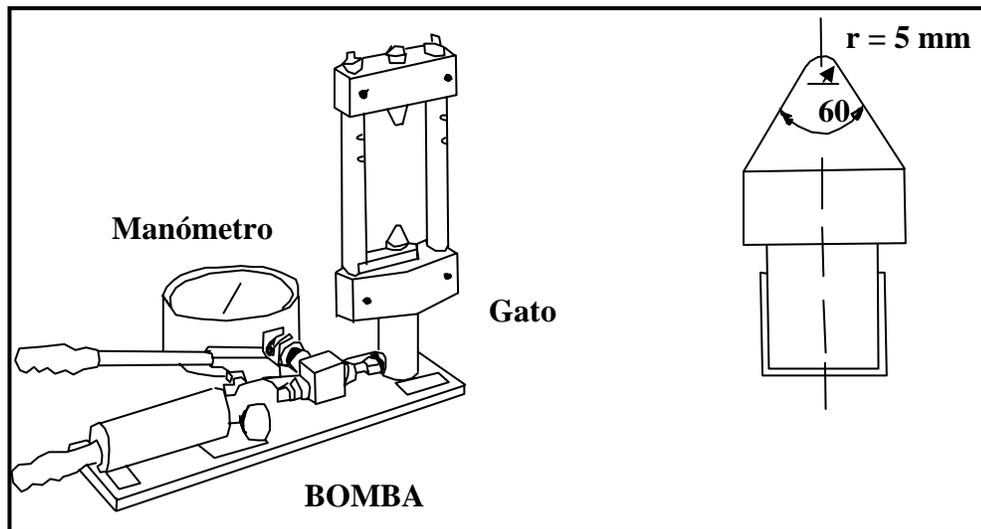


Figura 9. Esquema del equipo de carga puntual: a) detalles de las placas de carga, cónica. De Marco (1995).

2) Ensayo axial

a) Se realiza en núcleos de roca cuya relación longitud/diámetro varíe entre 0.3 y 1.0. Núcleos largos pueden ser ensayados previamente en forma diametral, para obtener las longitudes requeridas para el ensayo axial.

b) Insertar la muestra en la máquina de carga y aproximar las puntas cónicas hasta hacer contacto en una línea perpendicular a los extremos de la muestra (pueden coincidir con el eje o plano axial del núcleo).

c) Registrar la distancia $D \pm 2\%$ y el ancho ($W \pm 5\%$) perpendicular a la dirección de carga, en mm.

d) Aplicar la carga de forma progresiva hasta que ocurra la falla (entre 10 y 60 seg.) y registrar la carga (P) en KN.

e) El ensayo debe ser rechazado o invalidado si la fractura no se asemeja a los modelos de la figura 6.

Nota: En rocas duras el registro de la distancia (D) será suficiente para el cálculo del I_s . Sin embargo, en muestras débiles, las puntas de carga pueden penetrar o marcar el espécimen, por lo que deberá registrarse la distancia (D') en el momento de la falla. Algunos investigadores recomiendan tomar la medida (W) como la mínima dimensión de la superficie de rotura después del ensayo o la falla.

3) Ensayo de bloques y muestras irregulares

a) Se realiza en bloques o trozos de roca de 50 ± 35 mm de tamaño.

Rocas anisotrópicas

Las rocas estratificadas, foliadas o que presenten otras formas observables de anisotropía, debe ser ensayadas en las direcciones que presenten la mínima y la máxima resistencia, que generalmente son paralela y perpendicular a los planos de discontinuidad.

Los mejores resultados se obtienen en núcleos de roca cuyos ejes sean perpendiculares a los planos de discontinuidad. En todo caso, deberán preferirse aquellos en los cuales el ángulo entre su eje y la normal a los planos de debilidad no exceda los 30 grados. Así mismo, se recomienda realizar primero una serie de ensayos diametrales, de manera tal que los trozos restantes tengan las dimensiones requeridas para realizar los ensayos axiales.

Para la realización del ensayo en la dirección de menor resistencia, debe asegurarse que la carga se aplique a lo largo de un mismo plano de debilidad. Igualmente, cuando se ensaye en la dirección de mayor resistencia, debe asegurarse que la aplicación de la carga se realiza perpendicular a los planos discontinuidad.

Cálculos:

Calcule el índice de carga puntual mediante la expresión:

$$I_s: P/De^2 \quad (N/mm^2 = MPa)$$

Donde (De) es el “diámetro del núcleo equivalente” dado por:

$$De^2 = D^2 \quad \text{para el ensayo diametral} \\ = 4a/\pi \quad \text{para el ensayo axial, bloque o irregular}$$

Siendo: $A = W.D$ = área mínima de la sección transversal del plano de rotura (mm²).

Determinar el índice de carga puntual corregido $I_s(50)$, definido como el valor de I_s que se hubiera medido en un ensayo diametral en un núcleo de 50 mm de diámetro, mediante la expresión:

$$I_s(50) = F \cdot I_s$$

Donde (F) es el “Factor de corrección por tamaño” obtenido por la expresión:

$$F = (De/50)^{0.45} \quad \text{para (De) en mm.}$$

Calcule el valor promedio de $I_s(50)$ para cada serie o conjunto de ensayos, descartando los dos valores más altos y los dos más bajos, cuando se cuente con diez o más resultados válidos. Si el número de muestras es significativamente bajo, descartar únicamente el valor superior y el inferior

Determine el índice de anisotropía (I_a), definido como la relación entre el promedio de los valores de $I_s(50)$ obtenido de los ensayos perpendiculares y paralelos a los planos de debilidad.

$$I_a = I_s(50)_{\perp} / I_s(50)_{\parallel}$$

I_a tendrá valores próximos a 1.0 para rocas isotrópicas y valores mayores para las anisotrópicas.

Ensayos en suelos

Manual de ingeniería de taludes (1986), Señala que los suelos constituyen un sistema discontinuo con diferentes fases (sólido, líquido, gas). El estudio de las relaciones interfases, morfología y tamaño de las partículas debe concluir con el conocimiento de las características mecánicas de los suelos.

Generalmente la mayoría de las muestras inalteradas que se ensayan en laboratorio han sufrido una variación de su estructura original, debida al procedimiento de su obtención y posterior manipulación. No obstante, los ensayos realizados sobre muestras inalteradas constituyen el medio más eficaz para conocer las distintas propiedades de los mismos y evaluar su comportamiento.

Los procedimientos usados en los ensayos se hallan convenientemente regulados mediante normas que permiten una homologación de los resultados.

.-Suelos

Ayala (1986), las diferencias de comportamiento que presentan estos materiales frente a los rocosos, se deducen de su definición como: conjunto de partículas sólidas, sueltas o poco cementadas, más o menos consolidadas, de naturaleza mineral, fragmentos de roca, materia orgánica, etc., con fluido intersticial rellenando huecos y que han podido sufrir transporte o desarrollarse “in situ”.

El comportamiento de las masas de suelo se asemeja al de un medio continuo y homogéneo. Las superficies de rotura se desarrollan en su interior, sin seguir una dirección preexistente.

Básicamente suelen diferenciarse estos materiales atendiendo a su génesis:

- Transportados: coluviones, aluviales, glaciais, etc.
- Desarrollados in situ: eluviales..

La dinámica de estos materiales depende de las propiedades y características de sus agregados. Habrá que considerar:

- Tamaño, forma y grado de redondez de las partículas más gruesas.

- Proporción del contenido en arenas y/o arcilla.
- Contenido en agua del suelo y situación del nivel freático, etc.

Toda esta serie de características confieren a los suelos una resistencia intrínseca que constituye el factor dominante de su estabilidad.

Cuando se desarrollan superficies de rotura en el contacto suelo-roca, las características de la estrecha franja del contacto difieren de las generales del suelo.

.-Suelos cohesivos y suelos no cohesivos

En aquellos materiales naturales en los que, gracias a sus características físico-químicas, es necesario aplicar alguna fuerza para separar los propios granos del suelo, se dice que son los suelos cohesivos o suelos coherentes.

Por el contrario, los granos de un suelo no cohesivo, incoherente, solamente se pegan cuando están ligeramente húmedos y gracias a las fuerzas de tensión superficial del agua que rellena parcialmente los poros.

En general los suelos cohesivos son arcillosos; casi siempre presentan índices de plasticidad, y suelen ser impermeables. Los materiales arcillosos son de dimensión coloidal y normalmente se acepta como tal a las partículas inferiores a las 2 micras. Su resistencia al corte es muy sensible a los contenidos de humedad, por lo que es necesario conocerlos y cuantificarlos con precisión.

También en general, los suelos no cohesivos suelen ser no plásticos, permeables en mayor o menor grado, y presentan una textura granular visible o apreciable directamente al tacto.

.-Ensayos en el laboratorio

a.- Ensayos de identificación:

Estos ensayos permiten clasificar los suelos en grupos con un comportamiento semejante; pero no se obtienen los índices que expresen las propiedades mecánicas de los suelos.

Actualmente existen clasificaciones de suelos que pretenden unificar criterios en la descripción de los mismos. Una de las clasificaciones de uso más extendido es la del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos fue propuesto en 1942 por el Profesor Arthur Casagrande, de la Universidad de Harvard, y posteriormente ha sufrido algunas pequeñas modificaciones.

Los criterios que se siguen para realizar esta clasificación son: la curva granulométrica, los límites de Atteberg y el contenido de materia orgánica. Los tamices empleados son los de la A.S.T.M.

Este sistema divide a los suelos en dos grandes grupos: “suelos de grano grueso” y suelos de grano fino”. Esta fracción solo considera la fracción de partículas menores que 3” (76.2 mm). Su utilidad se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 13. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Suelos de grano grueso más de 50% retenido en el tamiz # 200.	Gravas, más de 50 % de la fracción gruesa retenida en el tamiz # 4.	Gravas limpias, menos de 5% finos.	CU>04 Y 1=<Co<=3	GW	Grava bien gradada
			CU<4 Y/O 1>Cc>3	GP	Pobremente gradada
		Gravas con finos más de 12 % de finos.	Los finos son ML o MH	GM	Gravas limosa
			Los finos son CL o CH	GC	Gravas arcillosas
	Arenas, 50 % o más de la fracción gruesa pasa el tamiz # 4.	Arenas limpias, menos de 5% de finos	CU>=6 Y 1=<Cc<=3	SW	Arena bien gradada
			CU<6 Y/O 1>Cc>3	SP	Arena pobremente gradada
Arenas con finos, más de 12% de finos.		Los finos son ML o MH	SM	Arena limosa	
		Los finos son CL o CH	SC	Arena arcillosa	
Suelos de grano fino 50% o más pasa el tamiz # 200	Limos y arcillas LL< 50	Inorgánico	LLseco/LLhúmedo < 0.75	OL	Arcilla orgánica de baja plasticidad. Limo orgánico de baja plasticidad
			orgánico	LL>50 Y Ip>20	CH
	Limos y arcillas LL> 50	Inorgánico	LL>50 Y Ip<20	MH	Limo de alta plasticidad
			orgánico	LLseco/Húmedo < 0,75	OH

Nota: Tabla elaborada con datos tomados de (Modificado de ASTM D 2487 – 93, 1998).

Los ensayos de identificación utilizados son los siguientes:

Descripción de la muestra

Se basa en el tamaño de partículas, textura, etc. Previa para realizar otros ensayos.

Granulometría

Este ensayo se basa en la aplicación de técnicas de tamizado y en la sedimentación. Consiste en separar y clasificar por tamaños las partículas que componen el suelo y de esa forma determinar en términos de porcentaje la cantidad de granos de distintos tamaños que contiene dicho suelo.

El análisis granulométrico puede realizarse por dos métodos:

Tamizado en seco

Por hidrómetro

Método de tamizado en seco

La forma de determinar el tamaño de las particular se lleva a cabo empleando tamices de malla cuadrada y de aberturas enumeradas que cumplan con las especificaciones ASTM.

El método del hidrómetro

Oviedo (1966), este método de ensayo basado también en el principio de sedimentación, expresado por la ley de Stokes, tiene por objeto determinar cuantitativamente los rangos de valores correspondientes al diámetro de las partículas de limo, arcilla y coloides.

Límites de Atteberg

Denominados también límites de consistencia; tienen su base en el concepto de que un suelo de grano fino solo puede existir en cuatro estados de consistencia

según su humedad. Los límites de Atteberg se dividen en límite líquido, límite plástico y límite de contracción. Este ensayo marca una separación en los estados sólido, semisólido, plástico y semilíquido.

Peso específico de partículas

Este ensayo sirve para calcular otras propiedades como densidad aparente, índice de huecos, etc.

Contenido de humedad

Permite la determinación del contenido de humedad del suelo.

Ensayo de resistencia

Permite la determinación de las propiedades resistentes de los suelos, ya que por los efectos de la presión de confinar dicho suelo tiende a volverse íntegro.

Resistencia al corte de los suelos

Ayala (1986), los procedimientos más habituales para determinar la resistencia al corte de los suelos consisten en efectuar ensayos en laboratorios con muestras, remodeladas o inalteradas, que reproduzcan el estado en que el material se encuentra en el terreno.

También existe obviamente la posibilidad de efectuar ensayos de corte “in situ”, normalmente a gran escala, pero por limitaciones de índole económica o práctica, estos ensayos suelen ser inviables, a pesar de obtenerse con ellos, en general, los mejores resultados.

Conceptos básicos: Los primeros conceptos que se deben tener claros en el estudio de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos son los siguientes:

Presión total (σ): sobre un plano elemental es la fuerza total por unidad de superficie que actúa sobre dicho plano.

Presión efectiva (σ'): Es por definición, la que determina la resistencia al esfuerzo cortante. Si se somete un suelo saturado, constituido por partículas sólidas y

por agua, a un estado de tensiones, los esfuerzos que se aplican son absorbidos en diferente proporción por estos dos elementos. La proporción de la tensión tomada por el esqueleto sólido es lo que se denomina presión ítergranular, que a efectos prácticos coincide con la presión efectiva.

Presión intersticial (u): Es la parte de la tensión absorbida por el agua. Como el agua no puede soportar esfuerzos cortantes siempre tendrá solamente la componente normal.

En síntesis simplificativa, se puede afirmar que: $\sigma' = \sigma - u$ y esta es la expresión dada por Terzaghi (1925), conocida como ley de la presión efectiva.

.-Cohesión y ángulo de rozamiento interno

Dependiendo de su constitución, algunos materiales sólo exhiben una componente de resistencia friccional (ϕ), otros exhiben también una componente cohesiva (c), que es consecuencias de las fuerzas de atracción electroquímicas que existen en el punto de contacto entre las partículas.

Así como la componente resistente debida a la cohesión (c) es independiente del estado tensional, en los materiales donde existe componente friccional debida a la actuación del ángulo de rozamiento interno (ϕ), la resistencia aumenta con la presión de confinamiento.

Esto se puede expresar mediante la relación de Coulomb (1773) siguiente:

$$\Gamma = c' + \sigma' \operatorname{tg} \phi'$$

En donde las primas representan valores en efectivas, tanto para la tensión normal al plano que se considere (σ'), como para la cohesión (c') y el ángulo de rozamiento interno (ϕ').

Esta expresión es una línea recta que puede dibujarse en coordenadas esfuerzos cortante-esfuerzo normal, para representar la resistencia intrínseca del material en el plano de Mohr.

.-Resistencia de “pico” y resistencia “residual” (o “última”)

Si se aplica una tensión tangencial a una muestra, ésta se deformará progresivamente hasta que se produzca la rotura, a una determinada tensión pico. En algunos materiales a medida que la deformación continúa la resistencia se reduce hasta que se alcanza un valor mínimo constante que se denomina resistencia última o resistencia residual.

Por tanto la resistencia residual es un valor resistente más bajo que la resistencia pico, y que se manifiesta una vez que la rotura se ha producido.

En arcillas normalmente consolidadas la resistencia al corte del material remoldeado, se suele considerar igual al valor de la resistencia última. Adicionalmente cabe decir, que las arcillas normalmente consolidadas apenas presentan una resistencia pico diferente de la denominada resistencia última.

La envolvente de las resistencias últimas, en condiciones de drenaje, es una recta que pasa por el origen, en un diagrama de Mohr-Coulomb (τ , σ), y no presenta valores para la cohesión, o son de una magnitud tan pequeña que a efectos prácticos es despreciable, a pesar de que sea un material cohesivo.

Ensayo de corte directo

A través de este ensayo, se determina la cohesión y el ángulo de rozamiento interno en el plano de rotura con o sin drenaje.

El aparato de corte directo consta de una armadura inferior u otra superior, entre las que se coloca la muestra de suelo con piedras porosas en ambos extremos. De estas armaduras una es fija y la otra es móvil. La muestra suele ser de sección cuadrada, aunque también puede ser circular.

En un ensayo normal se comienza por aplicar una carga vertical se comienza por aplicar una carga vertical, observándose las deformaciones verticales mediante el cuadrante correspondiente, a continuación se introduce un esfuerzo horizontal, y se

van dibujando en un diagrama las deformaciones horizontales en abscisas y las tensiones horizontales de corte en la ordenada.

Según las condiciones en las que se produce el drenaje de la muestra, se distinguen tres tipos de ensayos:

a.- En el ensayo “sin drenaje” no se permite el drenaje de la muestra ni durante la aplicación de la carga vertical, ni durante la aplicación del esfuerzo cortante.

b.- En el ensayo “consolidado_ sin drenaje” se permite que la muestra drene durante la aplicación del esfuerzo vertical, de modo que en el momento de aplicar el esfuerzo de corte las presiones intersticiales sean nulas, pero no durante la aplicación del esfuerzo cortante.

c.- Por último, en el ensayo “con drenaje” se permite el drenaje de la muestra durante todo el ensayo, de modo que las presiones intersticiales sean nulas durante la aplicación del esfuerzo cortante.

En los ensayos consolidados sin drenaje y con drenaje la presión vertical recibe el nombre de “presión de consolidación”.

Se llama “razón de sobre consolidación” al cociente entre la máxima presión de consolidación a que ha sido sometido un suelo en el pasado y la que soportaba inmediatamente antes del ensayo actual. Esta definición es aplicable no solo a ensayos de corte sino también a ensayos sin deformación lateral.

Por otro lado, según la forma en que se aplique el esfuerzo horizontal, los ensayos de corte se pueden clasificar en dos grupos:

1.- El ensayo de tensión controlada.

2.- El ensayo de deformación controlada (aplicado en el laboratorio de este TEG). En este, la armadura móvil se desplaza a una velocidad determinada, y se van midiendo los esfuerzos horizontales correspondientes, mediante un anillo dinamométrico conectado en serie con la fuerza horizontal.

Ensayo con drenaje en el aparato de corte directo

Para que las presiones intersticiales sean nulas durante todo el ensayo, la muestra de suelo debe ser inundada si el suelo es de grano fino pues de otro modo

podrían existir en el tensiones capilares. Si realizamos tres de estos ensayos en tres muestras idénticas de un mismo suelo con tres presiones verticales distintas, podemos representar en abscisas la presión normal sobre el plano horizontal que separa a ambas armaduras y en ordenadas la tensión de corte.

Estos puntos definen una línea llamada “línea de resistencia”. Si la variación de las presiones de consolidación no es excesiva, esta línea se puede aproximar con una recta, de acuerdo con el criterio de rotura de coulomb; la ordenada en el origen de la recta se conoce con el nombre de “cohesión efectiva”, c' , y el ángulo que forma dicha recta con el eje de las abscisas se conoce con el nombre de “ángulo de rozamiento interno efectivo”, Φ' . Estos parámetros corresponden únicamente al plano ensayado.

En arenas sin cementar, y en arcillas amasadas con la humedad correspondiente al límite líquido, la línea de resistencia pasa por el origen. En arcillas blandas, la ordenada en el origen de dicha línea es casi nula.

Coluvión

Bates y Jackson (1980), definen un coluvión como una masa de materiales sueltos y heterogéneos, de suelo o fragmentos de roca depositados por lavado de la lluvia, reptación o deslizamiento, los cuales comúnmente se depositan en la base de las laderas. El coluvión típico es una mezcla de fragmentos angulares y materiales finos.

Los coluviones, generalmente consistentes de mezclas heterogéneas de suelo y fragmentos de roca que van desde partículas de arcillas hasta rocas de varios metros de diámetros, se les encuentra a lo largo de las partes bajas de los valles o a mitad de talud, formando áreas de topografía ondulada, mucho más suave que la de las rocas que produjeron los materiales del coluvión. Es muy frecuente que los coluviones generen deslizamientos en las vías al ser cortados por ellas, o que el alineamiento de la vía pase sobre un coluvión en movimiento.

Es importante señalar que existen coluviones cohesivos y no cohesivos.

La mayor parte de la superficie en zonas de suelos residuales está cubierta de una u otra forma por coluviones de diferente espesor. Su espesor puede variar desde unos pocos centímetros a más de 20 metros.

El coluvión es un material derivado de la descomposición de las rocas, el cual ha sido transportado ladera abajo por la fuerza de gravedad. Puede variar en composición desde un conglomerado de bloques sin matriz, hasta una masa de material fino o con solo algunos bloques.

En los coluviones generalmente, se generan corrientes de agua sobre la interfase entre el coluvión y el material de base. Debe distinguirse entre coluviones secos y coluviones saturados, siendo por lo general, arcillosos los segundos y de comportamiento friccionantes los primeros.

Un coluvión arcilloso saturado se encuentra generalmente, en equilibrio límite y cualquier excavación en él puede iniciar un movimiento. Se han reportado casos en los cuales aparece material menos arcilloso en el contacto coluvión-roca, pero experiencias en Colombia muestran perfiles con material más permeable (menos arcilloso), arriba del contacto con una capa delgada de arcilla depositada exactamente sobre la interfase. Las superficies de falla pueden coincidir con el contacto coluvión-suelo residual o pueden ocurrir fallas a través del coluvión.

Es común encontrar coluviones que abarcan áreas de varios kilómetros cuadrados y que presentan varios movimientos relativos diferentes dentro de la gran masa coluvial.

Talús

Dentro de los coluviones es importante definir el término de Talus: Bates y Jackson (1980) define talús como los fragmentos de roca de cualquier tamaño o forma (usualmente gruesos y angulares) derivados de/y apoyados sobre la base de laderas de pendiente muy alta. Estos talús son conformados por bloques de rocas depositados por gravedad, especialmente por caída de roca. Después de caer, los fragmentos se acumulan a la base formando una especie de depósito angular en el pie

de la ladera. Con frecuencia las montañas que producen los talús no son rectas sino que contienen una serie de entradas que tienden a concentrar las partículas de roca, formando una especie de tobogán o un depósito en forma de cono, con una base y un ápice, localizado con el canal de origen de los materiales. Los fragmentos de talús pueden variar en tamaño para incluir bloques de hasta más de 10 metros de diámetro. Generalmente los fragmentos grandes se localizan en el pie del talús y los pequeños en su ápice. El ángulo máximo que forma el talús se le llama ángulo de reposo.

Generalmente, estos ángulos varían entre 34 y 37 grados pero en ocasiones pueden alcanzar valores superiores a 45 grados.

Inestabilidad de los coluviones

Los daños generados por coluviones en las áreas montañosas de los Andes son cuantiosos y la mayoría de los grandes deslizamientos en las vías en las áreas de montaña están relacionados con ellos.

Las fallas en los coluviones generalmente presentan dos etapas así:

En la primera etapa se produce un deslizamiento rotacional o trasnacional, bien sea por la base del coluvión o formando una línea a través de éste y en la segunda etapa se produce un flujo de la masa removida. Esto produce un escarpe en la corona del movimiento inicial y una longitud larga de flujo hasta la zona de nueva depositación del coluvión. En ocasiones estos movimientos bloquean los cauces de las quebradas o corrientes de agua.

Varnes (1978), en ocasiones los deslizamientos de coluviones pueden exceder velocidades de tres metros por segundo y se les clasifica como avalanchas. Los deslizamientos de coluviones también pueden clasificarse como flujos de lodo o torrentes de residuos.

Métodos de análisis para el cálculo del factor de seguridad de taludes en suelo.

Método ordinario o de Fellenius

Suares, J (1999). Este método asume superficies de fallas circulares, divide el área de falla en tajadas verticales, obtiene las fuerzas actuantes y resultantes para cada tajada y con la sumatoria de estas fuerzas obtiene el factor de seguridad.

Las fuerzas que actúan sobre una dovela son:

a.- El peso o fuerza de gravedad, la cual se puede descomponer en una tangente y una normal a la superficie de falla.

b.- Las fuerzas de presión de tierras y cortante en las paredes entre dovelas, las cuales no son consideradas por Fellenius, pero sí son tenidas en cuenta en otros métodos de análisis más detallados.

El método de Fellenius calcula el factor de seguridad con la siguiente expresión:

$$FS: \Sigma [C \cdot b \sec\alpha + (W \cos\alpha - ub\sec\alpha) \tan\phi] / \Sigma W \sin\alpha$$

Donde:

α : Ángulo de radio del círculo de falla con la vertical bajo el centroide en cada tajada.

W: Peso total de cada tajada.

u: Presión de poros $\gamma_w \cdot h_w$

b: Ancho de la tajada.

C, ϕ : Parámetros de resistencia al corte del suelo.

Método de Bishop

Bishop (1955), presentó un método utilizando dovelas y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las dovelas.

La solución rigurosa de Bishop es muy compleja y por esta razón se utiliza una versión simplificada de su método, de acuerdo a la expresión:

$$FS: \Sigma [C b + (W-ub) \text{Tan}\phi/ma]/\Sigma W \text{sen}\alpha$$

Donde:

ma: $\text{Cos}\alpha (1 + (\text{tan}\alpha \text{tan}\Phi/FS))$

b : Ancho de la dovela.

W: Peso de cada dovelas.

C, ϕ : Parámetros de resistencia del suelo.

u: Presión de poros en la base de cada dovela : $\gamma_w * h_w$.

Peligrosidad, riesgo y vulnerabilidad

Varnes (1984). (Citado en Vallejo, 2002). La peligrosidad se define como la probabilidad de ocurrencia de un proceso de un nivel de intensidad o severidad determinado, dentro de un período de tiempo dado y dentro de un área específica.

Riesgo, se define como las pérdidas potenciales debidas a un fenómeno natural determinado (vidas humanas, pérdidas económicas directas, daños a edificios o estructuras, etc.).

Barbat (1998). (Citado en Vallejo, 2002). Define el riesgo sísmico como las pérdidas esperadas que sufren las estructuras durante el lapso de tiempo que permanecen expuestas a la acción sísmica. El riesgo puede calcularse a partir de la expresión:

$$R: S * V$$

Donde:

S: susceptibilidad o amenaza.

V: Vulnerabilidad.

La vulnerabilidad, es el grado de daños o pérdidas potenciales en un elemento o conjunto de elementos como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de

intensidad determinada. Depende de las características del elemento considerado (no de su valor económico y de la intensidad del fenómeno.

Cartografía temática

A través de los mapas temáticos se puede representar la información referida a los factores que condicionan la zona de estudio los cuales mediante una metodología adecuada constituyen mapas interpretativos. La superposición de los mismos permite establecer el grado de susceptibilidad o amenaza de la zona en función del peso asignado a cada uno de los factores.

Tipos de mapas de peligrosidad y su contenido

.- Mapa de amenaza o susceptibilidad

Contiene las zonas con diferente grado de susceptibilidad frente a la ocurrencia de un tipo de proceso. La metodología requerida para su elaboración toma en cuenta lo siguiente:

- Análisis del proceso.
- Análisis de los factores condicionantes.
- Superposición de factores.

.- Mapa de vulnerabilidad

Localización espacial de los elementos o zonas con diferente grado de vulnerabilidad. La metodología para la elaboración de este mapa se basa en:

- Identificación de los elementos expuestos.
- Evaluación de su vulnerabilidad.

.- Mapa de riesgo

Vallejo (2002). Los mapas de riesgo constituyen el método más efectivo de presentar la información referente a la peligrosidad y riesgo de una zona. Los trabajos de cartografía tienen por finalidad dividir el territorio en zonas o unidades con diferentes grados de peligro o riesgo.

La metodología se basa en:

- Evaluación de pérdidas debidas a un proceso determinado.
- Evaluación de su vulnerabilidad.

CAPITULO III

Geología Física

Relieve

El sector en estudio representa un valle angosto, flanqueado por laderas de fuerte pendiente, que forman parte de un entorno montañoso mayor, integrante de la Cordillera de la Costa.

Se presentan además pequeñas planicies que son el producto de la actividad de las quebradas presentes en el área. Estas planicies o valles presentan forma en V son angostos y hay evidencias de la presencia de terrazas en los márgenes.

El drenaje del área estudiada está controlado por la Quebrada Maitana donde la corriente tiene dirección hacia el sur.

A raíz de la construcción de la Autopista Regional del Centro la topografía original de la zona sufrió una serie de modificaciones como resultado de los taludes de corte y rellenos.

Pendientes

En la zona predominan pendientes fuertes, es decir, pendientes mayores a 45°, que abarca aproximadamente el 60 % de la zona estudiada; el resto corresponde a pendientes menores a 45° cubriendo el 40% del área en estudio. La clasificación de pendientes se realizó basándose en el criterio geomorfológico.

Clima y vegetación

La zona se caracteriza por tener un clima cálido y lluvioso.

Sabemos que el sector en estudio se encuentra ubicado geográficamente en la Cordillera de la Costa; por ende, presenta el mismo tipo de vegetación típico de la

Cordillera, como es la presencia de bosques siempreverdes montanos. Las zonas con vegetación más densa se presentan en las inmediaciones de los cauces de quebradas y está mayormente compuesta por algunos árboles de gran altura como los bucares, localizándose próximos a la Quebrada Maitana y a su planicie de inundación. Se observan otras especies como higuero, ceiba, marías, apamate, cedro y hacia el interior del bosque se encuentran helechos, bejucos, lianas, musgos y otros.

Geología y suelo

Se han evidenciado afloramientos rocosos y taludes en suelos.

Las rocas aflorantes son metamórficas; específicamente filitas, que en algunos sectores se encuentra fuertemente meteorizada a consecuencia de la meteorización química, la acción de las lluvias y de las infiltraciones asociadas a éstas. Estas rocas se componen principalmente de filitas cuarzo micáceas que al meteorizarse generan mantos de suelo residual de hasta 10 metros, de carácter arenoso con proporciones menores de limos y arcillas.

La zona pertenece a lo que se conoce como formación Las Brisas, la cual se localiza en el sector oeste de la zona protectora, en toda el área adyacente al parque Macario. Constituida por filitas cuarzo micáceas principalmente.

Hidrología

La zona en estudio cuenta con la Quebrada Maitana, donde la corriente de agua fluye de manera continua aumentando su caudal en épocas de lluvia, también se evidenció una quebrada intermitente llamada “Las Marías” que en épocas de lluvia aumenta su caudal aceleradamente.

Existe un acuífero que tiene indicios de una alta capacidad de recarga por existir una red de pozos de los cuales hay uno funcionando desde aproximadamente 50 años y es la fuente de agua potable de los Anaucos y gran parte de Maitanita.

Se evidencia que en las zonas más bajas y llanas el nivel freático se encuentra a menos de tres metros de profundidad.

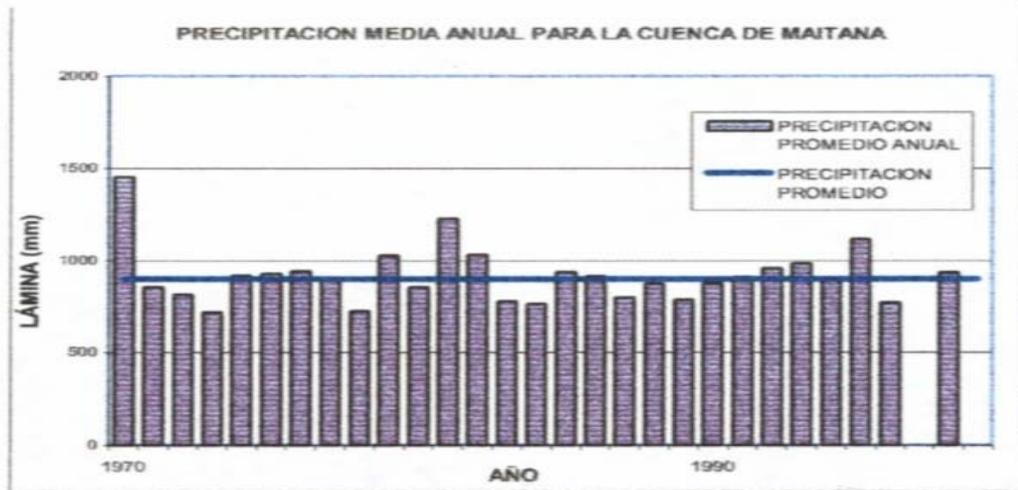


Gráfico 2: Precipitación Media Anual para la Cuenca de la Quebrada Maitana en Maitanita. Tomado de Montero, Martínez, Querales (2003).

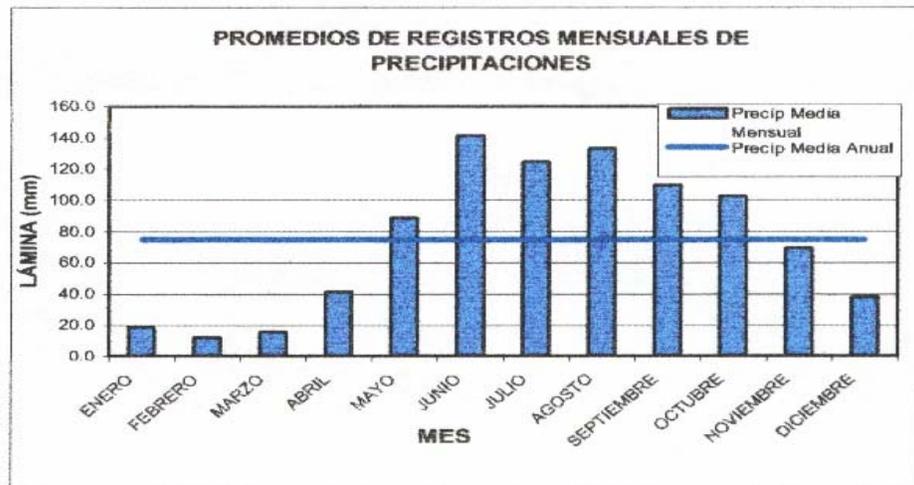


Gráfico 3: Precipitación Media para la Cuenca de la Quebrada Maitana en Maitanita. Tomado de Montero, Martínez, Querales (2003).

La precipitación media para la zona (tomando las estaciones más cercanas Paracotos, Charallave, Universidad Simón Bolívar y promediándolas según los polígonos de Thiessen) es de 900 mm anual, con promedio máximo y mínimo mensual de 141.2 y 12.2 mm respectivamente.

Sismicidad

La zona protectora se encuentra ubicada dentro de la Faja Tectónica de la Cordillera de la Costa, la cual a su vez se ubica en una de las provincias sísmo tectónicas más activas del continente. Como consecuencia de lo señalado, esta área, al igual que el resto de la región capital, se encuentra expuesta a movimientos sísmicos de gran magnitud, originados por la activación de fallas geológicas capaces de generar desplazamientos de bloques de la corteza terrestre. En la región, la intensidad de los sismos puede alcanzar el grado 10 de la escala M.C.S que corresponde a la fase de aniquilamiento. Dentro de las fallas más importantes en el sector y que se

consideran activas se encuentran la de La Victoria y la de Cua-Charallave, las cuales atraviesan el sector sur y suroeste en su sección más meridional.

CAPITULO IV

Geología Regional

La Cordillera de la Costa se desarrolla en forma rectilínea entre Puerto Cabello y Cabo Codera, presentando elevaciones topográficas de consideración en la Serranía del Ávila con el Pico de Naiquatá, ubicado a 2765 metros de altura. La Sierra del Ávila por su parte ha sido descrita como una elevación tectónica tipo “Horst” entre el sistema de fallas del Caribe, al sur, y las fallas del Ávila, al Norte. El primer estudio sistemático de la Cordillera de la Costa fue realizado por Aguerrevere y Zuloaga (1937); Gabriel Dengo (1951) elabora y publica el primer mapa geológico de Caracas y sus alrededores; R.J. Smith (1952), G. Feo- Codecido (1962) y V.M Seiders (1965) se extienden con sus estudios más hacia el Sur y el Este.

Sobre la Cordillera de la Costa Aguerrevere y Zuloaga (1937) publican las primeras definiciones de rocas para la zona. Proponen como núcleo a los augengneis y gneises graníticas denominándolo como el Augengneis de Peña de Mora, mientras que a las rocas metamórficas que se encuentran por encima del basamento establecido, los agrupan dentro de la denominada Serie Caracas.

Según M. Wehrmann (1972) y a escala regional, la Serranía del Litoral de la Cordillera de la Costa es parte integrante del sistema de fallas longitudinales que se extienden en sentido Este – Oeste desde la depresión de San Felipe hasta la isla de Trinidad. Por su parte la falla de Tacagua – El Ávila, que cruza y se extiende al Sur del macizo de El Ávila, y el sistema de fallas de San Sebastián al Norte, definen una importante unidad fisiográfica, estructural y estratigráfica conocida como el anticlinorio del Ávila.

Faja de la Cordillera de la Costa

Ocupa la parte septentrional de las montañas occidentales del Caribe y su límite sur coincide en gran parte con la zona de la Falla de la Vitoria, que las separa de la faja de Cauagua-El Tinaco.

Menéndez (1966), incluye dentro de esta faja las unidades siguientes: Complejo basal de Sebastopol, Formación Peña de Mora, Las Brisas, Antímamo y Las Mercedes. Localmente afloran cuerpos de diferentes tamaños de migmatitas y granitos. Asimismo se encuentran cuerpos dispersos de serpentinitas, peridotitas parcialmente serpentinizadas y anfibolitas. Navarro (1974), indica que estas rocas son el producto de metamorfismo de rocas volcánicas de afinidad epilitica de comienzo de la orogénesis, aunque muestran gran variedad de tipo litológico desde basaltos hasta tholeitas cuarcíferas. Bellizia y Rodríguez (1976), destacan la presencia muy local de eclogitas y esquistos glaucofánicos, que forman un cinturón discontinuo de rocas de alta presión y baja temperatura.

El Complejo Basal de Sebastopol, es una unidad ígneo metamórfica que constituye el basamento de la secuencia metamórfica de la Cordillera de la Costa. La litología predominante consiste en gneis granítico de posible origen ígneo. Dengo (1951), menciona que el gneis está tan deformado mecánicamente que las estructuras originales han desaparecido. Considera que el basamento puede incluir rocas de diferentes orígenes, aunque en la región de Caracas solo se observa el gneis granítico.

Wehrmann (1972) y Ostos (1990), lo correlaciona con el Complejo de El Tinaco. Desde las descripciones iniciales se ha considerado discordante por debajo de los metaconglomerados del Esquisto de Las Brisas de la Asociación Metasedimentaria Caracas.

Smith (1952), divide los Esquistos de las Brisas, en dos intervalos: uno inferior constituido por gneis y esquistos microclínicos conglomeráticos, mientras que el superior indica que esta formado casi enteramente por esquistos sericíticos (moscovíticos).

El miembro inferior consta de metaconglomerados cuarzosos de grano grueso, metareniscas, arcosas y cuarcitas intercaladas con esquistos cuarzo-muscovíticos y filitas grafitosas. Los conglomerados presentan textura gnéisica incipiente y se observa la presencia de porfidoblastos de microclino.

La parte superior de los Esquistos de las Brisas, consta de conglomerados microclínicos, cuarcitas, metalimolitas, esquistos y filitas cuarzo-muscovíticas y cloríticas.

Urbani et al. (1989a), en la zona de Aricagua-Chirimena-Birongo, estado Miranda, logran distinguir y cartografiar cuatro subunidades: Esquisto cuarzo-albitico-muscovítico-clorítico (92% del área de la unidad), mármol (4%), metarenisca (1%) y metaconglomerados (1%). Mientras que en la zona de Valencia-Mariara, Urbani et al. (1989b) cartografían tres subunidades, de esquisto cuarzo-muscovítico-albítico clorítico y cuarcita, filita y mármol, respectivamente, pero igualmente señalan una cuarta subunidad minoritaria de esquistos calcáreo-grafitoso, pero que podría más bien pertenecer al Esquisto de Las Mercedes. Las asociaciones mineralógicas metamórficas indican que esta unidad ha sufrido un metamorfismo de bajo grado en la facies de los esquistos verde, zona de la clorita, posiblemente con una relación p/t baja (Urbani y Ostos, 1989; Urbani et al. 1989 a, b).

El contacto de esta unidad con el Gneis de Sebastopol es discordante, si bien la fuerte meteorización de los afloramientos y la cobertura de urbanismo marginal en la zona tipo, hace que hoy en día no pueda observarse.

La relación con el Mármol de Antímamo y el Esquisto de Las Mercedes, ha sido considerado como concordante y/o transicional por Dengo (1951) y Wehrmann (1972), entre otros, pero autores más recientes han identificado y/o interpretado estos contactos como de fallas de corrimientos, mostrando concordancia estructural (e. g. Urbani et al, 1989b; Ostos, 1990, p.56).

Dengo (1951), describe El Mármol de Antímamo, como una caliza cristalina, masiva de grano medio, color gris claro, con cristales de piritita alternando en capas gruesas, con capas de esquistos micáceos y asociados con rocas verdes de origen ígneo (principalmente anfíbolitas), con estructuras de “boudinage”.

Dengo (1951), propone el nombre de Antímáno para definir una serie de mármoles interestratificados con esquistos glaucofánicos, esquistos micáceos y anfibolitas.

Aguerrevere y Zuloaga (1937), definen a los Esquistos de Las Mercedes como esquisto principalmente calcáreo, con zonas micáceas. Según Wehrmann (1972) y la revisión de González de Juana et al. (1980, p.317), la litología predominante consiste en esquisto cuarzo-muscovítico-calcítico-grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes, que cuando alcanza gruesos espesores se ha denominado “Mármol de Los Colorados”. Las rocas presentan buena foliación y grano de fino a medio, el color característico es el gris parduzco.

Wehrmann (1972), menciona la presencia de metaconglomerados en su base, esquisto clorítico y una sección en el tope de filita negra, con nódulos de mármol negro, de grano muy fino, similares a las calizas de las formaciones La Luna y Querecual. Este mismo autor indica que la unidad se hace más cuarcífera y menos calcárea en su transición hacia el Esquisto de Chuspita. Característico de la unidad, es la presencia de pirita, que al meteorizar, produce una coloración rojiza en sus alrededores.

El contacto entre los esquistos de Las Mercedes y las Brisas es considerado como concordante y de tipo sedimentario. Autores más recientes consideran que dicho contacto es de tipo tectónico conservando el paralelismo en la foliación en ambas unidades (González de Juana et. al, 1980, p318). En la zona de la Colonia Tovar, Ostos (1990, p.55) señala que el contacto entre las rocas de la Asociación metamórfica Ávila con el Esquisto de Las Mercedes puede ser interpretado tanto como una falla normal de bajo ángulo, o como un contacto sedimentario original, mientras que el contacto con el Esquisto de Las Brisas lo interpreta como de corrimiento. En el estado Cojedes el mismo autor, señala que la Peridotito de Tinaquillo está en contacto con el Esquisto de Las Mercedes a través del Corrimiento de Manrique.

Cantisano (1989), en su estudio de la zona de Mamera, Distrito Capital, indica que el contacto entre Las Mercedes y Antímano corresponde a una falla de corrimiento.

El contacto con el Esquisto de Chuspita parece ser transicional (Seiders, 1965).

Faja de Caucagua- El Tinaco

El borde septentrional de esta faja está definido por la zona de Fallas de la Victoria- Pichao. Su límite sur coincide con la Falla de Santa Rosa.

La Faja de Caucagua –El Tinaco, se extiende desde la población de El Tinaco al oeste hasta la región de Barlovento al este. Las unidades descritas en la literatura como pertenecientes a ellos son: El Complejo de El Tinaco y las Formaciones Las Placitas, Pilancones, Tucutunemo, Los Naranjos, Conoropa, Urape, Muraguata y Chuspita.

En el Complejo del Tinaco, se encuentra un conjunto de gneises horbléndicos y rocas asociadas que forman el basamento cristalino y han sido denominadas Complejo del Tinaco.

En el Complejo del Tinaco Menéndez (1965), reconoció dos unidades meta sedimentaria que denominó gnéis de La Aguadita y Esquisto de Tinamú. Considera a la primera de probable origen volcánico-sedimentario, intrusionada por cuatro plutones thronjeníticos, con desarrollo de zonas migmatíticas. La sección de los Esquistos de Tinapú, está formada por una secuencia de esquisto cuarzo-albítico-muscovítico y se restringe a la parte norte del Complejo.

El gneis de La Aguadita, consiste en una intercalación de gneises horbléndicos, gneises biotíticos, anfíbolitas y rocas graníticas y consiste principalmente en una alternancia de capas máficas y félsicas. Otras rocas presentes son algunos metaconglomerados poco frecuentes y algunas capas lenticulares de mármoles.

El Esquisto de Tinapú es una secuencia de esquistos cuarzo-albítico-muscovítico, esquistos cuarzo-albítico-clorítico y metaconglomerados esquistosos

suprayacente al Gneis de La Aguadita y restringidos a la parte norte del Complejo del Tinaco.

Filita de Tucutunemo, unidad descrita por Shagam (1960), para designar una secuencia meta sedimentarias de filitas carbonáceas con intercalaciones de areniscas y metalimonita cuarzo-feldespáticas, encontrándose también cantidades menores de metareniscas de grano grueso y metaconglomerados cuarzo-calcáreo, que afloran en el río Tucutunemo de donde toma su nombre, al noreste de Villa de Cura estado Aragua.

En la región de Miranda la formación consiste en mármoles cuarzosos y filitas intercaladas con filitas calcáreas, cuarcitas, filitas carbonáceas y metaconglomerados de guijarros.

Una zona discontinua pero prominente de mármol negro de grano fino, asociada a un metaconglomerado calcáreo, y cerca de la base de la misma aparecen algunas capas delgadas de toba máfica, afaníticas, de color verde.

González (1972), considera que la litología de la unidad no es constante a lo largo del rumbo, y observa una variación en las calizas las cuales disminuyen hacia el oeste, simultáneamente con un aumento del material cuarcífero.

González de Juana et al. (1980), resume las características de la unidad, señalando que la filita es azul, carbonácea y comúnmente se hace arenosa; presenta mica blanca de origen metamórfico. El mármol es de color gris oscuro a negro, microcristalino, con aspecto moteado, impuro, con cristales de cuarzo y albita de bordes reentrantes, que constituyen hasta el 30 % de la roca y escasos fragmentos de fósiles y desarrollan fuerte foliación metamórfica; el metaconglomerado es de color blanco a gris oscuro, con mal escogimiento, con guijarros de cuarzo de veta, plagioclasa y menor cantidad de metaftanita. El aumento de elementos volcánicos que se produce hacia la base de la Filita de Tucutunemo, al oeste de la localidad tipo, permitió la introducción del término de Metalava de Los Naranjos, para su designación; pero esta interpretación no es respaldada por las observaciones de Beck (1985,p.203, 1986).

En general, los contactos de la denominada Formación Tucutunemo están limitados por fallas, hecho que impide analizar las relaciones estratigráficas con otras unidades. De acuerdo con Shagam (1965), el contacto superior con la filita con Paracotos es de falla, al igual que su contacto inferior con otras formaciones.

El Miembro Los Naranjos, aflora en la parte inferior de la Formación Tucutunemo en la región de Aragua. Las rocas expuestas al norte de Táchata, estado Miranda que se consideraron dentro de la Formación Tiara, fueron incluidas dentro de este miembro.

MacLachlan et al. (1960) y Shagam (1960), indican que la Metalava Los Naranjos consiste en metalavas macizas, que predominan en la sección tipo y disminuyen hacia el oeste donde las secciones más tobáceas y las brechas de flujo son comunes. Las metalavas son de color verde claro o verde azulado, más oscuro en las rocas más graníticas, más oscuro en las rocas de textura más afanítica; en superficies frescas se pueden observar una ligera foliación metamórfica y a veces se observa estructuras almohadilladas. La textura microlítica con cristales sin orientación está formada por fibras de anfíbol de grano fino. Localmente pueden ser ligeramente porfídicas con fenocristales de plagioclasas muy alteradas y augita muy fresca y sin señales de recristalización. Se observan concentraciones de clinozoisita y epidoto y ocasionalmente carbonatos, que pueden haber sido rellenos de amígdalas y a veces vetillas o cuerpos irregulares. Las muestras de granos más finos poseen una matriz turbia, casi opacas, con agregados radiales de agujas que representan microlitos plagioclásicos originales y están salpicados de un agregado que parece leucoxeno. En la quebrada Los Naranjos se encuentran brechas de flujos con fragmentos angulares de varios centímetros de diámetros en una matriz de material casi idéntico.

Beck (1985, p.188, 1986), igualmente distingue una sección predominantemente de metalavas y otra de metatobas, y presenta varias secciones geológicas detalladas donde se ven las relaciones de estas rocas con las adyacentes (p.198).

Beccaluva et al. (1995, 1996, p.92), señala que en la zona del río Toro, hay buenos afloramientos de lava basáltica de afinidad toleítica según lo indica la

geoquímica de cuatro muestras por ello analizadas, petrográficamente encuentran que son rocas esquistosas con una asociación mineralógica de las facies de los esquistos verdes (albita, epidoto, clorita y actinolita). En una muestra de grano grueso observa textura ofítica.

MacLachlan et al. (1960), mencionan que en su parte superior las metavolcánicas se intercalan con la Filita de Tucutunemo. En las secciones presentadas por Beck (1985, 1986), los contactos con los demás tipos de rocas de la Filita de Tucutunemo se presentan como concordante.

Esquisto Chuspita, nombre introducido por Seiders (1965), para distinguir una secuencia arenosa suprayacente a la Formación Las Mercedes, quien afirma que las corrientes de turbidez fueron el principal mecanismo de transporte de los sedimentos, como lo sugiere la repetida estratificación gradada en las capas de areniscas, también recalca la diferencia entre los sedimentos de Chuspita y la generalidad de la composición litológica del resto del Grupo Caracas, que es de naturaleza argilácea, principalmente en las capas de menos de un metro de espesor mientras que en las capas más gruesas, se hacen conglomeráticas con fragmentos líticos como guijarros y peñas de hasta 25 centímetros de diámetro, constituidos por filita, mármol y metarenisca calcárea. La filita de color gris oscuro es calcárea y grafitosa, mientras que el mármol (calcítico) se presenta en dos tipos: uno de tipo litográfico formando capas delgadas de color gris oscuro a negro, con vetas de calcita, mientras que el otro tipo es argiláceo. La foliación del mármol oscurece la estratificación original. Además del mármol calcítico (su caliza), Seiders (1965), menciona mármol dolomítico, negro, grafitosos finamente cristalino, formando capas delgadas y cortados por vetas de cuarzo y calcitas.

Al noreste de Caucagua, Estado Miranda, aflora un conjunto de rocas meta sedimentaria que Seiders (1965), designo con el nombre de Formación Urape por presentar buenos afloramientos en la quebrada de este mismo nombre.

Esta unidad se compone de filitas-clorítico-sericítico, meta areniscas en capas delgadas, ftanitas y fragmentos líticos y metaconglomerados líticos con cantos de rocas volcánicas y metamórficas. En toda la sección aparecen capas delgadas de

mármoles y ftanitas, las vetas de cuarzo son frecuentes y en general las rocas presentan foliación.

El contacto meridional de su zona de afloramientos, es de falla con el Esquisto de Las Mercedes, igualmente es de falla el contacto septentrional con la Filita de Urape, aunque Seiders (1965), sugiere la posibilidad de “una gran discordancia no angular” entre ambas formaciones.

Filita Muruguata, faja de roca predominantemente filítica, que aparece por encima de la Formación Urape, en la Quebrada Muruguata, al noreste de Caucagua y que aflora además en el río Merecure y la quebrada Araguaita, al noreste de Santa Lucia, ambas localidades en el Estado Miranda.

Como señala Seiders (op.Cit), la litología principal es de filita oscura calcárea y no calcárea, abunda en la mayoría de las unidades de la Cordillera de La Costa.

La litología subordinada consiste en filitas verdes, mármoles grafitosos muy foliados, meta arenisca feldespática y rocas metavolcánicas.

Seiders (1965), señala que esta unidad es concordante en su base con la Filita de Urape; mientras que su contacto superior es de falla con otras unidades, o cubierta discordantemente por sedimentos del Neógeno.

La Formación Las Placitas, se encuentra al norte del río Tinapú, en la parte central del área Tinaco-El Pao, parte norte-central del estado Cojedes, donde junto con la Formación Tucutunemo forma un gran manto que recubre el Complejo del Tinaco. La litología predominante consiste en filitas y mármoles negros, carbonáceos, metaftanitas estratificadas, metatobas actinolíticas y cantidades menores de metalada básicas con metaconglomerados y meta areniscas.

La Formación Pilacones, es una unidad que consiste de lavas almohadilladas de basalto andesítico, diabasas augíticas amigdaloides de grano fino y brechas de flujos.

En todas sus unidades volcánicas muestran característicamente fenocristales de plagioclasa alteradas de color azulado. Los basaltos se presentan en forma de lavas almohadilladas y brechas de flujos. Las brechas de flujo consisten en fragmentos angulares de basaltos.

Según Menéndez (1965), esta formación es el producto de la primera actividad volcánica del área del Tinaco. La ausencia de piroclastos y epiclastos demuestra que la extrusión de los sucesivos flujos de lavas frías fue rápida y sin actividad exclusiva.

Faja de Paracotos

Esta limitada por la falla de Santa Rosa y Agua Fría. Consiste en un homoclinal de buzamiento sur, compuesto por capas de la formación Paracotos. A lo largo y cerca de los límites se encuentran diversos cuerpos de serpentinitas.

La formación Paracotos, aflora en una faja este-oeste entre la Falla de Santa Rosa al norte y de Agua Fría al sur en los Estados Miranda, Aragua, Guárico, Carabobo y Cojedes, y en ella se distinguen al menos tres conjuntos litológicos representados por calizas microcristalinas, conglomerados líticos y rocas volcánicas, como bloques dentro de una matriz filítica, constituyendo una sedimentación tipo “wild flysch” tectonizada.

Las calizas asignadas a la Formación Paracotos son rocas microcristalinas de color verde muy claro a gris azulado, que se presentan en capas de forma lenticular. Las rocas conglomeráticas son de color gris verdoso con guijarros de hasta 50 centímetros de diámetro y se asocian con un horizonte de calizas gris microfósilífero; las estructuras metamórficas son escasas pero la facie de grano más fino son muy cloríticas y desarrollan una foliación intermedia.

Seiders (1965), describió cuerpos de metalava de hasta varias decenas de metros de espesor, interestratificados con la filita, que aparecen muy transformados, siendo poco visibles los minerales ferromagnesianos primarios; se presentan tanto como lavas almohadilladas, como en flujos brechados.

Van Berkel et al. (1989) en su estudio de la zona de Táchata-Altigracia de la Montaña, cartografían su “Unidad de rocas meta sedimentarias” interpretándola como equivalente a la Filita de Paracotos, y en ella describen metarenisca, meta pelita y mármol, todas estas rocas con efectos metamórficos de muy bajo grado.

Faja de Villa de Cura

Compuesta por rocas volcánicas (ocasionalmente), sedimentarias metamorfizadas, cuyo origen se ubica al norte de la Cordillera y que parece haberse deslizado hacia el sur durante el Maestrichtiense. Hacia el sur está limitado por La Falla de Cantagallo, en contacto con una serie de sedimentos de edad Cretácico-Terciario Inferior, que a su vez se hallan sobrecorridos por encima de sedimentos Terciarios jóvenes, a consecuencia de un sistema de corrimientos frontales.

Litológicamente está compuesto por rocas metavolcánicas y meta sedimentarias de granulometría variable.

Navarro (1983), diferencia de sur a norte, las siguientes zonas metamórficas: prehnita-pumpellita, barroisita-zoisita/clinozoisita-albita, glaucofano, horblenda barroisitica, epidoto (zoisita-clinozoisita)-glaucofano, lawsolita-albita, pumpellita-actinolita y prehnita-pumpellita.

Los contactos del grupo Villa de Cura con las formaciones adyacentes son tectónicos, interpretados por lo general como fallas de corrimiento.

Los contactos entre las Formaciones El Chino, El Caño, El Carmen y Santa Isabel y Las Hermanas han sido interpretados como tectónicos por Navarro (1983) y Ostos (1990).

La sección tipo de la Formación El Caño se localiza en la Quebrada El Caño, afluente del río Pao, Estado Aragua. La unidad se compone de metatobas laminadas, filitas tobáceas, conglomerados volcánicos, metaladas y sill hipoabisales y se extiende a lo largo de la Serranía del Interior en los Estados Carabobo, Aragua, Miranda y Guárico.

Las metatobas máficas constituyen el 75% del volumen de roca dentro de la Formación y constituyen la litología más característica de ella, son de color verde claro a oscuro y textura afanítica.

En la parte meridional de la zona de afloramientos está en contacto de falla con el Esquisto de Paracotos, mientras que hacia la parte sur su contacto ha sido

considerado como concordante con la Metatoba de El Chino. Según Shagam (1960) este contacto está marcado por el cambio de metatoba laminada a metatoba bandeada.

La formación El Chino, se compone principalmente de metatobas no laminadas, lo cual la diferencia de la Formación El Caño, metalavas basálticas filitas grafitosas, esquistos y granofels-clorítico-cuarzo-albítico y metaftanitas, aflora en la parte central de los Estados Aragua y Miranda, parte septentrional del Estado Guárico y región oriental del Estado Carabobo. Es concordante con los esquistos de Las Brisas adyacentes.

La Formación El Carmen, se extiende por los Estados Aragua, Miranda y Carabobo y consta principalmente de una sucesión de metalavas básicas interestratificadas con metatobas afaníticas, brechas de flujo y metatobas cristalinas.

Las metatobas cristalinas y las metatobas líticas se presentan intercaladas con las metalavas, son de color verde amarillento de grano fino.

Han sido descritos como concordantes (y transicionales) con las unidades de El Chino y Santa Isabel, adyacentes.

La Formación Santa Isabel, presenta, según Shagam (1960), una litología típica de granulito-cuarzo-albítico, término usado por dicho autor para designar un granofels compuesto predominantemente por cuarzo y albita no maclada, con textura granoblástica, pero a medida que aumenta el porcentaje de otros minerales, este tipo de roca pasa a esquistos clorítico, además menciona pequeñas cantidades de metaftanitas, metalavas máficas y metatobas, con ocasionales cuerpos intrusivos discordantes de metadioritas.

El granofels es una roca de grano fino a medio, laminada y gruesamente esquistosa. Navarro et al. (1987,1988), recomienda redefinir esta formación como secuencias clásticas de la cuenca ocasionalmente interdigitadas con cuerpos de lavas almohadilladas de piso oceánico.

El contacto septentrional de la franja de afloramiento de la Formación Santa Isabel, con la Formación El Carmen, es concordante, mientras que su contacto meridional con Formación Las Hermanas ha sido considerado como discordante por Shagam (1960) y tectónico por Navarro (1983) y Ostos (1990).

Según Piburn (1968), la Formación Las Hermanas, se encuentra formada por dos miembros, uno inferior compuesto predominantemente de metaconglomerados volcánicos gruesos, mal escogidos, contentivos de fragmentos redondeada de lava porfirítica vesicular, rica en plagioclasas y piroxeno. En su miembro superior señala la presencia de toba lítica, formada por fragmentos de toba con plagioclasa, trozos vesiculares, metalavas con o sin estructura almohadillada, flujos sin estructuras y ftanitas en niveles discontinuos.

Ha habido discrepancias al definir los contactos entre las rocas de las formaciones Las Hermanas y Santa Isabel del Grupo de Villa de Cura a saber discordantes sobre la Formación Santa Isabel (Shagam, 1960), estratigráficamente concordante (Piburn, 1967), contacto tectónico (Navarro, 1983), no definido (Loubet et al., 1985), y estratigráfico (Beck ,1986). En el mapa geológico Ostos (1990-b), se muestra el contacto entre las Formaciones Las Hermanas y Santa Isabel como de falla de corrimiento.

Faja de corrimiento

Bell (1968), definió la Faja Piemontina como una provincia estructural característica, delimitada por dos sistemas principales de fallas. Su límite meridional está determinado por la falla de corrimiento frontal piemontina, a lo largo de la cual la faja se encuentra en contacto, ya sea con la zona de falla de corrimiento o con la faja volcada. El límite septentrional está constituido por la serie de fallas que separan la Faja Piemontina y la de Villa de Cura.

La provincia se caracteriza por plegamientos acostados hacia el sur en gran escala y por la presencia de falla de corrimiento con buzamiento al norte que afectan una sección Cretácica continua al Albiense- Maestrichtiense, seguida por una del Terciario Inferior.

La Faja Piemontina ocupa una posición alóctona, más al sur de la probable línea de playa del Terciario Inferior. La configuración del corrimiento basal de la Faja Piemontina no se conoce con profundidad; si asciende a la superficie al norte de la

Faja de Villa de Cura, tal como lo postula Bell (1968), el transporte tectónico hacia el sur probablemente se debió a deslizamiento gravitacional.

Bell (1972), explica los corrimientos hacia el sur como respuesta a un ajuste isostático regional, ocurrido a consecuencia de la desactivación de una zona de Benioff existentes en el Cretácico con buzamiento sur (Bell, op.cit).

González de Juana (1977), propuso un modelo tectónico en el cual el Complejo ígneo – metamórfico fue movido tectónicamente hacia el sur, comenzando probablemente en el paleoceno y comprimiendo la sedimentación no metamorfizada del surco. La compresión se renovó en el Eoceno Superior y de nuevo en el Mioceno, sobrecorriendo las metamórficas sobre los sedimentos que constituyen a la Faja Piemontina y sobrecorriendo a su vez a ésta sobre el Borde Pericratónico.

CAPITULO V

Geología local

Esta etapa consistió en un levantamiento geológico de superficie del área y del estudio de las fotografías aéreas provenientes de las misiones # 030412, de 1958 y 0304137, de 1982; todo lo cual nos permitió establecer que el sector en estudio está ubicado en la parte sur de la Cordillera de la Costa, sobre una zona soportada por rocas metamórficas de la Formación Paracotos, recubiertos por típicos mantos de sedimentos coluviales y de suelo residual ambos de poco espesor; así como de aluviones rellenando el fondo del valle.

Unidades litológicas

El levantamiento geológico realizado se basó en la identificación de los litotipos que afloran en la zona así como también de la composición mineralógica presente; observándose en cada afloramiento el rumbo y buzamiento de las discontinuidades, la litología, color fresco y color meteorizado, reacción ante el ácido clorhídrico, presencia o ausencia de agua.

Durante la realización del levantamiento fueron recolectados en campo un total de 100 muestras, distribuidas en toda la zona de estudio como podrá observarse en el mapa. Dichas muestras fueron tomadas con la finalidad de realizar la identificación petrográfica de la roca, así como también para la ejecución de los ensayos de laboratorio de caracterización geotécnica de roca y suelo.

Con respecto a la litología observada en el área de estudio, a nivel general se presenta una sola unidad litológica constituida por filitas y de acuerdo a la mineralogía y a la textura de las rocas vistas en campo se pudieron identificar tres facies litológicas, a saber:

- Filita cuarzo micáceas grafitosas
- Filita cuarzo micácea
- Filita micácea grafitosa

Unidad I: Filita cuarzo micácea grafitosa

La unidad de filita cuarzo micácea grafitosa aflora en la parte norte de la Quebrada Maitana y hacia la parte sur-central del área de estudio de la Autopista Regional del Centro. Esta unidad se caracteriza por ser una roca foliada aunque muy fina, compuesta principalmente de cuarzo, micas y grafitos; este último en pequeñas proporciones.

Las rocas presentes en la unidad poseen un color fresco gris y un color meteorizado gris claro hacia la zona de la autopista y hacia la Quebrada Maitana se observa un color fresco crema con tonalidades oscuras de marrón y un color meteorizado grisáceo.

La roca de esta unidad se caracteriza físicamente por presentar variaciones dentro de los siguientes rangos: roca débil (puede ser desconchada con una navaja), roca fuerte (la muestra requiere más de un golpe del martillo de geólogo para fracturarla) o medianamente resistente (no puede ser rayada o desconchada por navaja; así tenemos que puede ser fracturada por un golpe fuerte de la punta del martillo de geólogo) hacia la autopista y roca fuerte hacia la parte de la Quebrada Maitana. La presencia de la roca débil se debe al alto grado de meteorización química o descomposición de la roca ocasionada por las condiciones climáticas de la región, caracterizada, entre otras cosas, por altas temperaturas y lluvias. Los taludes suelen ser irregulares (amplia variación de tamaño de bloque y forma) a masivos (con pocas discontinuidades o espaciamiento muy ancho).

El cuarzo se presenta en vetas paralela a los planos de foliación.

No hay reacción de la roca al ácido clorhídrico en ninguna de las localidades del levantamiento lo que implica ausencia de carbonatos en esta unidad.

Se encuentra en contacto con la unidad de filitas cuarzo micáceas en la zona de la quebrada y en la autopista.

Unidad II: Filitas cuarzo micáceas

La unidad de filitas cuarzo micáceas aflora hacia la parte centro sur de la Quebrada Maitana, a ambos lados de la Autopista Regional del Centro y a lo largo de toda la Carretera Maitana. Esta unidad se caracteriza por ser una roca que presenta foliación muy fina, constituida mineralógicamente de cuarzo y micas. La composición es homogénea a lo largo de toda la unidad y se presenta el cuarzo en mayor proporción, que en las otras unidades aquí señaladas.

Hacia la Quebrada Maitana, el color fresco es crema y el color meteorizado es verdoso-marrón, hacia la autopista el color fresco presente es marrón claro y el color meteorizado es rojizo; en la carretera el color fresco presente es crema y el color meteorizado es crema con pequeñas vetas de color rojizo debido a la oxidación.

La roca de esta unidad se caracteriza físicamente por cambiar desde roca extremadamente débil a roca débil, y hasta roca fuerte en los alrededores de la Quebrada Maitana; roca muy débil a medianamente resistente en la autopista y roca débil a lo largo de toda la carretera (Clasificación sugerida por Franklin J, 1989). La presencia de roca débil se debe al alto grado de meteorización química o descomposición de la roca.

La roca extremadamente débil (mellada por la uña del dedo pulgar) y la roca débil se fractura paralela a los planos de foliación.

Los afloramientos que contienen este tipo litológico tienden a ser irregulares hacia la Carretera Maitana y también en la Quebrada y masivos en la Autopista Regional del Centro.

Es importante mencionar que en ciertos puntos del levantamiento hubo reacción de la roca frente al ácido clorhídrico lo cual indica que estamos en presencia de carbonatos.

Esta unidad se encuentra en contacto con la unidad de filitas cuarzo micácea grafitosa en la Quebrada Maitana y la Autopista Regional del Centro y recubiertos con espesores menores de coluvión de aproximadamente tres metros y de suelo residual con un espesor de cuatro a cinco metros a lo largo de la carretera Maitana y la autopista Regional del Centro.

Unidad III: Filita micácea grafitosa

La unidad de filita micácea grafitosa aflora en la parte norte de la Quebrada Maitana y en la parte central de la Autopista Regional del Centro. Esta unidad se caracteriza por ser una roca muy foliada, producto de las etapas de plegamiento ocurridas en la roca durante el metamorfismo. Esta roca es bastante laminar y se compone principalmente de micas y grafito, este último en pequeñas proporciones. El cuarzo se presenta en vetas paralelas a los planos de foliación. Esta composición mineralógica es homogénea en toda la unidad.

Físicamente la roca se caracteriza por ser fuerte ya que requiere más de un golpe del martillo para fracturarlas. Se observa meteorizada, presentando color fresco gris oscuro y color meteorizado gris oscuro casi negro.

Los taludes tienden a ser irregulares a masivos.

La roca se fractura paralela a los planos de foliación y las vetas de cuarzo también siguen la misma orientación de la foliación.

No hay reacción de la roca ante el ácido clorhídrico, a lo largo de la localidad del levantamiento indicando ausencia de carbonatos en toda la unidad.

Se encuentra en contacto con la unidad de filitas cuarzo micáceas y hacia el tope con capas de menor espesor de suelo residual

Con respecto al grado de meteorización, notamos que en la Quebrada Maitana la condición es moderadamente meteorizada (Castillejo, 1993), ya que se observó que menos de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo con respecto a las condiciones del macizo rocoso. En la carretera Maitana, la roca se encuentra altamente meteorizada (Castillejo, 1993), ya que más de la mitad de la roca está

descompuesta y/o desintegrada a suelo y por último el macizo rocoso presente en la autopista es moderadamente a completamente meteorizada (Castillejo, 1993).

Los sedimentos coluviales observados en el área de estudio se encuentran constituidos por una mezcla de fragmentos angulares y materiales finos, típicos del coluvión. Se les encuentra a mitad de los taludes que conforman la zona y en las partes bajas del valle principal localizado en la Quebrada Maitana. La mayoría presentan un color fresco crema con tonalidades de marrón claro. Se presentan coluviones de poco espesor; es decir de dos a tres metros de altura así como también de grandes espesores, de aproximadamente diez metros. Los coluviones de gran espesor fueron detectados hacia el oeste de la Carretera Maitana.

Los aluviones son el cúmulo de detritos arrastrados por las aguas de la Quebrada Maitana. Estos se encuentran rellenando el fondo del valle principal y se han ido depositando en los extremos, en el centro y en el fondo del curso principal de la Quebrada. Estos detritos son fragmentos de rocas de todos los tamaños.

En algunos sectores los suelos residuales son de muy poco espesor (1 y 3 metros) mientras que en otras zonas se presentan con espesores de aproximadamente 30 metros y se han generado como consecuencia de la meteorización de la roca.

Geología estructural local

El área de estudio está ubicada en la parte sur de la Cordillera de la Costa, zona perteneciente al sistema montañoso del caribe.

Las rocas se encuentran altamente deformadas debido a los diversos eventos acaecidos durante el transcurso de la historia geológica de la zona, corroborándose en campo por la presencia de planos de debilidad, pliegues y fallas o fracturas.

A consecuencia de la alta deformación sufrida por la roca, ésta se encuentra fuertemente plegada.

Puede evidenciarse en afloramientos que poseen vetas de cuarzo paralelas a la dirección de los planos de foliación. Notamos además, que el patrón de foliación

varía constantemente en cortas distancias; específicamente en rocas que contienen un alto contenido de minerales micáceos.

Las tendencias generales en el rumbo y buzamiento de las discontinuidades observadas en campo fueron las siguientes: en cuanto al rumbo la tendencia fue N-E, el buzamiento fue hacia el Norte. Los valores promedios de las orientaciones de dichas discontinuidades fueron N40E 53N. Además de esta, se establecieron otras mediciones que se evidenciaron en menor proporción; a continuación se presentan los valores promedios de estas orientaciones: N53W 60N, N50E 62S y N39W 57S.

Ensayos de laboratorio

A fin de complementar el levantamiento geológico de campo, se seleccionaron siete muestras, a las cuales se les realizó secciones finas con la finalidad de efectuar la identificación del tipo de roca metamórfica presente en la zona de estudio, así como también para determinar la caracterización geológica de la roca, determinando su composición mineralógica porcentual.

Los ensayos de laboratorio fueron realizados en la Universidad Central de Venezuela.

Petrografía

Como se mencionó anteriormente, a fin de reconocer las asociaciones mineralógicas de la litología perteneciente a la zona, se efectuó un estudio petrográfico a siete secciones finas de muestras que se encuentran distribuidas en toda el área de estudio. En la tabla se presenta el resultado de la petrografía de dichas muestras.

Resultados de la petrografía de las secciones finas analizadas

Muestra	Unidad	Cuarzo (%)	Muscovita (%)	Plagioclasa (%)	Grafito (%)	Biotita (%)	Calcita (%)
AUTOPISTA A4-a1	I	30	5	—	5	25	—
AUTOPISTA A4-a2	I	40	5	—	7	20	—
AUTOPISTA A2-a	I/III	5	7	—	15	20	—
CARRETERA A9	II	20	5	5	—	25	15
CARRETERA A10	I/II	20	—	5	5	20	12
QUEBRADA A9	I	35	—	—	8	20	—
QUEBRADA A20	III	8	—	—	12	20	—

De acuerdo con la composición mineralógica expresada en porcentaje observada en las secciones finas, se puede decir que se tiene tres tipos litológicos bien definidos, que equivalen con los tipos litológicos observados en el levantamiento geológico de campo; estos son:

- Filitas cuarzo micácea grafitosa
- Filita cuarzo micácea
- Filita micácea

Filita cuarzo micácea grafitosa

Compuesta por filitas con una foliación bien desarrollada, presentando un alto porcentaje de cristales de cuarzo microcristalinos, dispuestos en bandas paralelas o alargadas en una dirección preferencial, por lo general paralelo a los planos de foliación. Los cristales de cuarzo se presentan en forma subhedral a anhedral.

Se presenta un alto porcentaje de minerales de biotitas, dispuestos en bandas orientadas paralelas a las bandas de cuarzo microcristalinos.

La biotita se distingue por su característico hábito micáceo. En nicoles paralelos son apenas incoloros, no pleocroicos.

El grafito se reconoce por ser translucido y opaco bajo nicoles paralelos y se observa distribuido en bandas paralelas a la foliación de la roca.

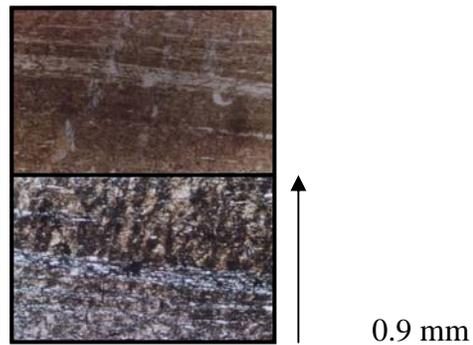


Figura 10: Vista en nicoles paralelos (superior) y nicoles cruzados (inferior) de filita cuarzo micácea grafitosa. Nótese la foliación de la roca, la distribución del cuarzo y el grafito en bandas paralelas a la foliación de la roca.

Filitas cuarzo micáceas

Compuesta por filitas de foliación bien desarrollada, presentando un alto porcentaje de cristales de cuarzo microcristalino, dispuestos en bandas elongadas subparalela a la foliación. La forma de los cristales va de subhedral a anhedral.

En menor proporción se encuentran los cristales de biotitas; casi incoloros en nicoles paralelos y se disponen en bandas orientadas paralelas a las bandas de cuarzo.

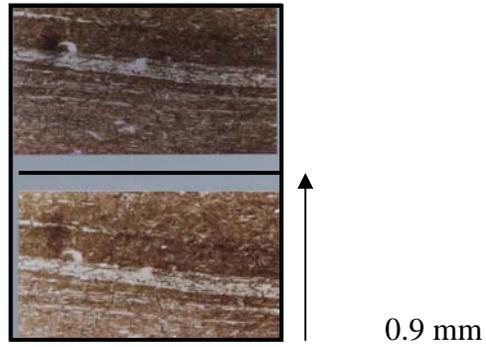


Figura 11: Vista en nicols cruzados (superior) y nicols paralelos (inferior) de la filita cuarzo micácea.

Filita micácea grafitosa

Se observan filitas foliadas constituidas mineralógicamente por un alto porcentaje de biotitas y en menor proporción grafito.

Los cristales de biotita, al igual que el otro tipo litológico descrito anteriormente, se presentan apenas incoloros bajo nicols paralelos y se presentan dispuestos en bandas orientadas paralela a la foliación. El grafito se encuentra distribuido en bandas paralelas a la foliación.

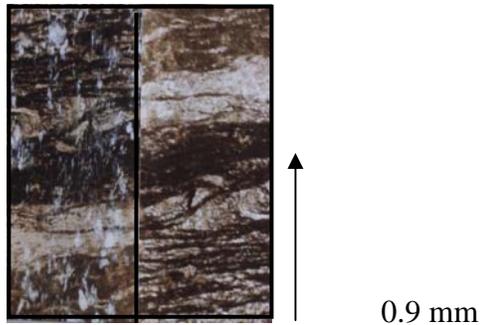


Figura 12: Vista en nicols cruzados (izquierda) y nicols paralelos (derecha) de la filita micácea grafitosa.

Geología estructural

En términos generales, la estructura regional de la Cordillera de la Costa es relativamente sencilla.

Los pliegues principales, forman una serie de anticlinorios y sinclinorios paralelos y simétricos, de rumbo aproximadamente N60-80S. Igualmente paralelas, se extienden las principales fallas longitudinales, corrimientos de gran desplazamiento, con formación de Milonitas y zonas brechadas de amplitud, acompañados de pliegues de arrastre y volcamientos. En ocasiones, las fallas longitudinales suelen ser fallas de gravedad.

Las fallas transversales, oblicuas a las anteriores, son fallas transcurrentes, de varios cientos de metros de desplazamiento.

Dengo (1952), afirma que en general, la foliación es paralela a la estratificación. Seiders (1965), reafirma esta opinión, aunque acepta que localmente, la foliación es paralela a los planos axiales de los pliegues. Frecuentes son las lineaciones en forma de micropliegues y “ápices”, así como lineaciones minerales y boudinage. También se observan pliegues de flujo en calizas y pliegues ptigmáticos en vetas de cuarzo entre los gneises de Peña de Mora.

Seiders (1965), reconoce en Miranda Central, la existencia de cinco fajas estructurales con características propias.

Dengo (1951), sostiene que la tectónica dominante es postmetamórfica.

Menéndez (1966), reconoce cuatro fajas tectónicas y las extiende a todo lo largo de la Cordillera, descritas en el parrado de geología regional.

Las investigaciones llevadas a cabo por Hess (1950), revelan anomalías gravitacionales en el Arco de Las Islas del Caribe, que dieron base a la explicación de la tectónica regional antillana.

CAPITULO VI

MÉTODOS

A continuación se describirán los métodos, las técnicas y procedimientos utilizados para dicha investigación a fin de proporcionar una idea clara del estudio realizado.

Fase 1: Pre-campo

A.- Recopilación de información preexistente (documental o electrónica) del tipo:

- .- Geológica.
- .- Cartográfica y
- .- Aerofotográfica.

B.- Procesamiento de la información recopilada (ordenar cronológicamente y establecer el área de cobertura).

C.- Reinterpretación de la información antes procesada:

1.- En el caso de la información geológica establecer:

Contactos formacionales e intraformacionales aproximados.

Las estructuras geológicas mayores, su traza y extensión.

Las tendencias generales en la orientación de los planos de foliación.

2.- Con respecto a la información cartográfica:

Cuántas restituciones existen y en qué escalas.

Efectuar el análisis de las pendientes, según el sistema de clasificación geomorfológica.

Caracterizar físicamente la zona en estudio, en base a las expresiones topográficas presentes.

3.- En el caso de las fotografías aéreas:

Establecer el área de cobertura.

Realizar la fotointerpretación detallada con énfasis en los aspectos:

Estructural y geodinámica superficial.

Establecer la tendencia evolutiva

Estudio fotogeológico

El estudio fotogeológico se basa en la interpretación de pares estereoscópicos de las misiones aerofotográficas: 030412 de 1958 y 0304167 de 1982 en escala 1:37.500 y 1:20.000 respectivamente; que cubren la zona de nuestro interés.

En el siguiente análisis se tratará de establecer el marco litológico y estructural general de todo el sector; así mismo se busca establecer la presencia de manifestaciones de procesos de geodinámica superficial, tales como deslizamientos fósiles y su posible evolución en el tiempo. Estos cambios en el paisaje se evidenciarán a través de la comparación de ambas misiones que cubren la misma zona pero tomadas en años diferentes. Los procesos de geodinámica superficial representan un riesgo potencial para el desarrollo que se pretende efectuar en la zona lo cual nos permitirá orientar la estrategia para la ejecución del levantamiento geológico de superficie.

Los resultados de esta actividad se presentan en los calcos Ay B correspondientes a las vistas # 030412 588A y 0304167 599 de las misiones arriba señaladas y en el mapa del sector, en escala 1:25.000.

En la siguiente aerofotografía # 030412 588^a de la misión aerofotográfica: 030412 de 1958 puede observarse una vista de la zona en estudio.

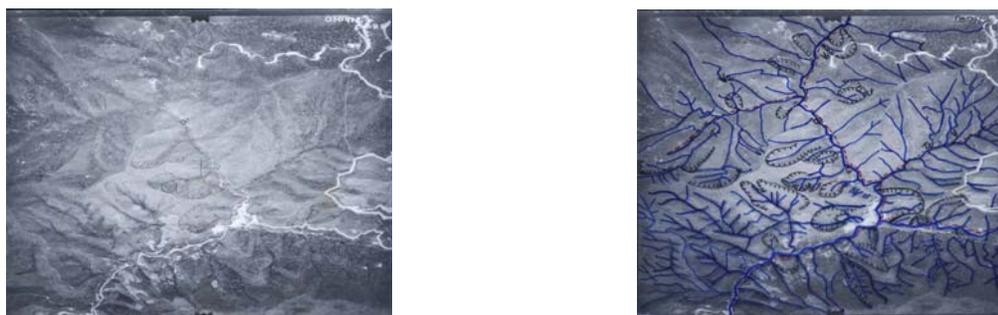


Figura 13: Vista de la aerofotografía # 030412 588^a (1958). Se muestra la vista aérea del sector en estudio: Maitana Estado Miranda para el año de 1958. A la derecha se muestra el calco A con los resultados del estudio fotogeológico realizado.

En la siguiente aerofotografía #0304167 599 de la misión aerofotográfica: 0304167 de 1982 puede observarse una vista de la zona en estudio para este año.

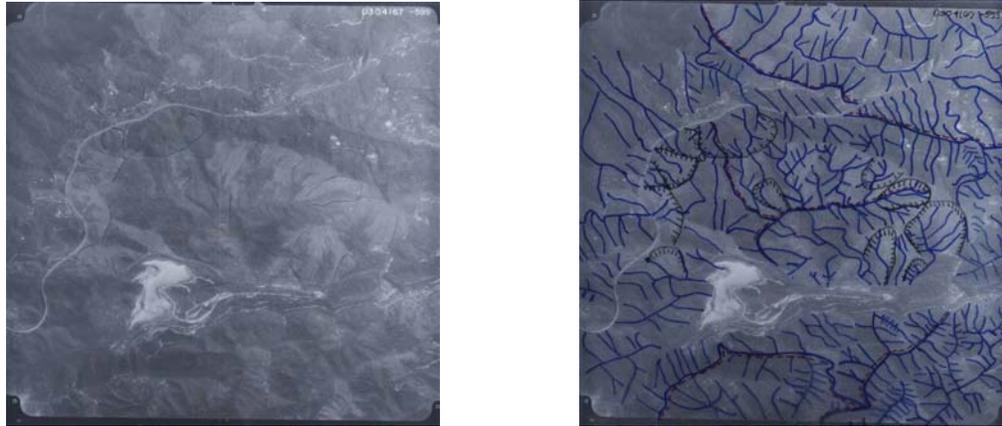


Figura 14: Vista de la aerofotografía # 0304167 599 (1982). Se muestra la vista aérea del sector en estudio: Maitana Estado Miranda para el año de 1982. A la derecha se muestra el calco B con los resultados del estudio fotogeológico realizado.

El paisaje

En general, la zona en estudio representa un valle angosto, flanqueado por laderas de fuerte pendiente, que forman parte de un entorno montañoso mayor, integrante de la Cordillera de la Costa.

Se observa una subunidad identificada como valles angostos hacia el NE y NW de la fotografía identificados como V1 y V2; ambos valles flanqueados por laderas de fuerte pendiente; siendo estrechos. El rumbo aproximado es: N60E y S20W respectivamente. Presentan una geometría pobremente curva encontrándose perfectamente delimitados por la unidad principal.

Las laderas tienden a ser simétricas y con pendiente uniforme y empinada.

El ancho de ambos valles no varía. El cauce del río que los cruza es encajado.

El cauce del río que atraviesa a ambos valles presenta una geometría mixta; donde la corriente tiene dirección hacia el sur y cuyo drenaje es denso en ambos lados de los valles. Dichas aguas se incorporan al drenaje principal.

Los valles presentan forma en V y hay evidencias de la presencia de terrazas en los márgenes.

El drenaje tributario que se incorpora al cauce principal y que controla a ambos valles es denso.

La línea de cresta observada sigue una trayectoria curvilínea la cual se ubica hacia la parte norte de la fotografía y presenta un quiebre particular Q1 que constituye el paso del drenaje principal. Dicha línea de cresta presenta una orientación de rumbo promedio N70°E con un declive general en ambos sentidos. Al NE de la línea de cresta notamos un sector particularmente alto, angosto y agudo. En esta misma dirección de la fila se generan estribaciones paralelas entre sí presentando una dirección de rumbo: N58W Y S8W. Las laderas son asimétricas presentando una pendiente irregular, uniforme y empinada.

Al NW de la fila no se evidencian casi estribaciones debido a la gran cantidad de deslizamientos fósiles ocurridos en la zona. Las laderas son asimétricas presentando una pendiente irregular, uniforme y empinada.

La densidad del drenaje es igual en todas las laderas de dicha fila y aparentemente denso.

Se observa una subunidad identificada como valles encajados hacia el NE y NW de la fotografía; siendo estrecho y cuyo rumbo aproximado es: N60E. Tiene una geometría pobremente curva encontrándose perfectamente delimitado por la unidad principal.

El cauce del río que atraviesa este valle angosto presenta una geometría mixta; donde la corriente tiene dirección hacia el sur y cuyo drenaje es denso a ambos lados del valle. Dichas aguas se incorporan al drenaje principal.

El drenaje

El drenaje del área estudiada está controlado por la Quebrada Maitana, cauce este que presenta una geometría mixta, donde la corriente tiene dirección hacia el sur.

El cauce se observa encajado o entallado en sus depósitos laterales, definiendo cuerpos de terrazas coluviales.

En el margen Este del río se observa un conjunto de tributarios poco numerosos que obedecen a un patrón subparalelo al aproximarse al principal; notándose que la confluencia se efectúa según un ángulo de 75° aproximadamente. La red se hace más tupida hacia la cuenca alta de los tributarios, definiendo un patrón dendrítico. Dentro de este conjunto de tributarios se distinguen dos ya que captan el mayor número de tributarios.

En el margen Oeste del río se presenta otro conjunto de tributarios numerosos que siguen un patrón subparalelo al aproximarse al principal. La confluencia se efectúa según un ángulo de 80° . Dichos tributarios se hacen más numerosos o tupidos hacia su cuenca alta. De estos tributarios se distinguen dos por captar el mayor número de tributarios.

El drenaje se encuentra conformado por dos cuencas. La cuenca C1; ubicada en la zona Sur y central de la fotografía aérea, abarcando una gran extensión y la cuenca C2, que se localiza al norte.

Cuenca C1: El colector principal como se dijo anteriormente presenta una dirección de flujo Norte-Sur siendo la geometría de su curso del tipo irregular, presentando cinco quiebres notorios 1, 2, 3, 4, 5, en donde son notables los cambios de rumbo y dirección.

Dentro de la cuenca C1 y hacia el margen este del colector principal se observa la presencia de tributarios de importancia muy relevante o lo que se le determina colector secundario I y II respectivamente.

Colector secundario I: Se localiza al NE de la cuenca C1. El sentido del flujo se presenta de este a oeste. La geometría del curso es del tipo irregular. El rumbo promedio de este colector es aproximadamente de: N60E, el cauce se encuentra estrecho y encajado. Hacia el norte y al sur del colector secundario, se observa un conjunto de tributarios paralelos entre si al aproximarse al colector secundario, los cuales inciden con ángulos aproximadamente entre 90°, y 80°, y entre 60°, y 50° grados. Las cuencas altas de estos tributarios se hace mucho más densa y con patrones de drenaje dendríticos, haciéndose más tupidos a medida que se asciende a zonas más altas.

Colector secundario II: Se localiza al SE de la cuenca C1. El sentido de flujo se presenta de este a oeste. La geometría del curso es del tipo irregular. El rumbo promedio de este colector es de aproximadamente: S78E. El cauce se observa fuertemente entallado. Al norte y al sur de este colector secundario se presenta un conjunto de tributarios que preservan pseudoparalelismo al aproximarse a dicho colector. La densidad de los tributarios es igual en ambos márgenes del río; los cuales inciden con ángulos aproximadamente de 25°, y 30°, y entre 90°, y 80° grados, respectivamente. Las cuencas altas de estos tributarios se hacen mucho más densas y con patrón de drenaje dendrítico.

Cuenca C2: Se encuentra ubicada al norte de lo fotografía. Su colector principal presenta una dirección de flujo Norte-Sur, siendo la geometría irregular haciéndose luego rectilíneo. El colector se encuentra fuertemente entallado. En el margen este y oeste del colector principal se observa un conjunto de tributarios que presentan un patrón subparalelo cuando se aproximan al principal. Hacia el margen oeste del colector principal se observa la presencia de un tributario de importancia muy relevante denominándosele colector secundario III.

Colector secundario III: Se localiza al NW de la foto. El sentido de flujo se presenta de Este a Oeste. La geometría del curso es del tipo rectilíneo. El rumbo

promedio de este colector es aproximadamente: S68W. El cauce se encuentra medianamente entallado. El valle es de tipo aluvial. La densidad de los tributarios es al parecer igual en ambos márgenes del río. En el margen norte y sur se observa un conjunto de tributarios que preservan pseudoparalelismo al aproximarse al colector secundario. Las cuencas altas de estos tributarios presentan patrones de drenaje dendrítico.

Las estructuras

La interpretación de las vistas nos permite establecer los siguientes elementos:

A.- Las trazas de capas: Se observan muy pocas evidencias de las trazas de los planos de foliación como consecuencia del tipo de litología presente como son las rocas metamórficas, además que el efecto de la meteorización, la vegetación, así como la dinámica superficial contribuyen a la no identificación de las trazas de capas.

Se identificaron fotolineaciones mayores que permiten postular la presencia de fallas. Específicamente en el centro norte de las fotos se observa la presencia de una gran falla F1; presentando dos direcciones: N85°E A 1' y de 1 hasta 3': N70°W; esta falla es posible interpretarla por el grado de linealidad del drenaje que es controlado por esta falla, presenta abundantes fracturas paralelas entre si y perpendiculares a la falla principal F1.

La falla F2 es pseudoparalela a la falla F1; con rumbo aproximado S20E; y a su vez es evidenciada por la linealidad del drenaje del colector secundario III, controlado por dicha falla, presentando además pequeñas fracturas asimétricas.

La falla F3 se ubica hacia el Este de la fotografía y es casi perpendicular a la falla F1, presentando una orientación de aproximadamente: N35E, la cual controla al colector secundario II. La falla F3 tiene fracturas paralelas entre sí.

La falla F4 se ubica al sur de la fotografía y da origen al quiebre Q1. Su orientación aproximada es de S30W; siendo casi paralela a F1 controlando así al drenaje principal. Las fracturas generadas por dicha falla son paralelas entre sí.

Por el paisaje y la litología imperante en la zona, se hace difícil deducir con facilidad la dirección del buzamiento de las capas.

Litología

Como se había echo referencia anteriormente, la zona en estudio se encuentra constituida por un valle angosto flanqueado por laderas siendo su pendiente uniforme y empinada. Se evidencia el desarrollo de un patrón dendrítico y denso que puede indicar la presencia de rocas poco competentes e impermeables. El carácter homogéneo de los elementos del paisaje nos permite sustentar que estamos en presencia de un marco litológico uniforme, afectado por la meteorización, lo cual determina la génesis de procesos de inestabilidad naturales y que han sido parcialmente enmascarado por la vegetación.

Geodinámica superficial

Los únicos indicios de dinámica superficial que se pueden observar; en contraste con el paisaje, son una serie de cicatrices que delatan la presencia de deslizamientos fósiles, con las correspondientes acumulaciones coluviales al pie de las mismas y en algunos casos. La geometría y extensión de los mismos depende en gran medida del gran flujo de drenaje, de la geometría de las laderas, de la litología transportada. Los eventos no son constantes sino más bien pulsantes con intervalos de ciclicidad muy variables en el tiempo.

Se presentan además evidencias de terrazas a lo largo de la Quebrada Maitana

Geomorfología

El sector que nos ocupa se ubica en un paisaje montañoso que forma parte del sector meridional de la Cordillera de la Costa; caracterizándose por una serie de filas alargadas con un rumbo aproximado N70E, entre las cuales se ha reconocido el cerro El Bucare. Específicamente en la ladera norte de dicha fila se ubica una buena parte de la zona en estudio.

El mencionado cerro es una geoforma que presenta una altura máxima próxima a los 900 m.sn.m con una extensión respectivamente corta de un poco más de 2 KM. La línea de cresta muestra declives hacia el nor.-este y el sur-oeste, correspondientemente; presentando además un trazado sinuoso, y con cambios en su rumbo que varía entre N30E Y E-O franco. Las laderas son asimétricas; por otra parte la ladera que presenta la pendiente más suave es justamente la que sirve de apoyo al trazado de la autopista.

El extremo norte de dicho cerro lo compone la quebrada Maitana, su curso exhibe un claro alineamiento general con rumbo variable entre N70E Y N80E, presentando continuidad lo cual indicaría la existencia de un control estructural regional. El valle de la señalada quebrada es bastante estrecho y pudiera designarse con un drenaje encajado y en etapa juvenil, por lo que su potencial erosivo vertical y lateral debe ser relevante. Dicha quebrada hace de receptora de los drenajes que bajan de la ladera que es centro de nuestra atención.

Es importante señalar que la interpretación de los pares estereoscopios de las misiones aerofotográficas antes señaladas, así como las inspecciones de campo realizadas, han permitido descubrir la existencia de fenómenos naturales de geodinámica superficial, marcados y extendidos a lo largo del sector intervenido por la autopista. Estas manifestaciones naturales son denominados deslizamientos, que deben su origen a diversos factores naturales como son la acción de las lluvias, la meteorización química del manto rocoso, la escorrentía y la orientación de los planos de foliación que en dicha zona buzcan al norte

Fase 2. Campo

Además de corroborar en campo las conclusiones obtenidas en la fase de pre campo, se efectuará un reconocimiento geológico y geotécnico del área en estudio; identificándose la morfología de la zona, la topografía, los afloramientos rocosos, las discontinuidades presentes; entre ellas, las foliaciones, diaclasas y fallas y los tipos de roca y/o suelos.

Fase 3: Trabajo de Laboratorio

Una vez obtenidas las muestras de rocas y de suelos de los afloramientos estudiados en campo, estas deben ser llevadas a los laboratorios respectivos a fin de identificarlas para así definir las propiedades del material. Es importante señalar que la recolección de muestras se realizó en forma homogénea a fin de cubrir toda la zona de estudio para poder establecer mejores resultados.

El trabajo de laboratorio consistió en dos fases denominadas como métodos geológicos y métodos geotécnicos.

Métodos geológicos

En esta etapa se realizaron estudios petrográficos a varias muestras tomadas en campo a fin hacer un reconocimiento del tipo de roca presente en la zona de estudio.

Petrografía

Todo el procedimiento concerniente a la elaboración, estudio, reconocimiento y revisión de las secciones finas fue realizado en el Laboratorio de petrología ígnea y metamórfica de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la UCV.

El procedimiento a seguir para petrografiar las secciones finas fue el siguiente:

- Se efectuó una observación general de cada una de las secciones finas.
- Se hizo el reconocimiento mineralógico de la sección para luego presentar un porcentaje de cada uno de los elementos mineralógicos presentes de acuerdo al área total de la sección.
- Fueron identificados los planos de debilidad o foliación así como el tamaño de grano a fin de identificar el tipo de roca metamórfica presente.
- Identificar la presencia o no de carbonato de calcio.

Métodos geotécnicos

Los ensayos relacionados con área de geotecnia se realizaron en el Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Escuela de Geología Minas y Geofísica, así como en el Laboratorio de Suelos perteneciente al IMME.

En la tabla 1 se muestra el tipo de ensayo aplicado al tipo de material ya sea roca o suelo.

Tabla 14. Ensayos aplicados de acuerdo con el tipo de material presente en la zona de estudio.

Ensayo	Tipo de material
Martillo de Schmidt	Roca
Carga puntual	Roca
Granulometría (por tamizado y por hidrómetro)	Suelo
Límites de Atteberg (Límite líquido, límite plástico)	Suelo
Peso unitario	Roca/Suelo
Peso específico	Suelo
Humedad	Suelo
Corte directo	Suelo
Consolidación	Suelo

Ensayos de caracterización de suelos

Los ensayos de suelo realizados en este trabajo tienen como finalidad determinar las propiedades índices y los parámetros geotécnicos que definen el comportamiento mecánico de los suelos encontrados en la zona en estudio. Es bueno señalar que para la clasificación de las muestras de suelos será utilizado el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el cual será explicado más adelante.

Identificación visual – Manual

Según la norma ASTM D2488-93, consiste en la descripción de algunas de las propiedades de los suelos la cual es importante en la caracterización de los mismos. Estas propiedades son:

Color: Esta propiedad puede ser utilizada para la identificación de los suelos orgánicos.

Olor: Es debido a la descomposición de la materia orgánica presente en los suelos. Cuando los suelos inorgánicos están húmedos, presentan olor terroso. Esta propiedad permite identificar la presencia o no de materia orgánica.

Humedad: Esta referida a las condiciones de humedad de la muestra. De acuerdo con la norma modificada de ASTM D 2488 – 93, 1998; La terminología relacionada con la humedad del material puede ser observada en la tabla 15.

Tabla 15. Terminología relacionada con la humedad del material.

Descripción	Criterio
Seca	Ausencia de humedad, seca al tacto
Húmeda	Húmeda, pero no es visible al agua
Mojada	Agua visible, usualmente suelos por debajo del nivel freático

Nota: Tabla elaborada con datos tomados de (Modificado de ASTM D 2488 – 93, 1998).

Forma: Consiste en la forma de las partículas del suelo. La terminología relacionada con la forma de las partículas según la norma modificada de ASTM D 2488 – 93, 1998 se presenta en la tabla 16.

Tabla 16. Terminología relacionada con la forma de las partículas.

Descripción	Criterio
Plana	Partícula de relación ancho/espesor mayor que tres.
Elongada	Partícula de relación largo/ancho mayor que tres.
Plana y elongada	Partícula que cumple con las dos condiciones anteriores.

Nota: Tabla elaborada con datos tomados de (Modificado de ASTM D 2488 – 93, 1998).

Angularidad: Es un término independiente de la forma, y se refiere a la agudeza de las aristas y de los vértices de los suelos granulares. La terminología relacionada con la angularidad de las partículas en los suelos granulares según la norma ASTM D 2488 – 93, se presenta en la tabla 17.

Tabla 17. Terminología relacionada con la angularidad de las partículas en los suelos granulares.

Descripción	Criterio
Angular	Granos que muestran pocas evidencias de desgaste, las partículas presentan bordes puntiagudos con caras relativamente planas con superficie no pulidas.
Subangular	Granos que muestran efectos de desgaste, las partículas presentan bordes redondeados con caras relativamente planas, con superficie no pulidas.
Subredondeado	Granos con considerable desgaste, las partículas se presentan de caras casi planas pero con esquinas y bordes bien redondeados
Redondeado	Granos con caras originales completamente destruidas, las partículas presentan lados curvos y alisados sin la presencia de bordes o aristas.

Nota: Tabla elaborada con datos tomados de (Modificado de ASTM D 2488 – 93, 1998).

Reacción frente al ácido clorhídrico (HCL): Tiene como finalidad describir la reacción de las muestras al agregarle ácido clorhídrico. La terminología relacionada con la reacción al ácido clorhídrico en muestras de suelo según la norma modificada de ASTM D 2488 – 93, 1998, se presenta en la tabla 18.

Tabla 18. Terminología relacionada con la reacción al ácido clorhídrico en muestras de suelo.

Descripción	Criterio
Ninguna	Sin reacción
Débil	Algo de reacción, con burbujeo lento
Fuerte	Reacción violenta, con burbujas formándose inmediatamente.

Nota: Tabla elaborada con datos tomados de (Modificado de ASTM D 2488 – 93, 1998).

Consistencia: Consiste en tratar de romper o deformar una muestra de suelo con los dedos. La terminología que está relacionada con la consistencia del suelo según la norma modificada de ASTM D 2488 – 93, 1998 se presenta en la tabla 19.

Tabla 19. Terminología que está relacionada con la consistencia del suelo.

Descripción	Criterio
Muy suave	Penetración del pulgar en más de una pulgada.
Suave	Penetración del pulgar una pulgada.
Firme	Penetración del pulgar en un cuarto (1 ¼) pulgada.
Duro	El pulgar no hace muescas en la muestra, pero esta ya tiene algunas pequeñas.
Muy duro	El pulgar no hace muescas en la muestra.

Nota: Tabla elaborada con datos tomados de (Modificado de ASTM D 2488 – 93, 1998).

Cementación: Se refiere a la cementación de los granos gruesos del suelo. La terminología relacionada con la cementación según la norma modificada de ASTM D 2488 – 93, 1998 se presenta en la tabla 20.

Tabla 20. Terminología relacionada con la cementación.

Descripción	Criterio
Débil	Se desmenuza o se quiebra con una pequeña presión con los dedos.
Moderada	Se desmenuza o se quiebra con una considerable presión con los dedos.
Fuerte	No se desmenuza ni se quiebra con la presión de los dedos.

Nota: Tabla elaborada con datos tomados de (Modificado de ASTM D 2488 – 93, 1998).

Estructura: Consiste en describir como se presentan las capas del perfil del suelo o si se presentan planos de fracturas. La terminología relacionada con la estructura según la norma modificada de ASTM D 2488 – 93, 1998 se presenta en la tabla 21.

Tabla 21. Terminología relacionada con la estructura.

Descripción	Criterio
Estratificado	Cuando el perfil del suelo está formado por capas alternantes de tipos de suelos o de color, con espesores mayores de 6 mm.
Laminado	Cuando el perfil del suelo está formado por capas alternantes de tipos de suelos o de color, con espesores menores de 6 mm.
Fisurado	Quiebres a lo largo de planos definidos de fracturas de poca resistencia debido al fracturamiento.
Fracturados	Planos de fracturas pulidos, alisados o lustrosos en pequeños terrones.
En lentes	Capas en forma de lentes del perfil del suelo
Homogéneo	Mismo color y apariencia a lo largo del perfil del suelo.

Nota: Tabla elaborada con datos tomados de (Modificado de ASTM D 2488 – 93, 1998).

Plasticidad: Se determina en la fracción fina de los suelos. La terminología relacionada con la plasticidad de la fracción fina de los suelos según la norma modificada de ASTM D 2488 – 93, 1998 se presenta en la tabla 22.

Tabla 22. Terminología relacionada con la plasticidad de la fracción fina de los suelos.

Descripción	Criterio
No plástica	No se pueden hacer hebras con el suelo.
Baja	Se amasa pero no se pueden hacer hebras con el suelo.
Media	Se hacen hebras en varias oportunidades.
Alta	Siempre se logra hacer hebras.

Nota: Tabla elaborada con datos tomados de (Modificado de ASTM D 2488 – 93, 1998).

El análisis granulométrico

Es un proceso mecánico por medio del cual se separan las partículas de un suelo en sus diversos tamaños, resolviendo en porcentaje del peso total, la cantidad de granos de diferentes tamaños.

El análisis granulométrico fue realizado por dos métodos:

- .- Tamizado en seco.
- .- Por hidrómetro.

Método de tamizado en seco

La forma de determinar el tamaño de las partículas se lleva a cabo empleando tamices de malla cuadrada y de aberturas enumeradas que cumplan con las especificaciones ASTM.

Este método fue aplicado a muestras con partículas menores de 76 mm. Para la clasificación se utilizó el sistema de clasificación unificada de suelos.

Equipo utilizado

- .- Conjunto de tamices: 3"-1 1/2"-3/4"-3/8"-#4-10-20-40-100 y 200.
- .- Balanza con capacidad de 2 Kg. y sensibilidad de 0,01 gr. (Marca METTLER).
- .- Tamizadora mecánica. (Marca: Retac 3D. Echo en Alemania).
- .- Bandejas, brochas, taras.

Se prepara la muestra; se extiende para que se seque a temperatura ambiente.

Tomamos una muestra representativa del material cuyo peso estará en función del tamaño de sus partículas más grandes (peso inicial).

Se lleva la muestra a los tamices, ya organizados de acuerdo a su abertura y se colocan en la tamizadora mecánica.

El tamizado tendrá un tiempo de duración de 10 minutos hasta que las partículas sean separadas en su totalidad.

Una vez realizado el tamizado, se determina el peso de cada fracción retenida.

Todos estos pesos serán llevados a la hoja de registro. La suma de los pesos retenidos será igual al peso inicial de la muestra.

Por último se elabora la curva granulométrica. En un papel semilogarítmico se colocan en el eje de las abscisas los porcentajes pasantes y en las ordenadas los diámetros respectivos.

En el anexo 1 se muestra un resumen de los resultados obtenidos para este ensayo.

Método del hidrómetro

Oviedo (1966), este método de ensayo basado también en el principio de sedimentación, expresado por la ley de Stokes, tiene por objeto determinar cuantitativamente los rangos de valores correspondientes al diámetro de las partículas de limo, arcilla y coloides.

Equipo utilizado:

- Hidrómetro tipo 152-H de acuerdo a las especificaciones ASTM.
- Balanza con sensibilidad 0.01 gramos. (Marca: METTLER).
- Cilindros graduados y de capacidad de 1000 mililitros.
- Termómetro con apreciación de 0.5 grados centígrados.
- Cronómetro y agitador de vidrio.
- Agentes defloculantes (Marca: Cristal Shine Powder).
- Agua destilada, vaso precipitado.

Es importante señalar que el defloculante es un agente dispensador de los grumos que tienden a formar entre si las partículas finas al estar en suspensión. Contiene principalmente carbonato de sodio, fosfato de sodio, sulfato de sodio y silicato de sodio.

Antes de hacer el ensayo es necesario calibrar el hidrómetro para determinar la profundidad efectiva de las partículas del suelo; así como también hacer las correcciones por menisco, por defloculante, punto cero y temperatura.

Iniciamos el ensayo tomando una porción del material seco y se pasándolo por el tamiz # 40. Pesamos 50 gramos de dicho material, luego se coloca en un vaso de precipitado y se cubre con agua destilada dejándose luego en remojo durante 18 horas mínimo.

Luego de cumplirse el periodo de remojo, se agita bien durante cinco minutos y se vierte en un cilindro de sedimentación; completando el volumen a 1000 mililitros con agua destilada.

Se tapa la boca del cilindro con la palma de la mano o con un tapón y se agita la suspensión invirtiendo el cilindro varias veces; durante un minuto, luego se coloca sobre una superficie horizontal.

Se pone en marcha el cronómetro y se sumerge el hidrómetro poco a poco, sin producir turbulencia en el fluido, hasta que comience a flotar.

Tómense lecturas a los 0.5, 1 y 2 minutos después de los cuales se retira el hidrómetro y con un termómetro se determina la temperatura de la suspensión.

Se vuelven a hacer lecturas a los 5, 10, 15, 20, 25, 30 minutos y a la 1, 2, 4 y 24 horas, sumergiéndolo en la suspensión aproximadamente 20 segundos y midiendo la temperatura en cada lectura. El hidrómetro se enjuagará por cada lectura que se haga sumergiéndolo en un cilindro que contenga agua destilada.

Luego de culminado el ensayo, todo el fluido contenido en el cilindro se vierte en un tamiz # 200 y se lava con abundante agua, hasta que llegue al punto en que salga clara. El material retenido en el tamiz se secará en el horno a 105 +/- 5 grados centígrados. Luego que este seco se pesa y se tamiza en seco. Todos estos pesos serán llevados a la hoja de registro. La suma de los pesos retenidos será igual al peso inicial de la muestra.

Por último se elabora la curva granulométrica. Ver en anexo 2 los resultados obtenidos para dicho ensayo.

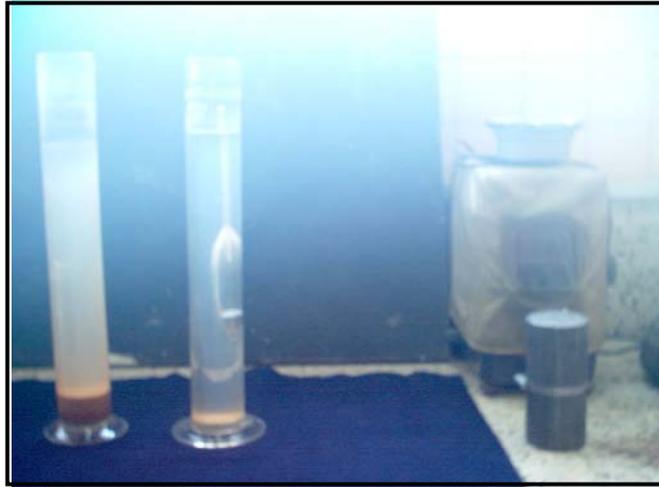


Figura 15: Ensayo por hidrómetro.

Límites de consistencia

Límite líquido

Se determina midiendo la humedad y el número de golpes necesarios para cerrar en una determinada longitud una ranura de un determinado ancho mediante un aparato normalizado denominado cuchara de casagrande.

Equipo:

- Aparato de Casagrande (Marca: Humboldt Testing).
- Ranuradora para suelos arenosos y para suelos arcillosos, tipo ASTM.

Preparación de la muestra

Secamos la muestra al aire libre, pasamos el material seco por el tamiz # 10, desmoronando los terrones. Luego tamizamos por el tamiz # 40 y tomamos 200 gramos de muestra.

En un envase colocamos el material y agregamos agua destilada, se mezcla con una espátula hasta obtener una pasta uniforme, espesa y suave. Se guarda la pasta uniforme, espesa y suave. Se guarda la pasta preparada en un envase tapado durante unas 12 horas o más para que la humedad se distribuya en todos los granos del suelo.

Pasado el tiempo necesario, procedemos a determinar el límite líquido.

Se ajusta la altura de caída de la cápsula de latón de la cuchara de casagrande; para que sea de un centímetro; luego se coloca la muestra en el platillo pisoneándola contra el fondo con movimientos circulares con la espátula para evitar que el suelo adquiera burbujas de aire. Luego se nivela la superficie horizontalmente con la espátula procurando obtener un centímetro de profundidad en el punto de espesor máximo.

Tomamos un ranurador y separamos la muestra por el centro desde el interior hasta el borde libre del platillo dejando un canal limpio y claro. Se activa la manivela que gira con una velocidad en la caída del platillo de dos golpes por segundo, contando simultáneamente el número de golpes requeridos para que los labios de la ranura se unan en una longitud de un centímetro aproximadamente.

Se anota el número de golpes y se toma una muestra del suelo próximo a los labios de la ranura en la parte donde se cerró, se pesa y se seca al horno para determinar su contenido de humedad.

Este procedimiento es realizado tres veces con la misma muestra, limpiando y secando el platillo previamente, el contenido de humedad de la muestra ira disminuyendo a medida que se van realizando los tres ensayos. El numero de golpes necesarios para el cierre de la ranura esta en los rangos de 10 a 20 a 30 y 30 a 40.

Por ultimo se realizara un grafico; siendo el eje de las abcisas el numero de golpes en escala logarítmica y el eje de las ordenadas los porcentajes de humedad del suelo en escala aritmética. Se dibujan los datos obtenidos en el ensayo y se traza la recta media entre los puntos para arrojar como límite líquido el contenido de humedad, leído sobre la recta que corresponda a 25 golpes.



Figura 16: Cuchara de Casagrande y ranuradores para suelos arenosos y suelos arcillosos.

Límite de contracción

Es el contenido de humedad para el cual cesa la disminución del volumen de la masa de suelo, aun cuando el contenido de agua continúe disminuyendo.

Es importante resaltar que este ensayo fue descartado ya que el tipo de suelo recolectado no era apto o no presentaba las condiciones propicias para la obtención del límite de contracción.

Límite plástico

Se obtiene midiendo el contenido de humedad del suelo cuando comienzan a desmoronarse pequeños cilindros de suelo de 3 milímetros de diámetro.

Equipo utilizado:

- .- Vidrio.
- .- Balanza con sensibilidad de 0,01 gramos. (Marca: METTLER).
- .- Horno eléctrico.
- .- Envases de aluminio.

De la muestra de suelo preparada para efectuar el ensayo de límite líquido, se toma una pequeña cantidad y se amasa entre los dedos; luego se amasa y rueda sobre una superficie lisa (como la lamina de vidrio) con la palma de la mano hasta formar una hebra de diámetro uniforme en toda su longitud. Cuando esta alcance un diámetro de tres milímetros se amasa el cilindro de nuevo y se hace rodar otra vez sobre el vidrio. Este procedimiento se repite varias veces a fin de que la muestra pierda gradualmente la humedad y se empiece a endurecer.

El límite plástico es alcanzado cuando el cilindro se agrieta al disminuir su diámetro a tres milímetros y en trozos de un centímetro de longitud aproximadamente. Luego de obtener suficientes rollitos se procede a ponerlos en un envase, se pesa y se determina su contenido de humedad secándolo al horno.

Si el límite plástico no puede ser determinado, entonces se dice que el suelo es no plástico.

Los límites de consistencia se determinaron según la norma ASTM D 4318 – 95a.

En el anexo 3 se muestra un resumen de los resultados obtenidos para dichos ensayos.

Índice de plasticidad

A partir de los ensayos de límite líquido y límite plástico se obtiene el índice de plasticidad. Matemáticamente es el valor numérico de la diferencia entre límite líquido y el límite plástico, o sea:

$I_p = W_L - W_p$; Donde:

W_L : Límite Líquido.

W_p : Límite Plástico.

Se elaboró el gráfico de plasticidad de Casagrande a partir de los resultados arrojados.

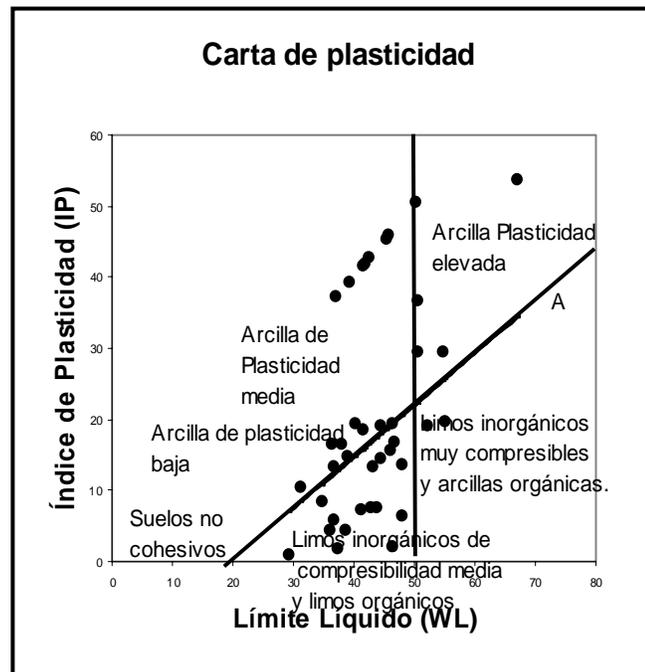


Gráfico 1: Gráfico de plasticidad de A. Casagrande. (Tomado de Ugas, 1995)

Como puede verse en el gráfico, cada muestra de suelo esta representada por un punto cuyas coordenadas serán su límite líquido y su índice de plasticidad. Dos rectas, una oblicua llamada línea "A", de ecuación $I_p = 0,73 (WL - 20)$ y otra vertical pasando por $WL = 50$ dividen a las muestras de suelo en los grupos que se definen a continuación: limos, arcillas, suelos orgánicos limos y arcillas intermedias; indicándose además el grado de plasticidad en suelos que contienen arcillas.

Las muestras de suelo que tienen un límite líquido menor de 50 por ciento tienen baja plasticidad mientras que las muestras de suelo con límite líquido mayor de 50 por ciento poseen una alta plasticidad.

A continuación se presentan los resultados arrojados por el gráfico de A. Casagrande en la tabla 10.

Tabla 23: Resultados obtenidos del gráfico de A. Casagrande

Ubicación	Afloramiento/ Muestra	Plasticidad
Quebrada Maitana	A16/M6	Baja a media
Quebrada Maitana	A16/M7	Baja a media
Quebrada Maitana	A22/M15	Baja a media
Carretera Maitana	Posible deslizamiento/M1	Elevada plasticidad
Carretera Maitana	A1/M1	Media a baja
Carretera Maitana	A6/M4	Media a baja
Carretera Maitana	A6/M5	Baja
Carretera Maitana	A7/M8	Baja a media
Carretera Maitana	A7/M10	Baja a media
Carretera Maitana	A8/M13	Baja a media
Carretera Maitana	A9/M15	Media
Carretera Maitana	A9/M17	Media
Carretera Maitana	A11/M1	Alta
Carretera Maitana	A12/M4	Baja
Carretera Maitana	A13/M1	Elevada plasticidad
Carretera Maitana	A13/M5	Media
Carretera Maitana	A13/M9	Limos muy compres.
Carretera Maitana	Monolito 1	Media a alta
Carretera Maitana	Monolito 2	Media a alta
Carretera Maitana	Monolito 3	Media a alta
Carretera Maitana	Casa/M2	Media a alta
Autopista Regional	A1/M1	Baja a media
Autopista Regional	A1/M5b	Baja a media
Autopista Regional	A5/M5	Alta
Autopista Regional	A6/M2	Media
Autopista Regional	A6/M10	Media
Autopista Regional	A6/M13	Media
Autopista Regional	A7/M1	Baja
Autopista Regional	A7/M3	Media a alta
Autopista Regional	A7/M4	Media
Autopista Regional	A8/M1	Compres media
Autopista Regional	A8/M2	Media
Autopista Regional	A8/M4	Media
Autopista Regional	A8/M5	Media
Autopista Regional	A9/M1	Limo compres media
Autopista Regional	A9/M2	Media a alta
Autopista Regional	A9/M3	Baja
Autopista Regional	A10/M1	Media a alta
Autopista Regional	A10/M2	Limo poco compres
Autopista Regional	A10/M3	Media
Autopista Regional	Frente Autopista/M2	Baja
Corozal	A5/M6	Media

En términos generales, todas las muestras de suelo estudiadas, presentan determinada plasticidad.

Como puede observarse tenemos suelo con plasticidad baja, baja a media, media, media a alta y alta lo cual implica que todos poseen determinado porcentaje de arcilla inorgánica. Es importante resaltar que muestras de suelo con una alta o elevada

plasticidad nos estaría indicando que son suelos con un alto contenido de arcilla y que la cohesión de dicho suelo podrá alcanzar valores más elevados.

Esto nos dice además que este tipo de material puede sufrir deformaciones plásticas antes de su rotura.

También tenemos limos con compresibilidad media a alta.

Contenido de humedad

Este ensayo tiene como objetivo determinar cuantitativamente el contenido de humedad de muestras de suelo, en su estado natural.

Equipo utilizado:

- .- Horno eléctrico con temperatura de 105 +/-5 grados centígrados.
- .- Balanza de sensibilidad de 0,01 gramos. (Marca: METTLER).
- .- Recipiente de aluminio (pesadas y numeradas).
- .- Espátula y cuchara.

Se toma una muestra representativa de suelo húmedo. El peso de esta dependerá del diámetro de las partículas más grandes.

Pesamos un recipiente limpio y seco.

Nuevamente se pesa el recipiente con el suelo húmedo; se lleva al horno a una temperatura de 105 +/- 5 grados centígrados. Si el material contiene materia orgánica; se deja secar a una temperatura no mayor de 60 grados centígrados.

El secado se efectuó hasta obtener un peso constante. El tiempo de secado fue de 24 horas. Ya la mayoría de las muestras presentan contenido arcilloso.

Pasado el tiempo de secado, se retira el recipiente del horno y se deja enfriar. Cuando la muestra se haya enfriado se pesa y este valor se reporta como peso de suelo seco más recipiente.

Por último se efectuaron los cálculos por obtener el contenido de humedad del suelo en porcentaje. Este ensayo se determinó según la norma ASTM D2216 – 92

$$\%w: Ww/Ws*100; \text{tomada de ASTM D2216 (1998).}$$

Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)

Luego de haber realizado todos los ensayos de caracterización de suelos a las muestras tomadas en campo, estos serán clasificados según el sistema unificado de clasificación de suelos, de acuerdo con la norma ASTM D 2487 – 93. Este sistema de clasificación se presentará en forma resumida en la tabla 10.

Tabla 24. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Suelos de grano grueso más de 50% retenido en el tamiz # 200.	Gravas, más de 50 % de la fracción gruesa retenida en el tamiz # 4.	Gravas limpias, menos de 5% finos.	CU>04 Y 1=<Co<=3	GW	Grava bien gradada
			CU<4 Y/O 1>Cc>3	GP	Pobremente gradada
		Gravas con finos más de 12 % de finos.	Los finos son ML o MH	GM	Gravas limosa
			Los finos son CL o CH	GC	Gravas arcillosas
	Arenas, 50 % o más de la fracción gruesa pasa el tamiz # 4.	Arenas limpias, menos de 5% de finos	CU>=6 Y 1=<Cc<=3	SW	Arena bien gradada
			CU<6 Y/O 1>Cc>3	SP	Arena pobremente gradada
Arenas con finos, más de 12% de finos.		Los finos son ML o MH	SM	Arena limosa	
		Los finos son CL o CH	SC	Arena arcillosa	
Suelos de grano fino 50% o más pasa el tamiz # 200	Limos y arcillas LL< 50	Inorgánico	LLseco/LLhúmedo < 0,75	OL	Arcilla orgánica de baja plasticidad. Limo orgánico de baja plasticidad
		orgánico	LL>50 Y Ip>20	CH	Arcilla de alta plasticidad
	Limos y arcillas LL> 50	Inorgánico	LL>50 Y Ip<20	MH	Limo de alta plasticidad
		orgánico	LLseco/Húmedo < 0,75	OH	Arcilla orgánica de alta plasticidad

Nota: Tabla elaborada con datos tomados de (Modificado de ASTM D 2487 – 93, 1998).

Seguidamente mostraremos las muestras de suelo clasificadas según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

Tabla 24 – 1: Clasificación de Suelos

Muestra	Perf. (m)	Mineralogía	Forma Color Olor	Textura	Humedad	Plasticidad	Nombre	Símbolo
A16/M6 Quebrada	1	Cuarzo, Muscovita	Subangular a subredondeada. Gris claro y naranja.	Rugosa	Seco	Baja a mediana.	Arena mal gradada, Arenas con grava, pocos o sin finos.	SP
A16/M7 Quebrada	1	Cuarzo, Muscovita	Subangular a subredondeada. Gris claro Y naranja.	Rugosa	Seco	Baja a mediana	Arena bien gradada. Mezclas gravas, pocos o sin finos.	SW
A22/M15 Quebrada	1	Cuarzo, Muscovita	Subangular a subredondeada. Gris claro Y naranja.	Rugosa	Seco	Baja a mediana	Grava Bien gradada. Mezclas grava-arenal pocos o sin finos.	GW
A1/M1 Autopista	1	Muscovita Esquisto Cuarzo	Subangular Ocre claro	Rugosa	Seco	Baja a mediana	Grava bien gradada.	GW
A1/M5b Autopista	1	Esquisto y micas	Subangular Ocre claro	Rugosa	Seco	Baja a media	Grava bien gradada.	GW
A2/M13 Autopista	1	Esquisto y micas	Subangular Marrón	Rugosa	Seco	Alta	Grava bien gradada	GW
A5/M5 Autopista	1	Cuarzo Filita	Subangular a subredondeado. Marrón.	Rugosa	Seco	Alta	Grava bien gradada, grava-arena pocos o Sin finos.	GW
A6/M2 Autopista	1	Cuarzo Filita	Subangular a Subredondeado Negro a gris oscuro	Rugosa	Seco	Media	Grava bien gradada, grava-arena pocos o sin finos.	GW

Tabla 24 – 2: Clasificación de Suelos

Muestra	Perf. (m)	Mineralogía	Forma Color Olor	Textura	Humedad	Plasticidad	Nombre	Simbolo
A6/M10 Autopista	1	Cuarzo Muscovita	Subangular a Subredondeado Negro a gris.	Rugosa	Seco	Media	Grava bien gradada, arena pocos o sin finos.	GW
A6/M13 Autopista	1	Cuarzo	Subangular a Subredondeado Negro a gris oscuro	Rugosa	Seco	Media	Arena bien gradada arcillosa (12 % de arcilla).	SW-SC
A7/M4 Autopista	1	Cuarzo Muscovita	Subangular a subredondeada Gris y naranja de tonos claros	Rugosa	Seco	Media	Grava bien gradada, grava-arena pocos o sin finos.	GW
A7/M1 Autopista	1	Grafito, Vetas cuarzo.	Subangular a subredondeada Gris y naranja de tonos claros	Rugosa	Seco	Baja	Grava bien gradada, grava-arena pocos o sin finos.	GW
A7/M3 Autopista	1	Cuarzo Esquisto	Subredondeada Ocre a naranja de tonos claros	Rugosa	Seco	Media a alta	Grava bien gradada, grava-arena pocos o sin finos.	GW
A8/M1 Autopista	1	Muscovita Esquisto	Subangular Naranja claro Y franjas rojizas	Rugosa	Seco	Compresibilidad media	Grava mal gradada limosa	GP-GM
A8/M2 Autopista	1	Cuarzo Muscovita	Subangular a Subredondeado Marrón claro A beiz.	Rugosa	Seco	Media	Arena bien gradada, mezcla grava, pocos o sin finos.	SW
A8/M4 Autopista	1	Muscovita Esquisto	Subredondeado Marrón claro	Rugosa	Seco	Media	Arena bien gradada, mezcla grava, pocos o sin finos.	SW
A8/M5 Autopista	1	Cuarzo y micas	Subangular Marrón claro	Rugosa y lisa	Seco	Media	Grava bien gradada arcillosa	GW-GC
A9/M1 Autopista	1	Moscovita Cuarzo	Subredondeado Marrón claro	Rugosa	Seco	Limos de compresibilidad media	Arena bien gradada limosa	GW-GM
A9/M2 Autopista	1	Moscovita Cuarzo	Subredondeado	Rugosa	Seco	Media a alta	Grava bien gradada, grava-arena pocos o sin finos.	GW

Tabla 24 -3: Clasificación de Suelos

Muestra	Perf. (m)	Mineralogía	Forma Color Olor	Textura	Humedad	Plasticidad	Nombre	Símbolo
A9/M3 Autopista	1	Grafito Cuarzo	Subangular Marrón negrusco	Rugosa	Seco	Baja	Grava bien gradada, grava-arenal pocos o sin finos.	GW
A10/M1 Autopista	1	Cuarzo	Subangular a Subredondeado Marrón oscuro	Rugosa	Seco	Media a alta	Arena bien gradada arcillosa (8.8 % de arcillas).	SW-SC
A10/M2 Autopista	1	Cuarzo y Micas.	Subangular Naranja y ocre	Rugosa	Seco	Limos inorgánicos pocos compresibles.	Arena mal gradada. Arenas con gravas pocos finos o sin finos.	SP
A10/M3 Autopista	1	Cuarzo	Subangular y subredondeado Naranja y ocre	Rugosa	Seco	Media	Grava bien gradada, grava-arenal pocos o sin finos.	GW
Frente Aut/M2	1	Cuarzo	Subangular y subredondeado Terracota y naranja.	Rugosa	Seco	Baja	Grava bien gradada, grava-arena pocos o sin finos.	GW
A1/M1 Carretera	1	Cuarzo Muscovita Esquisto	Subangular Y angular	Rugosa y Suave	Seco	Media a baja	Grava bien gradada, grava-arena pocos o sin finos.	GW
M1/Pos desl Carretera	1	Micas	Subangular Marrón claro	Rugosa	Seco	Arcilla inorgánica de elevada plasticidad	Arena bien gradada arcillosa (5.47 % de arcillas).	SW-SC
A6/M4 Carretera	1	Cuarzo Esquisto	Subangular y Subredondeado Marrón claro y beiz	Rugosa	Seco	Media a baja	Arena bien gradada limosa (17.27 % de limos y 12 % de arcillas).	SW-SC
A6/M5 Carretera	1	Muscovita	Subangular y Subredondeado Anaranjado y Beiz.	Rugosa	Seco	Baja	Arena bien gradada, mezclas gravas, pocos o sin finos (19.8 % de limos y 9.2 % de arcilla).	SW

Tabla 24 - 4: Clasificación de Suelos

Muestra	Perf. (m)	Mineralogía	Forma Color Olor	Textura	Humedad	Plasticidad	Nombre	Símbolo
A7/M8 Carretera	1	Moscovita Esquistos	Angular y Subangular Beiz a gris claro Olor terroso	Rugosa	Húmedo	Baja a media	Arena bien gradada arcillosa (13 % de arcilla).	SW-SC
A7/M10 Carretera	1	Cuarzo Muscovita	Subangular Gris oscuro y beiz	Rugosa	Seco	Baja a media	Grava bien gradada, grava-arenal pocos o sin finos.	GW
Sr. Rómulo/M 2 Carretera	1	Cuarzo	Subangular y Subredondeado Marrón claro y anaranjado	Granos muy finos. Textura suave	Húmedo	Media a alta	Arena bien gradada arcillosa (15.4% de arcillas).	SW-SC
A8/M13 Carretera	1	Cuarzo Micas	Subangular Marrón	Rugosa	Seco	Baja a media	Arena bien gradada, pocos o sin finos.	SW
A9/M15 Carretera	1	Muscovita	Angular y Subangular Marrón con tonos grises	Rugosa	Seco	Media	Grava bien gradada, grava-Arena pocos o sin finos.	GW
A9/M17 Carretera	1	Cuarzo	Subangular y subredondeado Marrón y terracota	Rugosa	Seco	Media	Arena bien gradada, mezclas de gravas, pocos o sin finos.	SW
A11/M1 Maitanita	1	Cuarzo Muscovita	Subangular y subredondeado Marrón claro	Rugosa	Seco	Alta	Arena bien gradada arcillosa (19.2 % de limos y 9.32 % de arcillas).	SW-SC
A12/M4 Maitanita	1	Muscovita	Subangular y subredondeado Naranja y marrón claro.	Rugosa	Seco	Baja	Grava bien gradada, grava-arena pocos o sin finos.	GW
A13/M1 Maitanita	1	Cuarzo	Subredondeado Marrón	Rugosa	Seco	Elevada	Arena bien gradada arcillosa	SW-SC
A13/M5 Maitanita	1	Cuarzo Y micas	Subangular Marrón claro	Rugosa	Seco	Intermedia	Grava bien gradada arcillosa	GW-GC

Tabla 24-5: Clasificación de Suelo

Muestra	Perf. (m.)	Mineralogía	Forma Color Olor	Textura	Humedad	Plasticidad	Nombre	Símbolo
A13/M9 Maitanita	1	Cuarzo Muscovita	Subangular y Subredondeado Marrón	Rugosa	Seco	Limos muy compresibles	Arena bien gradada, mezclas de gravas, pocos o sin finos.	SW
A7/M10 Carretera	1	Cuarzo	Subangular y subredondeado Marrón claro con tonos naranjas.	Rugosa	Seco	Baja a media	Arena bien gradada, mezclas de gravas, pocos o sin finos (18.8 % de limos y 10 % de arcillas).	SW
A5/M6 Corozal	1	Muscovita	Subangular y Subredondeado	Rugosa	Seco	Media	Arena bien gradada, mezclas de gravas, pocos o sin finos	SW
Monolito 1	1	Cuarzo	Subangular y Subredondeado	Rugosa	húmedo	Media a alta	Arena mal gradada. Arenas con gravas pocos finos (19.5 % de limos y 6.33 % de arcillas).	SP
Monolito 2	1	Cuarzo	Subangular y Subredondeado	Rugosa	húmedo	Media a alta	Arena mal gradada. Arenas con gravas pocos finos o sin finos (22.7 % de limos y 7.22 % de arcillas).	SP
Monolito 3	1	Cuarzo	Subangular y Subredondeado	Rugosa	húmedo	Media a alta	Arena limosa. Mezcla de arena y limos. (15% de limos y 10% de arcillas).	SM

Ensayo para determinar el peso específico

El peso específico se emplea para determinar propiedades del suelo tales como: relación de vacíos, la velocidad de caída de una partícula en el seno de un fluido viscoso (método del hidrómetro), porosidad.

Equipo utilizado:

- Picnómetro con capacidad de 500 ml, 250 ml y 200 ml.
- Balanza de 0,01 gramos de sensibilidad. (Marca: METTLER).
- Pipeta y frasco lavador.
- Termómetro con rango de 0,5 grados centígrados.
- Agua destilada.

Primero procedimos a calibrar el picnómetro. Es adecuado calibrar el peso del picnómetro a temperaturas diferentes ya que la variabilidad de esta última ocasiona

cambios en el volumen del envase y transforma la densidad del agua. El peso del picnómetro es un factor que se necesita conocer para la precisión del peso específico.

Para determinar el peso específico se toma la muestra seca; se pasa por el tamiz # 40 y se toman 50 gramos. Luego se remoja en agua destilada por 12 a 18 horas y se dispersa con un agitador.

La muestra preparada se coloca en el picnómetro mediante un embudo de vidrio y se agrega agua destilada hasta llenarlo a la mitad. Se le coloca un tapón al matraz donde esta conectado una manguera y se aplica un vacío parcial, a la suspensión del suelo en agua, con una presión de aire inferior a 100 milímetros de mercurio por espacio de 15 minutos o hasta que deje de observarse que suben burbujas de aire la boca del matraz. Luego se desconecta; se limpia y seca el exterior y el interior de su cuello se añade agua destilada hasta que coincida la marca del aforo con el fondo del menisco, se pesa y se determina la temperatura del fluido.

Por último se hacen los cálculos para determinar el peso específico mediante la formula:

$$G: (50/(50 + W_{pic+agua} - W_{pic+s+agua})) * Gwt; \text{ donde:}$$

G: Gravedad específica.

Gwt: Peso específico del agua o del líquido a la temperatura T.

$W_{pic+agua}$: Peso del picnómetro con agua.

$W_{pic+s+agua}$: Peso del picnómetro con suelo y agua.

Los resultados obtenidos de este ensayo pueden observarse con más detalle en el anexo 5.

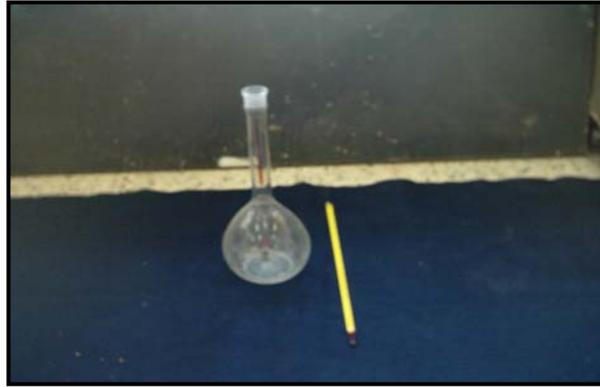


Figura 17: Calibración del picnómetro para determinar el peso específico.

Ensayo de consolidación

La consolidación de un suelo se debe a la deformación de su estructura, provocada por su propio peso y el de las estructuras levantadas sobre él.

El propósito principal de este ensayo es obtener los datos necesarios para predecir la velocidad y cantidad del asentamiento de estructuras fundadas sobre arcillas. Es importante conocer la velocidad de consolidación ya que será utilizada en la ejecución del ensayo de corte directo.

Equipo utilizado

- .- Consolidómetro con sus accesorios. Marca: GEONOR A/S Oslo Norway.
- .- Banco de consolidación para aplicar la carga en forma adecuada.
- .- Flexímetro de sensibilidad de $2 \cdot 10^{-4}$ cm.
- .- Cronómetro.
- .- Balanza.
- .- Horno de secado.
- .- Utensilios de uso general: espátulas, cuchillos, recipientes, etc.

Se tomó suelo alterado en su estructura para determinar este ensayo, es por ello que se trabajó con muestra remoldeada.

Preparación de la muestra:

Para preparar la muestra se compacta el material dentro del anillo en tres capas utilizando un martillo de compactación tratando de obtener un valor deseado de la densidad.

Se determina el peso, altura inicial y diámetro de la muestra en el Anillo.

Se efectúa el montaje del anillo en el Consolidómetro, colocando dos piedras porosas para permitir el drenaje hacia ambas caras.

Se coloca el Consolidómetro en el banco de consolidación y se aplica una carga de asiento (0.05 Kg/cm^2), para lograr ajustar el conjunto. Se ajusta el Flexímetro de mediciones para definir una lectura cero.

Se satura la muestra estando cargada o descargada agregando agua destilada en el Consolidómetro hasta cubrir la piedra porosa superior.

Se aplica un incremento de carga para producir una determinada presión sobre la muestra manteniéndose constante mientras se realizan lecturas simultáneas de deformación del material y tiempo transcurrido.

Para nuestro ensayo los incrementos de carga aplicada producirá una presión sobre el suelo que tendrá un valor de 1 Kg/cm^2 .

Mientras la presión se mantiene constante se efectúan lecturas de la muestra en los siguientes intervalos de tiempo: 0,1/4, 1/2, 1, 2, 4, 8, 15 y 30 minutos, y a 1, 2, 4, 8 y 24 horas midiéndose a partir del momento de aplicación del incremento de carga. Al finalizar el ensayo se realizará un gráfico de deformación (Lectura del Flexímetro) contra logaritmo del tiempo, donde las deformaciones verticales se obtienen por la diferencia de las lecturas del Flexímetro con relación a la lectura inicial.

Los resultados obtenidos de este ensayo pueden observarse con más detalle en el anexo 6.



Figura 18: Consolidómetro. Equipo para realizar el ensayo de consolidación.

En el anexo 6 se muestra los resultados obtenidos para este ensayo.

Ensayo para determinar el peso unitario

Para determinar el peso unitario de suelos y rocas fue utilizado el método de la parafina.

Se tomó una muestra con un diámetro aproximado de 3 a 4 cm. de suelo o roca.

Equipo utilizado:

- .- Parafina.
- .- Cocina eléctrica.
- .- Hilo muy delgado.
- .- Balanza con sensibilidad de 0,01 gramos.
- .- Envase metálico.
- .- Envase plástico.
- .- Pinza metálica.

En un envase metálico y en la cocina eléctrica se puso a derretir la parafina. Tomamos la muestra y la pesamos; se anota este dato en la hoja de registro. Esta misma muestra la sumergimos en la parafina derretida, la sacamos con una pinza metálica y se pesa nuevamente. Registramos este dato. Tomamos un envase plástico

lleno de agua y lo colocamos en la balanza. Se anula este peso y se pone la balanza en cero. La muestra impregnada de parafina se amarra a un trozo de hilo y se sumerge en el envase lleno de agua y luego pesamos. Anotamos este dato.

Luego con la formula:

$$Pu: A/(B-C)-((B-A)/0.88))$$

Donde:

A: Peso de la muestra sin parafina.

B: Peso de la muestra con parafina.

C: Peso de la muestra con parafina en agua.

F: Peso específico de la parafina.

En el anexo 7 se muestra un resumen de los resultados obtenidos para este ensayo.

Ensayo de corte directo

El ensayo de corte directo nos permite conocer la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos. Los resultados obtenidos a través de dicho ensayo serán empleados para determinar la envolvente de esfuerzos de la cual se obtienen los valores del ángulo de fricción interna (ϕ) y la cohesión aparente (c), denominados como parámetros de corte; y que son de considerable importancia en los análisis de estabilidad de los suelos para prever el peligro de falla.

Fueron tomadas cuatro muestras de suelos imperturbadas o monolitos. Para cada uno fueron ensayadas cuatro muestras cilíndricas bajo cuatro esfuerzos normales diferentes, para poder establecer una relación entre la resistencia al esfuerzo cortante y los esfuerzos normales.

Según las condiciones de drenaje a que se puede someter la muestra, se distinguen tres tipos de ensayos:

- Ensayo rápido.
- Ensayo rápido consolidado.
- Ensayo lento.

Para nuestro trabajo seleccionamos el ensayo rápido consolidado y el ensayo rápido no drenado. En el ensayo rápido consolidado se da tiempo (24 horas) para que el agua se disperse dentro de los poros antes de iniciar la etapa de corte; la consolidación puede determinarse observando el micrómetro de deformación vertical.

Para el ensayo rápido no drenado, el suelo es ensayado inmediatamente después que la carga normal es aplicada, es por eso que el suelo no se consolida, además no se permite el drenaje, es decir; el sistema es cerrado y puede medirse la presión de poros (u).

De las cuatros muestras tomadas en campo, a una de ellas se le aplicó este ensayo a fin de determinar el comportamiento del suelo bajo estas condiciones.

Equipo:

Una maquina automática con velocidad controlada para el ensayo de corte directo, marca: Wykeham Farrance, engineering LTD Slough, England. Este equipo está compuesto de:

- .- Caja de corte.
- .- Placas con rieles, por donde deslizará la caja de corte.
- .- Marco superior e inferior de corte de 2*2 pulgadas. El marco superior es móvil; mientras que el inferior es fijo.
- .- Piedra porosa inferior y bloque de soporte.
- .- Piedra porosa superior y bloque de aplicación de carga; sobre se encuentra la esfera de carga.
- .- Alfileres o clavijas de alineamiento de los marcos de corte.
- .- Moldeador para muestras imperturbadas.

Para la preparación de las muestras imperturbadas, se necesita de espátula, moldeador para muestras imperturbadas, papel de filtro.



Figura 19: Equipo de corte directo. Marca: Wykeham Farrance, engineering LTD Slough, England.

Para el ensayo rápido consolidado

Preparación de la muestra:

Las muestras a ensayar fueron imperturbadas a excepción de dos muestras que fueron remodeladas por disgregación del material. Se coloca el moldeador de muestras sobre el monolito y con la espátula afilada, se comienza a tallar la muestra por los lados, de tal forma que los cortes sean pequeños y hasta una profundidad igual al doble de la altura del molde.

Cuando la muestra ha sido tallada al mismo tamaño exterior del molde, este se comienza a presionar suavemente hasta que la muestra sobresalga del molde por lo menos la mitad de su altura. La porción del suelo que sobresale del borde inferior se remueve. La cara superior de la muestra se enrasa en forma horizontal con la espátula cuidando de no sellar totalmente sus poros. Se enrasa la cara inferior de la muestra en forma horizontal. Se pesa el conjunto de molde y muestra en una balanza de 0,01 gramos. Con anterioridad se debe conocer el peso del molde. El material que se va cortando es colocado en un envase apropiado y se toma una muestra representativa para determinar el contenido de humedad por secado al horno.

En la caja de corte se fija el marco inferior de corte y dentro de este se coloca la piedra porosa inferior dentro de su bloque de soporte. Sobre el marco inferior de

corte, se coloca el marco superior de corte, haciendo coincidir los agujeros donde se insertaran los alfileres de alineamiento de los dos marcos de corte. Sobre el marco superior de corte se coloca el molde con la muestra y sobre ella el bloque aplicador de carga, se presiona suavemente hasta que la muestra descansa sobre la piedra porosa inferior. Sobre la muestra se coloca la piedra porosa superior, luego colocamos la esfera de acero. Sobre el riel de deslizamiento se coloca en posición la caja de corte y se fija el eje de reacción del anillo. El puente de carga se coloca suavemente sobre la esfera de carga. Sobre el puente de carga se coloca el micrómetro para medir la consolidación o expansión de la muestra, luego se satura adicionándole agua hasta que cubra por lo menos la piedra porosa superior.

Pasada las 24 horas; iniciamos la etapa de corte. En esta etapa, inicialmente se retiran los alfileres de alineamiento de los marcos de corte.

Los dos marcos de corte se separan girando la manecilla de ajuste, en sentido de las agujas del reloj hasta que aparezca la abertura deseada. El ajuste máximo de abertura de los dos marcos de corte es de 0,062 pulgadas (1,57 mm).

Se coloca en posición el micrómetro de deformación horizontal, de tal forma que el extensómetro haga contacto con la caja de corte. Se marca la velocidad de corte deseada.

Se toman las lecturas en el micrómetro del anillo, en el de deformación vertical y en el de deformación horizontal y se registran.

El ensayo se da por terminado cuando la muestra ha llegado a la falla o hasta que se tenga un desplazamiento horizontal de aproximadamente 15% de la longitud de la muestra. Aproximadamente 1200 mediciones o 12 vueltas en el micrómetro del anillo.

Luego se lleva la caja de corte a su posición inicial. Se desmonta la muestra de la misma forma que se realizó el montaje. Se procede de la misma forma con las demás muestras.

Para el ensayo rápido no drenado

El suelo es ensayado inmediatamente después que la carga normal es aplicada, es por eso que el suelo no se consolida; además no se permite el drenaje, es decir, el sistema es cerrado y puede medirse la presión de poros (u).

De las cuatro muestras tomadas en campo, a una de ellas se le aplicó este ensayo a fin de determinar el comportamiento del suelo bajo estas condiciones.

Se procede a preparar la muestra de la misma forma, con la diferencia de que no se satura de agua y se procede inmediatamente a realizar el ensayo.

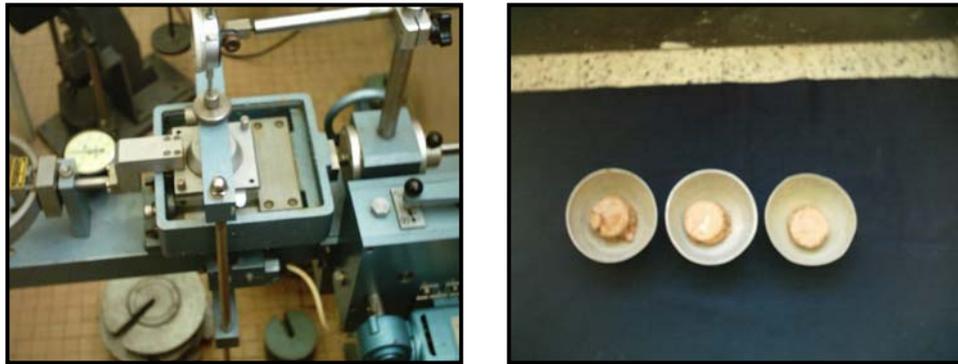


Figura 20: Preparación de la muestra en el equipo de corte directo (a la izquierda) y presentación de las muestras después de ser ensayadas (a la derecha).

En los cálculos, para el desplazamiento horizontal, las lecturas se llevan a milímetros. Para el desplazamiento vertical, cada lectura se restara de la inicial para obtener el valor de desplazamiento en un momento considerado.

La carga en kilogramos (Kg.); por ello la lectura del micrómetro del anillo se multiplicara por el factor del anillo.

El esfuerzo de corte en Kg/cm²

τ : C/A

Donde C es la carga en Kilogramos y A es el área de la muestra en cm².

Para determinar gráficamente el ángulo de fricción y la cohesión; se efectúa lo siguiente: se elabora un gráfico colocando en el eje de las ordenadas los valores de esfuerzo de corte máximo (γ) en Kg/cm² y en el eje de las abscisas los valores de esfuerzos normales aplicados (σ) en Kg/cm². Uniendo los puntos se traza la envolvente de Mohr. El ángulo de fricción será el que forma la envolvente con la horizontal y la cohesión será la ordenada al origen de la envolvente. Analíticamente el ángulo de fricción se calcula así:

$$\phi : \text{Tangente}^{-1}(\gamma/)$$

En el anexo 7 se muestra los resultados obtenidos para este ensayo.

A través de los resultados obtenidos del ensayo de corte directo y con la elaboración de los gráficos para la determinación de los parámetros de corte se obtuvieron los siguientes valores:

Muestra	Fricción interna (ϕ)	Cohesión del suelo (C)
Monolito 1	31°	0.014
Monolito 2	24°	0
Monolito 3	26°	0.18
Monolito 3 (Ensayo no drenado)	25°	0.58

Se puede constatar que la cohesión de estos suelos es prácticamente nula, es decir; que son suelos no cohesivos o granulares, específicamente arenas. Por otra parte también nos estaría indicando que son suelos puramente friccionantes.

Como puede verse en el anexo 7, en los gráficos de resistencia al corte, las muestras no remoldeadas de cada monolito presentan una envolvente de Mohr que expresan que no hubo rotura propiamente dicha, mientras que las muestras remoldeadas del monolito 3 muestran resistencias máximas y finales diferentes; esto último puede señalar que esta muestra de suelo presenta arcillas sobreconsolidadas.

En otras palabras, notamos como cambia el comportamiento del material cuando se maneja en su estado natural y cuando el mismo se ha remoldeado. Sabemos que el suelo es coluvional, es decir que presenta fragmentos de rocas de variados tamaños y una matriz de granos finos; cuando se remoldea este material, se extraen estos fragmentos de rocas que al parecer influyen significativamente en el comportamiento del mismo.

A partir de los gráficos de deformación (lectura del Flexímetro vertical) contra el desplazamiento (en centímetros), donde las deformaciones verticales se obtienen por la diferencia de las lecturas del Flexímetro con relación a la lectura inicial, se determinó que a medida que se desarrollaba el ensayo de corte directo en cada una de las muestras, se produjo una disminución de volumen o lo que es lo mismo; un índice de densidad bajo lo cual puede deberse a que la introducción de un esfuerzo horizontal supuso un aumento de la media de las tensiones principales provocando esta disminución. Los esfuerzos cortantes tienden a producir descenso en el volumen y a este fenómeno se le conoce como dilatación negativa.

Análisis de estabilidad de taludes en suelos

Los ensayos de suelo realizados en este trabajo tienen como finalidad determinar las propiedades índices y los parámetros geotécnicos que definen el comportamiento mecánico de los suelos encontrados en la zona en estudio. Estos parámetros de resistencia fueron utilizados para el análisis de estabilidad de taludes en suelos, para ello se empleó un programa denominado Slope que proporcionó resultados satisfactorios en la determinación del factor de seguridad para dichos taludes. El factor de seguridad fue determinado a través de dos métodos: el método de Bishop y el método de Fellenius.

A continuación se muestra los resultados obtenidos a través de este método.

Tabla 25: Resultados obtenidos para la determinación de la estabilidad de taludes en suelo. Muestra: Monolito1. Condiciones: Saturadas. Ubicación: Carretera Maitana

Parámetros (Monolito 1)	Valor
Largo del talud (m)	10
Ancho del talud (m)	10
Nivel del agua-Lado Izquierdo (m)	0
Nivel del agua-Lado derecho (m)	0
Peso unitario del agua (Kn/m3)	10
Peso unitario seco subsuelo	15.892
Peso unitario saturado del subsuelo (Kn/m3).	16
Cohesión del suelo (Kn/m2).	0.1372
Ángulo de fricción del suelo	31
Esquina inferior izquierda de la ventana X (cm.).	4
Esquina inferior izquierda de la ventana Y (cm.)	10
Esquina superior derecha de la ventana X (cm.)	4
Esquina superior derecha de la ventana Y (cm.)	10
Punto de Profundidad de deslizamiento del círculo Y	-3
Factor de seguridad por Bichop	1.488
Factor de seguridad por Fellenius	1.203

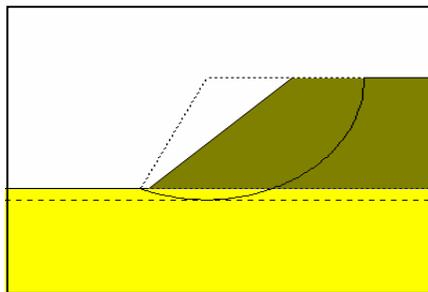


Figura 21: Representación gráfica del talud (C-MAI-A11) correspondiente a la muestra: Monolito 1 y el círculo de falla para determinar el factor de seguridad.

Tabla 25-1: Resultados obtenidos para la determinación de la estabilidad de taludes en suelo. Muestra: Monolito2. Condiciones: Saturadas. Ubicación: Carretera Maitana.

Parámetros (Monolito 2)	Valor
Largo del talud (m)	12
Ancho del talud (m)	10
Nivel del agua-Lado Izquierdo (m)	0
Nivel del agua-Lado derecho (m)	0
Peso unitario del agua (Kn/m3)	10
Peso unitario seco subsuelo	15.947
Peso unitario saturado del subsuelo (Kn/m3).	15.947
Cohesión del suelo (Kn/m2).	0.118
Ángulo de fricción del suelo	24
Esquina inferior izquierda de la ventana X (cm.)	
Esquina inferior izquierda de la ventana Y (cm.)	
Esquina superior derecha de la ventana X (cm.)	
Esquina superior derecha de la ventana Y (cm.)	
Punto de Profundidad de deslizamiento del círculo Y	-3
Factor de seguridad por Bichop	1.38
Factor de seguridad por Fellenius	1.1

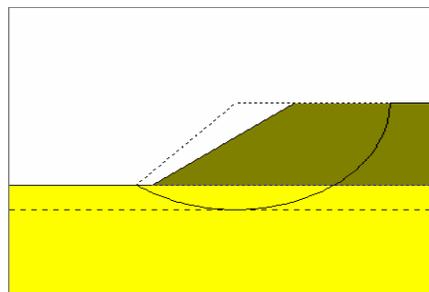


Figura 22: Representación gráfica del talud (C-MAI-A9) correspondiente a la muestra: Monolito 2 y el círculo de falla para determinar el factor de seguridad.

Tabla 25-2: Resultados obtenidos para la determinación de la estabilidad de taludes en suelo. Muestra: Monolito3. Condiciones: Saturada. Ubicación: Carretera Maitana.

Parámetros (Monolito 3)	Valor
Largo del talud (m)	15
Ancho del talud (m)	10
Nivel del agua-Lado Izquierdo (m)	0
Nivel del agua-Lado derecho (m)	0
Peso unitario del agua (Kn/m3)	10
Peso unitario seco subsuelo	16.068
Peso unitario saturado del subsuelo (Kn/m3).	19.9
Cohesión del suelo (Kn/m2).	1.764
Ángulo de fricción del suelo	14
Esquina inferior izquierda de la ventana X (cm.).	13
Esquina inferior izquierda de la ventana Y (cm.)	17
Esquina superior derecha de la ventana X (cm.)	13
Esquina superior derecha de la ventana Y (cm.)	17
Punto de Profundidad de deslizamiento del círculo Y	-3
Factor de seguridad por Bichop	1.322
Factor de seguridad por Fellenius	1.135

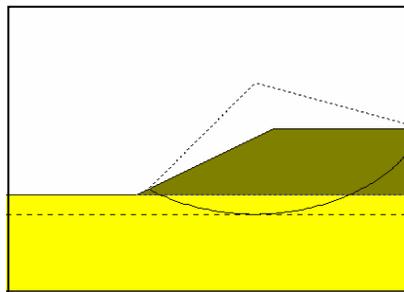


Figura 23: Representación gráfica del talud (C-MAI-A10) correspondiente a la muestra: Monolito 3 y el círculo de falla para determinar el factor de seguridad.

Tabla 25-3: Resultados obtenidos para la determinación de la estabilidad de taludes en suelo. Muestra: Monolito3. Condiciones: no drenada. Ubicación: Carretera Maitana.

Parámetros (Monolito 3)	Valor
Largo del talud (m)	15
Ancho del talud (m)	10
Nivel del agua-Lado Izquierdo (m)	0
Nivel del agua-Lado derecho (m)	0
Peso unitario del agua (Kn/m3)	10
Peso unitario seco subsuelo	16.068
Peso unitario saturado del subsuelo (Kn/m3).	19.9
Cohesión del suelo (Kn/m2).	1.764
Ángulo de fricción del suelo	14
Esquina inferior izquierda de la ventana X (cm.).	3
Esquina inferior izquierda de la ventana Y (cm.)	12
Esquina superior derecha de la ventana X (cm.)	3
Esquina superior derecha de la ventana Y (cm.)	12
Punto de Profundidad de deslizamiento del círculo Y	-3
Factor de seguridad por Bichop	1.472
Factor de seguridad por Fellenius	1.229

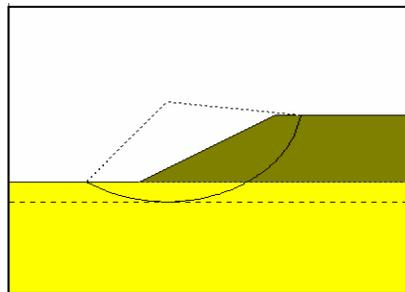


Figura 24: Representación gráfica del talud (C-MAI-A10) correspondiente a la muestra: Monolito 3 y el círculo de falla correspondiente al factor de seguridad determinado.

Ensayos de caracterización de rocas

Los ensayos de roca realizados en este trabajo tratan de determinar las propiedades geomecánicas de la roca matriz a través de las muestras irregulares tomadas en campo. Al definir las características resistentes de la roca podremos entonces asumir criterios de rotura que accedan a controlar las características de respuesta de los macizos rocosos frente a diferentes hechos. Estos ensayos contribuirán a la determinación de alguno de los parámetros que influyen en la estabilidad de los taludes.

Ensayo de Carga Puntual

El objeto de este ensayo es determinar el índice de resistencia en muestras de roca de geometría irregular cuyos resultados serán utilizados para la caracterización y clasificación geotécnica de la roca intacta.

Este ensayo fue realizado en el laboratorio de mecánica de rocas, de la facultad de ingeniería de la UCV.

El equipo de carga puntual consiste de un sistema de carga constituido por placas de carga cónicas, gato hidráulico y bomba, de un sistema para medir la carga necesaria para fracturar la muestra, además de un sistema que permite medir la distancia entre las puntas de carga.

El ensayo se realiza en muestras irregulares o trozos de rocas de 50 +/- 35 mm de tamaño. Estas rocas son anisotrópicas, es decir; foliadas. Por lo tanto, son ensayadas en las direcciones que presenten la mínima y la máxima resistencia, generalmente son paralela y perpendicular a los planos de discontinuidad.

Se coloca en la máquina de carga, se aproximan las puntas cónicas hasta que ambas hagan contacto en una línea perpendicular a los extremos de la muestra.

Se anotan la distancia y el ancho perpendicular a la dirección de carga en mm.

Se sobrepone la carga en forma progresiva hasta que ocurre la falla. Seguidamente registramos la carga en Kilonewton (KN).

Es necesario señalar que para las muestras débiles se registro la distancia D' dejada por las puntas de carga que penetraron o marcaron la roca.

Culminado el ensayo, se elaboró una planilla con todos los datos obtenidos se efectuándose todos los cálculos necesarios para obtener los índices de carga puntual corregido I_s (50), el índice de anisotropía y finalmente la clasificación de la calidad de la roca intacta en función de su resistencia a la compresión uniaxial sugerida por Franklin J. (1989).

En el anexo 8 se muestra los resultados obtenidos para este ensayo.

Ensayo de Martillo de Schmidt (Esclerómetro)

Este ensayo es apropiado para estimar la resistencia a compresión simple de la roca.

Para nuestro ensayo empleamos el martillo tipo L.

Su uso es muy frecuente dada la manejabilidad del aparato, pudiendo aplicarse sobre roca matriz y fundamentalmente sobre las discontinuidades (resistencia de los labios).

Consiste en medir la resistencia al rebote de la superficie de roca ensayada.

La medida del rebote se correlaciona con la resistencia a la compresión simple, mediante un gráfico debido a Miller (1965) que contempla la densidad de la roca y la orientación del martillo respecto del plano ensayado. En nuestro caso, orientamos el martillo en la dirección de la gravedad y por ende, perpendicular a la muestra.

El desarrollo del ensayo consiste en una preparación de las zonas elegidas, eliminando la pátina de roca meteorizada. Se efectúan 10 percusiones con el martillo en la zona elegida y se eliminan los valores más bajos, efectuándose el promedio de los restantes.

Una vez ensayadas todas las zonas necesarias, se llevan al gráfico de correlación y se obtienen unos valores estimativos de la resistencia a compresión

simple de la roca, obteniendo una idea de su estado y su calidad. Dichos resultados son registrados en una planilla que facilitara la interpretación de los datos.

En el anexo 9 se muestra los resultados obtenidos para este ensayo.

Clasificación geomecánica de un macizo rocoso

Luego de realizar un estudio detallado de los macizos rocosos y de los sistemas de discontinuidades presentes en los afloramientos se obtuvo una descripción completa de los factores geológicos asociados a la estabilidad de taludes como son la litología, mineralogía, el grado de meteorización y las características de los diversos sistemas de discontinuidades presentes: orientación, espaciamiento, persistencia, rugosidad, abertura, relleno y número de familias.

Con la información obtenida se logró la clasificación de los macizos rocosos de acuerdo con los siguientes sistemas de clasificación:

Índice de Resistencia Geológica (GSI).

Índice de calidad de la roca RQD (Rock Quality Designation).

Clasificación de Barton.

Clasificación geomecánica, RMR (Rock Mass Rating System).

A continuación se presentan los taludes a los cuales se aplicó las clasificaciones antes mencionadas.

Índice de Resistencia Geológica GSI

En este trabajo se aplicó una tabla de clasificación particular para rocas metamórficas propuesta por Hoek (1998), modificada por Truzman (1999) y Salcedo (1999).

Como puede observarse en las tablas; de todos los taludes estudiados y según esta clasificación; los GSI predominantes estuvieron entre 33 y 45, 33 y 54, 45 y 65, 30 y 45, 54 y 77, 25 y 37.5 y N/A.

Un GSI entre 33 y 45 corresponde a una roca foliada donde se presentan intervalos de rocas no foliadas.

Un GSI entre 33 y 54 corresponde a intervalos de rocas foliadas y no foliadas en proporciones similares.

Un GSI entre 45 y 65 corresponde a una masa rocosa con intervalos de rocas foliadas y no foliadas, en proporciones similares.

Un GSI entre 30 y 45 indica el predominio de rocas foliadas y ocasionales intervalos de rocas foliadas.

Un GSI entre 54 y 77 indica la presencia de intervalos de rocas foliadas y no foliadas en proporciones similares y en otros sectores se observan intervalos ocasionales de foliados.

Un GSI entre 25 y 37.5 corresponde a una masa rocosa constituida exclusivamente por rocas muy foliadas y en otros sectores intervalos de rocas foliadas y no foliadas.

N/A indica la presencia de una masa rocosa afectada por tectonismo, por ser muy plegada y fallada.

En el anexo 10 se exponen los resultados obtenidos a través de la aplicación del sistema de clasificación geomecánica.

Índice de calidad de la roca RQD

De acuerdo con la norma ASTM 6032-96, el parámetro RQD se determina mediante la siguiente expresión:

$$RQD: \sum \text{núcleos mayores a 10 cm.} / \text{distancia total del núcleo} * 100.$$

Como puede observarse se utiliza en los casos donde es posible recuperar núcleos de roca mediante perforaciones.

En nuestro trabajo, no fue posible efectuar perforaciones, sin embargo; muchos autores han empleado un método denominado Índice de Control Volumétrico

de Diaclasas (J_v), que consiste en la suma del número de diaclasas por metro cúbico para cada sistema de discontinuidades presentes en el afloramiento.

La expresión que relaciona este parámetro con el RQD propuesta por Palmstrom (en Hoek, 1998) es la siguiente:

$$\text{RQD} = 115 - 3,3 * J_v; \text{ (tomada de Hoek, 1998).}$$

Es importante señalar que el valor obtenido de esta expresión es menos directo que el valor estimado a partir de las perforaciones, pero también es viable; y puede aplicarse a los sistemas de clasificación utilizados en este trabajo.

Para calcular el Índice de control volumétrico J_v en los taludes estudiados; se usó la expresión:

$$J_v = J_{vs1} + J_{vs2} + J_{vs3} + \dots + J_{vsn}; \text{ Discontinuidad por metro cúbico tomada de Hoek, (1998).}$$

En la siguiente tabla se exponen los resultados obtenidos a través de la aplicación del sistema de clasificación geomecánica.

Tabla 26: Resultados obtenidos a través de la aplicación del Índice de Calidad de la Roca (RQD). Quebrada Maitana.

Afloramiento (Quebrada Maitana)	Índice de calidad de la roca (RQD)	Descripción
A1	88.6	Buena
A2	78.7	Buena
A3	42.4	Mala
A4	32.5	Mala
A5	82	Buena
A6	2.8	Muy mala
A7	49	Mala
A8	6.1	Muy mala
A9	62.2	Regular
A10	100	Excelente
A11	62.2	Regular
A12	98.5	Buena
A13	22.6	Muy mala
A14	91.9	Muy buena
A15	91.9	Muy buena
A16	100	Excelente
A17	100	Excelente
A18	3.1	Muy mala
A19	9.4	Muy mala
A20	35.8	Mala
A21	2.8	Muy mala
A22	2.8	Muy mala
A23	68.8	Regular
A24	65.5	Regular

Tabla 26-1: Resultados obtenidos a través de la aplicación del Índice de Calidad de la Roca (RQD). Carretera Maitana

Afloramiento (Carretera Maitana)	Índice de calidad de la roca (RQD)	Descripción
A1	75.4	Buena
A2	58.9	Regular
A3	2.8	Muy mala
A4	29.2	Mala
A5	91.9	Bueno
A6	2.8	Muy mala
A7	36.9	Mala
A8	78.7	Buena
A9	100	Excelente
A10	-	-
A11	-	-
A12	43.5	Mala
A13	55.6	Regular

Tabla 26-2: Resultados obtenidos a través de la aplicación del Índice de Calidad de la Roca (RQD). Autopista Regional del Centro.

Afloramiento (Autopista Regional del Centro)	Índice de calidad de la roca (RQD)	Descripción
LN/AUT1/EC	68.8	Regular
LN/AUT1/EE	12.7	Muy mala
LS/AUT1/EW	2.8	Muy mala
LS/AUT1/EE	35.8	Mala
LS/AUT1/EC	58.9	Regular
LN/AUT2	65.5	Regular
LS/AUT2/EW	98.5	Muy buena
LS/AUT2/EC	16	Muy mala
LS/AUT2/EE	58.9	Regular
LN/AUT3	-	-
LS/AUT4/EE	2.8	Muy mala
LS/AUT4/EC	2.8	Muy mala
LS/AUT4/EW	2.8	Muy mala
LS/AUT5	-	-
LS/AUT6/EE	25.9	Mala
LS/AUT6/EC	2.8	Muy mala
LS/AUT6/EW	2.8	Muy mala
LN/AUT7/EE	65.5	Regular
LN/AUT7/EC	2.8	Muy mala
LN/AUT7/EW	2.8	Muy mala
LN/AUT8/EE	91.9	Muy mala
LN/AUT8/EC	42.4	Mala
LN/AUT8/EW	-	-
LN/AUT9/EW	56	Regular
LN/AUT9/EC	9	Muy mala
LN/AUT10	46.8	Mala

Tabla 26-3: Resultados obtenidos a través de la aplicación del Índice de Calidad de la Roca (RQD). Carretera Coroazal.

Afloramiento (Carretera Coroazal)	Índice de calidad de la roca (RQD)	Descripción
A1	75,4	Buena
A2	35.8	Mala
A3	19.3	Muy mala
A4	45,7	Mala
A5	2.8	Muy mala

Clasificación de Barton

A partir de los datos obtenidos en campo, específicamente en lo referente a las características de las discontinuidades como son el número de familia de diaclasas, rugosidad, relleno, ausencia presencia de flujo y con los valores de RQD calculados previamente para cada afloramiento; se hizo posible clasificar la roca mediante la clasificación de Barton a través de la expresión:

$$RQD: RQD/J_n * J_r/J_a * J_w/SRF$$

El valor de Q va desde 0.0001, en el caso más desfavorable, hasta 1.000 para las masas rocosas de mejor calidad.

En la siguiente tabla se exponen los resultados obtenidos a través de la aplicación del sistema de clasificación geomecánica, los demás parámetros que componen la misma y que hacen más explícito el método de aplicación se pueden evidenciar en el anexo 12.

Tabla 27: Resultados obtenidos a través de la aplicación del sistema de clasificación de Barton. (Quebrada Maitana).

Afloramiento (Quebrada Maitana)	Q (Calidad del macizo rocoso).	Calidad de la roca
A1	0.036	Muy mala
A2	0.032	Muy mala
A3	0.318	Regularmente buena
A4	0.027	Muy mala
A5	0.1	Mala
A6	0.021	Muy mala
A7	0.04	Muy mala
A8	0.122	Mala
A9	0.008	Extremadamente desfavorable
A10	0.0125	Extremadamente desfavorable
A12	0.024	Muy mala
A13	0.001	Extremadamente desfavorable
A14	0.113	Mala

Tabla 27-1: Resultados obtenidos a través de la aplicación del sistema de clasificación de Barton. (Quebrada Maitana).

Afloramiento (Quebrada Maitana)	Q (Calidad del macizo rocoso).	Calidad de la roca
A15	0.0227	Muy mala
A16	0.2	Regularmente buena
A17	1	Excelente
A18	0.001	Extremadamente desfavorable
A19	0.001	Extremadamente desfavorable
A20	0.002	Extremadamente desfavorable
A21	0.000091	Extremadamente desfavorable
A22	0.0003	Extremadamente desfavorable
A23	0.016	Muy mala
A24	0.024	Muy mala

Tabla 27-2: Resultados obtenidos a través de la aplicación del sistema de clasificación de Barton. (Carretera Maitana).

Afloramiento (Carretera Maitana)	Q (Calidad del macizo rocoso).	Calidad de la roca
A1	0.028	Muy mala
A2	0.014	Muy mala
A3	0.0004	Extremadamente desfavorable
A4	0.005	Extremadamente desfavorable
A5	0.01	Muy mala
A6	0.00017	Extremadamente desfavorable
A7	0.006	Extremadamente desfavorable
A8	0.01	Muy mala
A9	0.075	Muy mala
A10	-	-
A11	-	-
A12	0.003	Extremadamente desfavorable
A13	0.003	Extremadamente desfavorable

Tabla 27-3: Resultados obtenidos a través de la aplicación del sistema de clasificación de Barton. (Autopista Regional del Centro).

Afloramiento (Autopista Regional del centro)	Q (Calidad del macizo rocoso).	Calidad de la roca
LN/AUT1/EC	0.02	Muy mala
LN/AUT1/EE	0.001	Extremadamente desfavorable
LS/AUT1/EW	0.002	Extremadamente desfavorable
LS/AUT1/EE	0.0003	Extremadamente desfavorable
LS/AUT1/EC	0.003	Extremadamente desfavorable
LN/AUT2	0.02	Muy mala
LS/AUT2/EW	0.04	Muy mala
LS/AUT2/EC	0.003	Extremadamente desfavorable
LS/AUT2/EE	0.02	Muy mala
LN/AUT3	-	-
LS/AUT4/EE	0.0001	Extremadamente desfavorable
LS/AUT4/EC	0.0014	Extremadamente desfavorable
LS/AUT4/EW	0.0001	Extremadamente desfavorable
LS/AUT5	-	-
LS/AUT6/EE	0.0006	Extremadamente desfavorable
LS/AUT6/EC	0.0001	Extremadamente desfavorable
LS/AUT6/EW	0.0002	Extremadamente desfavorable
LN/AUT7/EE	0.032	Muy mala
LN/AUT7/EC	0.0002	Extremadamente desfavorable
LN/AUT7/EW	0.001	Extremadamente desfavorable
LN/AUT8/EE	0.06	Muy mala
LN/AUT8/EC	0.01	Muy mala
LN/AUT8/EW	-	-
LN/AUT9/EW	0.01	Muy mala
LN/AUT9/EC	0.001	Extremadamente desfavorable
LN/AUT10	0.003	Extremadamente desfavorable

Tabla 27-4: Resultados obtenidos a través de la aplicación del sistema de clasificación de Barton. (Carretera Coroza).

Afloramiento (Carretera Coroza)	Q (Calidad del macizo rocoso).	Calidad de la roca
A1	0.036	Muy mala
A2	0.004	Extremadamente desfavorable
A3	0.0008	Extremadamente desfavorable
A4	0.02	Muy mala
A5	0.001	Extremadamente desfavorable

Clasificación geomecánica, RMR (Rock Mass Rating System)

Con los datos obtenidos en campo y con los valores de resistencia a la compresión obtenidos en el laboratorio se logró la clasificación de la roca mediante la clasificación geomecánica RMR; de acuerdo con la norma ASTM 5878 – 95.

Los parámetros que permiten clasificar la roca mediante este método serán mostrados a continuación para cada uno de los afloramientos estudiados. Al sumar los valores atribuidos a cada parámetro el resultado definitivo permitirá clasificar la roca.

Tabla 28: Resultados obtenidos de la aplicación del sistema de clasificación geomecánica RMR. (Quebrada Maitana).

Afloramiento (Quebrada Maitana)	Índice de Carga Puntual (Valor)	Compresión Simple (Valor)	RQD (Valor)	Valoración Total	Calidad	Clase	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de fricción (Grado)
A1			17	17	Muy mala	V	< 1	< 15
A2	15	15	17	47	Aceptable	III	2 -- 3	25 - 35
A3	15	12	8	35	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25
A4			8	8	Muy mala	V	< 1	< 15
A5			17	17	Muy mala	V	< 1	< 15
A6			3	3	Muy mala	V	< 1	< 15
A7	15	12	8	35	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25
A8			3	3	Muy mala	V	< 1	< 15
A9			13	13	Muy mala	V	< 1	< 15
A10	15		20	35	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25
A11			13	13	Muy mala	V	< 1	< 15
A12	15		20	35	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25
A13			3	3	Muy mala	V	< 1	< 15
A14			20	20	Muy mala	V	< 1	< 15
A15			20	20	Muy mala	V	< 1	< 15
A16	12		20	32	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25
A17	4		20	24	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25
A18	15		3	18	Muy mala	V	< 1	< 15
A19	15		3	18	Muy mala	V	< 1	< 15
A20			8	8	Muy mala	V	< 1	< 15
A21	15		3	18	Muy mala	V	< 1	< 15
A22	2		3	5	Muy mala	V	< 1	< 15
A23	15		13	28	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25
A24	2	12	13	27	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25

Tabla 28-1: Resultados obtenidos de la aplicación del sistema de clasificación geomecánica RMR. (Carretera Maitana).

Afloramiento (Carretera Maitana)	Índice de Carga Puntual (Valor)	Compresión Simple (Valor)	RQD (Valor)	Valoración total	Calidad	Clase	Cohesión (Kg/cm2)	Ángulo de fricción (Grado)
A1			17	17	Muy mala	V	< 1	< 15
A2	15	15	13	43	Aceptable	III	2 -- 3	25 - 35
A3	15		3	18	Muy mala	V	< 1 Kg/cm2	< 15
A4	15		8	23	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25
A5	15	12	20	47	Aceptable	III	2 -- 3	25 - 35
A6	15		3	18	Muy mala	V	< 1	< 15
A7	12	12	8	32	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25
A8	15	12	17	44	Aceptable	III	2 -- 3	25 - 35
A9	15	12	20	47	Aceptable	III	2 -- 3	25 - 35
A10	NO HAY DIACLASAS			0				
A11	NO HAY DIACLASAS			0				
A12	15	12	8	35	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25
A13			13	13	Muy mala	V	< 1	< 15

Tabla 28-2: Resultados obtenidos de la aplicación del sistema de clasificación geomecánica RMR. (Carretera Corozal).

Afloramiento (Carretera Corozal)	Índice de Carga Puntual (Valor)	Compresión Simple (Valor)	RQD (Valor)	Valoración total	Calidad	Clase	Cohesión (Kg/cm2)	Ángulo de fricción (Grado)
A1	15	12	17	44	Aceptable	III	2 -- 3	25 - 35
A2			8	8	Muy mala	V	< 1	< 15
A3		15	3	18	Muy mala	V	< 1	< 15
A4			8	8	Muy mala	V	< 1	< 15
A5	15	12	3	30	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25

Tabla 28-3: Resultados obtenidos de la aplicación del sistema de clasificación geomecánica RMR. (Autopista Regional del Centro).

Afloramiento (Autopista Regional del Centro)	Índice de Carga Puntual (Valor)	Compresión Simple (Valor)	RQD (Valor)	Valoración total	Calidad	Clase	Cohesión (Kg/cm2)	Ángulo de fricción (Grado)
LS/AU1/EE	15	12	3	30	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25
LS/AU1/EC	15	12	13	40	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25
LS/AU1/EW		12	8	20	Muy mala	V	< 1	< 15
LN/AU1/EC	12	12	13	37	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25
LN/AU1/EW	7	12	3	22	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25
LS/AU2		12	13	25	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25
LN/AU2/EW	15	12	20	47	Aceptable	III	2 -- 3	25 - 35
LN/AU2/EC	12	12	3	27	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25
LN/AU2/EE		12	13	25	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25
LN/AU3	15	12	20	47	Aceptable	III	2 -- 3	25 - 35
LS/AU4/EE		12	3	15	Muy mala	V	< 1	< 15
LS/AU4/EC		12	3	15	Muy mala	V	< 1	< 15
LS/AU4/EW	15	15	3	33	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25
LS/AU5		12	20	32	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25
LS/AU6/EE	10	12	8	30	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25
LS/AU6/EC	15	12	3	30	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25
LS/AU6/EW	15	12	3	30	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25
LN/AU7/EE			13	13	Muy mala	V	< 1	< 15
LN/AU7/EC			3	3	Muy mala	V	< 1	< 15
LN/AU7/EW			3	3	Muy mala	V	< 1	< 15
LN/AU8/EE	15	12	20	47	Aceptable	III	2 -- 3	25 - 35
LN/AU8/EC		12	8	20	Muy mala	V	< 1	< 15
LN/AU8/EW		12	20	32	Mediocre	IV	1 -- 2	15 - 25
LS/AU9/EC	15		3	18	Muy mala	V	< 1	< 15
LS/AU9/EW			13	13	Muy mala	V	< 1	< 15
LS/AU10			3	3	Muy mala	V	< 1	< 15

Análisis de estabilidad en macizos rocosos

El análisis de estabilidad de los taludes en rocas de la zona estudiada, se realizó tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Las relaciones de ubicación espacial entre los planos de las discontinuidades y los planos de las superficies libres de los taludes o frente de exposición.

- Los parámetros de resistencia al corte como son el ángulo de fricción (Φ) y la cohesión (c) que puedan desarrollarse a lo largo de las diferentes discontinuidades.

La metodología consistió en representar sobre la proyección estereográfica los planos de las discontinuidades (Foliación, diaclasas, fallas) y el plano del talud levantados en campo, esto se realizó según las especificaciones de la ISRM (1981), en los métodos sugeridos para la descripción cuantitativa de las discontinuidades en los macizos rocosos (suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock mass).

Estas proyecciones fueron empleadas particularmente para representar los rumbos y los buzamientos de las discontinuidades en su presentación simple, así como también en diagrama de polos, permitiendo agruparlas en familia y simplificando de esta manera los cálculos y el análisis.

La proyección estereográfica empleada fue la red de Wulf (igual ángulo). En esta representación se incluye la influencia del ángulo de fricción en forma de círculo.

Seguidamente se empleará el método de las discontinuidades, el cual permite analizar la estabilidad del macizo rocoso asumiendo la hipótesis de que los modos de fallas han sido generados a través de las discontinuidades presentes en la roca.

Análisis de estabilidad de taludes

Para efectuar el análisis de la estabilidad de taludes; se hizo uso de las mediciones de los planos de debilidad de la roca obtenidas en campo, empleándose el método de las discontinuidades, el cual permite analizar la estabilidad del macizo rocoso asumiendo la hipótesis de que los modos de fallas han sido generados a través de las discontinuidades presentes en la roca.

Los tipos de discontinuidades observados en campo fueron fracturas o diaclasas y planos de foliación.

La intersección de dos o más planos estructurales o una discontinuidad aislada pueden generar varios tipos de fallas como son las fallas planares, las fallas por volcamiento o fallas en cuña. Los tipos de fallas están controlados por los parámetros que controlan la resistencia al corte como son el ángulo de fricción interna y la cohesión.

Es importante resaltar que para dicho estudio la medición de la resistencia al cortante en roca no pudo determinarse por la influencia de varios factores; entre ellos por ser un área muy extensa, problemas económicos y el factor tiempo. A pesar de ello, estos parámetros pudieron determinarse a través de un programa denominado ROCLAB. Actualmente es el más utilizado y sus resultados pueden ser confiables. Dicho programa requiere varios parámetros que fueron determinados previamente; estos son: ensayo de carga puntual, peso unitario, índice de resistencia geológica (GSI), constante del tipo de roca (mi), grado de disturbación (D) y altura del talud, permitiendo así obtener el estimado de un factor de seguridad.

Los tipos de fallas fueron interpretados a través de la interpretación estereográfica de la geometría de cada talud. Se seleccionará para cada caso las situaciones más desfavorables, a fin de determinar el factor de seguridad correspondiente en cada situación.

La ubicación de los taludes fallados estudiados pueden observarse en el plano y están referidos a los puntos del levantamiento geológico.

A continuación se presentaran las condiciones geométricas de cada talud; señalando específicamente las discontinuidades que cumplen con las condiciones estructurales para cada tipo de falla.

A través de la representación estereográfica se podrá evidenciar con mayor claridad lo dicho anteriormente.

Quebrada Maitana

Talud QM-1-W. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla en cuña ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 29: Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-1-W

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	N59W 85S	Fuente: Campo
		Altura	70 m.	Campo
		Ángulo de fricción	10.12°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento	N85W 90N	Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento	N46E 69N	Campo
II	Discontinuidad C	Rumbo y Buzamiento	N5E 90N	Campo
	Discontinuidad D	Rumbo y Buzamiento	N46W 81N	Campo

De acuerdo con las condiciones estructurales también se ha identificado una falla planar.

Tabla 30: Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-1-W

Planar	Talud	Rumbo y Buzamiento	N59W 85S	Fuente: Campo
		Altura	70 m.	Campo
		Ángulo de fricción	10.12°	Roclab
		Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento	N85W 90N

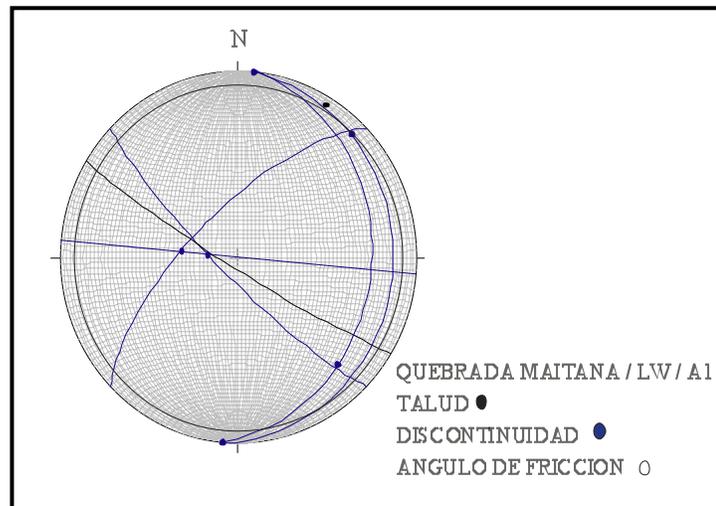


Figura 25: Representación estereográfica del talud QM-1-W y sus discontinuidades.

Talud QM-1-E. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla en cuña ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 31: Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-1-E

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	N59W 85N	Fuente: Campo
		Altura	75 m.	Campo
		Ángulo de fricción	10.12°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento	N23E 19N	Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento	N59E 82S	Campo

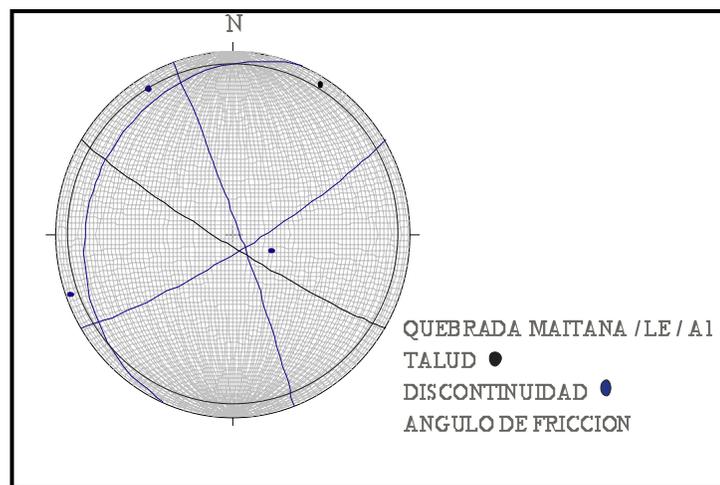


Figura 26: Representación estereográfica del talud QM-1-E y sus discontinuidades.

Talud QM-2-W. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla en cuña ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 32: Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-2-W

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	N31W 82S	Fuente: Campo
		Altura	75 m.	Campo
		Ángulo de fricción	8.49°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento	N12W 73S	Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento	N31E 67N	Campo

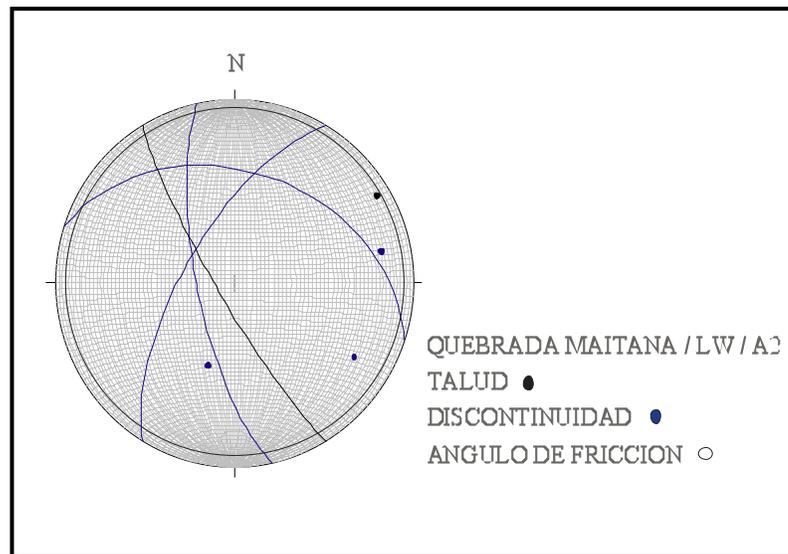


Figura 27: Representación estereográfica del talud QM-2-W sus discontinuidades.

Talud QM-2-E. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla en cuña ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 33: Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-2-E

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	N31W 82N	Fuente: Campo
		Altura	75 m.	Campo
		Ángulo de fricción	8.49°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento	N55E 75N	Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento	N60E 77S	Campo

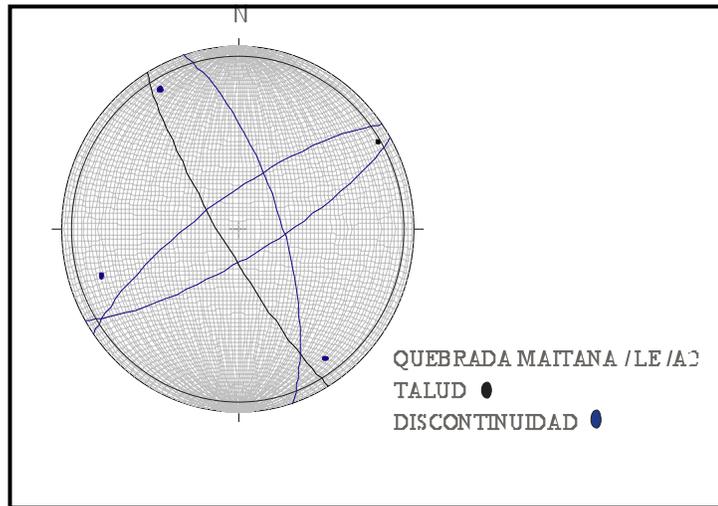


Figura 28: Representación estereográfica del talud QM-2-E y la discontinuidad.

Talud QM-3-E. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla en cuña ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 34: Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-3-E.

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	N18W 81S	Fuente: Campo
		Altura	70 m.	Campo
		Ángulo de fricción	20.6°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento	N73E 56N	Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento	N12W 43S	Campo

En este mismo talud también se ha identificado una falla planar.

Tabla 35: Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-3-E.

Planar	Talud	Rumbo y Buzamiento	N18W 81S	Fuente: Campo
		Altura	70 m.	Campo
		Ángulo de fricción	20.6°	Roclab
	Discontinuidad	Rumbo y Buzamiento	N12W 43S	Campo

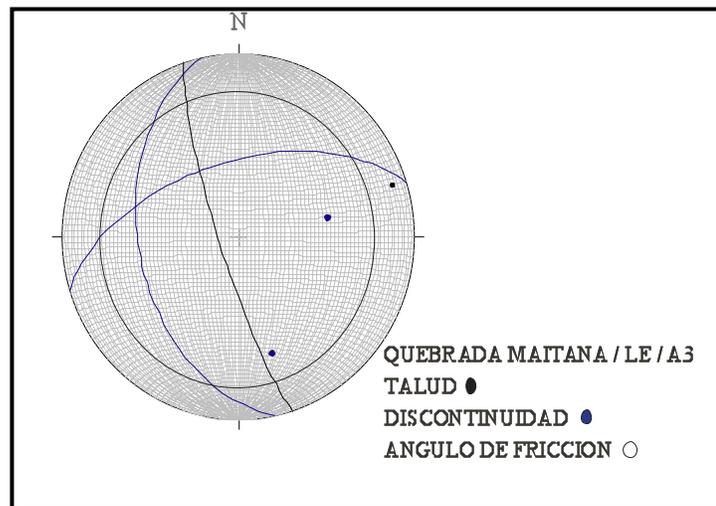


Figura 29: Representación estereográfica del talud QM-3-E y sus discontinuidades.

Talud QM-4-W. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla en cuña ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 36: Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-4-W.

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	N26W 72S	Fuente: Campo
		Altura	72 m.	Campo
		Ángulo de fricción	20.6°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento	N40E 66N	Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento	N46E 69N	Campo

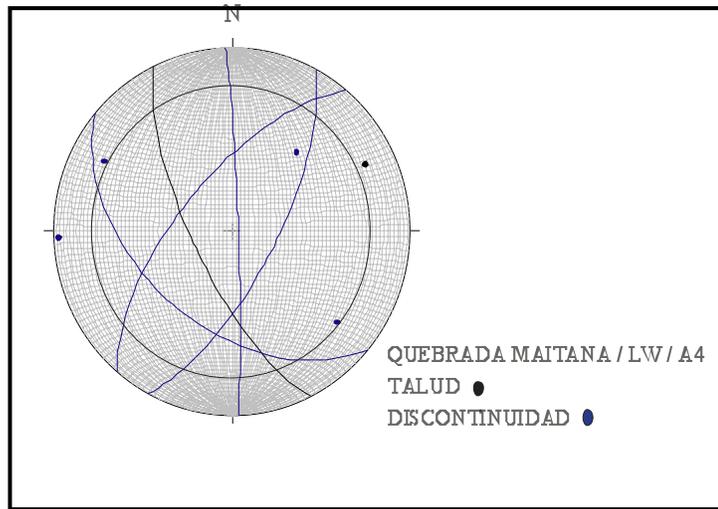


Figura 30: Representación estereográfica del talud QM-4-W y sus discontinuidades.

Talud QM-5-W. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta dos tipos de falla en cuña ya que cumplen con las condiciones estructurales.

Tabla 37: Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-5-W.

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	N36W 82S	Fuente: Campo
		Altura	710 m.	Campo
		Ángulo de fricción	20.6°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento	N40E 67S	Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento	N45W 67N	Campo
II	Discontinuidad C	Rumbo y Buzamiento	N50W 47S	Campo
	Discontinuidad D	Rumbo y Buzamiento	N42E 67N	Campo

En este mismo talud también se ha evidenciado una falla planar, cumpliendo con las condiciones estructurales.

Tabla 38: Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-5-W.

Planar	Talud	Rumbo y Buzamiento	N36W 82S	Fuente: Campo
		Altura	10 m.	Campo
		Ángulo de fricción	20.6°	Roclab
	Discontinuidad	Rumbo y Buzamiento	N50W 47S	Campo

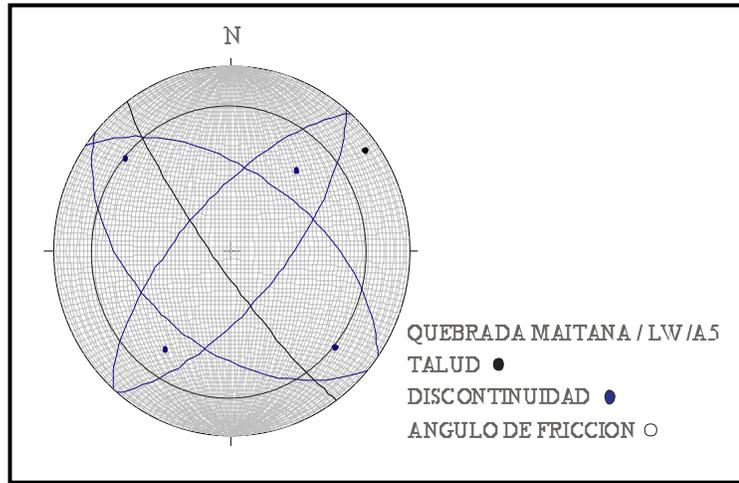


Figura 31: Representación estereográfica del talud QM-5-W y sus discontinuidades.

Talud QM-9. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla en cuña ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 39: Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-9.

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	N10E 73S	Fuente: Campo
		Altura	5 m.	Campo
		Ángulo de fricción	20.6°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento	N45W 57N	Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento	N46E 39S	Campo

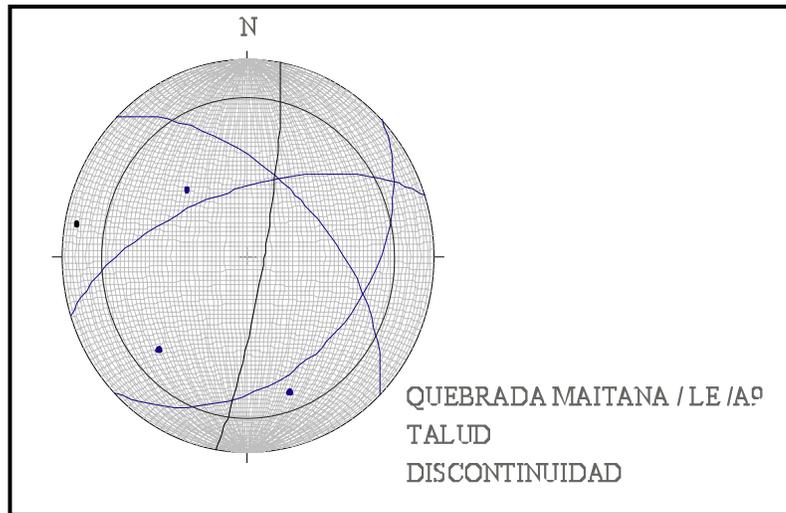


Figura 32: Representación estereográfica del talud QM-9 y sus discontinuidades.

Talud QM-12. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla en cuña ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 40: Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-12.

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	N39E 77S	Fuente: Campo
		Altura	10 m.	Campo
		Ángulo de fricción	31.35°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento	N55W 57N	Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento	N57E 52S	Campo

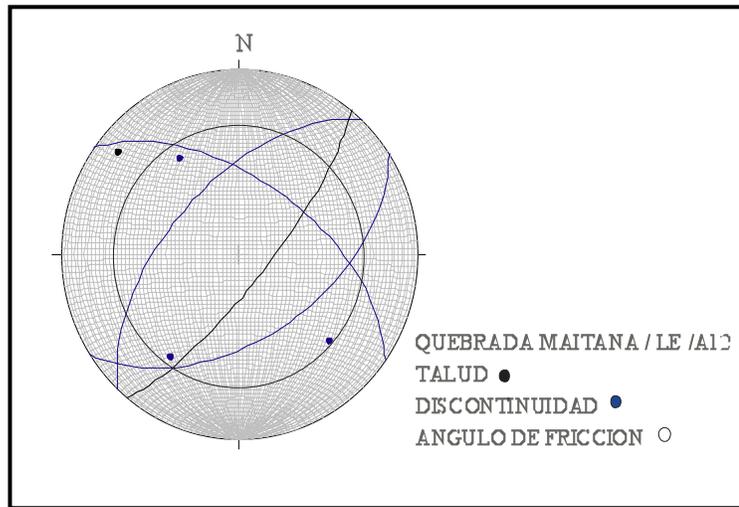


Figura 33: Representación estereográfica del talud QM-12 y sus discontinuidades.

Talud QM-16. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla en cuña ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 41: Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-16.

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	N40W 45S	Fuente: Campo
		Altura	9 m.	Campo
		Angulo de fricción	14.02°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento	N22E 49N	Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento	N36E 52S	Campo

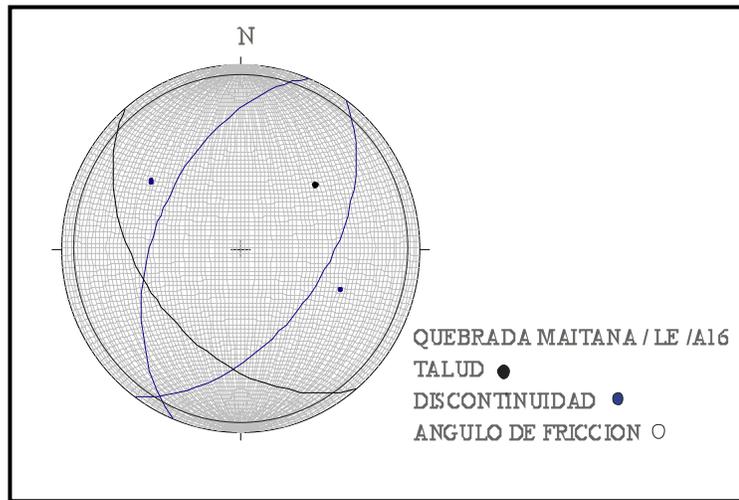


Figura 34: Representación estereográfica del talud QM-16 y sus discontinuidades.

Talud QM-18. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla en cuña ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 42: Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-18.

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	N59E 78N	Fuente: Campo
		Altura	20 m.	Campo
		Ángulo de fricción	14.02°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento	N44W 32N	Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento	N45E 38N	Campo

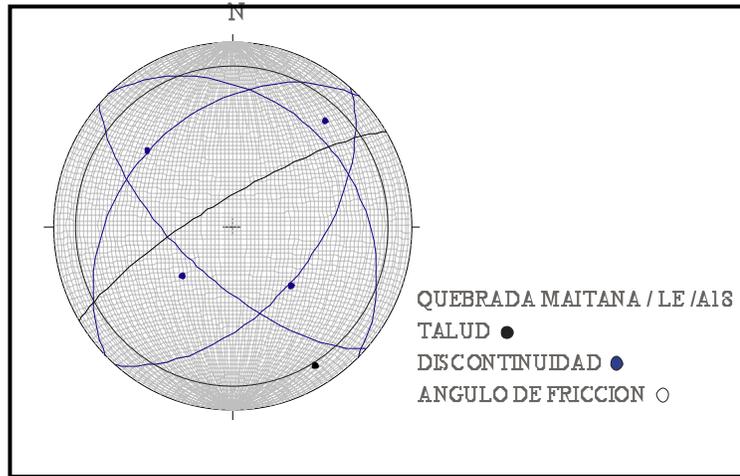


Figura 35: Representación estereográfica del talud QM-18 y sus discontinuidades.

Talud QM-19. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla en cuña ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 43: Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-19.

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	N70E 60N	Fuente: Campo
		Altura	10 m.	Campo
		Ángulo de fricción	17.58°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento	N36W 51S	Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento	N33E 42N	Campo

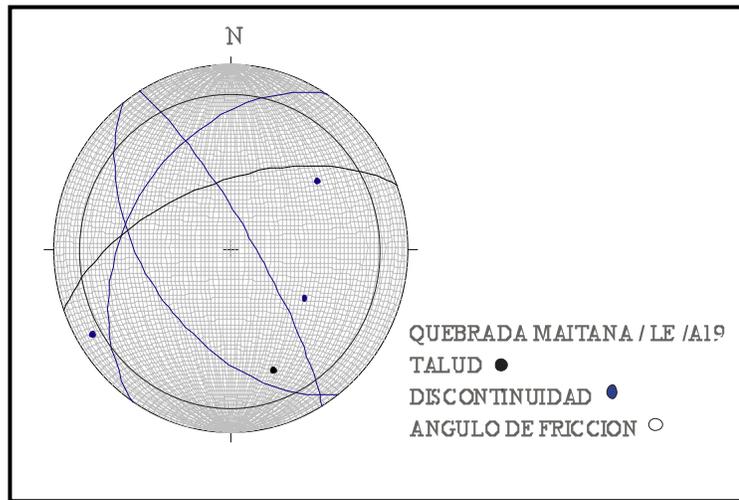


Figura 36: Representación estereográfica del talud QM-19 y sus discontinuidades.

Talud QM-21. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla en cuña ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 44: Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-21.

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	N60E 70N	Fuente: Campo
		Altura	3 m.	Campo
		Ángulo de fricción	17.58°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento		Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento		Campo

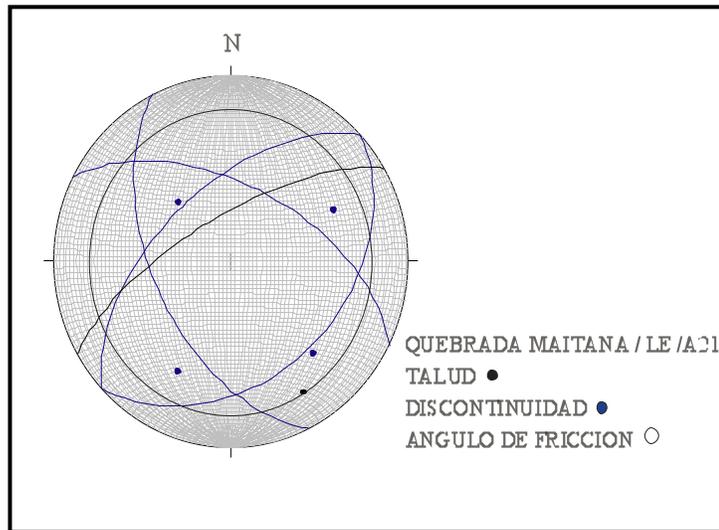


Figura 37: Representación estereográfica del talud QM-21 y sus discontinuidades.

Talud QM-22. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta dos fallas en cuña ya que cumplen con las condiciones estructurales.

Tabla 45: Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-22.

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	N85E 85S	Fuente: Campo
		Altura	5 m.	Campo
		Angulo de fricción	17.58°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento	N58W 40S	Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento	N36E 59S	Campo
II	Discontinuidad C	Rumbo y Buzamiento	N58W 40S	Campo
	Discontinuidad D	Rumbo y Buzamiento	N50E 57N	Campo

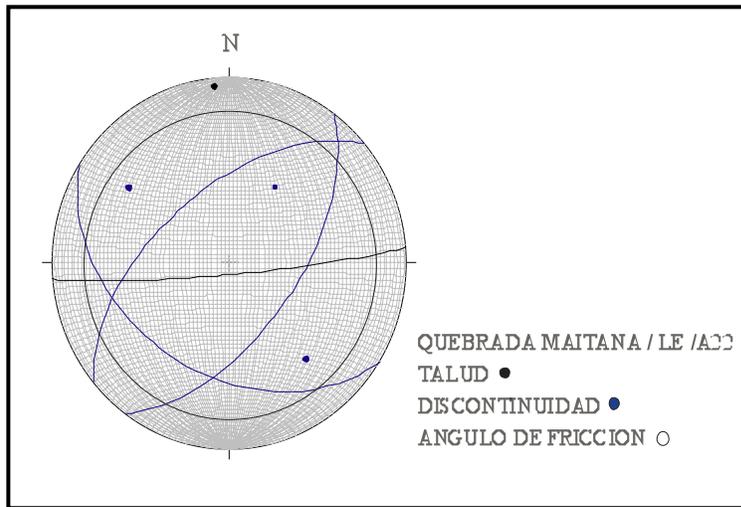


Figura 38: Representación estereográfica del talud QM-22 y sus discontinuidades.

QM-23. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla en cuña ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 46: Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-23.

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	N43E 80N	Fuente: Campo
		Altura	8 m.	Campo
		Angulo de fricción	17.58°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento	N42E 27N	Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento	N84E 88S	Campo

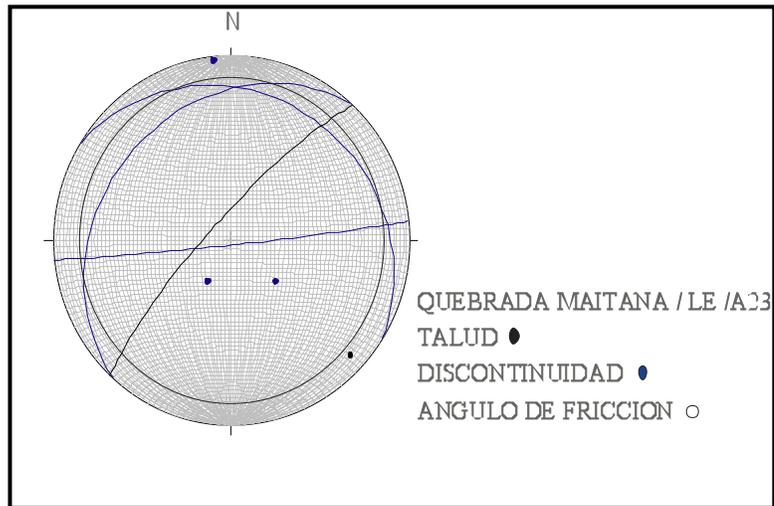


Figura 39: Representación estereográfica del talud QM-23 y sus discontinuidades.

Talud QM-24. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla en cuña ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 47: Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-24.

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	N73E 78N	Fuente: Campo
		Altura	4 m.	Campo
		Ángulo de fricción	10.10°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento	N49WE 87S	Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento	N29E 52N	Campo

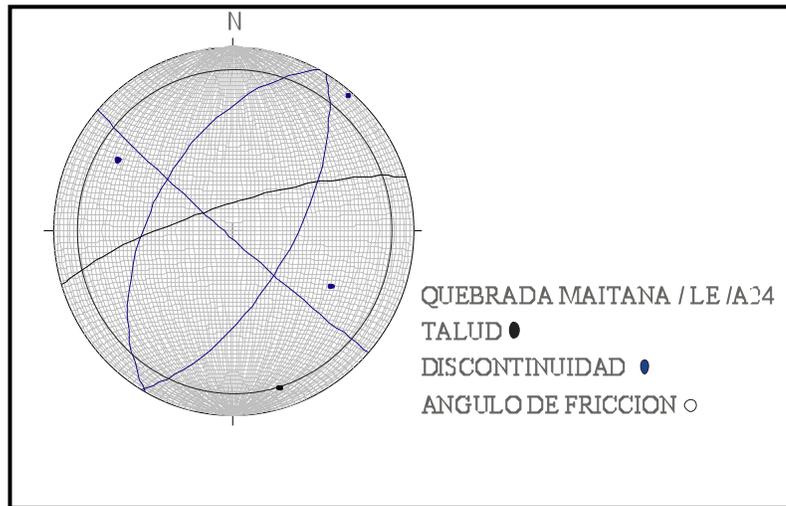


Figura 40: Representación estereográfica del talud QM-24 y sus discontinuidades.

Talud QM-25. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla en cuña ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 48: Condiciones geométricas y geológicas del talud QM-25.

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	N73E 78N	Fuente: Campo
		Altura	4 m.	Campo
		Ángulo de fricción	10.10°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento	N49WE 87S	Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento	N30E 50N	Campo

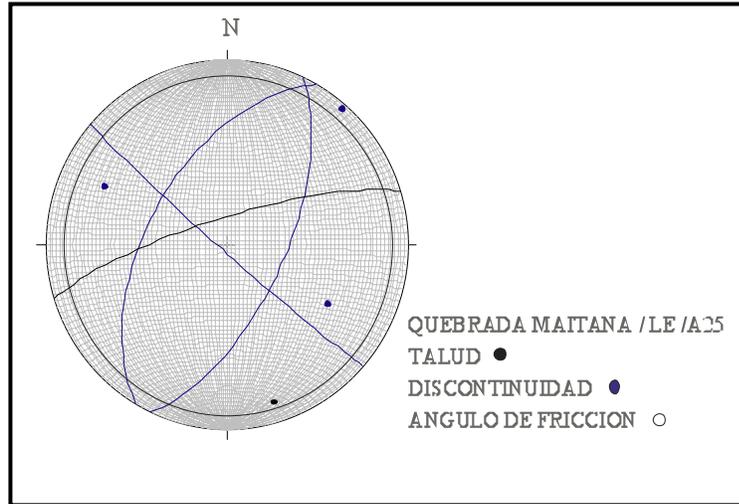


Figura 41: Representación estereográfica del talud QM-25 y sus discontinuidades.

Carretera Maitana

Talud C-MAI-A4. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla en cuña ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 49: Condiciones geométricas y geológicas del talud C-MAI-A4.

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	N44W 89N	Fuente: Campo
		Altura	8 m.	Campo
		Ángulo de fricción	9.6°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento		Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento		Campo

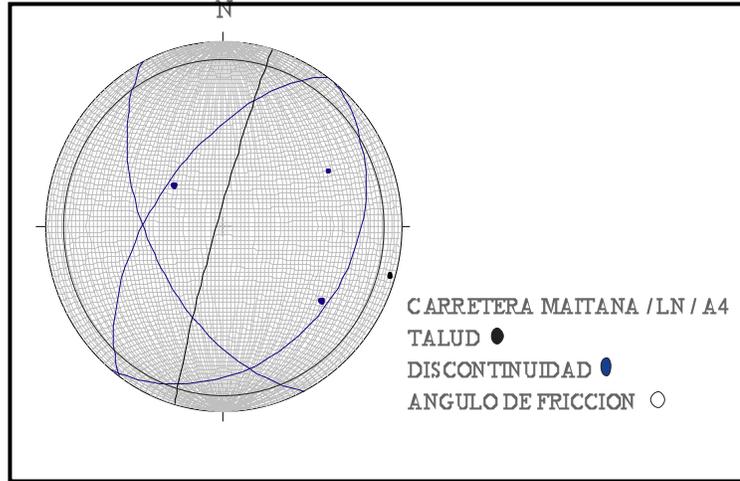


Figura 42: Representación estereográfica del talud C-MAI-A4 y sus discontinuidades.

Talud C-MAI-A5. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla en cuña ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 50: Condiciones geométricas y geológicas del talud C-MAI-A5.

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	N38W 70S	Fuente: Campo
		Altura	9 m.	Campo
		Ángulo de fricción	8.79°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento		Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento		Campo

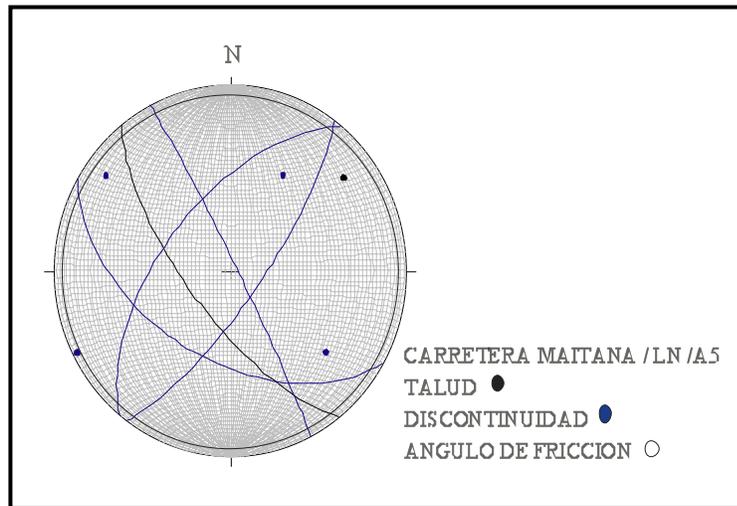


Figura 43: Representación estereográfica del talud C-MAI-A5 y sus discontinuidades.

Talud C.MAI-A9. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla en cuña ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 51: Condiciones geométricas y geológicas del talud C-MAI-A9.

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	S79W 72S	Fuente: Campo
		Altura	10 m.	Campo
		Angulo de fricción	9.65°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento		Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento		Campo

En este mismo talud también se ha evidenciado una falla planar, ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 52: Condiciones geométricas y geológicas del talud C-MAI-A9.

Planar	Talud	Rumbo y Buzamiento	S79W 72S	Fuente: Campo
		Altura	10 m.	Campo
		Ángulo de fricción	9.65°	Roclab
	Discontinuidad	Rumbo y Buzamiento	N35E 42S	Campo

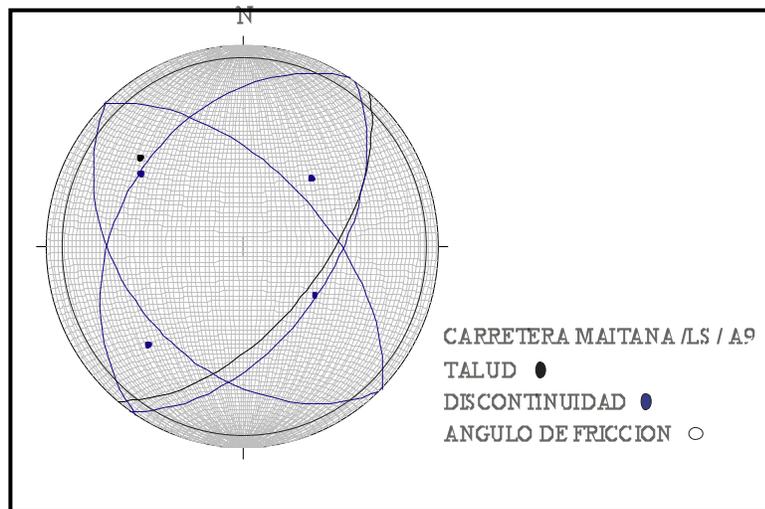


Figura 44: Representación estereográfica del talud C-MAI-A9 y sus discontinuidades.

Talud C-MAI-A12. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla en cuña ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 53: Condiciones geométricas y geológicas del talud C-MAI-A12.

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	S30E 86S	Fuente: Campo
		Altura	10 m.	Campo
		Ángulo de fricción	17.31°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento		Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento		Campo

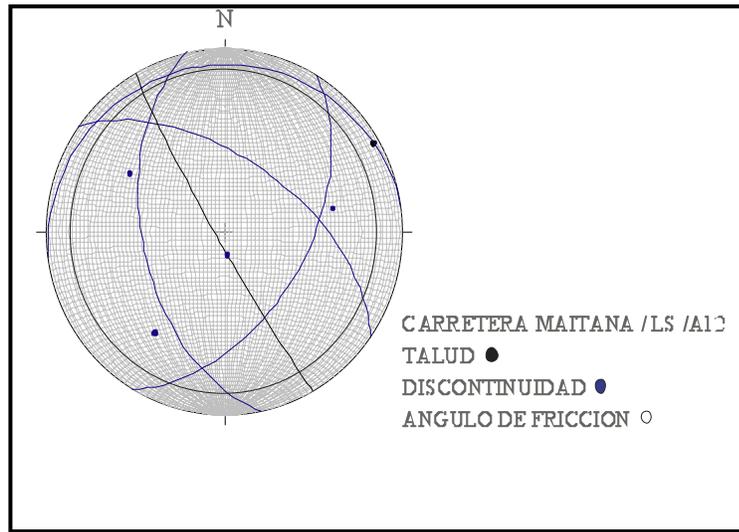


Figura 45: Representación estereográfica del talud C-MAI-A12 y sus discontinuidades.

Autopista Regional del Centro

Talud N-AUT-A1. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta dos tipo de falla en cuña ya que cumplen con las condiciones estructurales.

Tabla 54: Condiciones geométricas y geológicas del talud N-AUT-A1.

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	S67W 89N	Fuente: Campo
		Altura	7 m.	Campo
		Ángulo de fricción	13.7°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento	N34W 48N	Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento	N45E 36N	Campo
II	Discontinuidad C	Rumbo y Buzamiento	N33W 52S	Campo
	Discontinuidad D	Rumbo y Buzamiento	N45E 36N	Campo

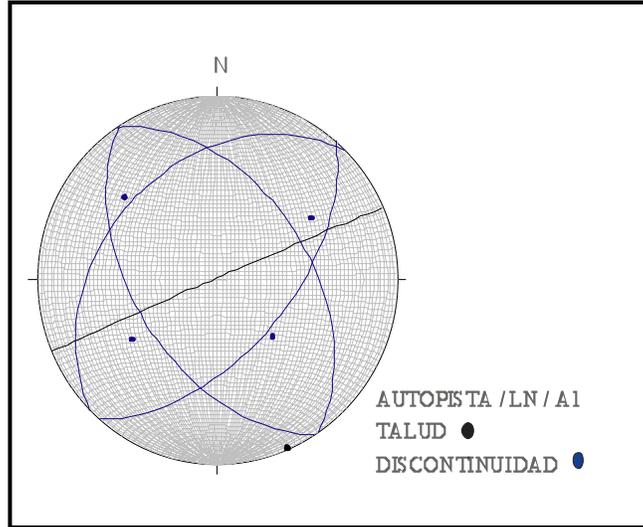


Figura 46: Representación estereográfica del talud N-AUT-A1 y sus discontinuidades.

Talud N-AUT-A2. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla en cuña ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 55: Condiciones geométricas y geológicas del talud N-AUT-A2.

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	S47W 87N	Fuente: Campo
		Altura	8 m.	Campo
		Ángulo de fricción	14°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento	N38W 72S	Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento	N50W 56N	Campo
II	Discontinuidad C	Rumbo y Buzamiento	N38W 72S	Campo
	Discontinuidad D	Rumbo y Buzamiento	N58E 48N	Campo

En este mismo talud también se ha evidenciado una falla planar, que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 56: Condiciones geométricas y geológicas del talud N-AUT-A2.

Planar	Talud	Rumbo y Buzamiento	S47W 87N	Fuente: Campo
		Altura	8 m.	Campo
		Ángulo de fricción	14°	Roclab
	Discontinuidad	Rumbo y Buzamiento	N58E 48N	Campo

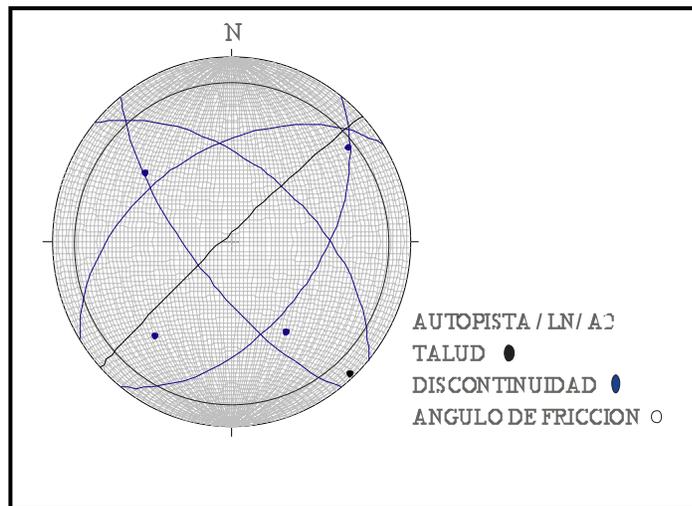


Figura 47: Representación estereográfica del talud N-AUT-A2 y sus discontinuidades.

Talud N-AUT-A3. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla en cuña ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 57: Condiciones geométricas y geológicas del talud N-AUT-A3.

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	S17W 79N	Fuente: Campo
		Altura	5 m.	Campo
		Ángulo de fricción	13°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento		Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento		Campo

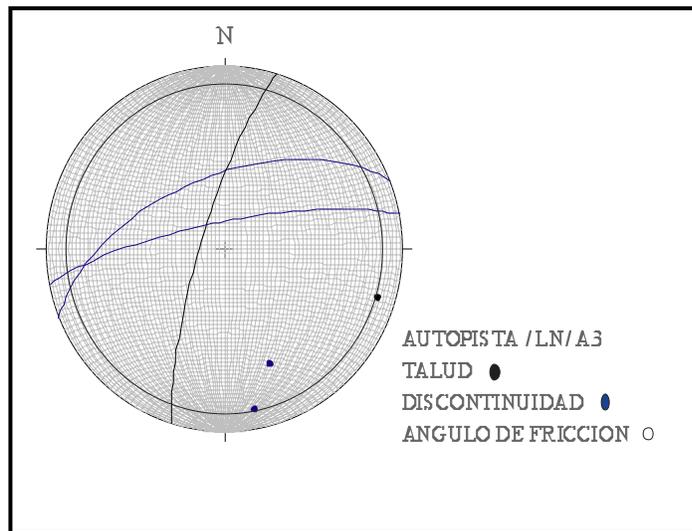


Figura 48: Representación estereográfica del talud N-AUT-A3 y sus discontinuidades.

Talud N-AUT-A8. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla en cuña ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 58: Condiciones geométricas y geológicas del talud N-AUT-A8.

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	N77W 72N	Fuente: Campo
		Altura	5 m.	Campo
		Ángulo de fricción	9.93°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento		Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento		Campo

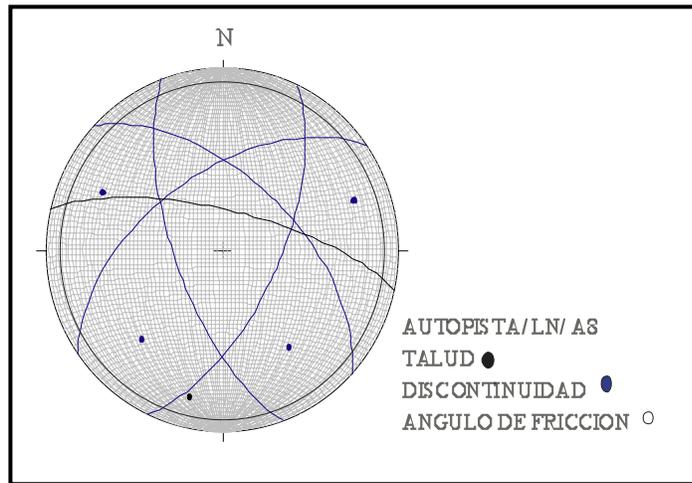


Figura 49: Representación estereográfica del talud N-AUT-A8 y sus discontinuidades.

Talud S-AUT-A4. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla en cuña ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 59: Condiciones geométricas y geológicas del talud S-AUT-A4.

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	N83E 75N	Fuente: Campo
		Altura	15 m.	Campo
		Angulo de fricción	12.47°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento	N45W 66N	Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento		Campo

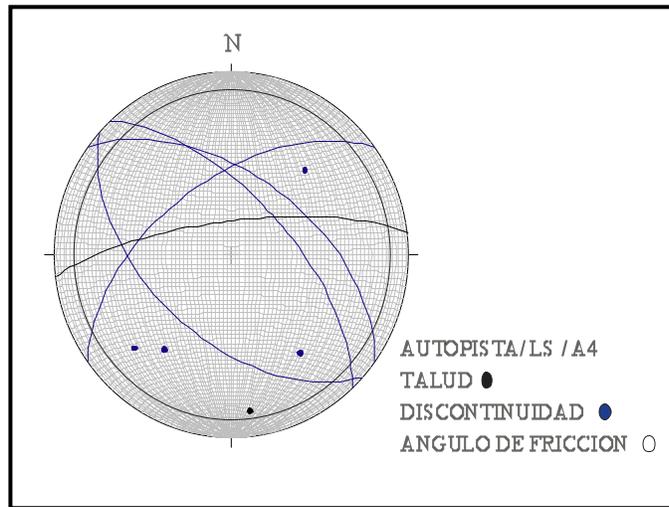


Figura 50: Representación estereográfica del talud S-AUT-A4 y sus discontinuidades.

Talud S-AUT-A6. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla en cuña ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 60: Condiciones geométricas y geológicas del talud S-AUT-A6.

Cuña	Talud	Rumbo y Buzamiento	N75W 78N	Fuente: Campo
		Altura	9 m.	Campo
		Ángulo de fricción	5.34°	Roclab
I	Discontinuidad A	Rumbo y Buzamiento	N39W 68S	Campo
	Discontinuidad B	Rumbo y Buzamiento	N55W 55N	Campo

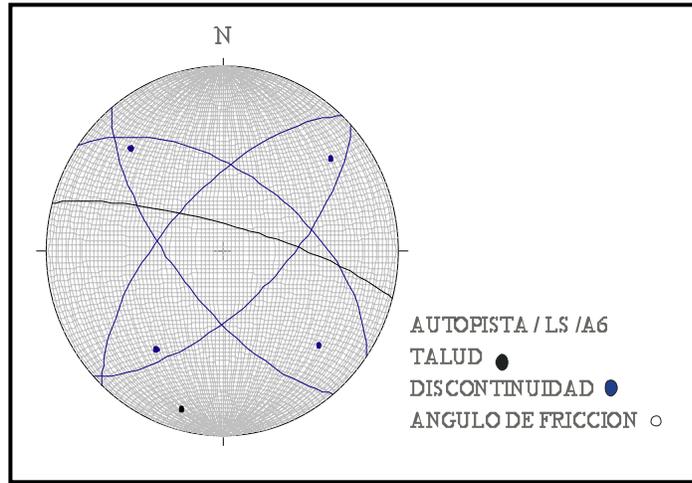


Figura 51: Representación estereográfica del talud S-AUT-A6 y las discontinuidades.

Corozal

Talud COR-A3. Ubicado en el punto del levantamiento geológico (ver mapa). De acuerdo con la figura se puede decir que presenta un tipo de falla planar ya que cumple con las condiciones estructurales.

Tabla 61: Condiciones geométricas y geológicas del talud COR-A3

Planar	Talud	Rumbo y Buzamiento	N43E 79S	Fuente: Campo
		Altura	4 m.	Campo
		Ángulo de fricción	6°	Roclab
	Discontinuidad	Rumbo y Buzamiento	N46E 60S	Campo

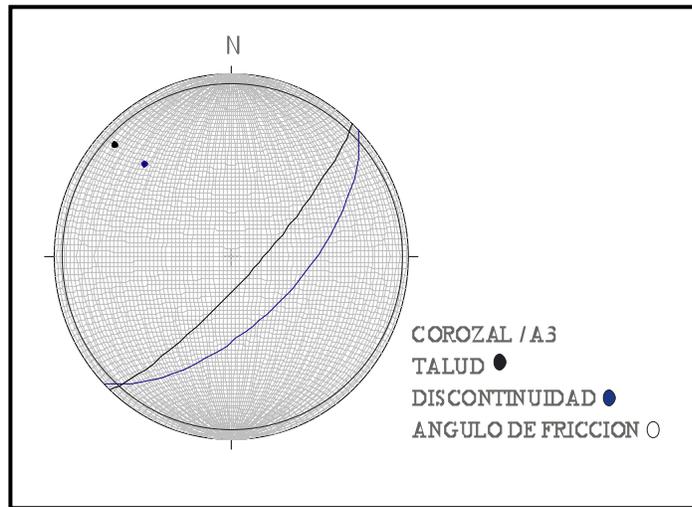


Figura 52: Representación estereográfica del talud COR-A3 y sus discontinuidades.

Después de que fueron elaboradas las representaciones estereográficas de cada uno de los taludes estudiado, se procedió a determinar el modo de falla presente verificando si se cumplían o no con las condiciones estructurales propias para cada tipo de falla.

Como podrá observarse en los resultados, los modos de fallas que se presentan en la zona de estudio son falla en cuña y falla planar.

Una vez realizado el análisis cinemático, usando las representaciones estereográficas, se procedió a calcular el factor de seguridad (F_s).

En caso de falla en cuña; para determinar el factor de seguridad, se empleó la expresión:

$$F_s: \frac{\sin\beta}{\sin(\epsilon/2)} \cdot \frac{\tan\Phi}{\tan\psi};$$

Para el caso donde ángulo de fricción es igual en los dos planos; donde:

β : Ángulo que forma con la horizontal la bisectriz de la cuña.

ε : Ángulo de apertura de la cuña o ángulo que forman los planos A y B.

Φ : Ángulo de fricción.

ψ : Buzamiento de la intersección.

A continuación se mostraran los resultados obtenidos en la determinación del factor de seguridad de cada uno de los taludes en rocas luego de haber efectuado el análisis cinemático y determinación de los modos de fallas presentes.

Tabla 62: Resultados obtenidos en la determinación del factor de seguridad de los taludes en roca. (Quebrada Maitana).

Talud (Quebrada Maitana)	Inclinac del talud	Plano de falla	Inclinación del plano de falla o de la recta intersección	Tipo de falla Falla en cuña (FC) Falla planar (FP)	Factor de seguridad (FS)
QM-1-W	85	F-D1/F-D2/D	63/76/81	FC/FC/FP	0.24/0.08/0.028
QM-1-E	85	F-D	11	FC	1.173
QM-2-W	82	F-D	66	FC	0.066
QM-2-E	82	F-D	10	FC	0.84
QM-3-E	81	F-D/D	40/43	FC/FP	0.48/0.403
QM-4-W	72	F-D	44	FC	0.389
QM-5-W	82	F-D1/F-D2/D	46/44/47	FC/FC/FP	0.43/0.463/0.35
QM-9	83	F-D	37	FC	0.566
QM-12	77	F-D	38	FC	0.977
QM-16	45	F-D	17	FC	1.269
QM-18	78	F-D	75	FC	0.071
QM-19	60	F-D	40	FC	0.403
QM-21	70	F-D1/F-D2	50/19	FC/FC	0.315/1.51
QM-22	85	F-D1/F-D2	37/33	FC/FC	0.458/0.599
QM-23	80	F-D	18	FC	1.23
QM-24	78	F-D	50	FC	0.172
QM-25	78	F-D	52	FC	0.155

Tabla 62-1: Resultados obtenidos en la determinación del factor de seguridad de los taludes en roca. (Carretera Maitana).

Talud (Carretera Maitana)	Inclinac del talud	Plano de falla	Inclinación del plano de falla o de la recta intersección	Tipo de falla Falla en cuña (FC) Falla planar (FP)	Factor de seguridad (FS)
C-MAI-A4	89	F-D	52	FC	0.145
C-MAI-A5	70	F-D	40	FC	0.238
C-MAI-A9	58	F-D/D	48/53	FC/FP	0.153/0.128
C-MAI-12	86	F-D1/F-D2	24/27	FC/FC	1.005/0.93

Tabla 62 -2: Resultados obtenidos en la determinación del factor de seguridad de los taludes en roca. (Autopista Regional del Centro).

Talud (Autopista Regional del Centro)	Inclinac del talud	Plano de falla	Inclinación del plano de falla o de la recta intersección	Tipo de falla Falla en cuña (FC) Falla planar (FP)	Factor de seguridad (FS)
N-AUT-A1	89	F-D1/F-D2	28/34	FC/FC	0.52/0.398
N-AUT-A2	87	F-D1/F-D2/D	45/46/48	FC/FC/FP	0.30/0.270/0.224
N-AUT-A3	79	F-D	22	FC	0.571
N-AUT-A8	72	F-D1/F-D2	22/55	FC/FC	0.433/0.122
S-AUT-A4	75	F-D	35	FC	0.315
S-AUT-A6	78	F-D1/F-D2	20/48	FC/FC	0.256/0.084

Fase 4: Trabajo de Oficina

Consistió en la recopilación, análisis y comparación de todos los datos obtenidos en el trabajo de campo y de oficina.

Se hizo una evaluación del comportamiento de la roca y del suelo en los cortes expuestos, a través del análisis de los resultados que fueron obtenidos en los ensayos de laboratorio de roca y de suelo.

Se elaboraron gráficos, tablas, secciones y cálculos para determinar las conclusiones referentes a la estabilidad de los taludes de corte y taludes naturales.

Construcción de mapas temáticos que contengan toda la información requerida para la elaboración de un mapa de riesgo geológico del área de estudio

estableciendo la delimitación de las zonas de riesgo con los resultados obtenidos. Los mapas temáticos realizados son:

- Mapa litológico-estructural.
- Mapa clinométrico.
- Mapa de orientación de taludes o laderas.
- Mapa geomorfológico.
- Mapa de vegetación.
- Mapa de amenaza o susceptibilidad
- Mapa de vulnerabilidad.
- Mapa de riesgo geológico.

Por último proponer soluciones y recomendaciones al respecto.

Cartografía temática

A través de los mapas temáticos fue representada la información obtenida durante el desarrollo de este trabajo, los cuales mediante una metodología adecuada constituyen mapas interpretativos.

Los mapas temáticos realizados comprenden la totalidad del área de estudio: Maitana Estado Miranda a escala 1:5000. A continuación una descripción de la cartografía temática.

Mapa Litológico-Estructural

En este mapa se cartografiaron las unidades litodémicas presentes en la zona de estudio; así como las unidades superficiales consolidadas, sueltas y mixtas específicamente coluviones.

Con respecto a las estructuras (las cuales son un parámetro indispensable en el análisis de la amenaza geológica), fueron cartografiadas las foliaciones y diaclasas

tomadas en el trabajo de campo, realizándose además un estudio estadístico con los datos de estas foliaciones a través de el uso de las proyecciones hemisféricas que son una herramienta importante para determinar la estabilidad de los taludes y/o laderas. Es indispensable mencionar que con este estudio estadístico también se logró definir el patrón estructural.

Mapa Clinométrico

A fin de evaluar la pendiente en el área de estudio, se ha elaborado un mapa clinométrico representando las pendientes que forman el terreno. Para definir la clasificación de las pendientes fue empleada una metodología de clasificación de pendientes tomada de Jesús Roos Puche, agrimensor.

Los pasos a seguir para obtener esta clasificación y finalmente elaborar el mapa clinométrico son las siguientes:

1.- Estudiar detenidamente el plano de estudio que será objeto de la clasificación de pendientes determinando la escala de representación del plano objeto de estudio y determinando además el valor del espaciamiento vertical de las curvas de nivel.

2.- Se procedió a determinar los porcentajes que definirán la gradación solicitada. Se creó un escalímetro de pendientes en función a la escala del plano y las distancias horizontales para la tabla de gradación. Con este escalímetro de pendientes se mide en forma perpendicular a las curvas de nivel el espaciamiento horizontal que las separa y determinar en que intervalo del porcentaje de pendientes clasifica y señalarlo en el plano con la utilización de colores.

3.- Se marca con una línea envolvente los espaciamientos de igual porcentaje de pendientes según su clasificación y luego se calcula el área correspondiente.

4.- Por último se elaboró un cuadro con la gradación solicitada, colores identificadores, superficie de cada uno de los intervalos de pendientes y los porcentajes que representan en función a la superficie total estudiada.

Los colores identificadores corresponderán con el grado de inclinación de las laderas.

Mapa de orientación de taludes

Para la elaboración de este mapa, los taludes y/o laderas de la zona en estudio se tomaran como planos ideales. La orientación de estos taludes se determinará a través de las bases cartográficas señaladas con anterioridad.

A través de una rosa de orientación o taludómetro se realizara la distribución espacial de los taludes y/o laderas. Esta rosa de orientación o taludómetro se encuentra constituida por ocho divisiones de 45 ° de amplitud que cubren 360°, cada división presenta un color y una numeración que facilita la visión y el análisis de la orientación que poseen los taludes y/o laderas.

Es importante señalar que en la elaboración de este mapa (a pesar de existir ciertos parámetros establecidos) el autor define a su criterio la división de los taludes y/o laderas.

Mapa de procesos Geomorfológicos

Para la realización de este mapa se hizo necesaria la fotointerpretación de las misiones aerofotográficas: 030412 de 1958 y 0304167 de 1982 en escala 1:37.500 y 1:20.000 respectivamente; que cubren la zona de nuestro interés. Como sabemos los procesos geodinámicos son el producto de la interacción de una serie de factores como son los factores litológicos, estructurales y clinométricos que permiten determinar la estabilidad de los terrenos. En este mapa se recogen individualmente y en conjunto todos los procesos tanto antiguos como recientes que afectan el área; tomándose principalmente todos aquellos procesos geomorfológicos que intervienen en la estabilidad e inestabilidad de la zona estudiada considerándose además la influencia de otros parámetros importantes como son la topografía, el drenaje, la erosión.

Los procesos que fueron identificables fueron cicatrices que delatan la presencia de deslizamientos fósiles, acumulaciones coluviales y presencia de terrazas.

Toda esta información será cartografiada en la base topográfica de la zona a escala 1: 5000.

Mapa de Amenaza Geológica

La metodología aplicada para la obtención de este mapa requirió del un estudio en conjunto de todos los parámetros que ejercen un papel muy preponderante en la estabilidad de los terrenos; estos parámetros denominados factores condicionantes son: litología, pendiente, orientación de taludes y/o laderas, estructura, procesos geomorfológicos, agua subterránea, vegetación.

Es necesario mencionar que además de emplear los factores condicionantes para la elaboración de este mapa, también se tomo en cuenta los factores detonantes como son la intensidad sísmica y la pluviosidad o precipitación presente en la zona; factores que deben ser tomados muy en cuenta a la hora de elaborar un mapa de este tipo por ser factores de gran influencia y que pueden generar graves daños al sector.

La metodología se basa en la preparación de una serie de mapas temáticos de los factores condicionantes y en la superposición de los mismos, estableciéndose el grado de susceptibilidad en función del valor asignado a cada uno de los factores (condicionantes y detonantes). Luego se van separando zonas con diversas características obteniendo para cada parámetro casos favorables, desfavorables, así como situaciones de transición a la estabilidad o inestabilidad de un terreno.

Todos estos mapas poseen un gran valor ya sea en conjunto o individual para el análisis de la estabilidad de la zona estudiada proporcionando además información desde el punto de vista geológico.

Cada uno de ellos presenta una leyenda muy clara y entendible para todo usuario que requiera manejar este tipo de información.

Sectorización de la amenaza o susceptibilidad

A continuación se presenta los sectores de estabilidad definidos para la zona estudiada:

- Sectores parcialmente estables

Este sector esta constituido por taludes y/o laderas en situación geoestructural favorable.

Los taludes y/o laderas pueden presentar una densidad reducida de movimientos de masa

Presenta condiciones aceptables de estabilidad de acuerdo al uso que se le de al terreno. Esta zona pede verse afectada eventualmente por condiciones de sitio muy particulares.

Estos sectores pueden ser utilizables pero con ciertas limitaciones geotécnicas. Pueden presentarse en algunos sectores de estabilidad potencial que exigirán la implementación de obras de ingeniería.

- Sectores estables

Son aquellos sectores que no presentan indicios de procesos geomorfológicos activos; comprenden además sectores dependiente baja.

Estos sectores pueden ser utilizados sin tener que seguir con alguna restricción geotécnica para su aprovechamiento. Es conveniente que se realicen estudios geotécnicos convencionales con el fin de darle un mejor aprovechamiento a los terrenos.

Mapa de Vulnerabilidad

La metodología utilizada para la realización de este mapa fue tomada del Seminario: Estudios de riesgos por fenómenos de remoción en masa (Dirección de prevención y atención de emergencias de Bogota-DPAE. Esta metodología emplea

los siguientes parámetros: Índice de Vulnerabilidad Social (IVS) y el Índice de Vulnerabilidad Física (IVF). El IVS es un índice relativo que califica las carencias socioeconómicas entre 0 (muy pocas carencias) a 1 (mayores carencias). El IVS relaciona las carencias en servicios, vivienda y característica de la población con un nivel cualitativo de vulnerabilidad. Para su evaluación se adoptó una metodología similar a la propuesta por el PNUD para hallar los índices de desarrollo humano (IDH).

El cálculo del índice de Vulnerabilidad Física (IVF) se basó en la metodología propuesta por Frederic Leone (1996) para el daño en viviendas, los cuales dependen del tipo de movimiento, la intensidad de las solicitaciones y las características del elemento expuesto (vivienda).

Los parámetros básicos empleados fueron:

- La tipificación de la vivienda.
- La calificación de los daños.
- Solicitaciones de la amenaza.
- Cualificación de las solicitaciones.
- Cuantificación de niveles de daño.

Luego con los índices IVS e IVF hallados, se determina el Índice de Vulnerabilidad general por fenómenos de remoción en masas (IVD).

A continuación la expresión para determinar IVD:

$$IVD: [1-(1-IVF) 1/(1-\alpha IVS)]^{(1-\alpha IVS)}$$

Donde α toma valores entre 0 y 1 (de menor a mayor importancia). Si $\alpha = 0$, la variable IVS no tiene importancia para la evaluación del IVD. Si $\alpha = 1$, el IVS adquiere una gran importancia para obtener el valor de IVD.

Dada las condiciones socioeconómicas de la zona objeto de estudio, podemos decir que la importancia de la variable IVS en la evaluación es “alta” por lo que toma un valor $\alpha = 0.8$.

Mapa de riesgo geológico

Se estimó la amenaza del proceso geológico considerado, seguidamente se efectuó una identificación y valoración de los elementos sociales, estructurales, socioeconómicos y ambientales que pueden ser afectados.

Se efectuó la evaluación de la vulnerabilidad social y física de los elementos expuestos. Por último, se realizó la estimación del riesgo a partir de la amenaza o susceptibilidad y de la vulnerabilidad de los elementos, conjuntos de elementos o zonas consideradas.

El mapa de riesgo presentará la zonificación del territorio en base al riesgo o grado de riesgo.

El mapa de sectorización de riesgos ofrece un diagnóstico geológico-geotécnico y se propone destacar los aspectos restrictivos de las condiciones geológico-geotécnicas y debe servir de orientación para la confección de planes de ordenamiento.

El mapa de de riesgos geológicos organiza toda la información fundamental para acondicionar los proyectos a las condiciones geológicas de los terrenos y su elaboración es de mucha importancia en toda área a ser urbanizada.

A continuación se muestra un esquema de la metodología para la realización de los mapas de amenaza y riesgo.

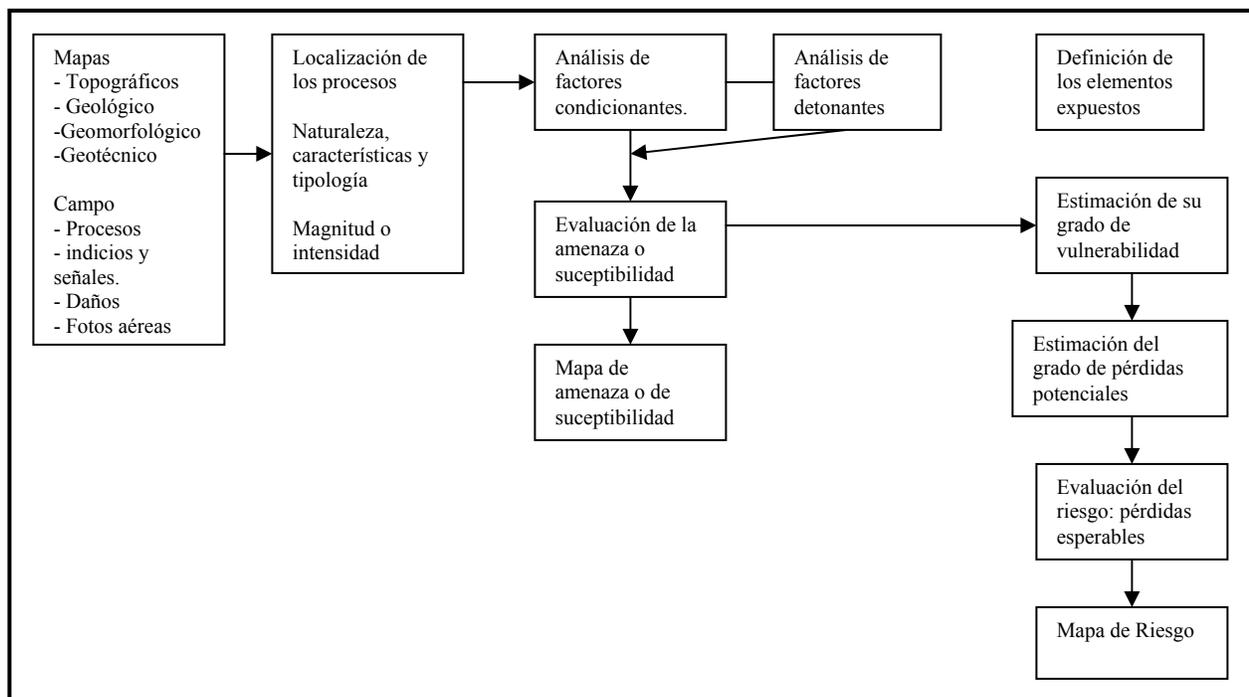


Gráfico 4: Esquema de la metodología para la realización de los mapas de amenaza y riesgo. (Tomado de Vallejo Luis, 2002).

Sectorización de riesgos

- Zona de riesgo bajo

Es una zona parcialmente estable a estable. Los terrenos ubicados en este sector presentan una litología competente, constituida por filitas cuarzo micáceas. La pendiente en este sector es media a alta. Los procesos geomorfológicos son incipientes; estructuralmente presentan inestabilidad; en ciertos sectores las laderas presentan situación de contrapuesta de buzamiento mientras que otros sectores sucede lo contrario.

Viviendas dispersas y escasas; por ende la vulnerabilidad es baja a pesar de ser una zona parcialmente estables; ya que la acción antrópica es incipiente.

Estos terrenos pueden desarrollarse con ciertas restricciones geotécnicas. Se considera necesario el estudio de aluviones. Implementar obras de ingeniería en sitios

donde se presente alguna manifestación de inestabilidad. La comunidad debe ser vigilante sobre el proceso de urbanismo, tipos de construcciones y obras sanitarias.

- Zonas de riesgo medio

Es una zona parcialmente estable; en ciertos sectores hay situaciones de contrapuesta de buzamiento favorable a la estabilidad lo cual no garantiza por completo la estabilidad del terreno ya que se han producido intersecciones de planos de diaclasas con foliaciones generando cuñas que desestabilizan la zona.

Estos sectores se encuentran medianamente poblados; el tipo de vivienda (ranchos o casas en mampostería) no son aptas y en caso de activarse algún evento de remoción en masa o la acción de factores detonantes.

- Zona de riesgo alto

Zona parcialmente estable. Tenemos terrenos con litología competente a incompetente; pendiente media a alta. Presencia de fallas estructurales (planares y en cuñas), pudiendo generar inestabilidad en el sector. Situación de contrapuesta de buzamiento en unos sectores mientras que otros sectores se presentan situaciones de cuesta de buzamiento. Los procesos geomorfológicos moderados a intensos. Se podrían producir movimientos de masas rotacionales o circulares no controlados por la orientación de las discontinuidades; por ello se requerirán obras de contención costosas que estabilicen los taludes.

El sector ha sufrido una alta intervención antrópica; se presenta fuertemente poblada en forma desordenada y sin ninguna planificación. Ausencia de obras de captación de aguas blancas y negras. Las viviendas no cumplen las normativas de construcción. Todo esto conlleva a identificar una alta vulnerabilidad frente a la amenaza o susceptibilidad de la zona.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1.- El sector que nos ocupa está ubicado en un paisaje montañoso que forma parte del sector meridional de la Cordillera de la Costa. Físicamente la zona en estudio representa un valle angosto, flanqueado por laderas de fuerte pendiente.

La zona se caracteriza por presentar filas alargadas con una orientación aproximada N70E.

Se observa una subunidad identificada como valles angostos hacia el NE y NW de la zona; ambos valles flanqueados por laderas de fuerte pendiente; siendo a su vez estrechos. El rumbo aproximado de estos valles es: N60E y S20W respectivamente. Presentan una geometría pobremente curva encontrándose perfectamente delimitados por la unidad principal.

2.- El drenaje del área estudiada está controlado por la Quebrada Maitana, cauce este que presenta una geometría mixta, donde la corriente tiene dirección hacia el sur, asociada a la cual se identificaron dos tributarios importantes denominados arbitrariamente cuenca C1 ubicada al sur y la cuenca C2 ubicada al norte.

3.- Desde el punto de vista litológico se constató que en la zona se presentan las siguientes facies:

A.- Facies de filitas, dentro de las cuales se distinguen:

A-1.- Filita cuarzo micácea grafitosa.

A-2.- Filita cuarzo micácea.

A-3.- Filita micácea grafitosa.

B.- Facies de sedimentos no consolidados constituidos por:

B-1.- Coluviones.

Los coluviones observados se encuentran constituidos por una mezcla de fragmentos angulares y materiales finos, típicos del coluvión.

B-2.- Aluviones.

Los aluviones son el cúmulo de detritos arrastrados por las aguas de la Quebrada Maitana.

Los coluviones se ubican en las laderas del sector mientras que los aluviones rellenan el fondo del valle principal y se han ido depositando en los extremos, en el centro y en el fondo del curso principal.

4.- Las rocas se encuentran altamente deformadas debido a los diversos eventos acaecidos durante el transcurso de la historia geológica de la zona, corroborándose en campo por la presencia de planos de debilidad, pliegues y fallas o fracturas.

A consecuencia de la alta deformación sufrida por la roca, ésta se encuentra fuertemente plegada; sin embargo pudo establecerse la tendencia del rumbo y el buzamiento de la foliación

5.- Las tendencias generales en el rumbo y buzamiento de las discontinuidades observadas en campo fueron las siguientes: en cuanto al rumbo la tendencia fue N-E, el buzamiento fue hacia el Norte.

6.- Se evidenció una posible falla, teniendo como marco de referencia la Quebrada Maitana. Se observaron muy pocas evidencias de trazas de los planos de foliación como consecuencia del tipo de litología presente, por el efecto de la meteorización, de la vegetación y la dinámica superficial.

7.- A través del estudio de las fotografías aéreas del sector se pudo establecer que el área de cobertura es de aproximadamente 243 Ha. Notamos que existían

indicios de dinámica superficial que se pueden observar en contraste con el paisaje, son una serie de cicatrices que delatan la presencia de deslizamiento fósil; con las correspondientes acumulaciones coluviales al pie de las mismas.

8.- A los fines de establecer los parámetros geotécnicos de los materiales se ejecutaron ensayos de laboratorio en roca y en suelos. Los parámetros geotécnicos son necesarios en la determinación de la estabilidad de taludes en dichos materiales.

A través del sistema unificado de clasificación de suelos se pudo establecer que predominan las arenas y gravas bien gradadas con un pequeño porcentaje de finos es decir limos y arcillas. Dichos suelos son el producto de la meteorización de la roca imperante en la zona como son las filitas.

Predominan los suelos con plasticidad media a alta indicando que este tipo de suelo posee un determinado porcentaje de arcilla inorgánica. Esto nos dice además que este tipo de material puede sufrir deformaciones plásticas antes de su rotura.

9.- Los parámetros geotécnicos que definen el comportamiento de un suelo son:

Peso unitario cuyo rango de valores: esta entre 1 y 3 gr/cm³.

Los parámetros de resistencia al corte: cohesión y ángulo de fricción. Donde la cohesión de este tipo de suelo esta entre 0.012 y 0.18 Kg. /cm² en condiciones saturadas, mientras que en condiciones no drenadas o naturales es: 0.58 Kg. /cm².

El ángulo de fricción toma valores desde: 14° y 31°.

10.- A través de los ensayos de caracterización de rocas se pudo establecer:

Con los diferentes sistemas de clasificación de rocas utilizados, al compararlos se pudo constatar que todos arrojaron resultados muy similares; o sea, que predominan las rocas muy foliadas a foliadas, con alto grado de meteorización y de calidad muy mala a mala.

11.- Los parámetros geotécnicos que definen el comportamiento de la roca fueron:

Peso unitario cuyo rango de valores están entre 1 y 2 kg/cm².

Los parámetros de resistencia al corte, donde la cohesión es menor a 1 kg/cm² o esta entre 1 y 2 kg/cm² y el ángulo de fricción: < 15° o entre 15° y 30°.

A través del método de las discontinuidades, se efectuó el análisis de estabilidad del macizo rocoso,

12.- En base a todo lo anterior se elaboró un mapa de riesgo geológico de la zona el cual representa una síntesis de toda la información obtenida durante el estudio.

13.- Ante la limitación en Venezuela de métodos establecidos para reflejar los riesgos geológicos en mapas; a través de esta investigación se propone una gama de criterios simplificados y sencillos que contribuyan de manera efectiva al análisis físico integral de todas las variables que causan inestabilidad (litología, pendiente, estructuras, vegetación, nivel freático, meteorización, como factores detonantes: sismicidad y pluviosidad) y evaluación de la vulnerabilidad (social y física).

14.- Después de obtener el mapa de riesgo geológico de la zona estudiada; se ha logrado identificar tres zonas de riesgo: alto, medio y bajo. La zona de alto riesgo se ubica al Suroeste de la zona, la zona de riesgo medio se localiza al Sureste del sector y la zona de bajo riesgo al Norte. Se consideró una zona de alto riesgo por ser una zona parcialmente estable y altamente vulnerable frente a los fenómenos de remoción en masa es decir ante fenómenos de deslizamiento o flujo, mientras que la zona de riesgo medio y bajo son zona parcialmente estables con vulnerabilidad media y baja respectivamente.

15.- La zona estudiada puede ser aprovechable a través del seguimiento de una serie de normas y criterios que obedezcan las condiciones urbanísticas.

16.- Sectores donde las condiciones naturales sean geotécnicamente más restrictivas se deben desarrollar proyectos de aprovechamiento agrícola cónsonos con la naturaleza.

17.- Para la elaboración el mapa de amenaza se decidió dar una ponderación a los factores detonantes por ser un estudio muy local de la zona, además de que son factores difíciles de ponderar.

Recomendaciones

1.- Realizar un levantamiento topográfico detallado de la zona a la escala adecuada 1:1000 que sirva de soporte para la exploración y ejecución de perforaciones complementarias con tomas de muestras y ensayos de laboratorio a fin de determinar los parámetros geotécnicos.

2.- En base a todo lo anterior, se realizará un estudio de estabilidad de taludes más preciso y detallado.

3.- Diseñar un sistema de captación y disposición de la escorrentía superficial; adicionalmente este sistema debe prever la captación de aguas subterráneas en las laderas ya que se detectan manifestaciones de aguas subterráneas aguas arriba de la zona.

4.- Diseñar un sistema de captación y tratamiento de aguas negras a fin de diseñar una planta de tratamiento.

5.- El desarrollo del urbanismo se llevara a cabo bajo normas de ocupación.

6.- Establecer un programa de mantenimiento de los drenajes y taludes con la participación de la comunidad con la elaboración de planes de contingencia.

7.- Instalar un sistema de monitoreo de los rellenos ubicados en la parte superior al área adyacente a la autopista que permita detectar la evolución de procesos de deterioro de los mismos.

8.- Diseñar y construir una red de inclinómetro en las zonas de alto riesgo para el proceso de inestabilidad la cual debe ser monitoreada continuamente.

REFERENCIAS

- Castillejo, Miguel (1993). *Análisis comparativo de los métodos de estabilidad de taludes y su control*. Trabajo de ascenso. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- De Marco, Pietro. (1995). *Determinación de la resistencia mecánica de las rocas mediante ensayos de laboratorio*. Trabajo de ascenso. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Encarta (2003). *Biblioteca de consulta Microsoft Encarta*.
- Urbani, F. (1999, Diciembre). *Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa*. Caracas, Venezuela: Geos, (33), 1-170.
- González, Alvaro, J. (2000). *Evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa en Santa Fe de Bogota-Colombia*. Seminario, Colombia.
- González de Juana, C. (1980). *Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas*. Caracas.
- Goodman, R. (1976). *Methods of Geological Engineering*. New York: West Publishing Co.
- Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE). (1985). *Manual de Ingeniería de Taludes*. España: Autor.
- Jiménez Salas, A. (1982). *Geotecnia y cimientos: Propiedades de los suelos y de las rocas*. Madrid: Rueda.
- Léxico. Tomo I-II/Venezuela. Ministerio de Energía y Minas (MEM). *Léxico estratigráfico de Venezuela*.
- Márquez, Omar. A. (1993). *Geología y geotecnia de una zona comprendida entre el Km. 4 y el Km. 16 de la Carretera Panamericana, Municipio de las Salias, Estado Miranda. Trabajo especial de grado. Inédito*. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Menéndez, Daniel. (2002). *Estudio Geológico y geotécnico de un área ubicada en la localidad de Carenero, Estado Miranda*. Trabajo especial grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

- Mora, Sergio. (1994). *Macrozonation Methodology for Landslide Hazard Determination. Boletín of the Association of Engineering Geologists, Costa Rica.*
- Mota, Antonio. (1975). *Aspectos sistemáticos de la estabilidad de taludes.* Trabajo especial de grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Peña, N. Luis F. (2003). *Estudio de riesgo geológico en el sector de Maiquetía Caraballeda. Estado Vargas.* Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Romana, R. Manuel. (1992). *Métodos de corrección de taludes según la clasificación geomecánica SMR.* III Simposio nacional sobre taludes y laderas inestables, España.
- Salcedo, D. (1983). *Consideraciones técnicas sobre estabilidad de taludes en las Colinas del Área Metropolitana de Caracas: Memorias II. Jornadas Geológicas Venezolanas S.V.G y S.V.M.S.I.F.* (pp.66-96). Caracas.
- Salcedo, Daniel. (1978). *El uso de las proyecciones hemisféricas como técnica de predicción y análisis de problemas relativos a estabilidad de taludes en macizos rocosos.* Trabajo de ascenso. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Sociedad Venezolana de Mecánica del suelo. Ingeniería de fundaciones. (1958, Noviembre). *Macizos rocosos: Caracterización, Resistencia al corte y Mecanismo de Rotura.* Caracas: Autor.
- Sánchez, Carlos. (2000). *Caracterización geotécnica de masas rocosas metamórficas de la Cordillera de la Costa venezolana.* Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Ugas, Celso. (1985). *Ensayos de laboratorio en mecánica de suelos, discusión, evaluación y procedimiento.* Caracas.
- Vallejo, Luis (2002). *Ingeniería geológica.* España: Prentice Hall.