

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ESTUDIO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO DE LOS
TALUDES DE LA URB. LA QUINTA, LOS TEQUES,
MUNICIPIO GUAICAIPURO, EDO MIRANDA**

Solórzano, Naiker C.I.: 18.109.148

Zurita, Patricia C.I.: 81.539.592

Caracas, 2010

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ESTUDIO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO DE LOS
TALUDES DE LA URB. LA QUINTA, LOS TEQUES,
MUNICIPIO GUAICAIPURO, EDO MIRANDA**

Tutor Académico: Prof. Miguel Castillejo

Tutor Industrial: Ing. Mónica Pereira

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Bachilleres Solórzano M, Naiker E.
Zurita P, Patricia G.
Para optar al título de
Ingeniero Geólogo

Caracas, 2010

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería (especialidad), para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres Naiker E. Solórzano M. y Patricia G. Zurita P. titulado:

**ESTUDIO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO DE LOS
TALUDES DE LA URB. LA QUINTA, LOS TEQUES,
MUNICIPIO GUAICAIPURO, EDO MIRANDA**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geólogo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el (los) autor (es), lo declaran APROBADO.

Prof. Pietro de Marco
Jurado

Prof. Mónica Pereira
Jurado

Prof. Miguel Castillejo
Tutor Académico

Ing. Mónica Pereira
Tutor Industrial

DEDICATORIA

A Dios...

A mis Padres...

A mi Tío...

A mis amigos...

Naiker Solórzano Mancilla

DEDICATORIA

A mi Madre...

A mi hermana...

A mí adorado Sobrino, Sebastián...

A Roberto Lafferte...

A mis amigos...

Patricia Gobely Zurita Piña

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme la vida, la existencia, al ser lo que soy y al estar donde estoy, por darme la fuerza y fortaleza en los momentos de debilidad y por ponerme en mi camino personas que me han prestado su ayuda para seguir adelante día a día.

A mis Padres Fernando Solórzano y María Mancilla, por darme la vida y amor, por guiarme en todo momento por el buen camino, por enseñarme el sacrificio y dar el todo por el todo para hacerme crecer como una persona correcta, por darme la oportunidad de crecer con buena educación, y ser la persona que soy, con ustedes todo, sin ustedes nada.

A mi Tío Fausto Mancilla (QEPD) por hacerme entender que las metas se cumplen cuando uno desea ser mejor cada día por su familia, y que en la vida la dedicación y el sacrificio vale la pena cuando los que uno quiere ser ven beneficiados de los logros que obtenemos, que Dios te tenga en tu santa gloria.

A mi compañera y Amiga Patricia Zurita. Por haberme tomado en cuenta para la realización de este proyecto.

Al Profesor Miguel Castillejo, por ayudarnos en todo y comportarse como un gran amigo, gracias a usted este proyecto se ha podido culminar.

A la Profesora Mónica Pereira, por toda su colaboración prestada durante todo este tiempo.

Al instituto de Ciencia de la Tierra y a su Director William Meléndez, por brindarnos su ayuda desinteresada y hacernos sentir que en Geoquímica contamos con una segunda escuela.

Al profesor Orlando Méndez, por haberme enseñado que nada vale impartir conocimientos científicos si no van aunados de calor y fraternidad humana, gracias por hacerme corregir mis errores.

A mis amigos que aunque pocos me han enseñado el valor de la amistad, Sney Jhon, Josse Cheik y Luis Rangel y hacerme saber que si existen amigos con quien contar y confiar.

A mi amigo Gregorio López por haberme ayudado en todo momento para la realización de este trabajo, y por haberme impartido sus conocimientos geológicos en este proyecto, gracias amigo.

Naiker Solórzano Mancilla

AGRADECIMIENTOS

A mi madre *Patricia Zurita*, por darme la vida, por siempre estar y ser la persona más importante en mi vida, por ser más que mi madre mi mejor amiga. *Te amo...*

A mi Hermana porque a pesar de las adversidades siempre has estado presente en los buenos y malos momentos.

A mí amado sobrino *Sebastián*, por existir y permitirme conocer lo bello que es tenerte.

A Roberto por ser mi Padre incondicional y enseñarme las cosas buenas y mala de la vida.

A la ilustre Casa que vence la Sombra, por enseñarme y formarme en sus aulas, y darme la oportunidad de ser mi segundo hogar.

A mi compañerito de Tesis *Naiker Solórzano*, por ser un gran amigo, buen compañero y siempre sacarme las patas del barro, Gracias.

A mi amiga y Tutora *Mónica Pereira*, por toda su amistad, por ser la persona que me dio el tema, por estar preocupada en todo momento del trabajo y por ser siempre amiga.

A el Prof. *Miguel Castillejo*, por su incondicionalidad al momento que mas lo necesitamos.

A mis Amigos por ser y estar en los buenos y malos momentos de mi vida: Mayiyi Castro, Nando Aponte, Erick Tovar (Knache), Manuel Araque (El brujo), Mónica Salomón,

Freddy López (Mi Gordo), Luis Palma (EL peluo), Gregorio López, Jimmy Centrella, Mirka Farfán. Gracias por ser siempre y simplemente *AMIGOS*.

A *Ti*, simplemente por ser, estar, existir y ser parte de mí complemento, gracias, mil gracias por ser parte importante en mi vida... *Te Adoro!!!*

A todas aquellas personas que sin ser menos o más importante siempre están presentes en mi vida y por el hecho de no mencionarlos no quiere decir que no estén presentes, gracias a tod@s.

Patricia Gobely Zurita Piña

Solórzano M. Naiker E.,

Zurita P. Patricia G.

ESTUDIO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO DE LOS TALUDES DE LA URB. LA QUINTA, LOS TEQUES, MUNICIPIO GUAICAIPURO, EDO MIRANDA

Tutor Académico: Prof. Miguel Castillejo. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Año 2010, 230p.

Palabras Claves: Caracterización Geomecánica, Taludes, Terrazas, Mecánica de Suelos, Mecánica de Rocas

RESUMEN

En este trabajo se realizó el estudio Geológico – Geotécnico de los taludes de la Urb. La Quinta a través del procesamiento de la información recopilada del tipo Geológico, Geotécnico, Cartográfico y Aerofotográfico, así como la generada en la fase de campo. El tramo de trabajo se ubicó al Norte de la Ciudad de los Teques, con acceso por la carretera Los Teques – San Pedro de los Altos, localizándose al oeste de esta vía y del río San Pedro, específicamente frente al sector de Ramo Verde, y al sur de la cárcel de mujeres, colindando con la parte Oeste con una tubería de Gas perteneciente a PDVSA. El área de estudio presentó una extensión de 29,5 hectáreas, compuesta por 15 terrazas y 45 taludes con buzamientos que oscilan entre los 40° y 55°. Para cumplir con el objetivo se realizó un levantamiento geológico de superficie con el correspondiente muestreo selectivo de materiales, pertenecientes a los diferentes taludes sobre los cuales se elaboraron diversos ensayos de caracterización geotécnica, basándose en las normas ASTM, entre las cuales están: Humedad Natural, Límites de Consistencia, Consolidación Unidimensional y Proctor Modificado. Las zonas de mayor elevación son diagnósticas del macizo rocoso meteorizado, el cual, corresponde al Esquisto de las Mercedes, formado por esquistos calcíticos cuarzosos grafitosos algunas veces Micáceos, conformado los taludes de suelo por limo areno-arcilloso no plástico (ML). Por otra parte, se aplicaron las clasificaciones geomecánicas de mayor uso en la actualidad para taludes en rocas, así como también, se estimaron los parámetros de resistencia del macizo rocoso (resistencia a la compresión del macizo (σ_{cm}), módulo de elasticidad (E_m), ángulo de fricción del macizo (ϕ_m) y cohesión del macizo (C_m)) según las correlaciones propuestas por HOEK & BROWN (1997.) Como resultado se obtuvieron parámetros de ángulo de fricción $\phi = 20^\circ$ y cohesión $c = 20 \text{ kpa/m}^2$, finalmente se propuso cubrir la superficie de los taludes con malla metálica, fijada mediante claveteo adecuado y construir cunetas de coronación en todos los taludes de corte considerados, para canalizar las aguas de lluvia provenientes de las áreas superiores periféricas.

Índice

DEDICATORIA.....	vii
DEDICATORIA.....	ix
AGRADECIMIENTOS.....	xi
AGRADECIMIENTOS.....	xiii
RESUMEN.....	xv
Índice	xvii
Índice de Tablas.....	xxi
Índice de Figuras.....	xxvii
Índice de Fotos.....	xxxii
CAPITULO I.....	1
I. INTRODUCCIÓN.....	1
I.1. UBICACIÓN Y EXTENSIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.....	1
I.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
I.3. OBJETIVOS.....	3
I.4. TRABAJOS PREVIOS.....	4
CAPITULO II.....	7
II. MARCO TEÓRICO.....	7
II.1. ESTABILIDAD DE UN TALUD EN UN MACIZO ROCOSO.....	7
II.2. CLASIFICACIONES DE LOS MACIZOS ROCOSOS.....	11
II.3. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL ESTADO FÍSICO DE UNA ROCA.....	12
II.4. DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO.....	15

II.5.	ENSAYOS USADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN GEO TÉCNICA DE UN MACIZO ROCOSO Y DE SUS TALUDES.....	23
II.6.	FOTOINTERPRETACION.....	28
CAPITULO III.....		31
III.	GEOGRAFIA FÍSICA.....	31
III.1.	GEOLOGÍA Y SUELO.....	31
III.2.	HIDROGEOLOGÍA.....	33
III.3.	CLIMA Y VEGETACIÓN.....	34
III.4.	TEMPERATURA.....	39
III.5.	VIENTOS.....	40
CAPITULO IV.....		41
IV	GEOLOGIA REGIONAL.....	41
IV.1	EVOLUCION GEOMORFOLOGICA DE LA CORDILLERA DE LA COSTA EN EL AREA DE CARACAS.....	41
IV.2.	GEOLOGÍA REGIONAL DE LA CORDILLERA DE LA COSTA.....	49
CAPITULO V.....		61
V.	GEOLOGÍA LOCAL.....	61
V.1.	ESTRUCTURAS.....	61
V.2.	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS TALUDES EN ROCA.....	69
V.3.	DESCRIPCIÓN DE TERRAZAS DE SUELOS.....	72
CAPITULO VI.....		91
VI.	METODOLOGÍA.....	91
VI.1.	METODOLOGÍA DE CAMPO.....	91
VI.2.	ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE ROCAS.....	92

VI. 3.	ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS	107
VI.4.	ENSAYO DE COMPACTACIÓN A ESFUERZO MODIFICADO (ASTM D-1557-00).....	124
VI.5.	ENSAYO DE CORTE DIRECTO	125
VI.6.	DENSIDAD IN SITU (METODO DEL CONO DE ARENA)	128
VI.7.	ANÁLISIS PETROGRÁFICO DE MUESTRAS. (ISRM, 1977)	129
CAPITULO VII.....		131
VII.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	131
VII.1.	TERRAZA 1.	132
VII.2.	TERRAZA 2.	134
VII.3.	TERRAZA 3.	136
VII.4.	TERRAZA 4.	138
VII.5.	TERRAZA 5.	140
VII.6.	TERRAZA 6.	142
VII.7.	TERRAZA 7.	145
VII.8.	TERRAZA 8.	147
VII.9.	TERRAZA 9.	153
VII.10.	TERRAZA 10.	155
VII.11.	TERRAZA 11.	176
VII.12.	TERRAZA 12.	178
VII.13.	TERRAZA 13.	180
CAPITULO VIII		183
VIII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	183
VIII.1.	CONCLUSIONES	183
VIII.2.	RECOMENDACIONES	184
BIBLIOGRAFÍA		187
ANEXOS 1		189

ANEXOS 2	205
ANEXOS 3	209

Índice de Tablas

Tabla 1.	Tipos de discontinuidades	9
Tabla 2.	Sistemas de caracterización y clasificación de Macizos Rocosos	12
Tabla 3.	Términos geotécnicos más usuales.....	14
Tabla 4.	Terminología recomendada por la Sociedad Internacional de Mecánica De Rocas (SIMR) para la medición del espaciamiento en las discontinuidades.	17
Tabla 5.	Tipo de macizo	17
Tabla 6.	Terminología utilizada para la medición de la persistencia en discontinuidades.	18
Tabla 7.	Clasificación de la rugosidad.....	19
Tabla 8.	Terminología utilizada para clasificar el material por su tamaño de Grano (escala de Wentworth).....	20
Tabla 9.	Terminología utilizada para describir el grado de meteorización de la roca	21
Tabla 10.	Tamaño de bloque	22
Tabla 11.	Descripción del grado de meteorización de la roca intacta	23
Tabla 12.	Estaciones Pluviométricas	36
Tabla 13.	Precipitación media anual.....	36
Tabla 14.	Época de Lluvia/Lluvia total	36
Tabla 15.	Precipitación MM., Promedio (1970-2005)	37
Tabla 16.	Comparación pluviométrica de la estación Los Teques y el resto de Venezuela. Precipitación MM, Febrero Año 2005.....	37
Tabla 17.	Estructuras presentes en Talud Roca 2.1	64
Tabla 18.	Estructuras Presentes	66
Tabla 19.	Estructuras Presentes	67

Tabla 20. Diaclasas identificadas.....	69
Tabla 21. Peso específico del agua según su temperatura	122
Tabla 22. Ensayos realizados en rocas.....	131
Tabla 23. Ensayos realizados en suelos	131
Tabla 24. Descripción visual. muestras terraza 1.....	132
Tabla 25. Promedio Humedades para la terraza 1.....	132
Tabla 26. Ensayo de límite líquido. en terraza 1.....	133
Tabla 27. Resultados de límite líquido. en terraza 1	133
Tabla 28. Descripción visual. muestras de terraza 2.....	134
Tabla 29. Promedio Humedades para la terraza 2.....	134
Tabla 30. Ensayo de límite líquido de terraza 2.....	135
Tabla 31. Resultados de límite líquido. de terraza 2	135
Tabla 32. Descripción visual muestras terraza 3.....	136
Tabla 33. Promedio Humedades para la terraza 3.....	136
Tabla 34. Ensayo de límite líquido de terraza.....	137
Tabla 35. Resultados de límite líquido. de terraza 3	137
Tabla 36. Descripción visual muestras terraza 4.....	138
Tabla 37. Promedio Humedades para la terraza 4.....	139
Tabla 38. Ensayo de límite líquido de terraza 4.....	139
Tabla 39. Resultados de límite líquido. de terraza 4	140
Tabla 40. Descripción visual muestras terraza 5.....	141
Tabla 41. Promedio Humedades para la terraza 5.....	141
Tabla 42. Ensayo de límite líquido de terraza 5.....	141

Tabla 43. Resultados de límite líquido. de terraza 5.....	142
Tabla 44. Descripción visual muestras terraza 6	143
Tabla 45. Promedio Humedades para la terraza 6	143
Tabla 46. Ensayo de límite líquido de terraza 6	144
Tabla 47. Resultados de límite líquido. de terraza 6.....	144
Tabla 48. Descripción visual muestras terraza 7	145
Tabla 49. Promedio Humedades para la terraza 7	145
Tabla 50. Ensayo de peso específico. terraza 7	146
Tabla 51. Ensayo de límite líquido de terraza 7	146
Tabla 52. Resultados de límite líquido. de terraza 7.....	146
Tabla 53. Descripción visual muestras terraza 8	147
Tabla 54. Promedio Humedades para la terraza 8	148
Tabla 55. Ensayo de límite líquido de terraza 8	148
Tabla 56. Resultados de límite líquido. de terraza 8.....	149
Tabla 57. Ensayo de peso específico. terraza 8	149
Tabla 58. Compactación 25 golpes por capa	150
Tabla 59. Determinación humedad Real	150
Tabla 60. Composición mineralógica de M5T8	153
Tabla 61. Descripción visual muestras terraza 9	154
Tabla 62. Promedio Humedades para la terraza 9	154
Tabla 63. Ensayo de límite líquido de terraza 9	154
Tabla 64. Resultados de límite líquido. de terraza 9.....	154
Tabla 65. Descripción visual muestras terraza 10	155

Tabla 66. Promedio Humedades para la terraza 10.....	156
Tabla 67. Ensayo de límite líquido de terraza 10.....	157
Tabla 68. Resultados de límite líquido. de terraza 10.....	157
Tabla 69. Minerales presentes y concentración.....	158
Tabla 70. Tamaño de granos de cuarzo y distribución.....	158
Tabla 71. Ensayo de límite líquido de terraza 10.....	162
Tabla 72. Composición mineralógica de M5T8.....	163
Tabla 73. Valores de las propiedades de la resistencia de corte.	166
Tabla 74. Valores de los esfuerzos normales y propiedades de corte de las laminaciones.....	167
Tabla 75. Estructuras presentes en Talud Roca 1.1.....	168
Tabla 76. Estructuras presentes en Talud Roca 1.2.....	169
Tabla 77. Estructuras presentes en Talud Roca 2.1.....	170
Tabla 78. Estructuras presentes en Talud Roca 2.2.....	171
Tabla 79. Estructuras presentes en Talud Roca 3.....	172
Tabla 80. Estructuras presentes en Talud Roca 4.....	173
Tabla 81. Descripción visual muestras terraza 11.....	177
Tabla 82. Promedio Humedades para la terraza 11.....	177
Tabla 83. Ensayo de límite líquido de terraza 11.....	177
Tabla 84. Resultados de límite líquido. de terraza 11.....	178
Tabla 85. Descripción visual muestras terraza 12.....	179
Tabla 86. Promedio Humedades para la terraza 12.....	179
Tabla 87. Ensayo de límite líquido de terraza 12.....	179

Tabla 88. Resultados de límite líquido. de terraza 12.....	180
Tabla 89. Descripción visual muestras terraza 13	181
Tabla 90. Promedio Humedades para la terraza 13	181
Tabla 91. Ensayo de límite líquido de terraza 13	181
Tabla 92. Resultados de límite líquido. de terraza 13.....	182

Índice de Figuras

Figura 1. Imágenes de Venezuela y Miranda.....	2
Figura 2. Mapa de la zona de estudio a escala 1:100000	2
Figura 3. Representación esquemática de los parámetros de las discontinuidades	15
Figura 4. Medida de la orientación de las discontinuidades	16
Figura 5. Medida de espaciamiento de una discontinuidad en una cara expuesta de un afloramiento	16
Figura 6. Corte directo en suelo	24
Figura 7 Sistema de Aplanamiento y modelado residuales.	42
Figura 8 Mapa Geológico. En el área amarilla se aprecia la ubicación aproximada de la zona de estudio. Fuente: Cartografía Nacional.	62
Figura 9 Diagrama de Rosetas, Familias principales	64
Figura 10. Diagrama de Rosetas, Familias principales	66
Figura 11. Diagrama de Rosetas, Familias principales	68
Figura 12. Requerimientos geométricos para el ensayo de Carga Puntual: A.- Diametral, B.- Axial, C.- Bloque, D.- Bloque Irregular	94
Figura 13. Equipo de Carga Puntual, Detalle de las placas de carga cónicas.....	95
Figura 14. Direcciones de carga para ensayos en muestras de rocas anisotrópicas.....	98
Figura 15. Muestras Fracturadas de cargas puntuales.....	99
Figura 16. Yeso dental, el cual es usado como material encapsulante	100
Figura 17. Posición de la muestra en la caja de corte	102
Figura 18. Curva típica esfuerzo de corte-desplazamiento, en planos de foliación de esquistos cuarzo-micáceo-calcáreo de la Formación Las Mercedes, Caracas.....	106

Figura 19. Representación del ensayo de corte directo para varios ensayos realizados a través de planos de foliación de esquistos cuarzo-micáceo-calcareo de la formación las Mercedes, Caracas.....	107
Figura 20. Maquina Tamizadora	108
Figura 21. Límite de Atterberg.....	114
Figura 22. Caja de cizalladura	127
Figura 23. Ensayo de Cono de Arena.....	129
Figura 24. Límite Líquido terraza 1	133
Figura 25. Límite Líquido terraza 2	135
Figura 26. Límite Líquido terraza 3	138
Figura 27. Límite Líquido terraza 4	140
Figura 28. Límite Líquido terraza 5	142
Figura 29. Límite Líquido terraza 6	144
Figura 30. Límite Líquido terraza 7	147
Figura 31. Límite Líquido terraza 8	149
Figura 32. Ensayo Proctor	151
Figura 33. Difracción de Rayos X, M5 T8.....	152
Figura 34. Límite Líquido terraza 9	155
Figura 35. Límite Líquido terraza 10	157
Figura 36. Difracción de Rayos X, MT4.....	164
Figura 37. Evaluación de la cohesión y el ángulo de fricción.....	166
Figura 38. Desplazamiento de corte pico	167
Figura 39. Evaluación de rigidez de corte	167
Figura 40. Proyección estereográfica Talud Roca 1.1.....	169

Figura 41. Proyección estereográfica Talud Roca 1.2	170
Figura 42. Proyección estereográfica Talud Roca 2.1	171
Figura 43. Proyección estereográfica Talud Roca 2.2	172
Figura 44. Proyección estereográfica Talud Roca 3	173
Figura 45. Proyección estereográfica Talud Roca 4	174
Figura 46. Límite Líquido terraza 11	178
Figura 47. Límite Líquido terraza 12	180
Figura 48. Límite Líquido terraza 13	182

Índice de Fotos

Foto 1.	Hundimiento observado en el estacionamiento de la Terraza 3	75
Foto 2.	Otra vista del hundimiento de la misma terraza	75
Foto 3.	Torrenteras cubiertas de vegetación	76
Foto 4.	Abertura del brocal en la Terraza 5	78
Foto 5.	Peinado y conformación de surcos Terraza 5	78
Foto 6.	Vista de una alcantarilla, Terraza 6	80
Foto 7.	Separación del brocal, Terraza 6	80
Foto 8.	Correspondiente a la inclinación de la pared, frente terraza 7A.....	82
Foto 9.	Vista total de la pared frente edificio 7A.....	82
Foto 10.	Separación y deslizamiento del muro, final estacionamiento Terraza7.	83
Foto 11.	Cárcava localizada en talud posterior del estacionamiento terraza 8	84
Foto 12.	Grieta de distensión a lo largo del talud	86
Foto 13.	Separación del brocal.....	87
Foto 14.	Deslizamiento del material localizado en los taludes.....	88
Foto 15.	Equipo para ensayo de carga puntual, modelo PTL-10.....	96
Foto 16.	Esquema del equipo de Corte Directo,	101
Foto 17.	Molde con el espécimen	103
Foto 18.	Muestra después de realizado el ensayo de tracción directa.....	105
Foto 19.	Material preparado en tara, para la realización de los límites Atterberg.....	113
Foto 20.	Cuchara de Casagrande: Aparato de dimensiones normalizadas, consistente en una copa de bronce que con un sistema de rotación, cae libremente desde 10 mm sobre una base de goma normalizada.....	114

Foto 21.	Realización del Límite Plástico, se define por convención como el contenido de humedad para el cual un cilindro de 3 mm de diámetro comienza a desmoronarse.	116
Foto 22.	Cilindro de 3mm, cuando este comienza a desmoronarse y no puede formarse nuevamente, se determina su humedad. Esto se repite tres veces.....	117
Foto 23.	Picnómetros utilizados	118
Foto 24.	Balanza de precisión	119
Foto 25.	Reductor de presión	119
Foto 26.	Tara utilizada.....	120
Foto 27.	Picnómetro lleno con la muestra y agua destilada	123
Foto 28.	Sección fina No 1.....	159
Foto 29.	Sección fina No 2	160
Foto 30.	Sección fina.....	161
Foto 31.	Sección fina.....	161

CAPITULO I

I. INTRODUCCIÓN

El estudio geológico - geotécnico a realizar constituye una importante fase de exploración en la estabilización de los taludes existentes en las terrazas de la Urbanización La Quinta, El Paso, Municipio Guaicaipuro. Los Teques. Edo. Miranda.

Para cumplir con dicha investigación se efectuará un levantamiento geológico de superficie con el correspondiente muestreo de los diferentes taludes sobre los cuales se realizarán diversos ensayos de caracterización geotécnica, basándose en las normas ASTM, entre las cuales están:

Para la caracterización geomecánica de suelos:

Humedad Natural.

Límites de Consistencia.

Consolidación Unidimensional.

Peso Específico.

Peso Unitario.

Corte Directo

Granulometría por Tamizado.

Compactación (Proctor Modificado).

Para la caracterización geomecánica de rocas:

Corte Directo.

Carga Puntual.

Los resultados adquiridos de estos ensayos serán analizados y registrados aplicando ciertos criterios matemáticos con el fin de obtener la correlación empírica requerida.

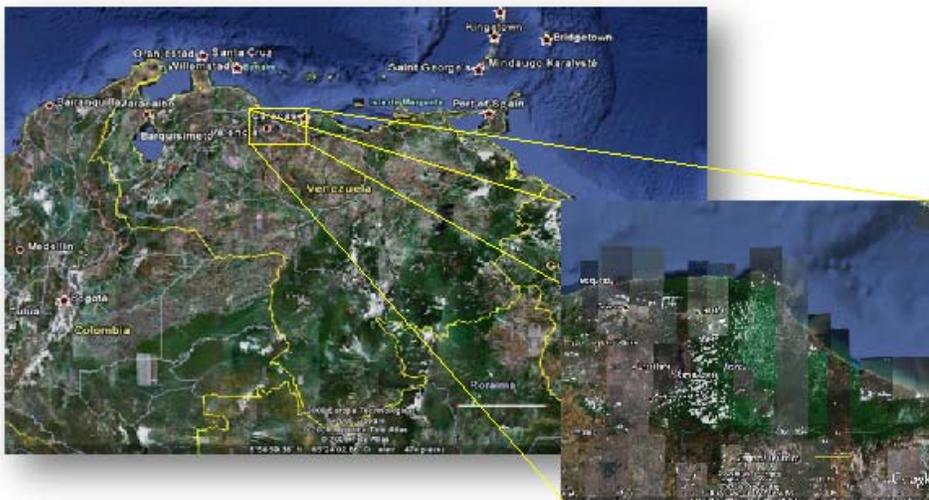
I.1. UBICACIÓN Y EXTENSIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

El área de trabajo se encuentra ubicado al Norte de la Ciudad de los Teques, con acceso por la carretera Los Teques – San Pedro de los Altos, localizándose al oeste de esta vía y del río San Pedro, específicamente frente al sector de Ramo Verde, y al sur de la

cárcel de mujeres, colindando con la parte Oeste con una tubería de Gas perteneciente a PDVSA.

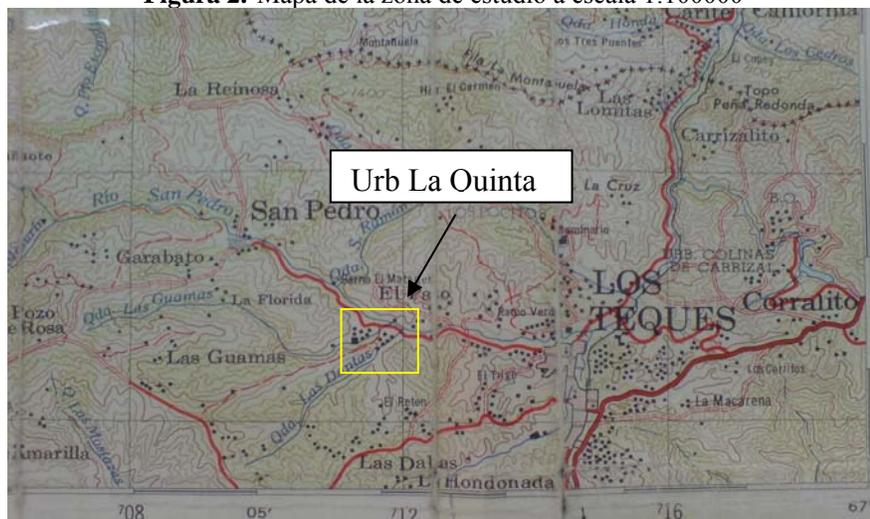
Los terrenos sobre los cuales esta construida la urbanización presenta una extensión de 29,58Ha (295,8 Km²), la cual se encuentra constituida por 13 terrazas y 15 parcelas, para un total de 1190 apartamentos aproximadamente, presentando el área de estudio una extensión de 70 Km².

Figura 1. Imágenes de Venezuela y Miranda



Tomadas de Google Earth Junio 2009

Figura 2. Mapa de la zona de estudio a escala 1:100000



I.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación resultará de gran eficacia para establecer el grado de estabilidad de los taludes, localizados en la urbanización en estudio, cuyos deterioros pueden repercutir negativamente en la vida diaria de los que allí habitan. Las soluciones propuestas se llevarán a cabo a través de la utilización de los conocimientos geológicos y los parámetros geotécnicos anteriormente descritos.

Así mismo el estudio geológico-geotécnico generará una serie de beneficios concretos el cual permitirá establecer las soluciones más idóneas a utilizar en estos taludes, para poder reducir el riesgo en la urbanización.

Es destacable que la manera como se aborden los objetivos del tema servirá de aporte teórico y metodológico para futuras investigaciones relacionadas con la estabilidad de taludes.

I.3. OBJETIVOS

I.3.1. OBJETIVOS GENERALES

Realizar el estudio geológico – geotécnico en la localidad de la Urb. La Quinta. Los Teques. Edo. Miranda, a través del procesamiento de la información recopilada del tipo Geológico, Geotécnico, Cartográfico y Aerofotográfico, así como la generada en la fase de campo.

I.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Establecer, los contactos entre las facies litológicas más representativas, identificar las estructuras geológicas mayores, sus trazas y extensión así como también la orientación de los planos estructurales más relevantes, todo ello plasmado en la elaboración de un mapa geológico.

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

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

Determinar la estabilidad de los taludes en rocas y en suelos presente en la zona de estudio.

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

Elaborar un mapa estructural a través de un análisis físico integral de las variables que causan inestabilidad, así como de los efectos expresados en los procesos geomorfológicos.

I.4. TRABAJOS PREVIOS

Dengo (1951), En su trabajo sobre la región de Caracas, diferencio las formaciones Antimano y Tacagua, y su ubicación y posibles relaciones estructurales entre las mismas.

Smith (1952), realizó un estudio geológico de la región de los Teques – Cúa, describiendo las secuencias metamórficas y las estructuras geológicas presentes. Describe de Manera más amplia las rocas del grupo Caracas diferenciándolas del Basamento.

Marcano, F (1974) Estudió el Esquisto de Las Brisas basándose en las características micropetrográficas, físicas y mecánicas, con el fin de conocer las características composicionales y texturales de acuerdo con el grado de meteorización, relacionándolo con las propiedades físicas y mecánicas del material litológico.

Reyes (1979), hizo un estudio de geología de la zona río Macarao – río San Pedro, Distrito Capital y estado Miranda, en donde afloran rocas meta sedimentarias y en menor proporción meta ígneas, clasificadas en tres unidades litológicas informales: unidad de esquisto cuarzo micáceo del Esquisto de las Brisas, unidad de gneis cuarzo feldespático micáceo del Gneis de Sebastopol y unidad de meta ígnea constituida por anfíbolita y serpentinita.

Cabrera (1985), Lujan y Medina (1985), realizaron estudios geológicos y geotécnicos de una zona alrededor de la fila de Mariches del Distrito Sucre del estado Miranda.

Cantizano (1989), Realizo un estudio geológico y geotécnico de la cuenca de la quebrada Mamera, en el Distrito Federal, al noreste de Los Teques Edo. Miranda. Analizo las formaciones geológicas del Grupo Caracas, así como factores geológicos, estabilidad geoestructural de laderas y procesos.

Iasiello (1991), estudia la geología y geotecnia de un área ubicada al norte de la ciudad de los Teques, estado Miranda, clasificó los diferentes tipos de roca de acuerdo a sus asociaciones mineralógicas y ubicación geográfica en tres unidades: unidad de gneis y esquisto anfibolítico, unidad de esquisto cuarzo micáceo, cuarcita y filita grafitosa y unidad de serpentina y esquisto anfibolítico (todas pertenecientes al Esquisto Las Brisas).

Márquez (1993), estudio la geología y geotecnia de una zona comprendida entre el Km. 4 y el Km. 16 de la carretera Panamericana, estado Miranda. En la zona afloran rocas metas sedimentarias y meta ígneas que la agrupo en cinco unidades lito estratigráficas informales: unidad de esquisto cuarzo moscovítico, unidad de esquisto cuarzo moscovítico feldespático, unidad de filita, unidad de serpentina y unidad de esquisto carbonático correlacionables con Esquisto de las Mercedes.

Herrera (1999), estudió la geología de las quebradas Santa María y Palo Negro. Los Teques – Carrizal, estado Miranda. Realiza cartografía geológica subdividiéndolas en sub-unidades como: filita cuarzo moscovítica clorítica, esquistos cuarzo clorítico, cuarcita y cataclasita y las rocas carbonáticas como: esquisto carbonatito, mármol y las filitas carbonáticas, todas correlacionables con el actual Esquisto de las Mercedes.

Menéndez (2002), Estudió las características geológicas y geotécnicas de un área ubicada en la localidad de Cerrenero, Estado Miranda.

García Villanueva, Gerónimo (2004), realizó un Análisis sobre la factibilidad de métodos de excavación alternativos a la voladura para la excavación del túnel corral de Piedra de la línea de Metro Los Teques – Las Adjuntas, en el cual concluyo que el macizo rocoso estaba constituido por rocas metamórficas foliadas fracturadas y plegadas, debido a esto los factores que gobernaron para la selección de los equipos de excavación fueron la Resistencia a la compresión y la Abrasividad de las rocas.

CAPITULO II

II. MARCO TEÓRICO

II.1. ESTABILIDAD DE UN TALUD EN UN MACIZO ROCOSO

Según Motta (1975), señala que durante los últimos años, el colapso de estructuras construidas sobre masas rocosas ha puesto de manifiesto una serie de problemas que se relacionan directamente con la estabilidad de taludes en rocas, poniéndose de manifiesto una serie de signos o evidencias.

Uno de los principales signos de inestabilidad en un talud rocoso, lo constituye la aparición de grietas de tracción en su cresta o muy cerca de ellas, las cuales son el producto a una redistribución de esfuerzos y de masas en el interior del macizo rocoso, determinando esto un aumento de los esfuerzos normales y de corte en las discontinuidades, se encuentra 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.

En un macizo rocoso, la estabilidad de un talud depende del conjunto de factores que se interrelacionan entre si, los cuales se incluyen dentro de los siguientes grupos:

Factores Geológicos: Para realizar los análisis de estabilidad de taludes en macizos rocosos, es necesario tener un alto conocimiento de la geología estructural del mismo, implicando esto un estudio de la geometría y naturaleza de las discontinuidades, así como el reconocimiento de los posibles modos de fallas y las orientaciones de las discontinuidades presentes.

Las discontinuidades en un macizo, tales como estratificación, foliación, 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, las mismas 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 también de la resistencia al corte a lo largo de las mismas.

Además de la geología estructural, existen otros factores geológicos, los cuales también son importantes y 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.

Para poder realizar un estudio de estabilidad de taludes, es necesario realizar la reconstrucción de la historia del macizo rocoso, puesto que ella suministra información acerca de cuáles fueron los procesos geológicos que contribuyeron a su génesis. Por otro lado es posible obtener indicios acerca de posibles movimientos de cizalla ocurridos a lo largo de las discontinuidades y deslizamientos, o en un pasado geológico que pueden influir en la estabilidad actual del macizo en cuestión.

Factores Mecánicos: No solo es importante conocer la geología estructural, la génesis y la historia de un macizo, puesto que los taludes constituyen estructuras muy complejas, que no bastan solamente con un conocimiento detallado de los factores geológicos para predecir su comportamiento.

En la ejecución de obras de ingeniería en macizos rocosos es necesario elaborar modelos geomecánico que sirvan de base para realizar análisis de estabilidad de taludes, siendo estos materiales sometidos a diferentes tipos de esfuerzos, tales como: compresión, tracción, corte, combinación de ellos, por lo que es necesario conocer la resistencia que ofrecen a cada uno de estos estados, para ello es necesario hacer algunas definiciones relacionadas con la mecánica de rocas, las cuales se enumeran a continuación:

Roca intacta: Según González de Vallejo (2002), es el material rocoso que está libre de discontinuidades, o los bloques de roca que quedan entre ellas; mecánicamente se le caracteriza por su peso específico, resistencia y deformabilidad.

Discontinuidad: Según González de Vallejo (2002), representa planos y superficies de debilidad en el interior de la masa rocosa, y esta viene subdividida en distintas unidades con el nombre de bloque o volumen unitario de masa rocosa, definiéndose las discontinuidades, con el interés de definir en particular, la posición, orientación y morfología. Este término es muy ambiguo, ya que se trata de englobar planos o superficies de origen diferente tales como diaclasas, estratificación, foliación y fallas.

Tabla 1. Tipos de discontinuidades

Discontinuidades	Sistemáticas	Singulares
Planares	Planos de estratificación Planos de laminación Diaclasas o juntas Planos de esquistosidad	Fallas Diques Discordancias
Lineales	Intersección de discontinuidades planares. Lineaciones	Ejes de pliegues

Fuente: González de Vallejo (2002)

Diaclasas: Según la Sociedad internacional de Mecánica de Rocas, define una diaclasa como: “Un quiebre o fractura de origen geológico en la continuidad de una roca, a lo largo de la cual no ha habido desplazamiento visible”. Cuando un grupo de diaclasas son paralelas se denomina “Familia” y la intersección de las familias de diaclasas forman un “sistema”.

Las diaclasas pueden ser clasificadas como:

Diaclasas Maestras: Según 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, se denominan “*diaclasas menores*”. Además diaclasas 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.

Fractura: Según González de Vallejo (2002), son superficies y planos de discontinuidades muy intensas en un espacio muy pequeño y rellenas de materia secundaria y 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.

Fisuras: Según González de Vallejo (2002), son pequeñas grietas planares.

Fallas: Según González de Vallejo (2002), son fracturas ubicadas en el interior de la masa rocosa, en el cual los bordes se han separado debido al desplazamiento relativo de los bloques afectados por la discontinuidad; la superficies es más o menos irregular a lo largo de la cual se ha realizado el movimiento que constituye el plano de falla. 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 González de Vallejo (2002), este término se utiliza para definir una fractura pequeña.

Estratificación: Según González de Vallejo (2002), es una superficie característica de las rocas sedimentarias, que separa capas de igual o diferente litología.

Foliación o esquistosidad: Según González de Vallejo (2002), son superficies penetrativas, desarrolladas por orientación de los minerales ante el metamorfismo, orientados de manera perpendiculares a la dirección del esfuerzo máximo.

Superficies de contacto litológico: Según González de Vallejo (2002) son planos que separan las diferentes litologías que puedan presentarse en un macizo rocoso. En las rocas sedimentarias se incluyen en las superficies de estratificación, y en las rocas ígneas se pueden presentar, por ejemplo, como diques o filones.

Es importante saber que el proceso cinemático de ruptura de un talud en un macizo rocoso se encuentra influenciado de manera determinante por estos parámetros, en especial por la resistencia al corte, ángulo de fricción, cohesión, etc., que dependen de las características superficiales de las discontinuidades.

La presencia de planos de discontinuidad en el interior de un macizo, es una evidencia de la baja resistencia de la roca que lo constituye, por lo tanto al realizar un análisis de la fábrica (relación entre los planos de debilidad), ésta permite definir aproximadamente la geometría interna del macizo, suministrando esta información acerca de las propiedades mecánicas de la roca.

Otro de los factores mecánicos determinantes en la estabilidad de taludes, es la presión ejercida por el agua que circula a través de éste, tanto por los poros como por las discontinuidades, 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: Según Motta (1975) estos factores juegan un papel importante en el comportamiento de taludes en macizos rocosos, los cuales deben ser tomados en cuenta en los estudios sobre los factores que inciden en la estabilidad de un talud.

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

En otras regiones donde el clima es frío, las bajas temperaturas hacen que el agua que circula en el interior del macizo se congele. Es importante saber que el agua congelada actúa a manera de cuña ejerciendo fuerzas de tracción que tienden a abrir las grietas, debido a que el agua congelada ocupa más espacio que el agua líquida.

II.2. CLASIFICACIONES DE LOS MACIZOS ROCOSOS

Con base en todos estos factores y en cómo afectan al macizo rocoso, surgieron las llamadas “Clasificaciones de los Macizos Rocosos” con el fin de proveer, una guía en cuanto a las propiedades del mismo para la elaboración de túneles. Posteriormente, tales clasificaciones se utilizaron en las diversas aplicaciones de la mecánica de rocas, incluyendo la estabilidad de taludes, para tratar de predecir el comportamiento del medio rocoso.

Estos sistemas de clasificación del macizo rocoso han demostrado ser herramientas prácticas muy útiles para la ingeniería, porque obligan a examinar las características del macizo rocoso de una manera muy sistemática.

Algunos de los sistemas de clasificación y caracterización de macizos rocosos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2. Sistemas de caracterización y clasificación de Macizos Rocosos

Nombre de la clasificación	Tipo y uso*	Principales aplicaciones	Referencia
Sistema de clasificación de la carga de roca de Terzaghi	Tipo Descriptivo y de comportamiento Uso funcional	Para diseño de los soporte de acero en túneles	Terzaghi, 1946
Clasificación de Lauffer del tiempo autosostenible	Tipo Descriptivo Uso general	Como datos en el diseño de túneles	Lauffer, 1958
El Nuevo Método Austriaco de Túneles (NATM)	Tipo Descriptivo y de comportamiento Uso en túneles	Para excavaciones y diseño en terreno incompetente (sobrecargados)	Rabcewicz, Müller y Pacher, 1958-64
Clasificación para uso en Mecánica de Rocas	Tipo Descriptivo Uso general	Como dato en mecánica de rocas	Patching y Coates, 1968
Clasificación unificada de suelos y rocas	Tipo Descriptivo Uso general	Basado en partículas y bloques para vialidad	Deere, 1969
Designación de la Calidad de la Roca (RQD)	Tipo numérico Uso general	Basado en registros de perforaciones (testigos), usado en otros sistemas de clasificación	Deere, 1969
Grado de Estructura de la Roca (RSR)	Tipo numérico Uso funcional	Para diseño de soporte en túneles	Whickman, 1972
Clasificación del grado del macizo rocoso (RMR)	Tipo numérico Uso funcional	Para uso en túneles, minería y diseño de fundaciones	Bieniawski, 1973
El sistema de clasificación Q	Tipo numérico Uso funcional	Para diseño del soporte en excavaciones subterráneas	Barton, 1974
La clasificación tamaño-resistencia	Tipo numérico Uso funcional	Basado en la resistencia de las rocas y diámetro de bloques; usado principalmente en minería	Franklin, 1975
La clasificación tipológica	Tipo numérico Uso general	Para uso en vialidad	Matula y Holzer, 1978
El sistema unificado de clasificación de rocas	Tipo Descriptivo Uso general	Para uso en vialidad	Williamson, 1980
Clasificación Básica geotécnica (BGD)	Tipo Descriptivo Uso general	Para uso general	ISRM, 1981
El Índice de Resistencia Geológica (GSI)	Tipo numérico Uso funcional	Para diseño del soporte en excavaciones subterráneas	Hoek, 1994
El Índice del Macizo rocoso (RMi)	Tipo numérico Uso funcional	Para caracterización general, diseño de soporte, avance de las TBM's	Palmström, 1995
*) Definición de las siguientes expresiones: Tipo descriptivo: los datos del sistema están principalmente basados en descripciones. Tipo numérico: los parámetros de entrada están dados por valores numéricos según su característica Tipo de comportamiento: los datos están basados en el comportamiento del macizo rocoso en un túnel. Uso general: el sistema trabaja para servir como una caracterización general Uso funcional; el sistema está estructurado para una aplicación específica (por ejemplo en sostenimiento de rocas)			

Tomado de ISRM (1981)

II.3. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL ESTADO FÍSICO DE UNA ROCA

Esta clasificación se conoce como “Clasificación del Ministerio de Obras Públicas” y fue publicada en 1962, con el título “*Representaciones gráficas de los términos geotécnicos más usuales*” la siguiente nomenclatura:

RD Roca descompuesta

RM Roca meteorizada

RF Roca fresca

bBlanda

dDura

f Fracturada

s Sana

RDb**** Roca descompuesta, blanda*

RMb**** Roca meteorizada, blanda*

RMd**** Roca meteorizada, dura*

RMbf**** Roca meteorizada, blanda fracturada*

RMdf**** Roca meteorizada, dura fracturada*

RFds**** Roca fresca, dura sana

(* Casos más comunes)

En la anterior nomenclatura, la primera letra, es decir la R, se refiere siempre a Roca. La segunda letra mayúscula después de la R, indica el grado de meteorización, en orden de menor a mayor grado de meteorización, la roca será:

Fresca (F) → Meteorizada (M) → Descompuesta (D)

Las letras en minúscula indican la dureza y el grado de fracturamiento, según la siguiente escala:

Dureza: Dura (d) → Blanda (b)

Fracturamiento: Sana (s) → Fracturada (f).

Puede utilizarse, antes de cualquiera de las letras excepto la R, una *m* minúscula que se refiere al término *muy*, ejemplo: RmMb (roca *muy* meteorizada, blanda), RFdmf (roca fresca, dura *muy* fracturada). Todo lo anterior, se puede resumir en el siguiente cuadro:

Tabla 3. Términos geotécnicos más usuales

	Meteorización	Dureza	Fracturamiento	Grado
Roca R	Fresca F	blanda b	sana s	menor
	Meteorizada M	↓	↓	↓
	Descompuesta D	dura d	fracturada f	mayor

Fuente: González de Vallejo (2002)

Según Salcedo (1969) sugirió el uso de la nomenclatura anterior, de acuerdo a las siguientes definiciones:

El estado de meteorización, definiéndose los siguientes tipos de rocas:

Roca fresca: Es aquella roca que conserva sus características originarias y no muestra efectos de la meteorización.

Roca meteorizada: Es aquella cuya composición química, textura, estructura y color han sido levemente alterados y son próximos a los de la roca original.

Roca muy meteorizada: Es aquellas cuyas propiedades mencionadas han sido muy alteradas, puede haber cambiado en la composición química, el arreglo de sus componentes ha perdido la rigidez original, hay cambios notables en el color original de la roca y ha perdido mucho de su consistencia original.

Roca descompuesta: aquella que solo conserva restos de su textura y estructura original.

Según la dureza o consistencia se clasifica en:

Roca dura: aquella roca para la cual es necesario el uso de explosivos para su remoción. En caso de estar muy fracturada, se pueden usar medios mecánicos de gran intensidad. Para la obtención de muestras mediante perforaciones es imprescindible la utilización de taladros con broca de diamante.

Roca blanda: aquella roca que puede disgregarse por medio mecánico. Para la obtención de muestras de este tipo, basta el uso de medios a percusión.

Según la frecuencia de las diaclasas se clasifican en:

Roca sana, aquella que no presenta fracturas.

Roca fracturada, la frecuencia de las diaclasas varía entre 1 y 15 por metro y se representa así: 1:1, 2:1,..... 15:1.

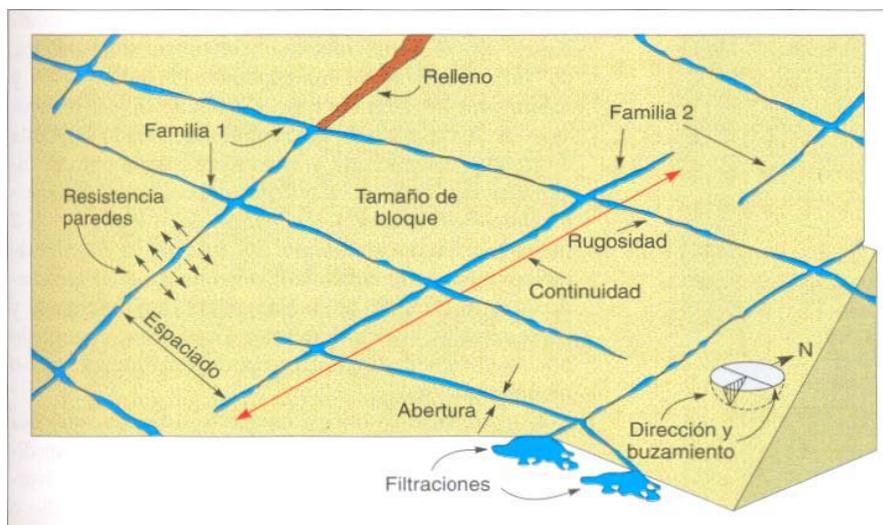
Roca muy fracturada, la roca presenta una frecuencia de más de 15 diaclasas por metro ($> 15:1$).

II.4. DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO

El parámetro de mayor característica en un macizo rocoso es la **Fisura (hair crack)**: que Según *González de Vallejo (2002)*, son grietas pequeñas planares y originan respuestas no lineales en el proceso de carga-deformación a niveles bajos de esfuerzos, ocasionando variabilidad y dispersión en los resultados de los ensayos. Se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros, los cuales se ilustran en la figura 1 y se definen más adelante.

- Orientación
- Espaciado
- Número de familias
- Persistencia o continuidad
- Rugosidad
- Abertura
- Relleno
- Resistencia en las paredes
- Filtraciones.

Figura 3. Representación esquemática de los parámetros de las discontinuidades



Fuente: González de Vallejo (2002)

Orientación de las discontinuidades: De acuerdo a Salcedo (1983), la discontinuidades se determina mediante el uso de una brújula con clinómetro, definiendo el

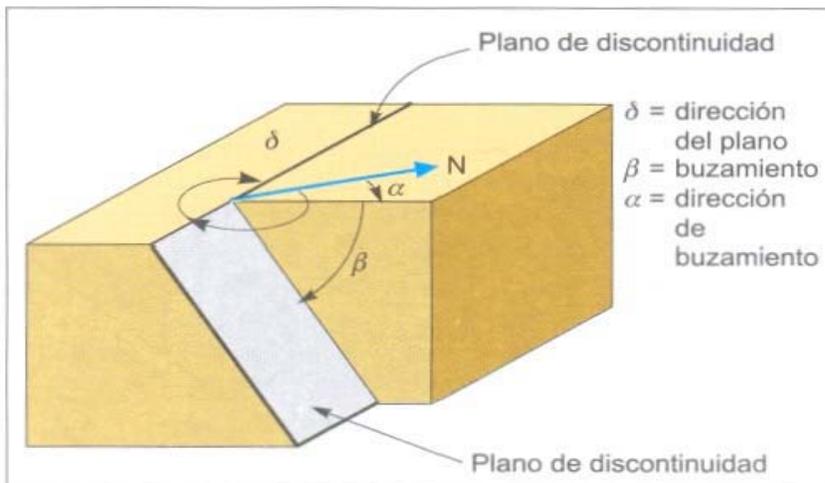
buzamiento (ángulo que forma la recta de máxima pendiente del plano con la horizontal) y la dirección de buzamiento medida desde el Norte en el sentido de las agujas del reloj. En Venezuela, es más corriente en el trabajo geológico el uso de los términos rumbo y buzamiento.

Figura 4. Medida de la orientación de las discontinuidades

Fuente: González de Vallejo (2002)

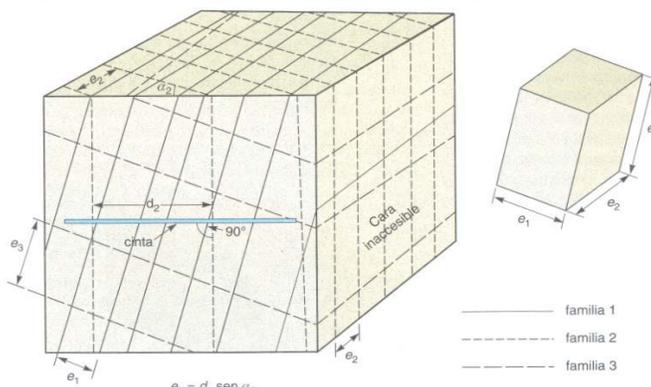
Espaciamie

nto: Según González de Vallejo el espaciamiento de una discontinuidad se define como la distancia que



existe entre dos planos de discontinuidad de una misma familia adyacente entre sí, medidos en la dirección perpendicular a dicho plano; ver figura 3.

Figura 5. Medida de espaciamiento de una discontinuidad en una cara expuesta de un afloramiento



Fuente: González de Vallejo (2002)

Tabla 4. Terminología recomendada por la Sociedad Internacional de Mecánica De Rocas (SIMR) para la medición del espaciamiento en las discontinuidades.

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

Fuente: González de Vallejo (2002)

Número de Familias: En un macizo rocoso, el número de familias de discontinuidades condicionan su comportamiento mecánico, su modelo de deformación y sus mecanismos de rotura. La orientación de una familia de discontinuidades con respecto a las otras, y su intercepción, pueden determinar la estabilidad de una obra geotécnica. La intensidad o grado de fracturación y el tamaño de los bloques de la roca intacta vienen dados por el número de familias de discontinuidades y por el espaciamiento de cada familia., la ISRM sugiere el uso de la siguiente tabla:

Tabla 5. Tipo de macizo

Tipo de Macizo Rocoso	Número de Familias
I	Masivo, discontinuidades ocasionales aleatorias
II	Una familia de discontinuidades
III	Una familia de discontinuidades más otras ocasionales
IV	Dos familias de discontinuidades
V	Dos familias de discontinuidades más otras ocasionales
VI	Tres familias de discontinuidades
VII	Tres familias de discontinuidades más otras ocasionales
VIII	Cuatro o más familias de discontinuidades
IX	Roca triturada o brechificado

Fuente: González de Vallejo (2002)

Persistencia de la discontinuidad: Según Salcedo (1983), este concepto describe la extensión areal o el tamaño de la discontinuidad, siendo considerado como uno de los parámetros más importantes del Macizo rocoso.

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.

Un macizo con discontinuidades poco persistentes tendrá una gran resistencia, mientras que un macizo con discontinuidades 100% persistentes, tendrá una debilidad inherente y la falla se producirá a magnitudes de esfuerzos mucho menores que los requeridos para cortes de roca intacta.

Para medir la persistencia solo es necesaria una cinta métrica de 5 a 10 metros de longitud y se procede de la siguiente manera:

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.

Se deben hacer esfuerzos para medir las longitudes de las discontinuidades en dirección del rumbo y en la dirección del buzamiento.

Es recomendable registrar el tipo de terminación de la discontinuidad.

Las longitudes modales indicadas para cada familia de discontinuidades pueden ser descritas de la siguiente manera:

Tabla 6. 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.

Fuente: González de Vallejo (2002)

Rugosidad: De acuerdo a Salcedo (1983), 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 otras palabras, 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. El propósito de las mediciones de los perfiles desde las discontinuidades es estimar la resistencia al corte.

Tabla 7. Clasificación de la rugosidad

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

Fuente: ISRM (1981)

Relleno: Según 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”.

Tipo de Relleno: Según Goodman (1976), el tipo de relleno depende del tamaño de la 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 la siguiente tabla se presenta la escala de Wentworth donde se clasifica el material por su tamaño de grano.

Tabla 8. 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	< 0.0626

Fuente: ISRM (1981)

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. Según 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.

Es de gran importancia conocer el carácter y la influencia del régimen hidrogeológico y principalmente de la distribución de las presiones de agua.

Piteau (1971), resume los efectos del agua de la siguiente manera:

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.

Descripción del grado de meteorización del macizo rocoso: Según Salcedo (1983), el grado de meteorización corresponde al macizo rocoso como un todo y propone la

siguiente tabla donde se muestran los términos descriptivos usados para referirse al grado de meteorización de la roca.

Tabla 9. Terminología utilizada para describir el grado de meteorización de la roca

<p>Fresco: No hay señales visibles de meteorización. Si acaso una tenue decoloración en superficies de discontinuidades más desarrolladas.</p> <p>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</p> <p>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</p> <p>Altamente meteorizado: Más de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo.</p> <p>Completamente meteorizado: Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado. La estructura del macizo original está prácticamente intacta.</p> <p>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.</p>
--

Fuente: ISRM (1981)

Tamaño de Bloque: Según González de Vallejo (2002), otro factor que es un indicador del comportamiento del macizo rocoso es el tamaño de los bloques, ya que éste condiciona su comportamiento y propiedades resistentes y deformacionales. La dimensión y forma de los bloques están determinadas por el espaciamiento, la persistencia, la orientación y el número de familias de las discontinuidades. En función de la forma y el tamaño de bloques, un macizo rocoso se puede clasificar según la siguiente tabla:

Tabla 10. Tamaño de bloque

Clase	Tipo	Descripción
I	Masivo	Pocas discontinuidades o con espaciamiento muy grande
II	Cúbico	Bloques aproximadamente equidimensionales
III	Tabular	Bloques con una dimensión considerablemente menor que las otras dos
IV	Columnar	Bloques con una dimensión considerablemente mayor que las otras dos
V	Irregular	Grandes variaciones en el tamaño y forma de los bloques
VI	Triturado	Macizo rocoso muy fracturado, severamente diaclasado

Fuente: González de Vallejo (2002)

En un macizo rocoso sometido a un nivel dado de esfuerzos, su comportamiento mecánico se encuentra determinado por el tamaño de los bloques que lo conforman y por la resistencia al corte entre los mismos. Para caracterizar cuantitativamente un macizo en cuanto al tamaño de los bloques, la ISRM en 1981 definió los siguientes parámetros: el índice de tamaño de bloque (*Ib*) y el conteo volumétrico de diaclasas (*CV*).

Grado de meteorización de las paredes de la roca: Goodman (1976) indica que el grado de meteorización de la roca es muy importante en una descripción en campo, ya que éste afecta las propiedades físico-químicas de las rocas y por tanto su comportamiento geomecánico. Para identificar el grado de meteorización de una roca, se puede usar la siguiente tabla:

Tabla 11. Descripción del grado de meteorización de la roca intacta

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN
Fresca	No se observan signos de meteorización en la roca intacta
Decolorada	Se observan cambios en el color original de la roca intacta. Es conveniente indicar el grado del cambio. Si se observa que el cambio de color se restringe a unos minerales se debe mencionar.
Desintegrada	La roca se ha alterado al estado de un suelo, manteniéndose la fábrica original. La roca es friable, pero los granos minerales no están descompuestos.
Descompuesta	La roca se ha alterado al estado de un suelo, alguno o todos los minerales están descompuestos.

Fuente: González de Vallejo (2002)

II.5. ENSAYOS USADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE UN MACIZO ROCOSO Y DE SUS TALUDES.

A, continuación se presentan una serie de ensayos, los cuales son los más usados para la caracterización de un macizo.

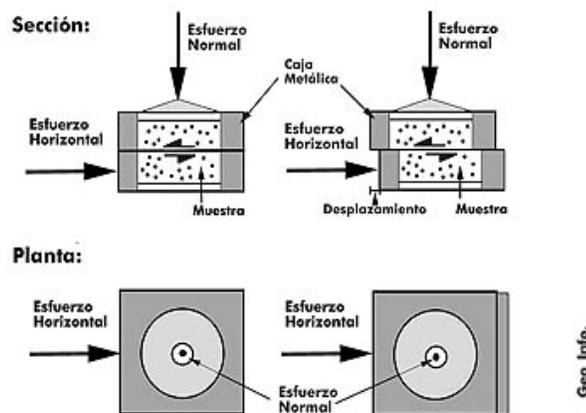
II.5.1. ENSAYOS EN SUELO

Corte Directo: El ensayo de corte directo tiene como objetivo determinar la resistencia al esfuerzo cortante de una muestra, valor que entre otras cosas nos será muy útil para el cálculo de la estabilidad de taludes. La resistencia al esfuerzo cortante en el suelo se debe a dos componentes: la cohesión, aportada por la fracción fina del suelo y responsable a su vez del comportamiento plástico de este, y el rozamiento interno entre las partículas granulares. Hay que decir que la resistencia al esfuerzo cortante, en obras de tierras para carreteras se puede hallar de forma indirecta mediante otros ensayos como el del índice C.B.R, o también, aunque se realiza con menos frecuencia, mediante el ensayo de rotura a compresión simple.

El ensayo de corte directo se realiza sobre una muestra de suelo situada dentro de una caja de metal dividida en dos piezas: la mitad superior y la mitad inferior. Simultáneamente la muestra es sometida a una carga normal constante y a un esfuerzo lateral que se va

incrementando de forma progresiva. Mientras realizamos el ensayo vamos tomando nota del esfuerzo aplicado y el desplazamiento producido entre los dos bloques, datos que más tarde proyectaremos en una gráfica a partir de la cual podremos obtener la resistencia al corte de esa muestra para la carga normal aplicada. Repetiremos el ensayo un mínimo de dos veces con diferentes cargas normales, de forma que proyectando los diferentes valores en una gráfica esfuerzo normal respecto resistencia al corte podremos encontrar la envolvente de Mohr del material, con lo que ello implica: cohesión y ángulo de rozamiento interno.

Figura 6. Corte directo en suelo



Fuente ISRM (1981)

Peso Unitario: Según *Braja M. Das* en los suelos cohesivos, pueden tomarse muestras en terreno, con el fin de determinar su densidad y peso unitario en el laboratorio. Para otros suelos sin cohesión, o con partículas que no permitan el recorte de una muestra representativa, deben aplicarse otras metodologías de ensayo.

El ensayo consiste en:

Pesar una probeta de suelo cohesivo.

Cubrir su contorno con un material impermeable: cera fundida.

Determinar su volumen mediante diferencias entre el peso de la probeta al aire y sumergida.

Determinar su contenido de humedad, para calcular la densidad seca

La densidad del núcleo se calculará bajo la fórmula:

$$G \text{ (ATM)} = Mo / (Mo + (Ma - Mb))$$

Donde:

Mo: Peso Muestra

Ma = Peso Frasco de agua

Mb = Peso Frasco + muestra – agua.

Ensayo para determinar la humedad y el peso específico: Según *Braja M. Das* se define como humedad al contenido de agua presente en una masa de suelo o de roca. El contenido de agua o humedad es expresado en porcentaje y es la relación entre el peso del agua contenida en los espacios vacíos y el peso de la fracción sólida; cuando la muestra a ensayar es inalterada, comúnmente se conoce como humedad natural.

Peso específico es la relación entre el peso y el volumen. Es común en el área de la mecánica de suelos manejar, de forma equívoca, el peso específico como densidad. En muchos casos en que se utilice el término densidad, deberá entenderse como peso específico. Según el tipo de parámetros involucrados, la densidad se definirá de diferentes maneras: Densidad húmeda, densidad seca, densidad aparente, densidad saturada, etc.

La ejecución de estos ensayos se puede realizar tanto en muestras inalteradas como alteradas. En la determinación de la densidad, las muestras se deben manipular cuidadosamente para evitar su alteración, cambios en la sección transversal y en cualquiera de los dos casos, la pérdida de humedad.

Ensayo de Compactación: Según ISRM (1981) el término *compactación* se utiliza en la descripción del proceso de densificación de un material mediante medios mecánicos. El incremento de la densidad se obtiene por medio de la disminución de la cantidad de aire que se encuentra en los espacios vacíos que se encuentran en el material, manteniendo el contenido de humedad relativamente constante.

En la vida real, la compactación se realiza sobre materiales que serán utilizados para relleno en la construcción de terraplenes, pero también puede ser empleado el material in situ en proyectos de mejoramiento del terreno.

El principal objetivo de la compactación es mejorar las propiedades ingenieriles del material en algunos aspectos:

Aumentar la resistencia al corte, y por consiguiente, mejorar la estabilidad, de terraplenes y la capacidad de carga de cimentaciones y pavimentos.

Disminuir la compresibilidad y, por consiguiente, reducir los asentamientos.

Disminuir la relación de vacíos y, por consiguiente, reducir la permeabilidad.

Reducir el potencial de expansión, contracción o expansión por congelamiento.

Para medir el grado de compactación de material de un suelo o un relleno se debe establecer la densidad seca del material. En la obtención de la densidad seca se debe tener en cuenta los parámetros de la energía utilizada durante la compactación y también depende del contenido de humedad durante el mismo, las relaciones entre la humedad seca, el contenido de humedad y la energía de compactación se obtienen a partir de ensayos de compactación en laboratorio.

La compactación en laboratorio consiste en compactar una muestra que corresponda a la masa de suelo que se desea compactar, con la humedad calculada y en un molde cilíndrico de volumen conocido y con una energía de compactación especificada. En la actualidad se presentan deferentes tipos de ensayos los cuales determinan el grado de compactación del material, entre otros se pueden encontrar los ensayos de: Método del martillo de 2.5 Kg., método del martillo de 4.5 Kg., Proctor (estándar), Proctor modificado y el método del martillo vibratorio. Los primeros cuatro están basados en la compactación dinámica creada por el impacto de un martillo metálico de una masa específica que se deja caer libremente desde una altura determinada, el suelo se compacta en un número de capas iguales y cada capa recibe el mismo número de golpes. La compactación en el quinto ensayo está basada en la combinación de presión estática y la vibración. El suelo se compacta en tres capas iguales presionado fuertemente hacia abajo el compactador vibratorio durante 60 segundos en cada capa.

Los resultados obtenidos a partir del ensayo proporcionan una curva, en la cual el pico más alto dicta el contenido de humedad óptima a la cual el suelo llega a la densidad seca máxima. Por medio de los ensayos se ha podido determinar que por lo general la compactación es más eficaz en los materiales bien gradados que contienen una cantidad de finos que en los materiales de gradación uniforme que carecen de finos.

Límites de Atterberg: Según ISRM (1981) los límites de Atterberg se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos. El nombre de estos es debido al científico sueco Albert Mauritz Atterberg. (1846-1916).

Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir 4 estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado

sólido, cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico, y finalmente líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg.

Los ensayos se realizan en el laboratorio y miden la cohesión del terreno y su contenido de humedad, para ello se forman pequeños cilindros de 3mm de espesor con el suelo. Siguiendo estos procedimientos se definen dos límites:

Límite líquido: Esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado en que una mezcla de suelo y agua, capaz de ser moldeada, se deposita en la Cuchara de Casagrande, y se golpea consecutivamente contra la base de la máquina, haciendo girar la manivela, hasta que la zanja que previamente se ha recortado, se cierra en una longitud de 12 mm (1/2"). Si el número de golpes para que se cierre la zanja es 25, la humedad del suelo (razón peso de agua/peso de suelo seco) corresponde al límite líquido. Dado que no siempre es posible que la zanja se cierre en la longitud de 12 mm exactamente con 25 golpes, existen dos métodos para determinar el límite líquido: - graficar el número de golpes en coordenadas logarítmicas, contra el contenido de humedad correspondiente, en coordenadas normales, e interpolar para la humedad correspondiente a 25 golpes. La humedad obtenida es el Límite Líquido. - según el método puntual, multiplicar por un factor (que depende del número de golpes) la humedad obtenida y obtener el límite líquido como el resultado de tal multiplicación.

Límite Plástico: Esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado pero sencillo consistente en medir el contenido de humedad para el cual no es posible moldear un cilindro de suelo, con un diámetro de 3 mm. Para esto, se realiza una mezcla de agua y suelo, la cual se amasa entre los dedos o entre el dedo índice y una superficie inerte (vidrio), hasta conseguir un cilindro de 3 mm de diámetro. Al llegar a este diámetro, se desarma el cilindro, y vuelve a amasarse hasta lograr nuevamente un cilindro de 3 mm. Esto se realiza consecutivamente hasta que no es posible obtener el cilindro de la dimensión deseada. Con ese contenido de humedad, el suelo se vuelve quebradizo (por pérdida de humedad) o se vuelve pulverulento. Se mide el contenido de humedad, el cual corresponde al Límite Plástico. Se recomienda realizar este procedimiento al menos 3 veces para disminuir los errores de interpretación o medición.

II.5.2. ENSAYOS EN ROCAS

Ensayo de corte directo: Según ISRM (1981), el ensayo de corte directo tiene como finalidad encontrar el valor del ángulo de fricción residual (ϕ_r) en testigos de roca que han sido previamente fracturados.

Este ensayo se puede aplicar en rocas duras o blandas y en testigos de roca que contengan planos de falla o discontinuidades naturales o artificiales (interfase concreto-roca).

La determinación del esfuerzo cortante de un testigo de roca es importante en el diseño de estructuras como: taludes de roca, cimentaciones de presas, túneles, piques o chimeneas de minas subterráneas, almacenes subterráneos y otros. Aunque se sabe que la predicción exacta del comportamiento del macizo rocoso es imposible.

Es necesario distinguir dos conceptos: ángulo de fricción interna y ángulo de fricción residual. El ángulo de fricción interna actúa mientras la roca no ha fallado mientras que el ángulo de fricción residual actúa cuando se ha producido la falla. En muchas estructuras rocosas se puede observar que la roca se encuentra fracturada; sin embargo, no se aprecia problemas de sostenimiento, debido a que no se ha producido movimiento relativo entre las partes falladas y esto se debe principalmente a la fricción residual de la roca.

Ensayo de carga puntual: Según ISRM (1981) este ensayo tiene como objetivo determinar el índice de resistencia a carga puntual de la roca. Este método se aplica a rocas con una resistencia a compresión uniaxial superior a 20 MPa, el tiempo de duración de este ensayo es de 2 días incluyendo la preparación de la muestra, Son recomendables al menos 6 especímenes con dimensiones entre 30 y 85 mm y una relación Altura/Diámetro $2.5 < L/D > 2$.

II.6. FOTOINTERPRETACION

II.6.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL RELIEVE

Pese a la alta densidad de construcciones existentes en el área de estudio, se identificaron los rasgos importantes en cuanto a las características generales del relieve, en las que se aprecia una amplia zona de valle, ubicada hacia la franja central, que abarca aproximadamente un 40% del área, que corresponde a la vega del río San Pedro. También

se identificó una zona de relieve abrupto, ubicada hacia el Oeste del área y ocupando aproximadamente un 60%, conformada por una serie de colinas.

Toda esta zona pertenece al macizo de la Cordillera de la Costa presentando fuertes plegamientos, en la zona de valle mencionada se encuentra asentada la ciudad de los Teques, localizándose la urbanización la quinta al Suroeste del área.

II.6.1.1. DESCRIPCIÓN DEL VALLE

Este valle tiene cotas que varían entre 1160 a 1170 metros aproximadamente, con un rumbo este-oeste y las pendiente en esta área están alrededor de los 15°, geoméricamente dicho valle tiene forma de U con un patrón de laderas asimétricas, estas se hacen más pronunciadas hacia el sur del área, donde las pendientes alcanzan entre los 40 y 45°. En cuanto al drenaje en la zona de estudio el más representativo corresponde al río San Pedro este se presenta adaptado a la topografía al acercarse al norte del área. El ancho el valle es de 2 km y se hace más amplio hacia el extremo este con un máximo de 2.5 km.

II.6.1.2. DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS ABRUPTAS

En relación a las zonas de relieve alto, el área oeste está representada por una serie de colinas y lomas, las cuales tienen una altura de 1220 a 1260 metros aproximadamente. En dichas colinas la línea de cresta se bifurca al alcanzar su máxima altura la cual está ubicada al Suroeste de la zona. La línea de cresta principal tiene una dirección aproximada de N45°E. Geoméricamente esta posee forma mixta, con cambios que van desde rectilínea hacia el noroeste y sinuoso hacia el sureste, las crestas se presentan agudas y con declive hacia el norte, cabe destacar que la urbanidad existente en la zona se ha visto influenciada por estas características, las laderas son asimétricas y las pendientes irregulares las cuales se acentúan hacia el oeste y en la parte central. Las estribaciones existentes están hacia el oeste, son pseudoparalelas entre si y están formando un ángulo de incidencia con la línea de cresta de 45° aproximadamente. Existe otra Línea de cresta la cual es pseuparalela a la anterior en cuya ladera se encuentra asentada la urbanización. La zona Oeste se encuentra menos urbanizada, cuyas laderas poseen estribaciones con pendientes de aproximadamente 20°, Esta zona corresponde desde el Pueblo de San Pedro en el sur hasta el norte de la zona.

En el área noroeste, se encuentra otra colina alargada, cuya línea de cresta posee orientación N20°E, hacia el extremo sur se Ubican las zonas correspondientes al pueblo de

San Pedro y el paso. Esta colina posee cota máxima aproximada de 1260 metros, su línea de cresta es aguda de forma rectilínea, con declive en ambas direcciones. Posee laderas simétricas con numerosas estribaciones, cuyas crestas son casi ortogonales a la línea de cresta principal. Las pendientes de las laderas son irregulares, oscilando entre los 25° a 35°.

En general, el drenaje secundario es medianamente denso, totalmente canalizado, posee forma dendrítica, y descarga al río San Pedro.

CAPITULO III

III. GEOGRAFIA FÍSICA

III.1. GEOLOGÍA Y SUELO

El área donde se ubica la urbanización la Quinta está constituida por una secuencia de rocas metamórficas, principalmente esquistos cuarzo-micáceos, presentando intercalaciones de cuarcita de la formación Las Brisas y afloramientos de gneis y granodiorita del Complejo Sebastopol. Este esquisto es generalmente de un tono rosáceo, predominando el esquisto cuarzo – moscovítico – calcítico – grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso.

Los escasos afloramientos de rocas existentes en el conjunto residencial presentan buena foliación y granulometría media a fina, no obstante estos afloramientos se presentan en un talud correspondiente a la parte trasera de la terraza 10, donde se localiza un tanque de agua, siendo evidente la inestabilidad del mismo debido a un desprendimiento rocoso que se observó, además, suprayacente a la roca se encuentra un intervalo de roca alterada que ha quedado expuesto por el corte, cuyas características lo hacen meta estable.

El esquisto es una roca laminar de relativamente fácil meteorización, dadas las condiciones climáticas de la zona, y que da como producto materiales arcillosos, mientras que la mayor porosidad del gneis, por su textura gruesa, facilita la penetración del agua y se presta a la evolución de un proceso de meteorización de la roca, resultando del mismo una secuencia de materiales como arenas y limos. La mayor parte de los suelos localizados en las laderas corresponden a limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos (ML) y arenas limosas, mezclas de arena y limo (sc), según el *SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.)*.

III.1.1. DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS PRESENTES EN LAS LADERAS

Para la descripción de los suelos presentes en las laderas, se comienza por la parte superior, continuando por suelos de las partes medias y finalizando con los de la falda de las mismas.

Suelos de Cumbre y hombros de las laderas: Estos suelos se presentan en el lomo convexo de las líneas de cresta, cumbres y vigas que son generalmente estrechas, con

pendientes suaves, menos de 5°, y los mismos tienen poco espesor, debido a que han sido adelgazados o removidos parcialmente por efectos de la erosión mecánica reciente.

Estos suelos, a diferencia de los ubicados en la ladera, son los únicos formados *in situ* a partir de la roca original, corresponden a suelos incipientes, de poco desarrollo pedológico, clasificándoseles como arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres (CL).

Alrededor a los *suelos de las líneas de cumbres y de vigas*, se localizan los *suelos de hombros*, desarrollados a partir de material movilizado de la cumbre, siendo también de geometría convexa, con pendientes de 30° a 40° o más, y por tanto con un evidente potencial de erosión que se observa actualmente por los extendidos mantos de suelo con proceso de repteo, soliflucción, y terracetas que se observaron *in situ*.

Ladera de Vertiente: Fisiográficamente corresponden al tramo casi rectilíneo de las laderas, y los suelos aquí localizados también son poco desarrollados y poco profundos, con textura variada *de franco arenoso a franco arcilloso*, con alta proporción de gravas, los fragmentos de roca son heterométricos y en general se encuentra el esqueleto grueso y material terroso por debajo de los 30 cm.

Al ser estos suelos formados en pendientes fuertes, siguen siendo jóvenes e incipientes aunque eventualmente existe algo más de maduración, por lo tanto se clasifican tentativamente como limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos (ML).

Falda de Vertiente: Estos se localizan en la parte inferior de las laderas, donde ocurre un cambio sustancial en la pendiente en los fondos de los vallecitos transversales y que generalmente están cubiertos por una asociación vegetal fuerte y bien desarrollada, lo que a su vez le confiere a estos suelos importantes cantidades de materia orgánica.

Estos además son los más espesos y se encuentran formados por materiales transportados a lo largo de las vertientes y acumulados por el cambio de pendiente. Estos suelos están constituidos por materiales heterométricos y petrográficamente heterogéneos, producto de un proceso poco selectivo de acumulación en masa que actualmente no es funcional, entre otras cosas por la menor pendiente y por la cobertura vegetal; por su mayor desarrollo pedogenético se pueden clasificar como limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos, ligeramente plásticos (ML).

Fragilidad de los suelos de ladera: Por lo abundante de las lluvias en la zona, lo escarpado de las laderas y la susceptibilidad de esos materiales a los movimientos en masa, se genera un alto potencial de erosión, eficientemente controlado por la vegetación, en donde está presente, en las condiciones actuales, pero la deforestación conducirá al truncamiento de estos suelos y a la pérdida de materia orgánica y de nutrientes. Es por esto que el equilibrio entre la masa boscosa y el suelo es precario y toda intervención humana debe ser prudente y local, ya que cualquier alteración de las condiciones de equilibrio ambiental conducirá a la activación de la erosión lineal y al desarrollo de nuevos movimientos en masa.

III.2. HIDROGEOLOGÍA

Según el informe de factibilidad para el abastecimiento del acueducto del conjunto Residencial la Quinta por fuentes subterráneas, realizado por el geólogo Oscar Navarrete (1992), la litología de la urbanización muestra un tipo de roca que está compuesta de esquistos cuarzo-micáceos-grafitosos que definen una topografía muy irregular con pequeñas terrazas que bordean La Quebrada La Quinta, la cual ocupa la mayor parte del parcelamiento.

Esta unidad presenta un perfil de meteorización típico constituido por una secuencia de suelos residuales rojizos pasando a rocas meteorizadas blandas a duras, muy fracturadas, con secuencia inferior de esquistos frescos y muy duros, con espesores entre 2 a 4 metros

La foliación de estos esquistos presenta un ángulo de buzamiento entre 25° y 35° con rumbos muy variables, predominando la tendencia N50° - 70°W formando una topografía abrupta que facilita su proceso erosivo.

Las diaclasas registradas N15°W tienen tendencia a la verticalidad definiendo estructuras favorables para la recarga de acuíferos secundarios, acuíferos por fracturas en períodos de invierno.

El drenaje principal que bordea el urbanismo, La Quebrada La Quinta, está demarcado por el fallamiento con tendencia Rumbo N70°W. Esta quebrada presenta cambios de dirección y coinciden con rumbos de estructuras de fracturas (Escarpes, Diaclasas, etc.)

III.2.1. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

Según la memoria de Cálculo del Proyecto de Acueducto, Cloacas y Drenajes correspondientes a la etapa III-C, elaborada por el Ing. Beltrán Rivas (2003), el parcelamiento donde se desarrolla el complejo residencial se localiza dentro de la subcuenca perteneciente a la quebrada La Quinta, tributaria del Río San Pedro.

El único aporte que tiene esta quebrada procede de la misma subcuenca, ocupada ahora en buena parte de su superficie por el parcelamiento, donde ocurren todos los escurrimientos superficiales que se producen, la cual representa una ventaja considerable en lo que se refiere al drenaje superficial.

En las estimaciones del cálculo del caudal de aguas de lluvia, se consideró el Método Racional para superficies menores de 450 has; los valores de la lluvia resultaron en 309.29 l/seg./Ha, cuando se empleó un periodo de retorno de 5 años y un periodo de concentración inicial de 5 minutos, con datos procedentes de la estación Los Teques según fuentes de hidrocapital “Análisis de Intensidad-Duración y frecuencia de las lluvias en Venezuela”.

III.2.2. HIDRÁULICA SUBTERRÁNEA

Según modificaciones realizadas al informe de *factibilidad de abastecimiento por fuentes subterráneas al acueducto del conjunto Residencial la Quinta*, antes mencionado, existen pozos perforados en el área, en los cuales se ha observado que en los periodos de sequías, los niveles de bombeo suelen bajar lo que puede originar que los caudales de las bombas disminuyan por el aumento de su carga dinámica, a veces en forma muy notoria, a lo cual es importante resaltar que la calidad físico-química de las aguas subterránea en esta unidad litológica no debe presentar problemas, ofreciendo acuíferos de buena calidad por la presencia de grafito como componente de los esquistos. La presencia de carbonatos en estas rocas metamórficas suele aumentar los valores de dureza total.

III.3. CLIMA Y VEGETACIÓN

III.3.1. CLIMA

Según modificación del Estudio de Impacto Ambiental realizado en la Urb. La Quinta, el clima de los Teques según la clasificación de Koeppen para climas tropicales, se

ubica dentro del tipo GW, templado de altura tropical con un solo máximo de precipitación al año, el cual sucede alrededor del mes de Junio; la estación lluviosa se prolonga hasta el mes de noviembre; con vegetación de sabana (herbazales) y bosques de altura tropófila, la temperatura media del mes más frío, Enero es menor de 18° c.

Para la caracterización del clima del área en estudio, es necesario el análisis de los siguientes parámetros temperatura, evaporación, humedad relativa, insolación, radiación, régimen pluvial e hidrología, así como la velocidad y la dirección del viento.

A tal fin se revisaron los registros de las siguientes estaciones climatológicas: Macarao-Dique, El Carite, Sitio Oropeza, El Encanto y Los Teques.

III.3.1.2. PLUVIOMETRÍA

La precipitación es uno de los parámetros de mayor relevancia en la meteorología, la distribución mensual y el comportamiento de la lluvia a través de los años es tomada como base para las diferentes clasificaciones climáticas.

III.3.1.2.1. PRECIPITACIÓN EN VENEZUELA

La responsable de la distribución de lluvias sobre el territorio nacional es la dinámica de la atmosfera. Los vientos alisios del Noreste predominan sobre la mayor parte del territorio nacional desde diciembre hasta abril. Estas masas de aire anticiclónicas se manifiestan por encima de los 1.500 m de altura, donde se producen fuertes inversiones de temperatura. Durante estos meses el territorio venezolano está pasando por la estación seca (verano). El efecto del frente de convergencia que desvía a los vientos del Noreste se hace sentir hasta el paralelo 6° L.N. y al Sur de esta área se producen precipitaciones hasta la altitud mencionada. Desde abril hasta noviembre los alisios que provienen del Atlántico, desde el Noreste, sufren una fuerte desviación hacia el Este, y por efectos de su choque con el frente de convergencia provocan precipitaciones frecuentes sobre todo el territorio situado al Sur del paralelo 10° L.N. Es la época de las lluvias en la mayor parte del territorio nacional.

Las estaciones pluviométricas consideradas registros para este tipo de eventos se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 12. Estaciones Pluviométricas

Estación	Serial	Altitud(M)	Tipo	Periodo de Registro	Latitud	Longitud	Entidad
El Encanto	1453	1320	PR	1959-1983	10°19'00"	67°04'05"	Miranda
Los Teques	1443	1050	PR	1959-1955	10°21'00"	67°02'00"	Miranda
Instituto Pignatelli	1441	1240	PR	1959-1956	10°22'07"	67°02'23"	Miranda

Fuente: Ministerio del Poder Popular para el Ambiente y los Recursos Naturales División de Hidrología (1999).

Tabla 13. Precipitación media anual

Precipitación media anual	
Estación los Teques	975,6mm
Estación El Encanto	1,082,5mm
Estación Instituto Pignatelli	975,5 mm.

Fuente: Ministerio del Poder Popular para el Ambiente y los Recursos Naturales División de Hidrología (1999).

III.3.1.2.2. RELACIÓN DE ÉPOCA DE LLUVIA/ LLUVIA TOTAL

En la siguiente tabla, se presentan los totales de precipitación en milímetros para cada estación representativa, durante los meses considerados como época de lluvia (Abril–Septiembre) y los totales de precipitación anual para dichas estaciones así como la relación entre ambos datos.

Tabla 14. Época de Lluvia/Lluvia total

Estación	Época de lluvia	Lluvia Total anual (mm)	Relación
Los Teques	786,7	975,6	0,8
El Encanto	859,1	1,082,5	0,79
Instituto Pignatelli	760,4	975,5	0,78

Fuente: Ministerio del Poder Popular para el Ambiente y los Recursos Naturales División de Hidrología (1999)

Histograma de precipitación: En la siguiente tabla, se representa el comportamiento del parámetro de precipitación en la estación Los Teques (1970-2005).

Tabla 15. Precipitación MM., Promedio (1970-2005)

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
30	12	17	48	120	185	172	136	145	125	95	50

Latitud 1021 N, Longitud 5702 W, Altitud 1189 M
 Estación: Los Teques (Edo Miranda), Fuente: UCV, Facultad de Ingeniería

Tabla 16. Comparación pluviométrica de la estación Los Teques y el resto de Venezuela.
 Precipitación MM, Febrero Año 2005

Día	San Isidro	Manzanas	Macuto	San Francisco	Los Teques	San José	Humboldt	Picacho Galipán	Campo Alegre
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0
2	0,0	0,2	0,4	0,0	0,0	4,6	0,0	1,2	0,0
3	1,7	0,6	7,9	0,0	0,0	0,8	0,1	0,3	0,0
4	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
5	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	1,3	0,1	0,1	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1	0,0	1,0
7	48,3	94,0	44,0	56,0	37,6	77,2	39,0	60,0	41,0
8	44,3	67,0	02,0	51,5	45,0	85,3	51,5	38,4	54,0
9	23,8	63,9	75,0	52,2	6,9	156,2	26,2	15,7	13,0
10	61,2	80,0	10,0	62,9	24,2	108,2	44,1	37,5	22,0
11	0,3	1,2	2,1	0,1	0,0	8,9	0,1	3,8	1,0
12	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
13	2,8	2,0	1,1	5,3	0,5	1,3	3,7	0,6	0,0
14	0,3	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,9	0,4	0,0	0,1	0,2	0,0
16	1,0	1,9	1,7	2,7	0,1	1,6	1,3	0,5	0,0
17	0,0	0,2	4,8	0,1	0,0	2,3	0,0	0,6	0,0
18	0,5	0,4	0,0	0,3	0,0	0,8	0,2	0,0	0,0
19	1,0	1,9	2,0	3,8	0,0	8,2	0,9	0,6	0,0
20	33,0	53,1	8,0	71,1	23,7	58,7	51,3	3,4	23,0
21	37,3	54,6	2,7	54,9	27,5	66,0	46,5	4,3	16,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	1,0	0,2	1,2	2,4	0,4	0,0	0,3	0,0	0,0
26	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Capítulo III

27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
28	0,0	0,0	0,0	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Total mes	257,0	421,7	44,3	372,9	166,4	586,3	265,6	167,6	171,0
Prec max	61,2	94,0	75,0	71,1	45,0	156,2	51,5	60,0	54,0
Día							8	7	8

Fuente: Ministerio del Poder Popular para el Ambiente y los Recursos Naturales División de Hidrología (2005)

III.3.2. VEGETACIÓN

Según el Estudio de Impacto Ambiental realizado en la Urb. La Quinta, la caracterización del Componente Biótico, describe el medio con base en su vegetación, apoyado en un proceso de fotointerpretación y la corroboración en campo de la información obtenida.

El área del parcelamiento correspondiente al conjunto residencial La Quinta, se localiza dentro del valle del río San Pedro, ubicada en la Región natural de la serranía del litoral de la Cordillera de la Costa.

La Vegetación presente en la zona de estudio, durante mucho tiempo ha sido intervenida con fines agrícolas hasta formar pastizales u otro tipo de unidades derivadas. Solo existen fragmentos de vegetación “natural” restringidas a los drenajes del paisaje de la quebrada La Quinta.

En el área de estudio se distinguieron dos unidades de vegetación, las cuales son:

III.3.2.1. LA SABANA SECUNDARIA

La Vegetación está conformada por un conjunto de especies invasoras y poco exigentes desde el punto de vista ecológico. Esta comunidad vegetal es el producto del proceso de eliminación de la cubierta vegetal original, mediante la tala y quema para el establecimiento de sistemas de producción agrícolas y pecuarios. La vegetación está ampliamente distribuida en los alrededores de las grandes ciudades ubicadas en la cordillera de la costa.

Dentro de este grupo de especies se encuentran el helecho “*Pteridium caudatum*”. En los alrededores de la ciudad de Caracas, Vareschi (1968) describe la existencia de esas

comunidades vegetales dominadas por especies de gramíneas exóticas originadas de África, tales como: Capin Melao (*Melinis minutiflora*) y gamelote (*Panicum maximum*). Esa comunidad vegetal ocupa ciertas zonas y particularmente las faldas inferiores de la silla de Caracas y de Naiguatá en el Ávila.

Se pueden observar otras especies pertenecientes a las familias: Gramineae (*Axonopus pulchen*, *Paspalum stellatum*), Melastomatecea (*Miconia* sp), Leguminosae (*mimosa* sp; *Desmodium* sp; *Phaseloum*). Vareschi (1968) señala que *Melinis minutiflora* posee un alto nivel de competencia y ha desplazado a las especies nativas tales como *Axonopus pulchen* y *Trachypogon plomosus*. Este proceso ha sido descrito por Tamayo (1973) y Vareschi (1968).

III.3.2.2. BOSQUE DE GALERÍA

Es un tipo de formación asociada a patrones de drenajes, está caracterizado por la presencia de especies arbustivas y árboles que alcanzan aproximadamente entre 2 y 4 metros de altura y entre 10 y 15 metros. Este bosque está delimitado a las depresiones y quebradas en las cuales las condiciones ambientales, nutricionales e hídricas, favorecen el crecimiento de la vegetación y se una a la vegetación que bordea la quebrada La Quinta.

La composición florística es muy baja y las especies predominante son meliceae (*Ruagea pubescens*), Cují aroma (*Acasia Farnesiana*), Cují Hediondo (*Acasia Marantha*), Copey (*Clusia Multiflora*), Guamo (*Inga* sp) y algunas especies pertenecientes a la familia de las myrtaceae.

Se pudo observar, una de las especies pioneras más agresivas en el proceso de colonización de áreas intervenidas, ella son: la Tara amarilla (*Oyedaea Verbesinoides*), Chiripiti (*Clusia minor*), Copey (*Clusia rosea*), Lehocillo (*Carica macrocarpa*) y varias especies pertenecientes a la familia de las melastomataceae (*Miconia ibaguaense*).

III.4. TEMPERATURA

La información suministrada por la carta de temperatura promedio anual (1973-2004) muestra una temperatura media anual de 20 C. alcanzando una mínima media de 14° en diciembre y una máxima media de 24° en agosto

III.5. VIENTOS

Los vientos dominantes son los de SSE, con una media durante el año de 1,7 m/s, con las máximas velocidades en los meses de enero hasta junio, correlativamente con la temporada de sequía, cuando aumenta el porcentaje de ventisca y a principio de junio donde este porcentaje decrece, a causa del comienzo de la temperatura lluviosa.

CAPITULO IV

IV GEOLOGIA REGIONAL

IV.1 EVOLUCION GEOMORFOLOGICA DE LA CORDILLERA DE LA COSTA EN EL AREA DE CARACAS

A continuación se presenta un resumen de la evolución geomorfológica de la Cordillera de Caracas, abarcando desde el lecho del Río Guaire, pasando por la meseta de los Teques hasta llegar a la colonia Tovar, expuesta por A. Singer (1975) durante el V Congreso Venezolano de Geología celebrado en la ciudad de Caracas en 1977.

En el primer Congreso Venezolano de Geología, AGUERREVERE y ZULOAGA (1937) señalan por primera vez la existencia de superficies de aplanamiento antiguos que se encuentran cortando las diversas rocas del anteclísis metamórfico, constituido por la Cordillera de la Costa y la Serranía del Interior. El nivel más extenso de estas superficies, se encuentra ubicado entre 1.000 y 1.200 mts., está representado por la Meseta de Los Teques y sus diversos remanentes orientales (Meseta del Hatillo y de la Fila de Mariches) y meridionales (Loma de Hierro, Fila de Turgua, etc.).

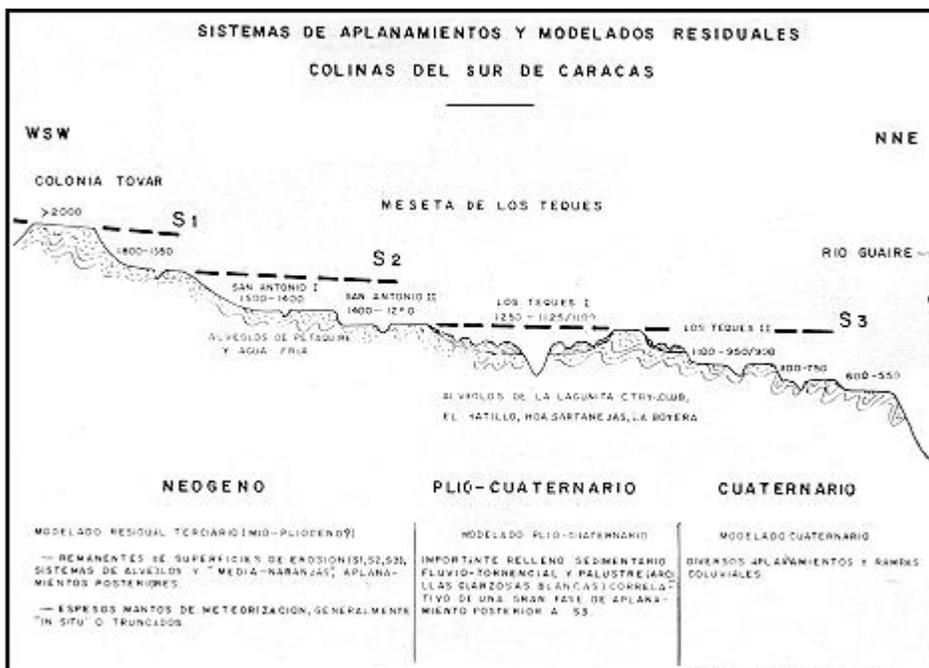
La topografía ondulada característica de este nivel de erosión indica la actuación de potentes acciones de meteorizaciones contemporáneas y posteriores, desarrolladas en un ambiente más húmedo que el actual, y que degradaron la superficie original. El paisaje correspondiente de alvéolos (Valle de Sartanejas), valles-alvéolos (Lagunita Country Club, La Pereza, etc.) y de cerros convexos parientes de las "meias laranjas" brasileras (Topo Tiama en la Meseta del Hatillo), tal como las espesas formaciones superficiales de origen residual que acompañan tal modelado podrían constituir una herencia morfo-climática atribuida generalmente a climas tropicales húmedos del Plioceno.

Más al norte, los autores señalan que las cumbres achatadas de la cadena del litoral, con alturas cercanas a los 2.000 m., tal como las formaciones correlativas (latosuelos, rodados de cuarzo) constituyen elementos tectónicamente desnivelados de la Meseta de Los Teques. De esta manera, estos autores, plantean claramente el problema clave de la correlación de los diversos aplanamientos y de la diferenciación neotectónica del volumen montañoso actual de la Cordillera de la Costa como consecuencia de los movimientos de bloques verticales controlados por el sistema de fallas del Ávila.

Según SINGER (1975), es necesario realizar una correlación de ideas ya que existen por lo menos cuatro sistemas de aplanamientos escalonados en la cadena de la Colonia Tovar, encima de la Meseta de Los Teques, y tres niveles de erosión de carácter cíclico entre esta meseta y el lecho de la garganta del Guaire, entre el Valle de Caracas y la cuenca del Tuy medio.

Basado en el análisis geomorfológico de los diversos litotopos de meteorización distribuidos en la Cordillera, al sur de Caracas, los cuatro aplanamientos superiores pertenecerían tentativamente al Neógeno y se desglosarían en tres elementos de superficies de erosión S1, S2 y S3 (esta última desdoblada en dos niveles San Antonio I y San Antonio II, ubicados entre 1.500 y 1.250 m.). Una topografía de valles-alvéolos retoca la mayoría de estos niveles de erosión y ofrece, al igual que en la Meseta de Los Teques, sitios naturales privilegiados aprovechados para la instalación de embalses (La Pereza, Urb. Colinas de Carrizal, Agua Fría, Petaquire).

Figura 7 Sistema de Aplanamiento y modelado residuales.



Fuente: A. Singer (1975)

De la superficie S1 quedan solamente testigos amesetados aislados y elementos pequeños arraigados a más de 2.000 m. en la vecindad de la divisoria constituida por la fila de la Colonia Tovar-El Junquito. Una topografía de cerros testigos parecidos, caracteriza ciertos tramos de la cadena litoral de Caracas, al este de la Silla.

En la primera fila, los remanentes de S1 y las superficies S2 se inclinan fuertemente en dirección del litoral Caribe y del Lago de Valencia, lo que atestigua un abombamiento pronunciado de la Cordillera, a grosso modo transversal a ésta NNW-SSE. Hacia el mar, el hundimiento de las cumbres se acentúa y pasa recurrentemente a juegos de bloques fallados con disposiciones antitéticas que acompañan el movimiento de torsión de la flexura litoral. Un abombamiento análogo, aunque de menor amplitud y disimétrico afecta también la superficie representada por la Meseta de Los Teques y sus diversos remanentes. Ella se inclina hacia el semi-graben de Caracas donde la interrumpe la falla del Ávila, y bascula con mas fuerza hacia el graben del Tuy, más deprimido.

No deja de sorprender el hecho de encontrar en la misma Cordillera de Caracas restos de aplanamiento aislados, pero característicos y aproximadamente concordantes con los rangos de altura establecidos más al sur para las superficies S1, S2, y S3. En el Ávila y al este de Naiguatá, éstos se ubican con frecuencia alrededor de 1.250 m., 1.500 y más de 2.000 m. Igualmente característicos son los alvéolos de meteorización anfiteatro, que se observan, fuertemente suspendidos, en las cabeceras de las quebradas y más abajo cerca de 1.650/1.850 m., 1.400/1.450 m. y 1.250/1.350 m., en ambos flancos de la cordillera.

Debido a de la estrechez de la cordillera litoral, es difícil establecer una continuidad general entre estos diversos niveles de paleoformas. Por otra parte, una correlación puramente geométrica entre éstas no es recomendable, debido a la intensidad de las dislocaciones sufridas por la cadena litoral hasta en el Cuaternario superior, como consecuencia de juegos de bloques transcurrentes y verticales ocurridos a raíz de la interferencia reciente y hasta actual (RIAL, 1977), de fracturas NNW-SSE con el sistema de falla E-W del Ávila y de Macuto, (SINGER, 1977). Ejemplos de violentas deformaciones se observan en el alvéolo tectonizado de Galipán y en las gradas del flanco sur del Ávila, debido a la rotación de bloques hundidos. Por tal razón, es todavía prematuro el establecimiento de un esquema de correlación coherente de estos diversos aplanamientos con las superficies de erosión de la región de Los Teques.

Se puede asumir que las areniscas neógenas de la Formación Siquire representan los sedimentos correlativos de la elaboración de los testigos más antiguos S1 de las superficies de erosión de la Cordillera de la Costa. Tal interpretación está estudiada también por SEIDERS (1965), en lo que se refiere al conglomerado de Pichao que podría, según este autor, formar remanentes detríticos, de origen local (PICARD y PIMENTEL, 1969), en el tope de las filas que derivan de la superficie S3 al norte del graben del Tuy. La heterogeneidad de estos materiales, tanto litológica como granulométrica, la proporción de arcillas en la matriz (10%), la litocromía rojiza/morada frecuente de los sedimentos, la presencia de vetas de yeso y de horizontes de carbonatos parecen indicar condiciones morfogenéticas de tipo semiárido, con escurrimientos en manto favorables para la realización de aplanamientos a partir de mecanismos de pediplanación (TRICART, 1970).

Las posibilidades adicionales de reconstitución morfo-cronológica de estos aplanamientos se encuentran en los depósitos aluviales acumulados a lo largo de las redes de drenaje antiguas, constituidas por los sistemas de valles-alvéolos excavados en las superficies de erosión S1 y S3, posteriormente a la elaboración de éstas. Por ejemplo, restos de terrazas antiguas han sido señaladas por los geólogos de la "Technical Mission of the New Caracas aqueduct" (Cuarto Acueducto de Caracas) en el vaso del embalse de Agua Fría (LOPEZ y GONZALEZ DE JUANA, 1946). Mantos de arcillas blancas arenosas, de interés comercial alternan con rodados de cuarzo en los alvéolos de la Boyera, del Hatillo (SCHWARCK, 1949), y de Los Teques. Con respecto a la edad de los niveles de erosión cíclicos inferiores escalonados entre 1.100 y 550 m., se pueden buscar elementos de correlación en las cuevas cavadas por el Guaire en las Calizas de la garganta del El Encantado, donde se encontrarían aluviones antiguos de este río con restos de fauna cuaternaria (URBANI, F., 1976).

En el primero de estos tres niveles (Los Teques II) siguen manifestándose los rasgos poligénicos característicos del modelado de las superficies más altas, como consecuencia de oscilaciones paleoclimáticas sucesivamente secas y húmedas. En los niveles posteriores, la morfología "madura" de alvéolos tropicales húmedos, está reemplazada por rampas y aplanadas de erosión con importantes revestimientos de caliche. La elaboración del último nivel cíclico está seguida de un profundo encajamiento de la red de drenaje vinculado con el último paroxismo de la Cordillera de la Costa.

De una manera general, es el movimiento de surrección de la Cordillera de la Costa desde el Neógeno, el que explica el escalonamiento del conjunto de los aplanamientos analizados y de los litotopos de meteorización correspondientes. (SINGER, 1975), (ver Fig.5.). Tal dispositivo traduce el ritmo de la evolución geomorfológica regional conforme al juego combinado de las pulsaciones tectónicas y de las oscilaciones húmedas y secas del clima.

La elaboración de la extensa superficie de Los Teques y la génesis de las profundas alteraciones ferralíticas que la caracterizan, parecen aprovechar un período de detenimiento relativo de la surrección de la cordillera, intercalado entre dos períodos de deformaciones más intensas. El primer período, de edad pre-Pliocena (Mio-Pliocena?) conduce al encajamiento de los niveles de erosión más altos de la Cordillera, S1, y S2, y al abombamiento de éstos hacia las áreas en curso de subsidencia (graben del Tuy, Barlovento, Lago de Valencia, litoral Caribe); el segundo paroxismo, hacia finales del Plioceno y principios del Cuaternario (Plio-Villafranquiense?) acentúa la deformación en bóveda de la Cordillera de la Costa y se acompaña de movimientos de bloques diferenciales que parecen iniciar la subsidencia de los graben de Guatire-Guarenas y de Caracas.

Una aridificación del clima interfiere con las deformaciones tectónicas de este período y se traduce por una crisis morfogenética de gran proporción, responsable de la desorganización de la red de drenaje pliocena en la superficie S3, a partir de mecanismos de antecedencia y de fenómenos de captura, a veces cárstica. Ellos explican las gargantas epigénicas de la quebrada Tacagua en el horst de Boquerón (DENGO, 1950), y del río Guaire y varios de sus tributarios a través del anticlinal de Baruta, en Sebastopol, en Turmerito y La Mariposa, en Las Minas de la Trinidad y en El Encantado. Estas gargantas parecen abrir brechas en una antigua divisoria pliocena, de génesis apalachiana, cuyos remanentes se observan alineados en el eje del mismo anticlinal, por encima de la meseta poligénica de Los Teques (Fila de San Pedro, Altos de Pipe, El Volcán, Cerro Guanasmitta en la Fila de Mariches). En la Meseta, volúmenes considerables de detritos de origen residual, ricos en arcillas caoliníticas y en guijarros de cuarzo, vienen a acumularse en las cubetas palustres de los Valles-Alvéolos pliocenos (depósitos de La Boyera, del Hatillo, de Los Teques) y son arrastrados en dirección de las fosas subsidentes vecinas (depósitos de las Formaciones Tuy y Guatire, depósitos de Catia, San Bernardino, Boleíta en el valle-

alvéolo tectonizado de Caracas) y hasta el litoral Caribe (depósitos del Grupo Cabo Blanco). Todos estos depósitos se encuentran deformados como consecuencia de la persistencia de juegos de bloques tectónicos durante el Cuaternario.

En la Cordillera de la Costa como en la de los Andes, las facies frecuentemente finas, arcillo-arenosas, de los depósitos correlativos de este período, se deben a la concentración del trabajo de la erosión en el espesor de los mantos de descomposición neógenos. De esta manera, tales sedimentos contrastan fuertemente con las formaciones posteriores del Cuaternario, mucho más heterogéneas, y con facies, a veces, sismoclástica (TRICART, et al., 1969) y sismolacustre (MUÑOZ y SINGER, 1977), como es el caso todavía en el Holoceno reciente del Valle de Caracas, y antes. (SINGER, 1977).

Profundas huellas de esta morfogénesis Plio-Cuatemaria y Pleistocena se observan en el modelado de la región de Caracas, debajo de 1.000 y 1.200 m., como consecuencia de la vigorosa disección de la meseta de Los Teques, en particular hacia el sur, en razón del carácter más temprano de la erosión regresiva procedente del graben más deprimido del Tuy. Desde el lindero Norte de la "Zona Protectora" de Caracas, por ejemplo, ubicado en la orilla de la meseta, es espectacular el contraste que se presenta entre el modelado de disección áspero excavado en la vertiente del Tuy y el paisaje de laderas suaves de los mantos de descomposición de la superficie poligénica pliocena.

Este mismo contraste, de origen litológico, se observa en la vertiente de Caracas, aunque de manera más discreta debido al menor desarrollo de los esquistos de la Formación Las Mercedes, relativamente impermeable al estado alterado, a la diferencia de los materiales acuíferos originados por la descomposición de la meta-arenisca y esquistos cuarzo-micáceos de la Formación Las Brisas. Tal diferencia de potencial morfogenética constituye una explicación general de la ubicación de los relieves residuales más importantes de la región, en los volúmenes globales resistentes constituidos por los afloramientos de la Formación Las Brisas, y de la excavación más enérgica de los volúmenes blandos constituidos por los de la Formación Las Mercedes.

Se explica en particular de esta manera, la existencia de remanentes de divisorias antiguas (pre-Pliocenas y Pliocenas) de apariencia apalachiana, en los topos truncados de los anticlinales del Junquito y de Baruta, nivelados por las superficies S1, S2 y S3. El papel de las filas residuales de la Formación Las Brisas como línea de divorcio hidrográfica,

desde el Neógeno, está realizado por el retroceso reciente, Plio-Cuaternario y Cuaternario, de las cabeceras del Guaire y de los afluentes del Tuy medio en dirección de la divisoria pliocena confundida, en ciertos tramos, con la divisoria actual (alvéolos del Valle de Sarteneja y del Hatillo). Tal retroceso conduce a la degradación del modelado de alvéolos, reducido por una inversión de relieve progresiva, a un sistema de rampas disecadas convergentes (alvéolos de Prados del Este, Cumbres de Curumo, La Boyera) y luego, de hombreras horizontales que orillan el flanco de los cerros (Los Ocumitos, Las Mayas en Tazón).

La profundización Plio-Cuaternaria de las quebradas en los niveles de aplanamiento más recientes (Los Teques I, Los Teques II) se acompaña también de una erosión diferencial, de tipo apalachiana, que aprovecha los contrastes de dureza litofaciales de las rocas, en las estructuras geológicas. Esto explica por ejemplo la calidad excepcional de la expresión morfo-estructural de los pliegues de la cordillera bastante abiertos, de generación f2, en el paisaje del Área Metropolitana: sinclinal colgado del Valle, cresta interna del flanco norte del anticlinal vaciado de Baruta en El Peñón, etc. Este mismo proceso de disección diferencial explica la génesis de formas cársticas tales como las torrecillas de los Morros la Guairita (SINGER, 1972) y del Peñón de Lira en El Encantado.

La estabilidad, a escala geológica, de los relieves residuales desarrollados en los materiales alterados de la Formación Las Brisas, contrasta singularmente con el potencial de inestabilidad actual muy elevado de las laderas inscritas en los suelos residuales, muy espesos elaborados desde el Neógeno a partir de un proceso de meteorización acumulativo. Encima de 1.000-1.200 m. estas formaciones superficiales opacan los contrastes litológicos intra e interformacionales, de tal manera que el conocimiento de ellas reviste un papel de primera importancia para la evaluación de las condiciones geotécnicas de los terrenos, en comparación con las influencias esencialmente indirectas ejercidas por los sustratos rocosos no meteorizados definidos por los mapas geológicos convencionales.

En términos globales, los terrenos correspondientes a los litotopos de meteorización superiores a 1.000/1.200 m. constituyen por orden de importancia, la segunda zona de riesgo geológico del Área Metropolitana de Caracas, después de los faldeos de la Cordillera litoral; en efecto, estos faldeos se encuentran sometidos a la acción recurrente de flujos de escombros torrenciales de incidencia catastrófica y susceptibles, a veces, de tener un origen

sísmico (SINGER, 1974, 1977). Deslizamientos como los de Corral de Piedra, en Las Adjuntas o de la Urb. El Cují, en la Mariposa justifica el rango de importancia atribuida a los primeros terrenos, debida precisamente a la importancia de los riesgos de inestabilidad derivados de los movimientos del suelo y subsuelo. Tal potencial de inestabilidad puede sorprender en unos materiales que pueden soportar, en condiciones naturales, bajo bosque, laderas con pendientes de equilibrio del orden de 40 a 50 grados, debido a la porosidad de los productos de descomposición, arcillo-arenosos. La explicación de esta contradicción puede radicar en dos causas:

- El incremento regional continuo del valor de las pendientes como consecuencia de la erosión regresiva muy violenta de las quebradas, a raíz de la surrección reciente de la Cordillera de la Costa. Se puede pensar de esta manera que la mayoría de estas laderas se encuentran en condiciones de desequilibrio potencial; se observa efectivamente una concentración de los movimientos de masa en las zonas de cabecera, donde la saturación es mayor;
- Un desmejoramiento del comportamiento mecánico de la parte superficial más arcillosa de los perfiles de meteorización, ligado a la erradicación de la cobertura boscosa en equilibrio con ellos, y bajo el efecto de ciclos de desecación mucho más frecuentes y profundos que antes. Estos ciclos afectarían sobre todo las arcillas illíticas caracterizadas por coeficientes de retracción más elevados y concentradas en las laderas (TRICART, 1974). Se iniciaría de esta manera un proceso de degradación geomorfológica de los terrenos acompañado de la aparición de grietas de "suffosión" (PAVLOV, 1898, in LETOURNEUR y MICHEL, 1971) favoreciendo la saturación local de los materiales. El incremento de los movimientos de masa solifluídales parece combinarse con una concentración de la escorrentía superficial a partir de la conversión de las grietas de suffosion en zanjas de erosión e incluso en cárcavas (Altos de Pipe, El Placer).

En los litotopos de meteorización inferiores a 1.000-1.200 m. los perfiles de suelos residuales, descabezados por la escorrentía difusa, muestran espesores menores de material descompuesto. En la Formación Las Mercedes, éstas se distribuyen de acuerdo a toposecuencias irregulares, que parecen controladas por las condiciones estructurales y el

patrón de disección. Se observa efectivamente, que los perfiles transversales se tornan más espesos en dirección del fondo de las quebradas y más delgados hacia los estribos como consecuencia de una eficacia más grande la escorrentía encima de éstos últimos. Los suelos ferruginosos impermeables de la parte superficial de los perfiles explican la torrencialidad elevada que se observa en las colinas disecadas de la Formación Las Mercedes. En las facies calcáreas y en las exposiciones secas (E, SE) éstas se encuentran todavía incrementada por suelos de caliche subsuperficiales y que epigenizan de manera difusa el horizonte de saprolito infrayacente cuando éste está conservado. Tal torrencialidad se aprecia también en la presencia general de complejos coluvión-torrenciales edafizados cuaternarios formando mantos espesos al pie de las colinas. (El Pinar, Las Mercedes). Se confirma por lo tanto la existencia de un potencial morfogenético más elevado en la Formación Las Mercedes. Asociado de manera correlativa con la existencia de condiciones geotécnicas globalmente más favorables que en los litotopos de meteorización superiores a 1.200 m.

IV.2. GEOLOGÍA REGIONAL DE LA CORDILLERA DE LA COSTA

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 Naiguatá, ubicado a 2.765 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.

IV.2.1. 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 Victoria, 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, Antímano 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 epilítica 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 ígnea 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. Se 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 Meta-sedimentaria 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 está 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-moscovíticos 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-moscovíticas y cloríticas. Urbani et al. (1989a), en la zona de Aricagua-Chirimena-Birongo, estado Miranda, logran distinguir y cartografiar cuatro subunidades: Esquisto cuarzo-albitico-moscovítico-clorítico (92% del área de la unidad), mármol (4%), metareniscas (1%) y metaconglomerados (1%). Mientras que en la zona de Valencia-Mariara, Urbani et al. (1989b) cartografían tres subunidades, de esquisto cuarzo-moscovítico-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 Antímano y el Esquisto de Las Mercedes, ha sido considerada 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 (Urbani 1989; Ostos, 1990, p.56).

Dengo (1951), describe al Mármol de Antímano, como una caliza cristalina, masiva de grano medio, color gris claro, con cristales de pirita alternando en capas gruesas, con capas de esquistos micáceos y asociados con rocas verdes de origen ígneo (principalmente anfibolitas), con estructuras de “boudinage” y posteriormente propone el nombre de Antímano 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 esquistos principalmente calcáreos, con zonas micáceas.

Según Wehrmann (1972) y la revisión de González de Juana et al. (1980, p.317), la litología predominante consiste en esquistos cuarzo-moscovítico-calcítico-grafíticos con intercalaciones de mármol grafítico 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.

Según Wehrmann (1972), menciona la presencia de metaconglomerados en su base, esquistos cloríticos 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 Querequal. 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 Peridotita 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).

IV.2.2. FAJA DE CAUCAGUA- EL TINACO

El borde septentrional de esta faja está definido por la zona de Fallas de la Victoria – Pichao y su límite sur coincide con la Falla de Santa Rosa. La Faja de Cauagua –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 metasedimentaria 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, anfibolitas 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.

La Filita de Tucutunemo, fue la unidad descrita por Shagam (1960), para designar una secuencia metasedimentarias de filitas carbonáceas con intercalaciones de areniscas y metalimonita cuarzo-feldespáticas, encontrándose también cantidades menores de metaareniscas 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 tobas máficas, afaníticas, de color verde.

Según 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, plagioclasas 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 Tácata, 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 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 afáníticas; en superficies frescas se puede observar una ligera foliación metamórfica y a veces se observan 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 re cristalización, 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 diámetro 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.

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 ellos 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.

El Esquisto Chuspita, fue un 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 metareniscas 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, grafitoso, finamente cristalino, formando capas delgadas y cortados por vetas de cuarzo y calcitas. Al noreste de Caucagua, Estado Miranda, aflora un conjunto de rocas metasedimentaria que Seiders (1965), designó 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, metareniscas 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.

La Filita Muruguata, es una 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 Lucía, ambas localidades en el Estado Miranda.

Como señala Seiders, 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, metareniscas 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 metalavas 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 plagioclasas alteradas de color azulado. Los basaltos se presentan en forma de lavas almohadilladas y brechas de flujos que 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.

IV.2.3. FAJA DE PARACOTOS

Está limitada por la falla de Santa Rosa y Agua Fría y 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 la 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 las facies 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 metasedimentarias” interpretándola como equivalente a la

Filita de Paracotos, y en ella describen metareniscas, metapelita y mármol, todas estas rocas con efectos metamórficos de muy bajo grado.

IV.2.4. FAJA DE VILLA DE CURA

Compuesta por rocas volcánicas (ocasionalmente), sedimentarias metamorizadas, 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 metasedimentarias 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 hipo abisales 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 afaníticas. 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.

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 afecta 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.

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 metamorfozada 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

V. GEOLOGÍA LOCAL

La geología local de la zona se basó en el levantamiento geológico de los taludes de la Urb. la Quinta, y consistió en la realización de un recorrido detallado sobre éstos, cuya finalidad fue constatar las características litológicas y estructurales de los materiales presentes, incluyendo el estado físico predominante, para poder así establecer sus bondades y limitaciones ante el uso que se les ha dado, así como también en la toma de 35 muestras de roca y 110 muestras de suelos, a las cuales se le realizaron los ensayos correspondientes según su característica genética.

Los taludes de rocas más representativos se encuentran hacia el límite norte de la urbanización, específicamente detrás de la terraza 10 y al este de la parcela en la terraza 2 los cuales tienen una orientación general N56°E, con alturas variantes entre 12 m. y 36 m. y pendientes entre 40° y 60° orientadas hacia el Sureste.

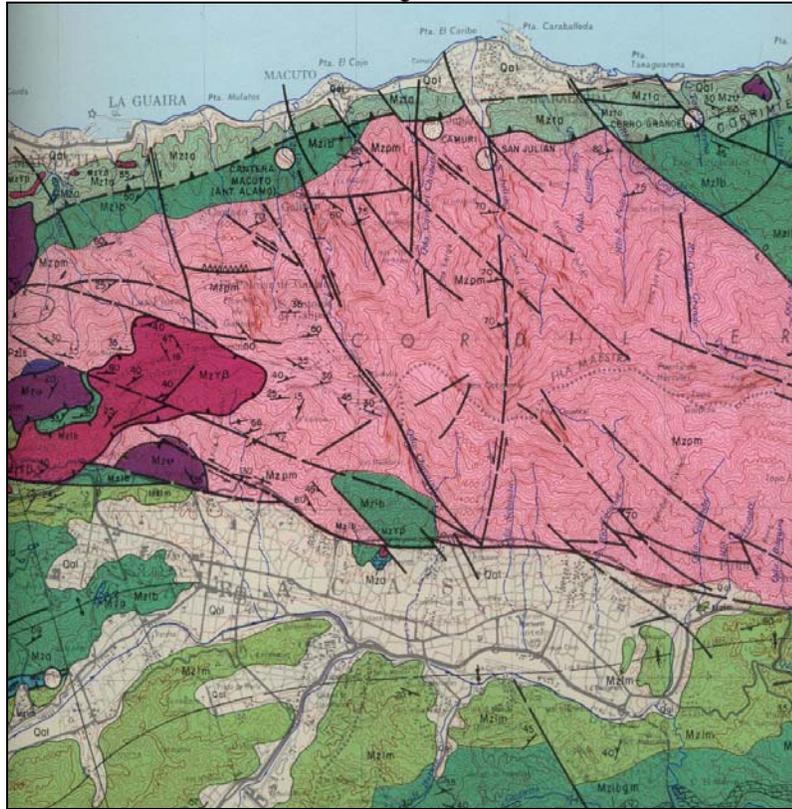
Para el momento de nuestro levantamiento de campo ya se había producido dos procesos de inestabilidad limitada y se habían comenzado a generar cárcavas en otros sectores.

V.1. ESTRUCTURAS

V.1.1. ESTRUCTURAS MAYORES

La zona estudiada, se localiza dentro del macizo de la Cordillera de la Costa, presentando fuertes plegamientos, como respuesta a los patrones regionales de esfuerzos, los cuales actuaron NN-0-SSO, y originaron plegamiento con dirección aproximada Este-Oeste (observándose en la siguiente figura) , los cuales conforman el Anticlinal de Baruta y su prolongación de los Teques, encontrándose distorsionado por la zona de contacto entre las Formaciones Las Mercedes y Las Brisas, por una falla de corrimiento transversal al anticlinal, desplazándolo al Norte, y originando que esta falla presente un desplazamiento horizontal y vertical, permitiendo esto el contacto anteriormente mencionado, siendo dicha falla responsable junto con los grandes esfuerzos del fracturamiento y gran frecuencia de las diaclasas.

Figura 8 Mapa Geológico. En el área amarilla se aprecia la ubicación aproximada de la zona de estudio. Fuente: Cartografía Nacional.



Modificado de URBANI & RODRIGUEZ (2004).

Desde un punto de vista geomorfológico, el terreno se localiza sobre un área que originalmente correspondía a una serie de lomas con rumbo Este-Oeste, y formando estas el borde Sur del Valle del Río San Pedro, el principal drenaje de la región, hacia donde van las aguas de la quebrada la Quinta, la cual fue parcialmente embaulada en las adyacencias de la vialidad de servicio del conjunto.

V.1.2. ESTRUCTURAS MENORES

Los taludes se localizan en un sector soportado por rocas de la Formación Las Mercedes, y litológicamente se caracteriza por la presencia de esquistos y filitas cuarzo-moscovíticos-grafitosos-calcáreos, con numerosas vetas de cuarzo y calcita.

En algunas ocasiones se observaron capas menores de esquisto sin grafito o sin calcita. En general, estas rocas suelen presentarse sumamente plegadas, muy foliadas y con abundantes diaclasas, variando su estado físico entre meteorizado duro y descompuesto blando, fracturado a muy fracturado.

Se pudo constatar la presencia restringida de un coluvión superficial, de carácter arcilloso, con frecuentes fragmentos de esquistos descompuesto y color marrón oscuro a rojizo, cuyo espesor oscila entre 1,00m. y 2,00m., recubriendo la parte alta de los taludes del área en estudio. Este coluvión está recubierto, a su vez por, una capa vegetal arcillosa, de color marrón oscuro, con espesor que varía entre 0,20m y 0,30m

Infrayaciendo a la secuencia descrita anteriormente se constató la presencia del substrato rocoso constituido por esquistos micáceos cuarzosos y calcáreos, con intercalaciones de filitas generalmente talcosas, notándose que en algunos sectores, las facies talcosas tienden a predominar sobre los esquistos y que con frecuencia se presentan vetas de cuarzo y calcita, a veces paralelas a la foliación, y a veces diagonales a ésta.

El estado físico predominante en la zona es el de meteorizado duro a descompuesto blando, fracturado a muy fracturado, destacándose que los intervalos descompuestos blandos reflejan la susceptibilidad natural de los materiales presentes a la acción de la meteorización química con el tiempo.

Desde el punto de vista estructural se observó que las rocas presentes, a pesar de estar sujetas a un control estructural regional, presentan planos de foliación afectados por un plegamiento persistente, determinando que la orientación de los planos de foliación varíen notoriamente, sin embargo se constató que el rumbo, aunque oscilaba entre los cuadrantes N - W y N - E, mantiene un rumbo hacia el Noreste, siendo su valor promedio general para toda la zona de N 70° E. Por su parte el buzamiento también presenta variaciones hacia el Norte y hacia el Sur, predominando la tendencia hacia el Norte, con valores que varían entre 1° y 69°, presentando una tendencia entre 22° y 37° y un valor promedio general de 37°. En el caso de los buzamientos hacia el Sur, éstos variaron entre 10° y 87° para dar un valor promedio de 40°.

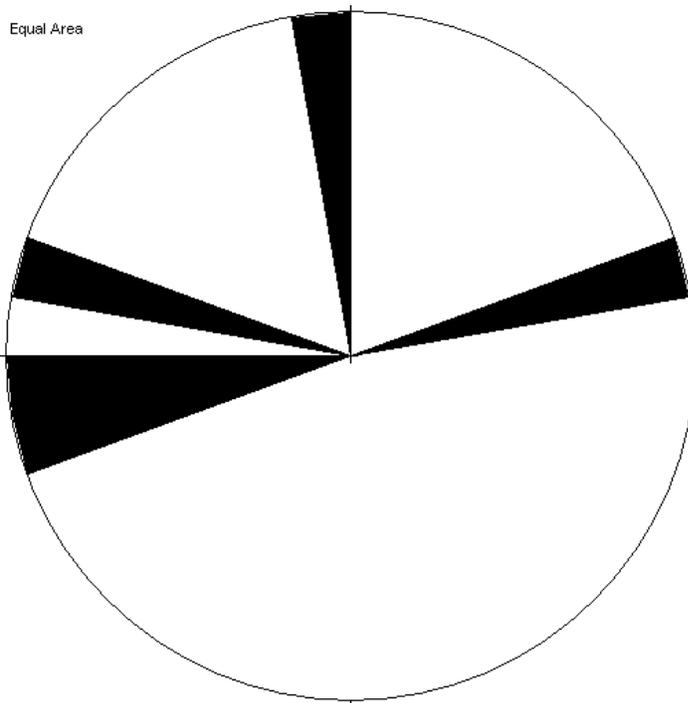
Se identificaron diez (10) familias de diaclasas y siete (7) conjuntos dispersos que se agrupan de acuerdo a la siguiente clasificación, y a la frecuencia con la cual se observan en el terreno:

- **Familias Principales**
- **Familias Secundarias**
- **Conjuntos Dispersos**

Tabla 17. Estructuras presentes en Talud Roca 2.1

Estructura	Dirección
Familia Principal 1	N10°E70°S
Familia Principal 2	N15°W71°S
Familia Principal 3	N5°W79°N
Familia Principal 4	N15°W73°N
Familia Principal 5	N80°E71°S

Figura 9 Diagrama de Rosetas, Familias principales



Dentro del primer grupo tenemos las siguientes cinco (5) familias:

Familia P1: Presenta una variación del rumbo entre N5°W y N10°E, el buzamiento predomina hacia el Este, con componentes tanto hacia el Noreste, como hacia el Sureste, y variaciones entre 55° y 90°, aunque tienden a predominar los buzamientos mayores de 70°, siendo el buzamiento promedio de 80°.

La frecuencia medida de esta familia varía entre un mínimo de 10 por metro y un máximo superior a 15 por metro; encontrándose éstas cerradas a abiertas, con aperturas variables entre 1mm y 2mm., es destacable la presencia de una película de óxido de hierro y su superficies generalmente es plana rugosa, aunque en algunos casos es ondulada rugosa.

Familia P2: El rumbo varía entre N10° W y N 20° W. Presentando el buzamiento una variación entre 56° y 86° para un promedio general de 71° al Sur.

La frecuencia de este sistema varía entre 10 y 20 por metro, pudiéndose detectar en algunas ocasiones frecuencias superiores a 20 por metro. Estas familias suelen estar cerradas a abiertas, con aperturas de hasta 2 mm, y con películas de óxidos de hierro. La superficie tiende a ser plana rugosa, aunque en algunos casos varía a ondulada rugosa.

Familia P3: El Rumbo varia entre N5° W y N 10° E, el buzamiento presenta una orientación hacia el Oeste con componentes hacia el Suroeste y el Noroeste, variando entre 65° y 86° al Norte, teniéndose un valor promedio de 79°.

Es posible apreciar que la frecuencia oscila entre 5 y 10 por metro, aunque se pudieron observar casos con frecuencias mayores de 10 y 15 por metro. Varían de cerradas a abiertas, presentando aperturas entre 1mm. y 1cm, se pudo apreciar películas de óxidos de hierro en las paredes y en otros casos estaban rellenas de calcita. La superficie generalmente es ondulada rugosa con variaciones a plana rugosa.

Familia P4: El rumbo varía entre N10°W y N20°W, el buzamiento varía entre 63° y 85° al Norte, con un promedio de 73°.

La frecuencia de este sistema varía entre 3 y 10 por metro, aunque se detectaron casos en que llegó a ser mayor de 20 por metro. Generalmente suelen estar cerrada-abiertas a cerradas, con aperturas entre 1mm. y 1cm, y con depósitos de arcilla y óxidos de hierro. La superficie suele ser plana rugosa, con frecuentes depósitos de Carbonato de Calcio.

Familia P5: El rumbo presenta una variación entre N80°E y N85°W, con un buzamiento al Sur, variando entre 58° y 84° con un promedio de 71°.

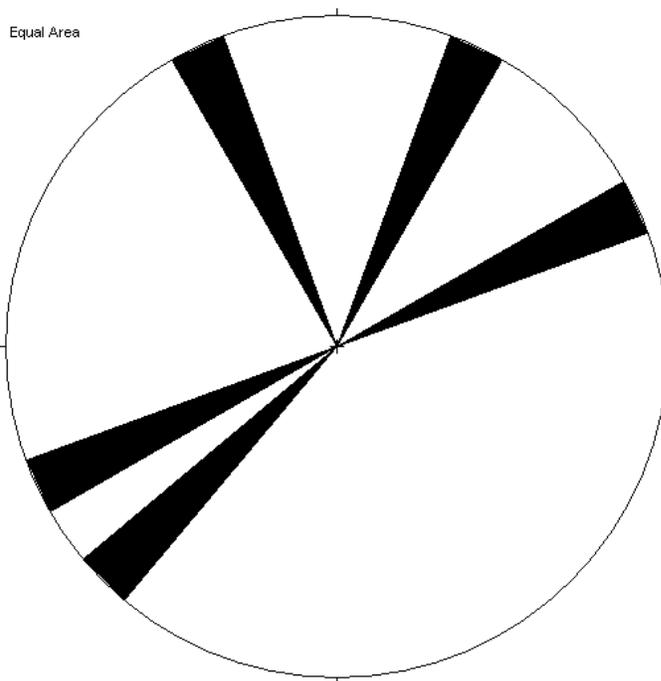
La frecuencia suele ser variable entre 3 y 10 por metro, pero se detectaron varios sitios en los cuales dicha frecuencia era superior a 15 por metro; se localizan cerradas a abiertas, con aperturas variantes entre 1mm y 2mm. La superficie suele ser ondulada rugosa y en algunos casos plana rugosa y frecuentemente tienen películas de óxidos de hierro.

Estas cinco primeras familias principales debido a sus características generales, juegan un papel muy importante en el comportamiento de los taludes de corte en estudio.

Tabla 18. Estructuras Presentes

Estructura	Dirección
Familia Secundaria 1	N67°E67°S
Familia Secundaria 2	N66°W71°S
Familia Secundaria 3	N50°W61°N
Familia Secundaria 4	N30°W73°S
Familia Secundaria 5	N28°W83°N

Figura 10. Diagrama de Rosetas, Familias Secundarias



En las Familias secundarias se pueden observar cinco (5) familias, las cuales son las siguientes:

Familia S1: El rumbo presenta una variación entre N60°E y N75°E, el buzamiento presenta una variación entre 56° y 78° al Sur, con un valor promedio de 67°.

La frecuencia de este sistema suele ser mayor de 10 por metro, suelen presentarse de cerradas a abiertas, con aperturas que llegan hasta 1mm., observándose una superficie generalmente plana rugosa y en algunos casos puede ser ondulada rugosa y suelen tener películas de óxidos de hierro.

Familia S2: El rumbo varía entre N59°W y N74°W, el buzamiento varía entre 66° y 79° al Sur, obteniéndose con un valor promedio 71°.

Es posible observar una frecuencia que varía entre 6 y más de 20 por metro, encontrándose de abiertas a cerradas, con aperturas hasta de 1mm. y 0,5cm, localizándose una superficie plana rugosa a ondulada rugosa, con películas de óxidos de hierro.

Familia S3: El rumbo varía entre N40°W y N55°W, el buzamiento se dirige hacia al Norte, variando entre 47° y 69°, para un promedio de 61°.

La frecuencia tiende a ser superior a 10 por metro, cerradas a abiertas, y con aperturas entre 1mm. y 1cm., en algunas ocasiones presentan un relleno de arcilla. La superficie es plana rugosa con películas de óxido de hierro.

Familia S4: El rumbo varía entre N25°W y N30°W, el buzamiento se dirige hacia el Sur, variando entre 50° y 80°, con un promedio de 73°.

La frecuencia suele ser superior a 15 por metro, cerradas a abiertas hasta 1mm., con superficie plana rugosa y películas de óxidos de hierro.

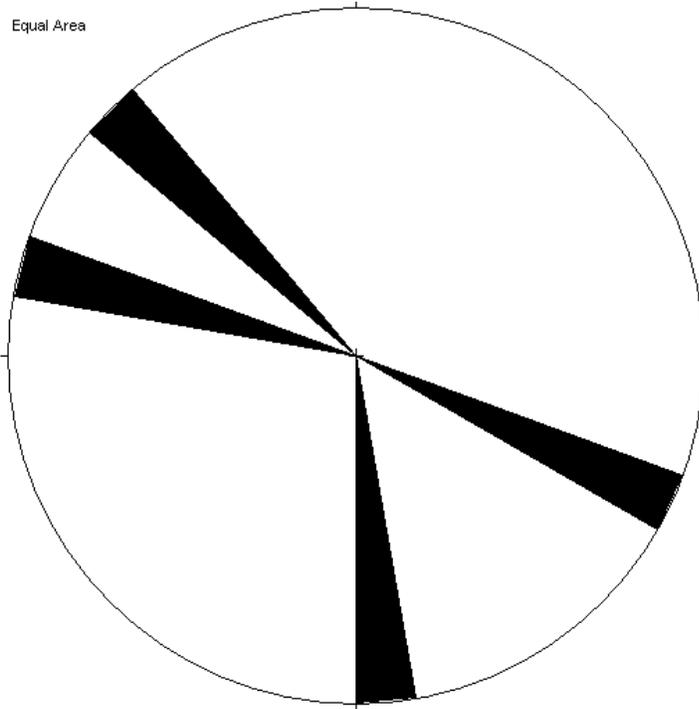
Familia S5: El rumbo varía entre N28°W y N30°W, el buzamiento varía entre 75° y 90° al Norte, presentando un promedio de 83°.

La frecuencia de este sistema varía entre 4 por metro y más de 15 por metro, en parte estas diaclasas se encuentran abiertas hasta 2mm., con depósitos de carbonato de calcio y óxidos de hierro. La superficie generalmente es ondulada rugosa.

Tabla 19. Estructuras Presentes

Estructura	Dirección
Conjunto Disperso 1	N15°E51°S
Conjunto Disperso 2	N82°E25°S
Conjunto Disperso 3	N20°E60°S
Conjunto Disperso 4	N43°E54°S

Figura 11. Diagrama de Rosetas, Conjuntos dispersos



Se pudieron observar varios conjuntos de diaclasas cuyas orientaciones son distintas a las de las familias anteriormente reseñadas y que por estar escasamente representadas en la zona, se pudieron clasificar como Conjuntos dispersos, siendo los siguientes:

Conjunto Disperso 1: El rumbo varía entre N15°E y N28°E, el buzamiento varía entre 51° y 80° al Sur.

Conjunto Disperso 2: El rumbo variable entre N82°E y N86°E, el buzamiento varía entre 25° y 75° al Norte.

Conjunto Disperso 3: El rumbo varía entre N20°E y N34°E, el buzamiento varía entre 60° y 66° al Norte.

Conjunto Disperso 4: El rumbo varía entre N43°E y N54°E, el buzamiento varía entre 77° y 80° al Sur.

Se pudieron identificar las siguientes diaclasas aisladas, las cuales no forman parte de ninguna de las familias descritas;

Tabla 20. Diaclasas identificadas

	RUMBO	BUZAMIENTO
Diaclasa 1	N 80° W	55° N
Diaclasa 2	N 76° W	90° N
Diaclasa 3	N 45° W	69° S
Diaclasa 4	N 63°E	81° N

Estas diaclasas, que representan planos de debilidad en la roca, son las responsables junto con los planos de foliación de las inestabilidades de ladera que observaron en el área, debido a los cortes efectuados en la misma dirección de la foliación, que es por donde actúan dichas familias, facilitando las caídas de bloques, dependiendo su estabilidad solo de la fricción y cohesión en el plano de deslizamiento. Al acelerarse la meteorización del macizo por quedar expuestas a la intemperie, los taludes tienden a comportarse como un material menos resistente, comienzan a influir en su estabilidad a largo plazo.

Se constató que en la superficie de los sistemas de diaclasas suelen presentar manchas de óxido y depósitos de carbonato de calcio y arcilla, evidenciando que las mismas funcionan como vía de drenaje de la infiltración, las cuales pueden llegar a generar situaciones potencialmente peligrosas, de no ser aliviados o drenados tales flujos.

V.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS TALUDES EN ROCA

Estos taludes se encuentran constituidos mayoritariamente por corte en roca meteorizada a descompuesta presentando poca estabilidad, por lo que procederemos a la descripción detallada de cada uno de ellos.

V.2.1. TALUD ROCA 1

Este talud se localiza en el sector Noroeste de la Urbanización y sobre el mismo se está apoyando un tanque de agua, pudiéndose realizar 15 controles estructurales de los planos presentes, detectándose que a pesar del fuerte plegamiento de las rocas, el rumbo se orienta muy cerca de la dirección Este-Oeste, exactamente N86°E y el buzamiento, aunque varía entre el Norte y el Sur, predomina hacia el Sur, constituyendo ésta la posición más desfavorable para su estabilidad. Adicionalmente se constató la presencia notoria de las cinco (5) familias principales las cuales ya fueron mencionadas.

Los datos recolectados en la zona nos permite llegar a la conclusión de que estamos ante un macizo rocoso meteorizado duro a blando, fracturado a muy fracturado, litológicamente caracterizado por la presencia de filitas intercaladas entre los esquistos, pudiendo generar esto situaciones localmente conflictivas.

Debido al tamaño del talud, se subdividió en dos sectores, el Talud Roca 1.1, y el Talud Roca 1.2, descritos a continuación:

- **Talud Roca 1.1:** Este talud corresponde a la cara infrayacente al tanque de agua el cual se encuentra expuesta hacia el Sureste, con un ángulo de N52°E y una pendiente general 57° al Sur.
- **Talud Roca 1.2:** Corresponde al sector donde el talud de corte describe una curva para tomar un rumbo cercano a la Norte-Sur. En este caso se han considerado las mismas orientaciones de los planos estructurales de Talud Roca 1.1.

V.2.2. TALUD ROCA 2

Este talud se ubica inmediatamente al Noreste del tanque de agua, describiendo una curva continua con el *Talud Roca 3*. Debido a que la orientación del corte varía gradualmente, al igual que la pendiente.

Sobre el mismo se realizó el control estructural de los planos de foliación, permitiendo constatar el acentuado plegamiento de las rocas, sin embargo y a diferencia del *Talud Roca 1*, se estableció que la tendencia de los planos de foliación es la de buzarse hacia el Norte, presentando ángulos variables entre 5° y 50°, para un promedio de 33°, el rumbo tiende a mantenerse muy cerca del Este-Oeste franco, para dar un promedio de N84E, así mismo se identificaron 34 planos de diaclasas que permitieron confirmar la presencia de las familias principales FP1, FP2, FP3, FP4, FP5 así como la de las familias secundarias FS1, FS2, FS3, FS4 y FS5.

Estos taludes se dividieron en dos sectores, Talud Roca 2.1 y 2.2:

- **Talud Roca 2.1:** Corresponde al segmento de talud inmediatamente adyacente al *Talud Roca 1*, donde comienza la curvatura del corte, siendo la altura máxima 41m., presentando una pendiente de 41° y un rumbo general N29°E.

- **Talud Roca 2.2:** Corresponde al segmento donde el talud describe la máxima curvatura y sobre el cual se ha construido una torrentera, siendo la pendiente de la ladera menor a la del sector anterior, aproximadamente 36° y una altura igualmente menor, (23m.)

V.2.3. TALUD ROCA 3

Se trata de un extenso talud de corte que se ubica en el extremo Noreste de la urbanización, con una pendiente aproximada de 45° y una altura de 3 m.

En esta zona se pudieron medir 18 planos de foliación, que reflejaron el fuerte plegamiento de las rocas, a pesar de que el rumbo mantiene una orientación Noreste, el buzamiento presenta una variación entre las direcciones Norte y Sur.

De igual forma se midieron 24 planos de diaclasas los cuales permitieron identificar la presencia de las familias principales FP2, FP3, y FP4, mientras que en menor cantidad se identificaron las familias FP1, FP5, FS1, FS2, FS3 y FS4, indicando esto la presencia de un macizo rocoso meteorizado duro a blando, muy fracturado.

Adicionalmente se apreciaron evidencias de los efectos de la escorrentía en la parte alta de dicho talud, sobre el coluvión superficial y la roca descompuesta, por lo que, adicionalmente a la estabilización y/o protección del talud de corte, se deberá controlar la escorrentía en el sector.

V.2.4. TALUD ROCA 4

Este talud de corte es de poca extensión, se encuentra ubicado al Sur de los taludes considerados anteriormente, presentando una altura de 15m., pero de fuerte pendiente, de aproximadamente 54° .

Se pudieron medir 11 planos de foliación que permitieron establecer que debido al fuerte plegamiento, el rumbo de la foliación varía entre el Noreste y el Noroeste. El buzamiento también presenta variaciones tanto hacia el Sur como hacia el Norte en proporciones iguales. Se pudieron medir 10 planos de diaclasas que permitieron establecer la presencia más relevante de las familias FP2 y FS2, mientras que en forma dispersa se identificaron elementos de las familias FP1, FP3, FP5, FS1, FS4 y FS5.

V.3. DESCRIPCIÓN DE TERRAZAS DE SUELOS

El conjunto residencial la quinta posee 13 terrazas, estando gran parte de ellas en suelo natural o en relleno, presentando un área media de 60m de ancho por 60m de largo, con direcciones que varían entre Norte- Sur a S30°W, la altura medida desde los pies de los taludes varia de 4m a 6m en las primeras 12 terrazas a 30m en la terraza 13, la pendiente de los taludes es de 40° a 55°.

Las terrazas de suelo están constituidas a partir de la superficie del terreno por un espesor de relleno areno-arcilloso de color crema, olor terroso y textura pastosa de baja plasticidad, con granos de tamaño mediano y forma subangular a subredondeado, no reaccionando con HCL abarcando el 30% del perfil, infrayacentemente se aprecia un nivel de arenas limosas, mal gradados y algunos con grava, de color marrón a gris de grano fino a medio, que representan aproximadamente el 60% del perfil de esta zona, de compacidad predominantemente densa, presentando mica moscovita, cuarzo, esquisto y otros fragmentos de roca, finalmente se observan gravas mal gradadas, otras limosas, con cantos subangulares a subredondeados compuestos por partículas de cuarzo, calcita y esquistos que se disponen hacia la base de los depósitos.

En general los problemas que afectan las terrazas son los siguientes:

- La pendiente de los taludes es excesiva de 45° a 55°
- Se observan procesos de socavación por debajo del asfalto, por lo cual se presentan deslizamientos al borde de los taludes, lo que origina un desprendimiento y movimiento de la capa vegetal, todo esto es asociado a la falta de cuneta en las coronas, lo cual incrementa el volumen de agua que puede infiltrarse.
- Se aprecian la existencia de infraestructuras dispuestas sobre los ejes donde se ubican las tranquilas de recolección de aguas.

A continuación se describe cada una de las terrazas, con respecto a sus características geométricas, su orientación, su pendiente, la descripción litológica, y finalmente los problemas específicos que las afectan:

V.3.1. TERRAZA 1

La terraza presenta un área de 50m de largo por 20m de ancho, localizándose al lado del Centro Comercial la Quinta, con dirección Norte-Sur, la altura medida desde el pies del talud que conforma dicha terraza es de 4 m a 6,3 m, con pendientes entre 45° en la parte del estacionamiento a 50° frente a la caseta de vigilancia.

En este sector se aprecia un espesor de relleno limoso-arcilloso de color crema y olor terroso, de baja plasticidad de hasta 3.5 m de espesor medidos a partir de la superficie del terreno, con fragmentos cuarzo-micáceos de tamaño mediano y formas subangular a subredondeado, no reaccionando con HCL, que suprayace a un nivel de arenas limosas y mal gradadas con porcentajes variables de grava subangular, de compacidad que oscila entre media y muy densa, interrumpido localmente por unos cuerpos arcillosos o limosos formando lentes con un máximo de 1 metro de espesor con consistencias que van de semidura a rígida.

V.3.2. TERRAZA 2

Esta terraza presenta un área de 50m de ancho por 130m de largo, con dirección Norte-Sur, medido desde el pie del taludes posee una altura de de 4 a 6 m en su parte frontal y de 4 a 8 m en su parte posterior, presentando los taludes pendientes de 45° frente a la Terraza 5 y 49° en su parte posterior.

En este sector se observa un espesor de relleno de color crema y olor terroso conformado principalmente por limo arcilloso de baja plasticidad, con guijarros de cuarzo de tamaño mediano y fragmento subredondeado, no reaccionando con HCL que abarcan los primeros 2 a 3 m medidos a partir de la superficie del terreno. Seguidamente se aprecia un nivel de arenas limosas, arcillosos, mal gradados y algunos con grava, de color marrón a gris de grano fino a medio, que representan aproximadamente el 60% del perfil de esta zona, de compacidad predominantemente densa, con mica moscovita, cuarzo, esquisto y otros fragmentos de roca, finalmente se observan gravas predominantemente mal gradadas, otras limosas, con cantos subangulares a subredondeados compuestos por partículas de cuarzo, calcita, esquistos y otros fragmentos de roca que se disponen hacia la base de los depósitos.

Los problemas que afectan dicha terraza son los siguientes:

- Se aprecia un asentamiento que afectó una tanquilla de recolección de aguas de lluvia, localizada en el estacionamiento, específicamente frente al edificio 2.A, en el cual se vio perjudicado el pavimento, provocando el deslizamiento del talud posterior de esta terraza.
- Falta de cuneta de coronación en los bordes de los taludes, originándose grietas de tracción con un rumbo Norte –Sur paralelo a la orientación de la terraza.

V.3.3. TERRAZA 3

Este sector presenta un área de 47 m de ancho por 80m de largo, con dirección Norte-Sur, medida desde la base del talud, esta terraza posee una altura de 5m a 6m y pendientes de 45° a 50°.

A partir de la superficie del terreno se observa un material de relleno de color marrón claro y olor terroso, pudiendo ser un limo-arcilloso de baja plasticidad, con presencia de raíces, y un tamaño mediano de grano de subangular a subredondeado, no reaccionando con HCL que abarcan los primeros 2 a 3 m. Infrayacentemente a estos suelos, se aprecia un nivel de arenas limosa-arcillosas, mal gradadas, de color marrón a gris de grano fino a medio, que representan aproximadamente el 40% del perfil de esta zona, de compacidad predominantemente densa, presentando mica moscovita, cuarzo, esquisto y otros fragmentos de roca. Hacia la base de la secuencia se reconocen unas gravas predominantemente mal gradadas con cantos subangulares a subredondeados compuestos por partículas de cuarzo, calcita, esquistos y otros fragmentos de roca.

Los problemas que afectan dicha terraza son los siguientes:

- Se puede apreciar en el talud posterior a la terraza tres, un hundimiento del estacionamiento, siendo la altura del talud de 5m vertical.
- Falta de cuneta de coronación en los bordes de los taludes, originándose grietas de tracción con un rumbo Norte –Sur paralelo a la orientación de la terraza.

Foto 1. Hundimiento observado en el estacionamiento de la Terraza 3



Tomada por Zurita (2010)

Foto 2. Otra vista del hundimiento de la misma terraza



Tomada por Zurita (2010)

Foto 3. Torrenteras cubiertas de vegetación



Tomada por Zurita (2010)

V.3.4. TERRAZA 4

La terraza presenta un área de 97m de ancho por 94m de largo, con dirección Este-Oeste, medido desde la base del talud esta terraza posee una altura de 5,2m a 5,5m y una pendiente de 42° a 51° en la parte central del estacionamiento.

En esta zona se aprecia un espesor de relleno de color amarillo a marrón, olor terroso y textura pastosa, con una consistencia muy blanda a rígida de baja plasticidad, presentando un tamaño de grano medio y de forma subangular a subredondeado, no reaccionando con HCL, que abarcan los primeros 3 m medidos a partir de la superficie del terreno, Seguidamente se aprecia un nivel de arenas limosas mal gradados y algunos con grava, de color marrón a gris de grano fino a medio con un espesor de hasta 1,5 m. Hacia la base de la secuencia se reconoce un lente de gravas mal gradadas con arena, el cual posee una compacidad densa a semidura.

Los problemas que afectan dicha terraza son los siguientes:

- En el Talud que colinda con el estacionamiento de la Terraza 5 se presenta una pantalla atirantada con un área aproximada de 4m de largo por 2m de ancho, colocada la misma para la estabilización de este talud.

- Falta de cuneta de coronación en los bordes de los taludes, originándose grietas de tracción con un rumbo Este-Oeste paralelo a la orientación de la terraza.

V.3.5. TERRAZA 5

Esta terraza presenta un área de 94m de ancho por 29,1m de largo y dirección Este-Oeste, con una altura de 3,9m a 6,3m medida desde el pie del talud, observándose una pendiente de 40° a 51° frente a la Terraza 6.

En esta área se observa un material de relleno limoso-arcilloso, de color crema y olor terroso, de baja plasticidad, con un tamaño de grano medio y de forma subangular a subredondeado, no reaccionando con HCL, que abarcan los primeros 2,5 m medidos a partir de la superficie del terreno, Infrayacentemente a estos suelos se encuentra un horizonte de arenas limosa-arcillosas, mal gradadas, de color marrón a gris de grano fino a medio presentando mica moscovita, cuarzo, esquisto y otros fragmentos de rocas, abarcando aproximadamente 2,5 m de espesor, finalmente se observan gravas predominantemente mal gradadas con un espesor de 1 a 1,5m compuestos por partículas de cuarzo, calcita, esquistos y otros fragmentos de roca que se disponen hacia la base de los depósitos.

Los problemas que afectan dicha terraza son los siguientes:

- Se pudieron observar dos desprendimiento de capa vegetal y una grieta de distensión en dirección horizontal a lo largo de todo el borde del talud infrayacente a la terraza, la grieta presenta una sección transversal de hasta 8cm, uno de los desprendimientos se encuentra corregido mediante reperfilamineto de la cara del talud y conformación de surcos, siguiendo las curvas de nivel, sobre el cual se encuentra una zona sembrada con planta vetiver como medida agronómica, el cual no ha evitado dicho deslizamiento.
- Una longitud de aproximadamente de 15m de la grieta de distensión fue corregida mediante la colocación y compactación de tierra. Es posible observar que el brocal ubicado en el borde de talud infrayacente se encuentra levemente volcado en una longitud de 2m. El talud suprayacente de la terraza 5 no presenta evidencias de deslizamientos

Foto 4. Abertura del brocal en la Terraza 5



Tomado por Solórzano (2010)

Foto 5. Peinado y conformación de surcos Terraza 5



Tomado por Zurita (2010)

V.3.6. TERRAZA 6

Esta terraza posee un área de 54m de ancho por 94m de largo, con una dirección aproximada Este –Oeste, medido desde la base del talud esta terraza posee una altura de 3m

a 15m, hacia la terraza 9 el talud disminuye su altura a 0m, el talud de este sector posee pendientes de 51° a 61°.

A partir de la superficie del terreno se reconoce un material de relleno compuesta principalmente con gravas angulares de cuarzo, presentando una textura areno-arcilloso, de color crema y olor terroso, con baja plasticidad, posee un tamaño de grano medio y forma de angular a subredondeado, que abarcan los primeros 6m, Infrayacentemente a estos suelos se encuentra un nivel de arenas limosas, arcillosos, mal gradados de color marrón a gris de grano fino a medio, representando aproximadamente el 50% del perfil de esta zona, de compacidad predominantemente densa, con mica moscovita, cuarzo y esquisto, hacia la base de los depósitos se observan gravas predominantemente mal gradadas, con cantos subangulares a subredondeados compuestos por partículas de cuarzo, calcita, esquistos y otros fragmentos con un espesor de 2 a 3m.

Los problemas que afectan dicha terraza son los siguientes:

- Se evidenció la existencia de una alcantarilla, ubicada en el borde de uno de los taludes de la terraza, alrededor de esta se observó una Cárcava, presentando una sección de 1,50m con 5m de longitud y de aproximadamente 2m de profundidad.
- Se pudo apreciar frente al edificio 6A un *deslizamiento del Talud*, presentando una longitud de 7m aproximadamente por una altura de 4m, asociado a dicho deslizamiento se pudo observar un hundimiento de la acera y del brocal, con separaciones de hasta 3cm, no observándose evidencias de haber sido impermeabilizadas, es destacable que muchos apartamentos localizados en planta baja con ampliaciones, presentan ausencia de obras de drenajes.
- Falta de cuneta de coronación en los bordes de los taludes, originándose grietas de tracción con un rumbo Este–Oeste paralelo a la orientación de la terraza.

Foto 6. Vista de una alcantarilla, Terraza 6



Tomado por Solórzano (2010)

Foto 7. Separación del brocal, Terraza 6



Tomado por Zurita (2010)

V.3.7. TERRAZA 7

La terraza posee un área de 54m de ancho por 114m de largo, con una dirección aproximadamente Norte –Sur, medido desde la base del talud esta terraza posee una altura de 3m a 7m, observándose una pendiente de 45° a 51°.

Este sector esta compuesto por un material de relleno areno-arcillosa, con abundantes gravas angular de cuarzo, siendo muy denso de color marrón amarillento crema y olor terroso, de baja plasticidad, con un tamaño de grano medio y de forma subangular a subredondeado, no reaccionando con HCL, que abarcan los primeros 3m medidos a partir de la superficie del terreno, iinfrayacentemente a estos suelos se encuentra un horizonte de arenas limosa-arcillosas predominantemente mal gradadas de color marrón a gris de grano fino a medio, con una compacidad que va de suelta a muy densa, presentando mica moscovita, cuarzo, esquisto y otros fragmentos de rocas, las cuales se ubican en la parte media del perfil de suelo, con un espesor de 2,5m, hacia la base de los depósitos se reconocen unas gravas predominantemente mal gradadas con un espesor de 1 a 1,5m compuestos por partículas de cuarzo, calcita y esquistos.

Los problemas que afectan dicha terraza son los siguientes:

- Los problemas de gran prioridad que se presentan en dicha terraza se localiza frente al edificio 7A donde se puede apreciar una pared frisada en concreto con vigas y columnas, de una longitud de 20m, y 2,2m de altura, dicha pared fue realizada como obra de estabilización del talud, la misma se encuentra levemente inclinada, llegando a alcanzar hasta 5° hacia los edificios, con grietas laterales asociado a un deslizamiento del talud.
- Se evidencia en el talud correspondiente al estacionamiento de dicha terraza, grietas de tracción en la corona del mencionado talud, no se observaron obras de control de aguas asociadas a la estructura (Falta de cuneta de coronación).
- Las tanquillas de recolección de aguas de lluvias se encontraban obstruidas por sedimentos, las cuales pueden generar problemas si no se toman acciones inmediatas. Debajo de las pasarelas correspondientes a los edificios de la terraza 7, se pueden observar deslizamientos del material de relleno, siendo este suelo arcilloso y de color crema. El talud suprayacente a la terraza siete presenta un deslizamiento de aproximadamente 13m de longitud por 7m de

altura, localizándose en el estacionamiento sobre los puestos con números 26-07-08-02.

Foto 8. Correspondiente a la inclinación de la pared, frente terraza 7A



Tomado por Zurita (2010)

Foto 9. Vista total de la pared frente edificio 7A



Tomado por Zurita (2010)

Foto 10. Separación y deslizamiento del muro, final estacionamiento Terraza7.



Tomado por Solórzano (2010)

V.3.8. TERRAZA 8

Esta terraza posee un área de 21,9m de ancho por 97,6m de largo, con una dirección aproximadamente Norte –Sur, medido desde la base del talud esta terraza posee una altura de 5,5m a 3,5m decreciendo de Norte a Sur, observándose una pendiente de 45° a 50°.

A partir de la superficie del terreno se reconoce un material areno-arcilloso con presencia de guijarros de cuarzo, el color del suelo es marrón a amarillento crema y olor terroso, con baja plasticidad, su tamaño de grano es mediano posee una forma de subangular a subredondeada, dicho suelo posee una textura pastosa, abarcando los primeros 2m, Seguidamente se aprecia un nivel de arenas limosas, arcillosos, mal gradados, de color marrón a gris de grano fino a medio, con un espesor de 2 a 2,5m, de compacidad predominantemente densa, con mica moscovita, cuarzo, esquisto y otros fragmentos de roca, finalmente hacia la base de los depósitos se observan gravas predominantemente mal gradadas, con cantos subangulares a subredondeados compuestos primordialmente por partículas de cuarzo, calcita, esquistos y otros fragmentos de roca.

Los problemas que afectan dicha terraza son los siguientes:

- Se evidencia continuos hundimientos frente a la entrada del estacionamiento de la Terraza 8, se pueden apreciar grietas y evidencias de repavimentado en una franja.

- El estacionamiento de la Terraza presenta un desnivel importante, se evidencia en el sitio obras de corrección de drenajes a fin de evitar posibles inundaciones. Se observan deslizamientos en los taludes ubicados en la parte posterior de la terraza, presentándose como un posible deslizamiento en forma de herradura.
- Es posible apreciar ampliaciones de apartamentos en planta baja, dispuestas sobre los ejes donde se ubican las obras de drenajes del urbanismo, dichas ampliaciones no presentan control de aguas, esto aunado a la vegetación puesta en la corona del talud, a causado una grieta de tracción a lo largo del borde del talud.
- El talud infrayacente a la Terraza 8, específicamente en la zona posterior a los edificios presenta una grieta de distensión a todo lo largo de la terraza, de aproximadamente 70m de longitud con una sección de 15m, cercano a una torrentera.

Foto 11. Cárcava localizada en talud posterior del estacionamiento terraza 8



Tomado por López G. (2010)

V.3.9. TERRAZA 9

Esta terraza posee un área de 98m de largo por 52m de ancho, con una dirección aproximadamente Norte –Sur, medido desde la base del talud esta terraza posee una altura de 6m con una pendiente 40° a 46° frente a la Terraza 8.

En este sector se observa un espesor de relleno limoso-arcilloso de color amarillento a crema, olor terroso y textura pastosa, con baja plasticidad y presencia de guijarros de cuarzos, donde su granulometría se observa mediana y su forma de grano de subangular a subredondeada, en esta terraza no se evidencian presencia de raíces y no reacciona con HCL, abarcando los primeros 2m medidos a partir de la superficie del terreno, seguidamente se aprecia un nivel de arenas limosas, mal gradados, de color marrón de grano fino a medio, de compacidad predominantemente densa, con un espesor de 3m, compuesta por mica moscovita, cuarzo, esquisto y otros fragmentos de roca, hacia la base de los depósitos se observan un lente gravas predominantemente mal gradadas, con cantos subangulares a subredondeados compuestos primordialmente por partículas de cuarzo, calcita, esquistos y otros fragmentos de roca.

Los problemas que afectan dicha terraza son los siguientes:

- Se observa una grieta de distensión en el talud lateral específicamente frente a los edificios 9A y 9B, en una longitud que supera los 60 m, asociados a deslizamientos.
- Se observó asentamiento de los taludes con separaciones respecto a la acera lateral de 10cm, en el área posterior de la terraza, es posible apreciar recubrimiento de talud mediante reforestación con vetiver.

Foto 12. Grieta de distensión a lo largo del talud



Tomado por Zurita (2010)

V.3.10. TERRAZA 10

Esta terraza posee un área de 98m de largo por 55m de ancho., con una dirección aproximadamente Norte –Sur, medido desde la base del talud esta terraza posee una altura de 4,1m a 19m, la pendiente varia desde 20° a 25°.

A partir de la superficie del terreno se observa un espesor de relleno areno-arcilloso de color crema, olor terroso y textura pastosa con baja plasticidad, con granos de tamaño mediano y forma subangular a subredondeado, no reaccionando con HCL, abarcando los primeros 4m, infrayacentemente a estos suelos se encuentra un nivel de arenas limosa-arcillosas predominantemente mal gradadas de grano fino a medio y de color marrón, con una compacidad que va de suelta a muy densa, presentando mica moscovita, cuarzo, esquisto y otros fragmentos de rocas, las cuales se ubican en la parte media del perfil de suelo, con un espesor de 10m, hacia la base de los depósitos se reconocen unas gravas predominantemente mal gradadas con un espesor de 4 a 4,5m compuestos por partículas de cuarzo, calcita y esquistos.

Los problemas que afectan dicha terraza son los siguientes:

- Se verifico la existencia de un deslizamiento sobre el talud suprayacente al estacionamiento, frente al edificio 10K, el talud supera los 15m en altura vertical, es posible apreciar vestigios de enfagados.
- Es observable en el área posterior al edificio 10H , una grieta de distensión o tracción apreciándose el movimiento descendente del talud infrayacente con una longitud cercana a los 45m, dicho talud presenta una altura vertical que supera los 18ms, teniendo cubrimiento del talud con vetiver, el cual se presenta en muy malas condiciones.
- Las torrenteras de esta terraza se encuentran en su mayoría inconclusa y no representan un control seguro para el drenaje de las aguas.
- Frente al edificio 10D se observó una pared frisada en concreto, el cual no posee controles de drenajes y evidenciándose fracturas laterales, es importante resaltar que muchos apartamentos presentan ampliaciones con paredes ubicadas sobre los ejes de obras de drenajes originales del urbanismo.

Foto 13. Separación del brocal



Tomado por Zurita (2010)

Foto 14. Deslizamiento del material localizado en los taludes



Tomado por Zurita (2010)

V.3.11. TERRAZA 11

Esta terraza posee un área 126,9 m de largo por 55m de ancho, con una altura medida desde la base del talud de 8m a 12m, con una dirección aproximada de S15°W.

A partir de la superficie del terreno se observa un espesor de relleno limoso-arcilloso de color marrón a amarillento con presencia de guijarros de cuarzos, olor terroso y textura grumosa, con tamaño de grano mediano y forma de subangular a subredondeados de baja plasticidad, no reaccionando con HCL, abarcando los primeros 4m, seguidamente se encuentra un nivel de arenas limosa predominantemente mal gradadas de grano fino a medio y de color marrón claro, con una compacidad que va de suelta a muy densa, presentando mica moscovita, cuarzo, esquisto y otros fragmentos de rocas, con un espesor de 5m, hacia la base de los depósitos se aprecian unas gravas predominantemente mal gradadas con un espesor de 3m compuestos por partículas de cuarzo, calcita y esquistos.

V.3.12. TERRAZA 12

Este sector posee un área de 109,7m de largo por 41m de ancho, con una altura medida desde la base del talud de 3 a 6m, con una dirección aproximada de S26°W.

A partir de la superficie del terreno se observa un espesor de relleno limoso-arcilloso de color marrón claro, con presencia de guijarros de cuarzos, olor terroso y textura

grumosa, con tamaño de grano mediano y forma de subangular a subredondeados de baja plasticidad, no reaccionando con HCL, abarcando los primeros 2m, seguidamente se encuentra un nivel de arenas limosas predominantemente mal gradadas de grano fino a medio y de color marrón claro, con una compacidad que va de suelta a muy densa, presentando mica moscovita, cuarzo, esquisto y otros fragmentos de rocas, con un espesor de 3m, hacia la base de los depósitos se aprecian unas gravas predominantemente mal gradadas con un espesor de 1m compuestos por partículas de cuarzo, calcita y esquistos.

V.3.13. TERRAZA 13

Este sector posee un área de 154m de largo por 58m de ancho, con una altura medida desde la base del talud de 30,5m a 33m., con una dirección aproximada de S35°W.

A partir de la superficie del terreno se observa un espesor de relleno limoso-arcilloso de color marrón claro, con presencia de guijarros de cuarzos, olor terroso y textura grumosa, con tamaño de grano mediano y forma de subangular a subredondeados de baja plasticidad, no reaccionando con HCL, abarcando los primeros 10m, seguidamente se encuentra un nivel de arenas limosas predominantemente mal gradadas de grano fino a medio y de color marrón claro, con una compacidad que va de suelta a muy densa, presentando mica moscovita, cuarzo, esquisto y otros fragmentos de rocas, con un espesor de 17m, hacia la base de los depósitos se aprecian unas gravas predominantemente mal gradadas con un espesor de 8m compuestos por partículas de cuarzo, calcita y esquistos.

Los problemas que afectan dicha terraza son los siguientes:

- Se observan deslizamientos en el talud posterior a la Terraza 13, en el sitio se observan obras de recubrimiento de talud mediante medidas agronómicas específicamente vetiver, estos taludes, superan los 13m de Altura vertical.

CAPITULO VI

VI. METODOLOGÍA

Las propiedades físicas de la roca intacta y de los suelos son determinadas mediante pruebas de laboratorio. Para ello, se realizan una serie de ensayos que permiten definir los parámetros característicos de cada espécimen de roca o de suelo y de esta manera, poder tener una interpretación del comportamiento del macizo rocoso.

VI.1. METODOLOGÍA DE CAMPO

La metodología empleada se realizó sobre la base del monitoreo de los deslizamientos que estaban en progreso, y de los taludes con probabilidades de ocurrencia de estos; así se evaluaron las dos épocas climáticas existente en la zona, una seca y una de lluvia, durante 20 años, con el objetivo de determinar la influencia de las precipitaciones sobre los taludes, se determinaron los niveles de agua en las grietas de tracción formadas en los taludes y el progreso de los movimientos y la dirección de los mismos.

Se realiza un estudio integral del agrietamiento, y las características de su superficie, relleno, humedad, espaciamiento, continuidad, etc., conjuntamente con el muestreo en roca y suelo para la determinación de las propiedades físico mecánica, para ello se toman 8 muestras de suelo por terraza, de aproximadamente 1,5kg a una profundidad de 50cm, para así evitar la corteza vegetal, el muestreo se realiza tratando de abarcar todos los taludes, tomándose espécimen en los extremos y en el centro, dependiendo esto del tamaño del talud.

A partir del monitoreo y las características de los taludes se determinaron los factores naturales y antrópicos que provocan los movimientos o condicionan la inestabilidad y los posibles mecanismos de fallo modelando la relación de la posición de los taludes con respecto a los sistemas de grietas, se mide el área total de las terrazas, se mide la pendiente y se calcula la altura vertical de cada talud, realizándose hasta 4 mediciones para mayor seguridad en las mismas.

Todo lo anterior permitió seleccionar el método de cálculo mas adecuado en dependencia del tipo de movimiento y usando las características de las discontinuidades y

las propiedades físico – mecánicas, fueron aplicadas las clasificaciones geomecánicas del macizo rocoso para conocer la calidad del mismo.

El siguiente diagnóstico fue aplicado a cada talud:

Reconocimiento visual del mismo, situación geológica, características, daños observados, sistemas de protección.

Mediciones de la orientación e inclinación del talud.

Toma de muestras, estudio de las propiedades físicas, acuíferas y mecánicas de los suelos y rocas.

Estudio del agrietamiento según las características y magnitud del sistema roca – suelo, midiendo dirección, buzamiento, rugosidad, apertura, grado de meteorización, continuidad, separación y otros indicadores del medio geológico.

Determinación de la calidad del sistema roca – suelo con el empleo del método Bieniawski.

Toma de fotos.

Factores de ajuste por orientación de grietas

Cálculo de la estabilidad de taludes aplicando los criterios de rotura.

VI.2. ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE ROCAS

A continuación se presentan las características para la elaboración de los ensayos en rocas como son los de: Carga Puntual y Corte Directo, siguiendo las normas suscritas por la I.S.R.M. (INTERNATIONAL SOCIETY OF ROCK MECHANICS, por sus siglas en inglés), adaptadas en el año de 1995 por el Ing. Pietro Di Marco, según los equipos pertenecientes al Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, de la Universidad Central de Venezuela.

PREPARACION DE LAS MUESTRAS

Después de la identificación y descripción litológica de cada uno de las muestras a ensayar, se procedió a la preparación de estas, siendo necesaria la utilización de un *Vernier* para medir las diferentes dimensiones de la muestra, y de *Sierras de Diamante* para cortar las muestras en las dimensiones adecuadas.

Para realizar el ensayo de *Corte Directo* se procedió a colocar *capping* en la muestra, utilizando para ello *Yeso Dental* debido a que este posee la resistencia suficiente para

soportar las presiones aplicadas por la prensa de carga, dicho yeso permite la aplicación uniforme de la carga por toda la superficie correspondiente, teniendo que quedar lo más paralelo posible a la placa de carga. Este paralelismo se garantiza mediante el uso de un Nivel.

VI.2.1. ENSAYO DE CARGA PUNTUAL (ASTM D 5731-02, 2002)

Consiste en aplicar una carga concentrada sobre una muestra de roca, mediante la utilización de un par de puntas cónicas en la dirección de su menor dimensión, hasta producir la ruptura de la muestra, con el fin de determinar un Índice de Resistencia a Carga Puntual, I_s (50) y el Índice de Anisotropía, I_a (50), así como también la resistencia a la compresión sin confinar de núcleos o muestras irregulares de roca. (ASTM D 5731 – 02, 2002), pudiendo establecerse correlaciones con la resistencia a la compresión y a la tensión uniaxial.

El valor I_s (50) puede ser determinado por las formulas:

$$I_s = P / D_e^2$$

$$I_a (50) = I_s \times f$$

$$F = (D_e/50)^{0,45}$$

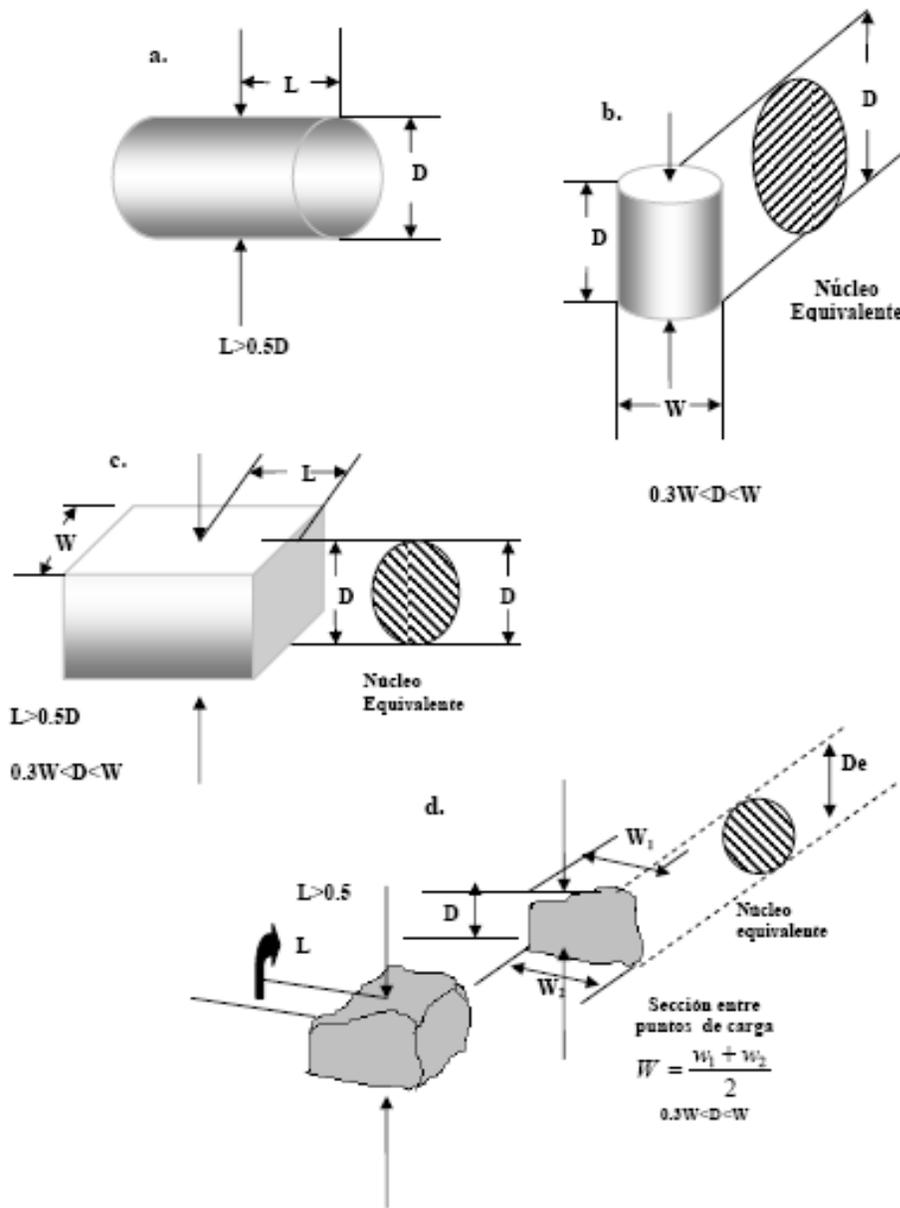
Siendo P la carga de falla, D_e es el diámetro equivalente a la muestra, f es el factor de corrección del tamaño.

VI.2.1.1. SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS

Es necesaria la obtención de un número suficiente de muestras (10 a 20) de la misma litología, que cumplan con los requisitos de tamaño y forma para los diferentes tipos de ensayos.

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.

Figura 12. Requerimientos geométricos para el ensayo de Carga Puntual: A.-Diametral, B.- Axial, C.- Bloque, D.- Bloque Irregular



Fuente: De Marco, 1995

VI.2.1.2. APARATOS Y EQUIPOS NECESARIOS

El equipo necesario para realizar los ensayos (Foto 15 y figura 7), consiste en un sistema de carga (placas de carga cónicas, bomba y gatos 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 los siguientes lineamientos:

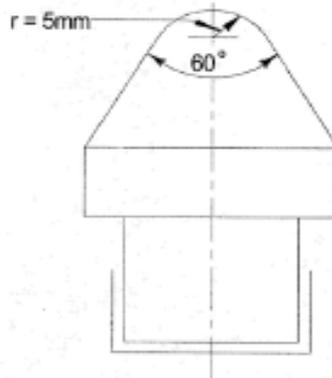
El sistema de carga debe ajustarse para ensayar muestras de roca de un tamaño que varia entre 2,5cm a 10cm preferiblemente.

La capacidad de carga debe ser suficiente para romper desde las muestras mas pequeñas hasta las más grandes y resistente, siendo la capacidad de 5000kg suficiente para las dimensiones utilizadas.

La construcción de la máquina debe realizarse de manera que no permita distorsiones durante la aplicación de cargas de fallas sucesivas, tomando en cuenta que las puntas cónicas se mantengan coaxiales en un rango de $\pm 0.2\text{mm}$ durante el ensayo.

Las placas de carga deben tener forma cónica (60°), truncada esféricamente ($r=5\text{mm}$) según se ilustra en la figura 6. Deben estar construidas de material suficientemente duro (tungsteno o acero), para que no se dañe durante el ensayo.

Figura 13. Equipo de Carga Puntual, Detalle de las placas de carga cónicas.



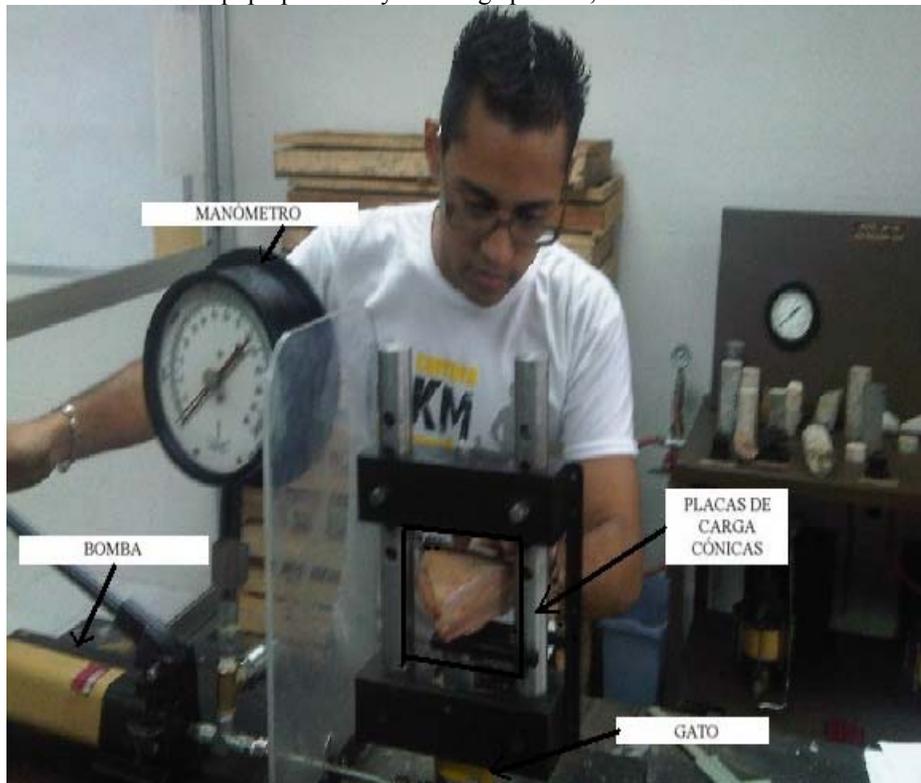
Fuente: De Marco, 1995

El sistema para la medida de carga (manómetro, celda de carga o transductor), debe permitir la determinación de la carga (P) requerida para la rotura de la muestra con una precisión de $\pm 2 \% P$. 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.

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

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.

Foto 15. Equipo para ensayo de carga puntual, modelo PTL-10



Tomado por Zurita (2010)

VI.2.1.3. PROCEDIMIENTO

VI.2.1.3.1. ENSAYO DE BLOQUES Y MUESTRAS IRREGULARES

Se realiza con bloques o trozos de roca de 50 ± 35 mm de tamaño y con la forma ilustrada en la figura 6 respectivamente. La relación W/D debe estar ente 0.3 y 1.0; preferiblemente cerca de 1.0. La distancia (L) debe ser por lo menos 0.5 W.

Insertar el espécimen en la máquina de carga y aproximar las puntas cónicas hasta hacer contacto en una línea que coincida con el eje menor de la muestra, lejos de sus extremos y esquinas (Figuras 6).

Registrar la distancia ($D \pm 2 \%$) y el ancho menor de muestra ($W \pm 5 \%$) perpendicular a la dirección de carga. Si el ancho no es uniforme, se promediará el valor de la distancia (W).

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

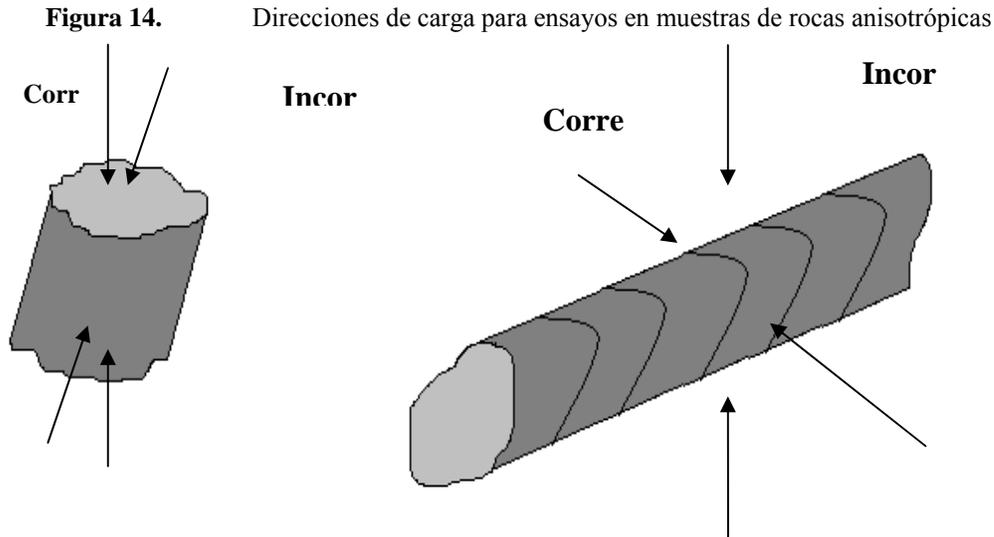
En rocas duras el registro de la distancia (D) será suficiente para el cálculo del Is. Sin embargo, en muestras débiles, las puntas de carga pueden penetrar o marcar la muestra, por lo que deberá registrarse la distancia (D') en el momento de la falla. Algunos autores recomiendan tomar la medida (W)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

Rocas anisotrópicas: Para las rocas estratificadas, foliadas o que presenten otras formas observables de anisotropía (Como las muestras tomadas en la Urb. la Quinta), deben ser ensayadas en las direcciones que presenten la mínima y la máxima resistencia, que generalmente suelen ser paralela y perpendicular a los planos de discontinuidad.

Los mejores resultados se obtienen en muestras de rocas cuyos ejes sean perpendiculares a los planos de discontinuidad. En cualquier caso, deberán preferirse aquellos en los cuales el ángulo entre su eje y la normal a los planos de debilidad no exceda los 30° . 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 (Figura 8).



Fuente: De Marco, 1995

Reporte de resultados: Los resultados de cada tipo de ensayo (diametral, axial, bloque irregular, paralelo y perpendicular a los planos de debilidad), deben ser tabulados separadamente en un reporte que debe incluir la siguiente información para cada muestra ensayada:

Número de la muestra, proveniencia, tipo de roca, grado de meteorización, tipo y orientación de los planos de anisotropía o de debilidad.

Listado de valores obtenidos para P , D , I_s e $I_s(50)$, y de W , De , De^2 y F de ser necesario.

Dirección de la carga: Paralela ($//$) o perpendicular (\perp) a los planos de anisotropía, Valores promedio de $I_s(50)$.

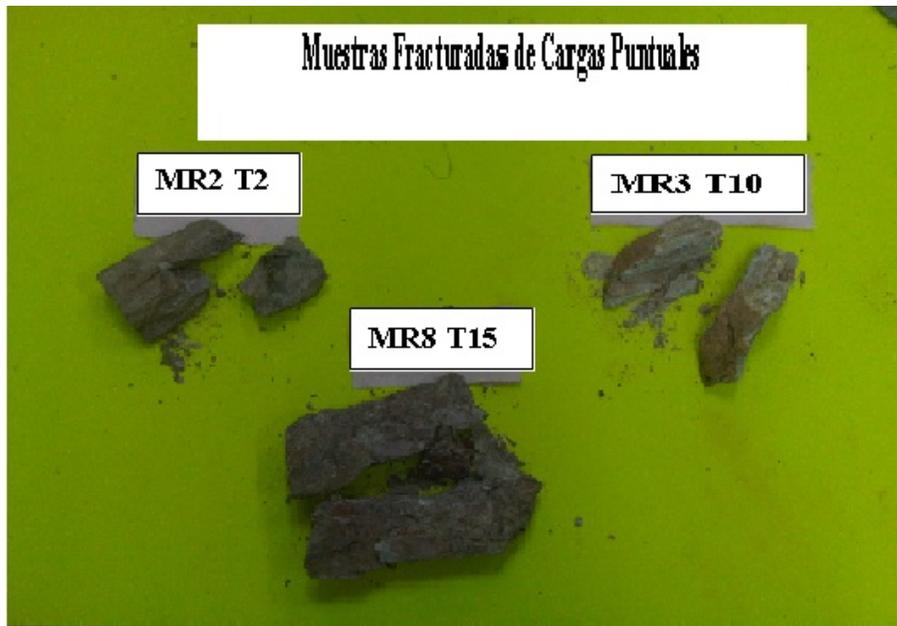
Para rocas anisotrópicas se debe indicar por separado los valores obtenidos para cada una de las condiciones del ensayo ($//$, \perp) y el correspondiente índice de anisotropía (I_a).

Los resultados pueden ser utilizados para estimar la resistencia a la compresión uniaxial para la mayoría de los tipos de roca, mediante la siguiente relación aproximada:

$$C_o = 20 \text{ a } 25 I_s(50) \text{ (MPa)}$$

Sin embargo, se han obtenido relaciones que varían entre 15 y 50 especialmente en rocas anisotrópicas, por lo que la tendencia es a utilizar directamente el valor de I_s (50) para la clasificación geomecánica.

Figura 15. Muestras Fracturadas de cargas puntuales.



Tomado por: Zurita (2010)

VI.2.2. ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN DISCONTINUIDADES

VI.2.2.1. ALCANCE DEL ENSAYO

Determinar la resistencia al corte pico y residual a través de discontinuidades contenidas en bloques o núcleos de roca, en función de la carga normal aplicada sobre el plano.

Los resultados de estos tipos de ensayos se usan en los análisis de equilibrio límite para resolver problemas de estabilidad de taludes y estabilidad de fundaciones.

VI.2.2.2. EQUIPOS NECESARIOS

Para la preparación de las muestras es necesario:

- Sierra de diamante, cincel.
- Alambre o cinta adhesiva para mantener los planos de la discontinuidad unidos durante el montaje de la muestra.
- Moldes desarmables para la montura de las muestras.

- Cemento, yeso dental, el cual posee una resistencia a la compresión de 400 Kg/cm².

Figura 16. Yeso dental, el cual es usado como material encapsulante



Tomada por Solórzano, 2010

Sistema para aplicación de carga normal, cuyo diseño nos permite asegurar que dicha carga sea uniformemente distribuida sobre el plano a ensayar y la fuerza resultante debe actuar normal al plano de corte pasando a través del centro del área, manteniéndose constante con una tolerancia del 2% del valor deseado.

Sistema para aplicar fuerza de corte, preferiblemente en dos sentidos, el cual es diseñado de manera que la carga sea distribuida uniformemente a lo largo de la superficie de discontinuidad y la fuerza de corte resultante actúe en el plano de corte. El equipo nos debe permitir un desplazamiento de corte de por lo menos el 10 % de la longitud del espécimen. Debe poseer un dispositivo de baja fricción (guayas) para asegurar que la resistencia del mecanismo al desplazamiento de corte sea menor que el 1% de la máxima fuerza de corte aplicada en el ensayo.

Uso de manómetros para la medición independiente de las fuerzas normal y de corte con una precisión de $\pm 2\%$ de la máxima fuerza normal alcanzada en este ensayo.

Utilización de flexímetros para la medición de los desplazamientos de corte, normal y lateral. En el primer caso este equipo debe permitir registrar un desplazamiento superior al

10% de la longitud de la muestra, con una precisión de 0.1mm. Para la medición de los desplazamientos normal y lateral, el equipo debe permitir un desplazamiento de 0.05mm.

Uso de Vernier, cronómetro e implementos para la preparación de muestras.

Foto 16. Esquema del equipo de Corte Directo,



Tomada por Solórzano, 2010.

VI.2.2.3. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

El bloque de roca que contenga el plano de discontinuidad a ensayar, debe obtenerse por métodos que eviten en lo posible la perturbación de la muestra, en nuestro caso estas muestras se encuentran en superficie, las dimensiones de la muestra deben ser de pequeñas a medianas, siempre y cuando nos permita su acomodo en el molde de montaje y un encapsulamiento adecuado (Figura11). Se recomienda el uso de muestras lo mas cuadrada posible con un área de corte mínima de 2500 mm^2 y una altura de 40mm.

Durante el montaje, la integridad mecánica de las muestras debe asegurarse, manteniendo en posición y apretadas ambas caras de la discontinuidad con alambre o cinta adhesiva, que serán cortados justo antes de iniciar el ensayo.

Figura 17. Posición de la muestra en la caja de corte



Fuente: De Marco, 1995

Se debe colocar la muestra en el molde inferior de manera que la superficie de discontinuidad quede centrada, orientada horizontalmente y sobresalga unos 5mm por encima del molde (Figura 15). El espesor de empotramiento de cada parte de la muestra en el material de encapsulamiento será de por lo menos el 20 % de la longitud del bloque ensayado y nunca menor de 10mm.

Verter en el molde el yeso bucal, hasta alcanzar su tope, y esperar el fraguado.

Preparar el molde para la segunda mitad de la muestra, agregar arena de grano fino tratando de cubrir la discontinuidad, dejando aproximadamente 1cm de espesor. Todo esto a fin de que esta se encuentre libre de obstáculos al momento de realizar el ensayo.

Se debe colocar (en forma invertida) el molde con la primera parte de la muestra (ya fija), sobre el segundo molde de manera que la porción de muestra restante, quede embebida en el material de encapsulamiento (yeso bucal), según las mismas indicaciones que las especificadas para la primera porción.

Esperar el fraguado, desmontar cuidadosamente el espécimen de los moldes, identificar la muestra e indicar la dirección de corte en el material de fijación.

Foto 17. Molde con el espécimen



Tomada por Zurita (2010)

VI.2.2.4. PROCEDIMIENTO

Colocar la muestra en la base inferior de la caja de corte, siempre orientada según la indicación correspondiente y cubrir con la parte superior. Colocar los dispositivos para aplicación de la carga (cables, mangueras hidráulicas).

Cortar la cinta adhesiva y/u alambres colocados para sujetar las dos mitades de la muestra en posición.

Colocar los flexímetros para medición de las deformaciones normal, de corte y lateral.

Aplicar la carga normal hasta el valor especificado para el ensayo y registrar el desplazamiento normal. Las muestras húmedas o con relleno en el plano de corte, deberán someterse a una etapa de consolidación la cual se considerará completa cuando la variación en el desplazamiento normal sea inferior de 0.05mm en 10 min.

Aplicar carga de corte en forma continua, con un incremento de esfuerzos constante (del orden de 0.25 kg/cm^2) registrando los desplazamientos para cada incremento, hasta alcanzar la resistencia pico. (Deben tomarse por lo menos 10 lecturas antes de la rotura). La velocidad de aplicación de la carga debe ser tal que permita realizar las lecturas cómodamente y no debe ser superior a 0.1mm/min en esta etapa. Esta velocidad puede ser

incrementada a unos 0.5mm/min entre lecturas, siempre que el valor de la resistencia pueda ser adecuadamente registrado.

Luego de alcanzar la resistencia pico, las lecturas pueden ser tomadas en incrementos que pueden variar entre 0.5 y 5mm de desplazamiento de corte, seleccionando el valor más conveniente para la definición adecuada de la curva esfuerzo-desplazamiento. La velocidad de los desplazamientos de corte, en esta fase del ensayo, será de 0.5 a 1 mm/min.

Para establecer la resistencia residual, se debe continuar con las lecturas hasta alcanzar por lo menos 1 cm de desplazamiento de corte. En este intervalo se registrarán 4 mediciones, las cuales no deben mostrar una variación mayor a 5 % en el valor de resistencia cortante, para satisfacer la condición residual.

Habiendo establecido la resistencia residual, el esfuerzo normal puede ser incrementado o reducido y puede continuarse el corte para obtener los valores de resistencia residual para diferentes esfuerzos normales. Para poder alcanzar el desplazamiento necesario, puede ser necesario tener que invertir la dirección de corte o regresar la muestra a su posición inicial, sin embargo está práctica no es conveniente. Es recomendable, el uso de muestras diferentes para la determinación de resistencia pico y residual para cada esfuerzo normal aplicado.

Una vez finalizado el ensayo se debe retirar los flexímetros, descargar los gatos y desmontar la caja de corte.

Retirar la muestra, exponer el plano de corte y describirlo detalladamente. Determinar el área de la superficie de corte tomando sus dimensiones con una aproximación de 0.1mm.

Se recomienda realizar por lo menos tres ensayos para la misma discontinuidad, ensayando cada espécimen a un esfuerzo normal diferente, pero constante.

Foto 18. Muestra después de realizado el ensayo de tracción directa



Tomada por Solórzano (2010)

VI.2.2.5. CÁLCULOS Y GRÁFICOS

Calcular el esfuerzo normal y de corte, para cada una de las lecturas efectuadas, de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$\text{Esfuerzo Normal } \sigma_n = \frac{P_n}{A} \text{ [Kg/cm}^2 \text{ o N/mm}^2 \text{ (MPa)]}$$

$$\text{Esfuerzo de corte } \tau = \frac{P_c}{A} \text{ [Kg/cm}^2 \text{ o N/mm}^2 \text{ (MPa)]}$$

Donde:

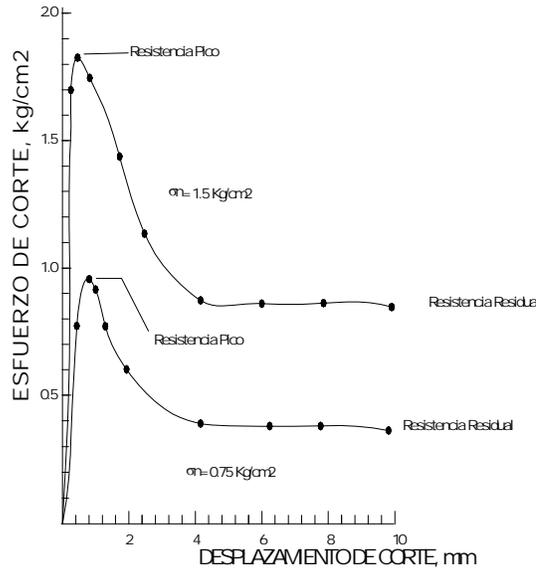
P_n = Fuerza Normal aplicada en Kg o N.

P_c = Fuerza de corte aplicada en Kg o N.

A = Área de la superficie de corte en cm^2 ó mm^2

Graficar para cada muestra la curva esfuerzo de corte vs. Desplazamiento de corte, indicando el esfuerzo normal aplicado, y los valores de resistencia pico y residual (Figura 12).

Figura 18. Curva típica esfuerzo de corte-desplazamiento, en planos de foliación de esquistos cuarzo-micáceo-calcáreo de la Formación Las Mercedes, Caracas

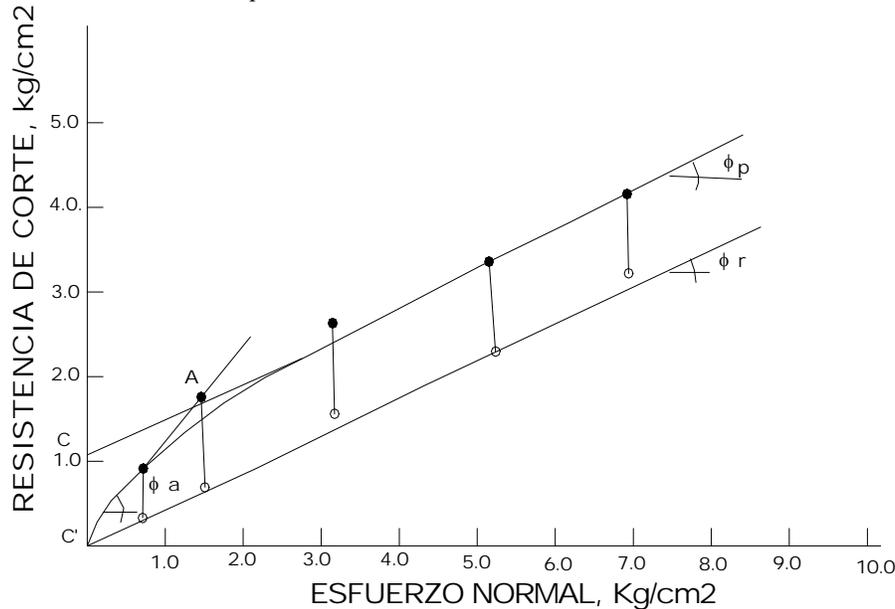


Fuente: De Marco (1995)

Graficar para varias muestras de la misma discontinuidad, los valores de las presiones normales aplicadas, en el eje de las abscisas y sus correspondientes valores de resistencia al corte pico y residual, en el eje de las ordenadas.

Las envolventes de resistencia pueden ser obtenidas, ajustando una curva a los puntos graficados anteriormente. Por consideraciones prácticas es aconsejable trazar una línea recta entre los puntos más relevantes o varias líneas rectas si fuera el caso (Figura 13). Cada línea se caracteriza calculando su gradiente (m) y su intercepto en el eje de las ordenadas (b).

Figura 19. Representación del ensayo de corte directo para varios ensayos realizados a través de planos de foliación de esquisto cuarzo-micáceo-calcareo de la formación las mercedes, caracas



Fuente De Marco (1995)

Determine, de acuerdo a las envolventes trazadas, los parámetros de resistencia al corte ϕ_r , ϕ_a , ϕ_p , c' y c , según se muestra en la figura y donde:

ϕ_r : ángulo de fricción residual.

ϕ_a : ángulo de fricción para bajos esfuerzos normales, influenciado por la rugosidad (i) de la discontinuidad. $\phi_a \approx \phi_r + i$.

ϕ_p : ángulo de fricción para niveles de esfuerzos normales superiores a σ_a .

c' : intercepto de cohesión para la curva de resistencia pico (puede ser cero).

c : cohesión aparente para los niveles de esfuerzos correspondientes a ϕ_p .

VI. 3. ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS

VI.3.1. CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D-2216-98)

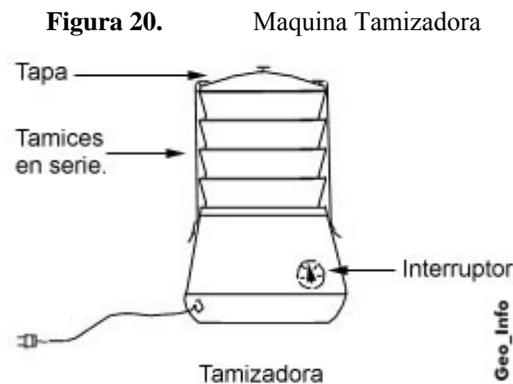
Permite determinar el porcentaje de agua contenido en la muestra. Consiste en el pesaje de la muestra antes y después de secar en el horno por 16 horas a 110° C, el porcentaje de pérdida de peso corresponde al porcentaje de agua contenido en la muestra.

VI.3.2. GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO O POR LAVADO (ASTM C-136-96)

Los granos que conforman el suelo tienen diferente tamaño, variando desde los grandes que son los que se pueden tomar fácilmente con las manos, hasta los granos más pequeños, que son los que no se pueden ver con un microscopio.

Los Análisis Granulométricos se realizaran mediante ensayos en el laboratorio con tamices de diferente numeración, dependiendo de la separación de los cuadros de la maya, los granos que pasen o se queden en el tamiz tienen sus características ya determinadas. Para el ensayo o el análisis de granos gruesos será muy recomendado el método del Tamiz; pero cuando se trata de granos finos este no es muy preciso, porque la muestra suele pasar por una maya fina.

Dicho ensayo consiste en separar y clasificar por tamaños las partículas que componen el material, determinando el porcentaje del peso total, la cantidad de granos de distintos tamaños a través de la utilización de tamices, esto se lleva a cabo pesando la muestra seca y vertiéndola sobre una torre de tamices organizados de abajo hacia arriba con diámetros cada vez más grandes como se observa en la Figura 14 Luego se agita manual o mecánicamente durante no más de 10 minutos.



Fuente: ISRM (1981)

Finalmente el retenido en cada tamiz es pesado individualmente, donde el total del pesaje acumulado final debe ser igual o presentar menos de 0,3% de diferencia al pesaje inicial.

VI.3.3. ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SUELOS

VI.3.3.1. GENERALIDADES

El tamaño de los granos de un suelo se refiere a los diámetros de las partículas que lo forman, cuando es indivisible bajo la acción de una fuerza moderada. Las partículas mayores son las que se pueden mover con las manos, mientras que las más finas por ser tan pequeñas solo pueden ser observadas con un microscopio, de igual forma constituye unos de los fundamentos teóricos en los que se basan los diferentes sistemas de clasificación de los suelos, como el S.U.C.S (*Sistema Unificado de Clasificación de Suelos*).

VI.3.3.2. OBJETIVOS

Determinar la cantidad en % de diversos tamaños que constituyen el suelo, en cuanto al total de la muestra utilizada.

Verificar si el suelo puede ser utilizado para la construcción de proyectos.

Conocer la utilización de los instrumentos del laboratorio.

Conocer y definir ciertas características importantes del suelo como son: La Permeabilidad, Cohesión, altura de ascenso capilar, y facilidad de drenaje.

VI.3.3.3. METODOS DE ENSAYO

Existen diferentes métodos, dependiendo de la mayor proporción de tamaños que existen en la muestra que se va a analizar. Para las partículas Gruesas, el procedimiento utilizado es el Método Mecánico o Granulometría por Tamizado.

VI.3.3.3.1. GRANULOMETRIA POR TAMIZADO

Es un proceso mecánico mediante el cual se separan las partículas de un suelo en sus diferentes tamaños, denominando a la fracción menor (Tamiz No 200) como limo, Arcilla y Coloide, se lleva a cabo utilizando tamices en orden decreciente. La cantidad de suelo retenido indica el tamaño de la muestra, esto solo separa una porción de suelo entre dos tamaños.

VI.3.3.3.1.2. EQUIPOS

Tamices (3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/5", ¼", No 4, No 10, No 40, No 60, No 100, No200)

Balanza con capacidad de 20Kg

Horno eléctrico (temperatura 105 ± 5)

Bandejas, agitador de vidrio, brochas de cerda.

Vaso precipitado.

VI.3.3.3.1.3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

VI.3.3.3.1.3.1.FRACCION GRANULAR GRUESA

Primero que todo la fracción granular gruesa se pesa en la balanza y el peso se anota en la hoja de registro, luego se lleva a cabo el tamizado para separar las diferentes partículas 3", 2", 1 ½", 1", ¾", 3/8", ¼", y No 4, comenzando en orden decreciente, teniendo en cuenta de no mezclar las partículas tamizadas. Al mismo tiempo se coloca la tara en la balanza de 20Kg de capacidad y 1gr de sensibilidad y se determina el peso de cada fracción retenida. Se debe verificar que la suma de los pesos retenidos en cada tamiz de igual al peso de la Fracción Granular gruesa, con una tolerancia de 0.5%.

VI.3.3.3.1.3.2.FRACCION GRANULAR FINA

Se toma todo el material pasante en el tamiz No 4 (Ba), se pesa en la balanza de 20kg y se anota en la hoja se registro, luego se vierte la muestra en el Tamiz No 200, teniendo el cuidado de no perder el material, posteriormente se eliminan las partículas inferiores al Tamiz No 200 (limo, arcilla y coloides) lavando el material, hasta que el agua salga limpia y clara. No se debe remover el material con las manos dentro del tamiz, todo el material retenido en el Tamiz No 200 será arena, ya que los finos fueron lavados, esto se coloca en un recipiente, teniendo en cuenta de no dejar material adherido en el tamiz luego se pasa el material a una escudilla de 600 ml, haciendo uso del frasco lavador, se decanta el agua y se seca la muestra en el horno a una temperatura de 105±5 C por 18 horas aproximadamente, luego se deja enfriar y se separa por medio de tamices No 10, No 40, No 60, No 200 y se

pesan las fracciones retenidas en cada uno de los tamices para anotar los resultados en la hoja de registro

VI.3.3.3.1.3.2.1. CALCULOS

Se calcula el peso total de la muestra donde, (T): peso total de la muestra (T), (A): Fracción Granular Gruesa (A) y (Ba): Fracción Granular Fina

$$T = A + Ba$$

Se determina el Peso pasante del tamiz No 200

Peso pasa No 200= Bb - "(peso retenidos tamices No 10, 40, 60, 200)

Se calcula el peso retenido en los tamices inferiores. Al tamiz No 4 con respecto a (Ba)

Peso retenido. En Tamiz < No4= $\frac{Ba}{100}$ x Peso retenido. En dicho Tamiz Bb

Determinar el % retenido en cada tamiz, en cuanto a (T):

%retenido parcial Tamiz X= $\frac{100}{T}$ X Peso ret. Tamiz X

Calcula el % retenido acumulado:

% ret. Acum. Tamiz X =% ret. Acum tamiz anterior + % ret parcial tamiz X

Obtener % pasante de cada tamiz:

% Pasante Tamiz X= 100 - % ret. Acumul tamiz X

Se construye la curva granulométrica

Se determina la Gradación del suelo, mediante los Coeficientes de Uniformidad y Curvatura.

VI.3.3. DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D-4318-00)

Modificado de González de Vallejo (2002), Los límites de Atterberg o límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. Así un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido. La arcilla, por ejemplo al agregarle agua, pasa gradualmente del estado sólido al estado plástico y finalmente al estado líquido.

El contenido de agua con que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades, para el

cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin romperse (plasticidad).

El método usado para medir estos límites de humedad fue ideado por Atterberg a principios de siglo a través de dos ensayos que definen los límites del estado plástico.

Los límites de Atterberg son propiedades índices de los suelos, con que se definen la plasticidad y se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo.

VI.3.3.1. PLASTICIDAD Y LÍMITES DE CONSISTENCIA

Plasticidad es la propiedad que tienen algunos suelos de deformarse sin agrietarse, ni producir rebote elástico.

Los suelos plásticos cambian su consistencia al variar su contenido de agua, de ahí que se puedan determinar sus estados de consistencia. Los estados de consistencia de una masa de suelo plástico en función del cambio de humedad son sólidos, semisólido, líquido y plástico. Estos cambios se dan cuando la humedad en las masas de suelo varía. Para definir las fronteras en esos estados se han realizado muchas investigaciones, siendo las mas conocidas las de Terzaghi y Attergerg.

Para calcular los limites de Atterberg el suelo se tamiza por la malla N°40 y la poción retenida es descartada.

Foto 19. Material preparado en tara, para la realización de los límites Atterberg

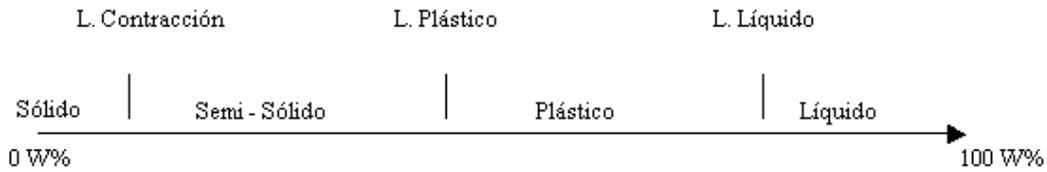


Tomado por Solórzano 2010

La frontera convencional entre los estados semisólido y plástico se llama límite plástico, que se determina alternativamente presionando y enrollando una pequeña porción de suelo plástico hasta un diámetro al cual el pequeño cilindro se desmorona, y no puede continuar siendo presionado ni enrollado. El contenido de agua a que se encuentra se anota como límite plástico.

La frontera entre el estado sólido y semisólido se llama límite de contracción y a la frontera entre el límite plástico y líquido se llama límite líquido y es el contenido de agua que se requiere adicionar a una pequeña cantidad de suelo que se colocará en una copa estándar, y se ranurará con un dispositivo de dimensiones también estándar, sometido a 25 golpes por caída de 10 mm de la copa a razón de 2 golpes/s, en un aparato estándar para límite líquido; la ranura efectuada deberá cerrarse en el fondo de la copa a lo largo de 13 mm.

Figura 21. Limite de Atterberg



Fuente: ISRM (1981)

En los granos gruesos de los suelos, las fuerzas de gravitación predomina fuertemente sobre cualquiera otra fuerza; por ello, todas las partículas gruesas tienen un comportamiento similar.

En los suelos de granos muy finos, sin embargo fuerzas de otros tipos ejercen acción importantísima; ello es debido a que en estos granos, la relación de área a volumen alcanza valores de consideración y fuerzas electromagnéticas desarrolladas en la superficie de los compuestos minerales cobran significación. En general, se estima que esta actividad en la superficie de la partícula individual es fundamental para tamaños menores que dos micras (0,002mm)

Foto 20. Cuchara de Casagrande: Aparato de dimensiones normalizadas, consistente en una copa de bronce que con un sistema de rotación, cae libremente desde 10 mm sobre una base de goma normalizada



Tomada por Zurita (2010)

VI.3.3.1.2. RELACIÓN ENTRE LAS FASES SÓLIDAS Y LIQUIDAS EN UNA ARCILLA

Existen suelos que al ser remoldeados, cambiando su contenido de agua, adoptan una consistencia característica que se ha denominado plástica. Estos suelos han sido llamados arcillas originalmente por los hombres dedicados a la cerámica; la palabra pasó a la mecánica de suelos, en épocas más recientes, con idénticos significados. La plasticidad es en este sentido, una propiedad tan evidente que ha servido de antaño para clasificar suelos en forma puramente descriptiva. Pronto se reconoció que existía una relación específica entre la plasticidad y las propiedades físico - químicas determinantes del comportamiento mecánico de las arcillas. Las investigaciones han probado que la plasticidad de un suelo es debida a su contenido de partículas más finas de forma laminar ya que esta ejerce una influencia importante en la compresibilidad del suelo, mientras que el pequeño tamaño propio de esas partículas hace que la permeabilidad del conjunto sea muy baja.

Otras ramas de la ingeniería han desarrollado otra interpretación del concepto de plasticidad, como es el caso del esfuerzo-deformación de los materiales.

Al tratar de definir en términos simples la plasticidad de un suelo, no resulta suficiente decir que un suelo plástico puede deformarse y remoldearse sin agrietamiento, pues una arena fina y húmeda tiene esas características cuando la deformación se produce lentamente y, sin embargo, no es plástica en un sentido más amplio de la palabra; hay entre el comportamiento de la arcilla y el de la arena en cuestión una importante diferencia: el volumen de la arcilla permanece constante durante la deformación, mientras que el de la arena varía; además, la arena se desmorona en deformación rápida.

VI.3.4.3. ESTADOS DE CONSISTENCIA. LÍMITES DE PLASTICIDAD

Para medir la plasticidad de las arcillas se han desarrollado varios criterios de los cuales se menciona el desarrollado por Atterberg, el cual dijo en primer lugar que la plasticidad no es una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua. Una arcilla muy seca puede tener la consistencia de un ladrillo, con plasticidad nula, y esa misma, con gran contenido de agua, puede presentar las propiedades de un lodo semilíquido o, inclusive, las de una suspensión líquida. Entre ambos extremos, existe un intervalo del contenido de agua en que la arcilla se comporta

plásticamente. En segundo lugar, Atterberg hizo ver que la plasticidad de un suelo exige, para ser expresada en forma conveniente, la utilización de dos parámetros en lugar de uno.

Según su contenido de agua en forma decreciente, un suelo susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia, definido por Atterberg:

Estado líquido, con las propiedades y apariencias de una suspensión.

Estado Semilíquido, con las propiedades de un fluido viscoso.

Estado Plástico, en que el suelo se comporta plásticamente.

Estado semisólido, en el que el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto ha secado.

Foto 21. Realización del Límite Plástico, se define por convención como el contenido de humedad para el cual un cilindro de 3 mm de diámetro comienza a desmoronarse.



Tomado por Solórzano (2010)

Foto 22. Cilindro de 3mm, cuando este comienza a desmoronarse y no puede formarse nuevamente, se determina su humedad. Esto se repite tres veces



Tomada por Zurita 2010.

VI.3.4.4. SELECCIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE PLASTICIDAD

Es importante que las muestras seleccionadas para determinar los límites sean lo más homogéneas que se pueda lograr. A este respecto, ha de tenerse en cuenta, que el aspecto de una arcilla inalterada es muy engañoso; a simple vista puede no presentar la menor indicación de estratificación, ni cambio de color y ello no obstante, su contenido natural de humedad puede variar grandemente en diferentes zonas de la misma muestra extraída del terreno, con correspondientes variaciones apreciables en los límites líquidos.

VI.3.5. ENSAYO DE HIDROMETRÍA (ASTM 422-63-98)

Determina el porcentaje de material tamaño limo y tamaño arcilla, este ensayo se hizo en aquellas muestras que contengan importantes porcentajes de finos tomando una porción de muestra pasante del tamiz # 10 de 50g para un material arcilloso y 100g para un material arenoso.

La muestra se dispersa sumergiéndola en un defloculante (Hexametafosato de sodio) removiéndola y dejándola reposar. Luego se le agrega agua destilada y desmineralizada y se agita durante 1 min, para posteriormente verterla en un cilindro de sedimentación hasta alcanzar 100 ml. Luego se agita la muestra nuevamente por un minuto 60 veces aproximadamente y se comienzan las lecturas con el hidrómetro y el termómetro a los 2; 5;

15; 30; 60; 250 y 1440 min. Finalmente se lava la muestra sobre el tamiz # 200 y se seca en la estufa para determinar el peso del suelo seco para el retenido en este tamiz.

VI.3.6. DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO POR PICNÓMETRO (ASTM D-856-93)

Es la relación entre el peso unitario de las partículas sólidas del suelo y el peso unitario del agua destilada a una temperatura de referencia. El ensayo se lleva a cabo tomando 20 ó 100g para materiales cohesivos o granulares respectivamente y dejándose secar para luego colocar en el picnómetro determinando la masa total y de la muestra, posteriormente se llena de agua el envase y se deja remojar por 12 horas evitando las burbujas de agua atrapada en la solución, luego se completa el aforo con agua destilada a temperatura ambiente para finalmente determinar el peso y temperatura del picnómetro con suelo y agua.

VI.3.6.1. APARATOS USADOS

Picnómetro de 1000 ml.

Foto 23. Picnómetros utilizados



Tomado por. Solórzano, 2010.

Balanza de precisión.

Foto 24. Balanza de precisión



Tomado por. Solórzano, 2010.

Reductor de presión

Foto 25. Reductor de presión



Tomado por. Solórzano, 2010.

Herramientas y accesorios.

Brochas.

Recipiente para la muestra (Tara)

Foto 26. Tara utilizada



Tomado por. Solórzano, 2010.

Embudo.

Termómetro (graduado con división de 0,1°C).

Estufa (105°C).

Secador.

Quemadores.

VI.3.6.2. MATERIALES

Agua destilada o desmineralizada

Solución disolvente de grasas.

Kerosene.

VI.3.6.3. CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO

Limpiar el picnómetro con amoníaco o algún disolvente de grasas, se enjuaga con agua destilada y se deja escurrir, se lava con alcohol y finalmente con éter.

Secar, pesar y registrar la masa del picnómetro vacío.

Llenar con agua destilada a T° ambiente hasta que la parte inferior del menisco coincida con la marca de calibración. Secar el interior del cuello del picnómetro y también el exterior. Pesar y registrar la masa del picnómetro más el agua.

Insertar un termómetro en el agua hasta el centro del picnómetro y determinar con registro la temperatura de calibración.

A partir de la masa del picnómetro más el agua a la temperatura de calibración se debe preparar una tabla de valores de W_{pw} para una serie de temperatura, y realizar un gráfico del peso del picnómetro con agua (W_{pw}) versus temperatura.

Lo anterior se realiza según:

$$W_{pwtx} = J_{wtx} (W_{pwti} - W_{pv}) + W_{pv}$$

J_{wti}

Donde:

W_{pwtx} : Masa del picnómetro mas el agua a una temperatura x dada, (g).

J_{wtx} : Peso especifico del agua a una temperatura x dada, (g/cm^3).

J_{wti} : Peso especifico del agua a temperatura de calibración, según tabla V.9, (g/cm^3).

W_{pwti} : Masa del picnómetro mas el agua a la temperatura de calibración, (g).

W_{pv} : Masa del picnómetro vacío, (g).

Tabla 21. Peso específico del agua según su temperatura

Temperaturas C	Peso Especifico G/cm ³
4	1.0
6	0.999968
8	0.999876
10	0.999728
12	0.39526
14	0.39273
16	0.99897
18	0.99862
20	0.99823
23	0.99756
26	0.99681
29	0.99597

Fuente: Vallejo (2002)

VI.3.6.4. MUESTREO

La muestra de suelo debe ser obtenida de acuerdo con lo indicado por la Especificación Técnica correspondiente en el caso de controles de obra, o lo indicado por el profesional responsable en el caso de una prospección.

VI.3.6.5. TAMAÑO DE LA MUESTRA

La muestra debe tener un tamaño mínimo, referido a su masa seca, de 25g cuando se usa el frasco y de 10g cuando se usa botella con tapón.

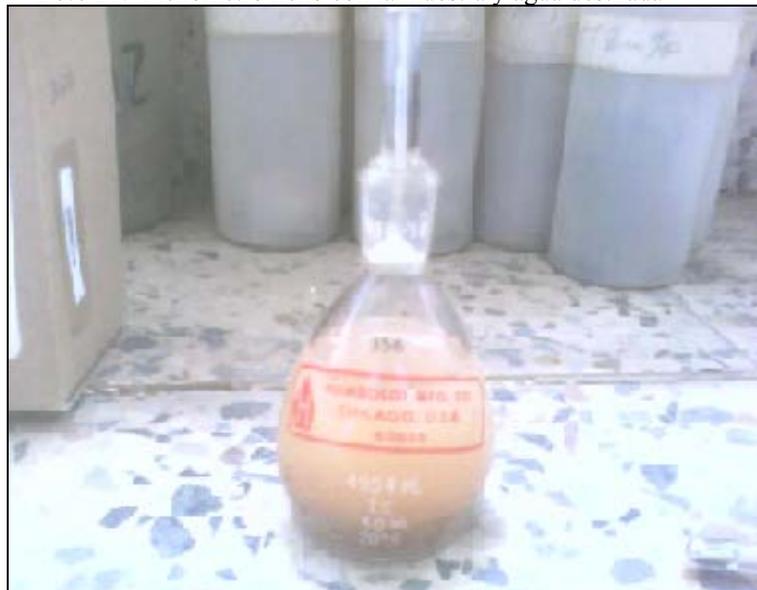
VI.3.6.6. ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA

La muestra de ensayo puede estar con su humedad natural o seca en estufa, la cual se debe saturar en agua destilada por lo menos por 12 horas.

VI.3.6.7. ENSAYO

Se coloca la muestra en el picnómetro cuidando de evitar pérdidas de material cuando ya se ha determinado su masa seca, luego se agrega agua destilada cuidadosamente evitando la formación de burbujas hasta $\frac{3}{4}$ de la capacidad del frasco, o la mitad de la capacidad de la botella, posteriormente se vierte agua solamente hasta $\frac{1}{4}$ del frasco para poder sacar el aire con más comodidad.

Foto 27. Picnómetro lleno con la muestra y agua destilada



Tomado por Solórzano, 2010

Se remueve el aire usando uno de los tres procedimientos que describe la norma. El procedimiento elegido es el de someter el contenido a un vacío parcial (presión de aire igual o menor que 13,3 kpa.), para evitar el burbujeo se aplica un vacío gradual que se aumenta lentamente al máximo, el que se mantuvo durante 15 minutos para conseguir así el aireado completo. El picnómetro debe agitarse suavemente para ayudar a remover el aire.

Se agrega agua destilada hasta llenar el picnómetro, se limpia y seca el exterior con un paño limpio y seco, se determina y registra la masa del picnómetro con la muestra y el agua.

VI.3.6.8. CÁLCULOS DEL ENSAYO

El peso específico de las partículas sólidas menores a 5 mm se calcula de acuerdo a la expresión siguiente:

$$J_s = \frac{W_s}{W_s - (W_{pwm} - W_{pw})} \cdot J_{wtx}$$

Donde:

W_s : Masa seca de la muestra.

W_{pw} : Masa del picnómetro mas agua a la temperatura del ensayo.

W_{pwm} : Masa del picnómetro mas la muestra y el agua a la temperatura del ensayo.

VI.3.6.9. CAUSAS POSIBLES DE ERRORES EN EL ENSAYO

Eliminación incompleta del aire no disuelto.

Mal secado del picnómetro.

Imprecisión en las pesadas, la balanza debe ser la misma en todas las etapas e idénticas a la que se empleó en la calibración.

Temperatura no uniforme del contenido del picnómetro.

Para suelos sin cohesión, pérdida de suelo en el traspaso desde la cápsula donde se pesó el picnómetro.

Para suelos con cohesión, secado incompleto.

VI.4. ENSAYO DE COMPACTACIÓN A ESFUERZO MODIFICADO (ASTM D-1557-00)

Es un proceso que aumenta la densidad seca de un suelo por medios mecánicos, este proceso está acompañado sólo por la expulsión de aire al aplicarse la carga dinámica.

La muestra se compacta en un cilindro de peso conocido en 5 capas dejando caer libremente 56 veces para cada capa un pistón de 18" de diámetro y de 4,5 Kg. de peso en cuatro o cinco moldes diferentes a distintas humedades, posteriormente se pesa la muestra y se determina la densidad húmeda de la muestra, luego se obtiene el porcentaje de humedad.

VI.5. ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Este ensayo permite la determinación de la resistencia al corte de una muestra de suelo, sometida previamente a un proceso de consolidación, cuando se le aplica un esfuerzo de cizalladura o corte directo mientras se permite un drenaje completo de ella. El ensayo se lleva a cabo deformando una muestra a velocidad controlada, cerca a un plano de cizalladura determinado por la configuración del aparato de corte, generalmente se ensayan tres o más especímenes, cada uno bajo una carga normal diferente para determinar su efecto sobre la resistencia al corte y al desplazamiento y las propiedades de resistencia a partir de las envolventes de resistencia de Mohr.

VI.5.1. EQUIPOS

Los equipos utilizados en la elaboración de un ensayo de corte directo son los siguientes:

- Aparato de cizalladura
- Caja de cizalladura
- Bloques permeables (piedras porosas)

VI.5.2. PROCEDIMIENTO

Colocar la caja de cizalladura que contiene el espécimen compactado y los bloques porosos en el soporte y se fija.

Se Conecta y ajusta el sistema de carga de cizalladura de modo que no transmita fuerzas sobre el instrumento de medición de carga.

Se Conecta y ajusta adecuadamente el instrumento de medición de desplazamiento horizontal utilizado para medir los desplazamientos de cizalladura, se realiza una lectura inicial para indicar el desplazamiento cero.

Colocar un bloque poroso húmedo y la placa de transferencia de carga en la parte superior de la muestra en la caja de cizalladura.

Situar el marco de carga de fuerza horizontal en posición y ajustar de modo que la barra de carga quede horizontal.

Aplicar una pequeña carga normal a la muestra y verificar que todos los componentes del sistema de carga estén ajustados y alineados de tal manera que no quede restringido el movimiento de la placa de transferencia de carga en la caja de cizalladura.

Fijar y ajustar los instrumentos de medición y desplazamiento lateral y vertical.

Calcular y registrar la fuerza normal requerida para obtener el esfuerzo normal deseado o el incremento subsiguiente y se aplica el esfuerzo normal deseado agregando las masas apropiadas en el extremo de la palanca o incrementando la presión neumática.

Aplicar la carga normal deseada o los incrementos sucesivos a la muestra y se comienza a registrar las lecturas de la deformación normal vs. el tiempo transcurrido. Para todos los incrementos de carga se verifica que la consolidación primaria ha tenido lugar completamente antes de continuar y se grafica el desplazamiento normal contra el logaritmo del tiempo o contra la raíz cuadrada del tiempo (todo ello en minutos).

Después de que ha tenido lugar la consolidación primaria, se remueve los tornillos de alineamiento o los pines de la caja de cizalladura y se abre el espaciamiento entre las mitades de la caja de cizalladura hasta 0.6 mm utilizando los tornillos de separación.

Aplicar la carga de cizalladura a la muestra.

Se selecciona una velocidad de desplazamiento apropiada y se cizalla la muestra a una velocidad relativamente baja de modo que haya exceso de presión en los poros en el momento de la ruptura.

La siguiente ecuación puede ser utilizada como una guía para determinar el tiempo mínimo requerido desde el principio del ensayo hasta la ruptura.

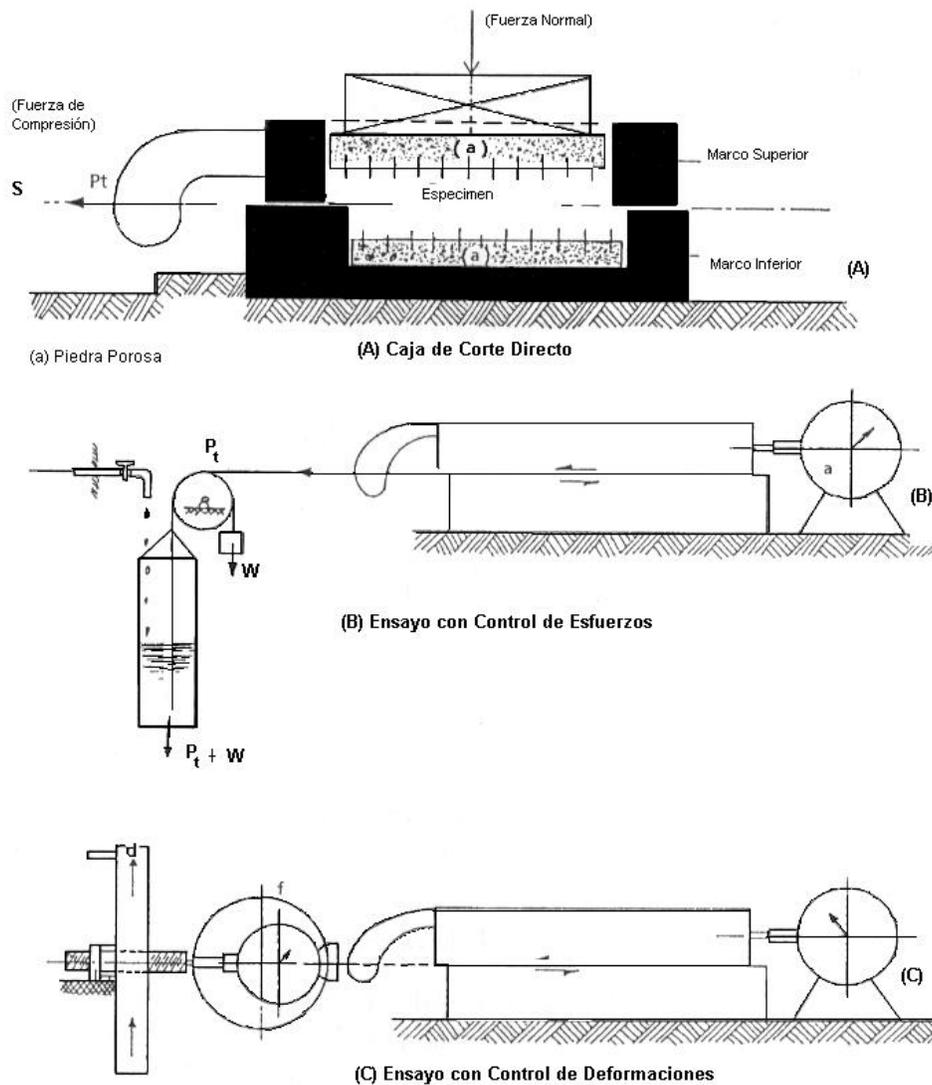
$$T_f = 50T_{50}$$

Donde:

T_f [min]: tiempo total estimado hasta la ruptura, minutos.

T_{50} [min]: tiempo requerido para que la muestra alcance el 50% de la consolidación bajo el esfuerzo normal especificado.

Figura 22. Caja de cizalladura



Fuente: ISRM (1981)

Determinar el desplazamiento apropiado a partir de la siguiente ecuación:

$$D_r = D_f / T_f$$

Donde:

Dr: velocidad de desplazamiento

Df: desplazamiento horizontal estimado en el momento de la ruptura (mm).

Tf: tiempo total estimado hasta la ruptura (min).

Retirar la muestra de la caja de cizalladura y determinar su contenido de humedad de acuerdo con el método de la Norma D2216.

Calcular y grafique el esfuerzo de cizalladura nominal vs el desplazamiento lateral relativo.

VI.6. DENSIDAD IN SITU (METODO DEL CONO DE ARENA)

Este ensayo permite obtener la densidad del terreno y verificar los resultados obtenidos en faenas de compactación de suelos, en las que existen especificaciones en cuanto a la humedad y la densidad.

Representa este ensayo una forma indirecta de obtener el volumen del agujero utilizando para ello, una arena estandarizada compuesta por partículas cuarzosas, sanas, no cementadas, de granulometría redondeada y comprendida entre las mallas N° 10 ASTM (2,0 mm.) y N° 35 ASTM (0,5 mm.).

VI.6.1 EQUIPOS

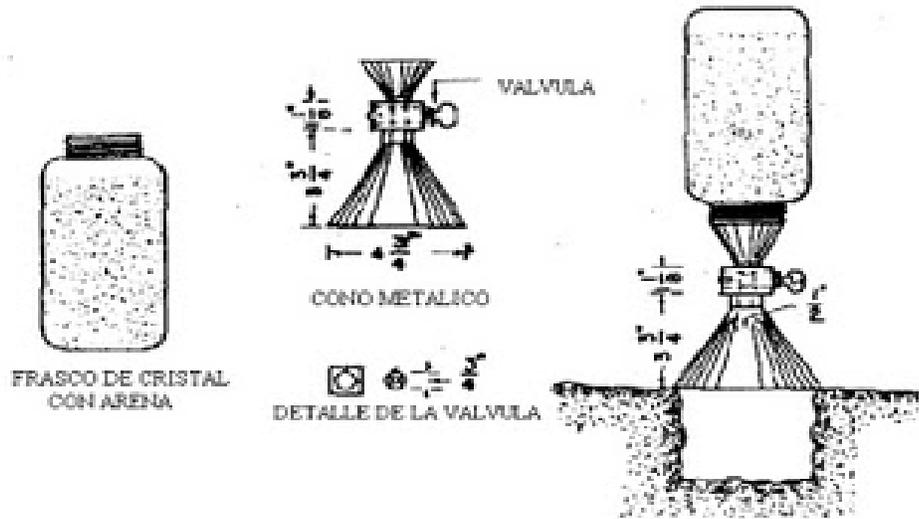
Aparato cono de arena, compuesto por una válvula cilíndrica de 12,5 mm. de abertura, con un extremo terminado en embudo y el otro ajustado a la boca de un recipiente de aproximadamente de 4 litros de capacidad. El aparato deberá llevar una placa base, con un orificio central de igual diámetro al del embudo (figura 16.).

Arena estandarizada, la cual deberá ser lavada y secada en horno hasta masa constante, generalmente se utiliza arena de Ottawa, que corresponde a un material que pasa por la malla N° 20 ASTM (0,85 mm.) y queda retenida en la malla N° 30 ASTM (0,60 mm.).

Dos balanzas, de capacidad superior a 10 Kg. y 1000 grs., con precisión de 1gr. y de 0,01gr. Respectivamente.

Equipo de secado, podrá ser una estufa de terreno. Molde patrón de compactación de 4" de diámetro y 944 cc de capacidad

Figura 23. Ensayo de Cono de Arena



Fuente: <http> ISRM (1981)

VI.6.2. MONTAJE DEL ENSAYO

Colocar la placa y proceder a cavar con ayuda de un cincel.

Pesar el cono con la arena ya en su interior como peso inicial.

Se observa ya la cavidad formada procurar que las paredes estén uniformes, también se ve el material extraído se procura que no pierda su humedad natural.

Colocar el cono de arena y abrir la llave hasta que se llene de arena la cavidad hecha.

Pesar el cono de arena con el resto de arena que quedo como peso final.

VI.7. ANÁLISIS PETROGRÁFICO DE MUESTRAS. (ISRM, 1977)

La descripción petrográfica de rocas para propósitos ingenieriles incluye la determinación de todos los parámetros que no pueden ser obtenidos en la descripción macroscópica de muestras de mano, así como los parámetros que pueden ser determinantes en la mecánica de la roca y del macizo rocoso. El método para hacer la descripción es mediante secciones finas y el uso de microscopios petrográficos de luz polarizada.

Para asegurar una correcta clasificación, el primer paso a seguir debe ser determinar la composición mineralógica y la textura de la roca. Análisis más profundos de las secciones finas permiten determinar análisis mineralógico, determinación del grado de alteración, presencia o ausencia de fracturas, porcentaje de minerales opacos (vistos bajo luz reflejada) y el tamaño de granos.

Una sección fina tiene dimensiones de 25 x 45 mm aproximadamente, y un espesor entre 1 y 2 mm. En la figura 2.30 se puede observar la sección fina de una roca, preparada para descripción en microscopio petrográfico.

VI.7. 1. APARATOS Y EQUIPOS NECESARIOS

El equipo necesario para realizar la descripción petrográfica de las muestras de roca en secciones finas, consiste en un microscopio de luz polarizada para rocas.

El análisis petrográfico realizado a las muestras tomadas, se desprende de la necesidad de clasificar las rocas con un nivel de detalle mayor que el alcanzado en el análisis de muestras de mano. El estudio, nos permite definir las características mineralógicas, textuales y de alteración presentes en las rocas, así como el tamaño promedio de los granos presentes.

CAPITULO VII

VII. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Urb. la Quinta, se procedió a seleccionar todas aquellas muestras representativas para determinar las propiedades físicas y mecánicas, considerando principalmente que dichas muestras fueron tomadas en superficie a una profundidad media de 25 a 50cm. Una vez seleccionadas, se identifican inmediatamente para preparar los especímenes de ensayos, cuyas geometrías se ajustan a las sugeridas en la Normas ASTM e ISRM.

En total, se realizaron las siguientes cantidades de ensayos que se muestran en las tablas 18 y 19:

Tabla 22. Ensayos realizados en rocas

Ensayos en roca	Numero de ensayos
Corte Directo	2
Carga puntual	10
Petrografías	3

Tabla 23. Ensayos realizados en suelos

Ensayos en suelos	Numero de ensayos
Descripción de Muestras	110
Cálculo de humedad	110
Granulometría	13
Límites de Atterberg	13
Peso específico	3
Compactación	
Densidad en situ por el método del cono de arena	

Los resultados se plantearon en función de los datos obtenidos en las descripciones visuales de muestras y de los ensayos de laboratorio realizados.

En este proyecto se sectoriza el área de estudio en terrazas para su mejor análisis.

VII.1. TERRAZA 1.

VII.1.1. ENSAYOS DE LABORATORIO

Para la clasificación de los suelos de esta terraza, específicamente de sus taludes, se llevaron a cabo ensayos de granulometría, límites de consistencia, y humedades, obteniendo así la clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

A continuación se presentan la descripción visual realizada a la muestras de la zona de estudio. Presentado en general muestras de olor terroso, color marrón claro, textura pastosa y con fragmentos subredondeados de tamaño mediano.

Tabla 24. Descripción visual. muestras terraza 1

Terraza	Olor	Color	Presencia de Raíces	Reacción con Hcl	Tamaño	Forma	Generalidades	Textura
1	Terroso	Marrón Oscuro	Si	No	Mediano	Subredondeados	Posible limo-arcilloso de baja plasticidad	Pastosa

Para información detallada ver Anexo

En los ensayos de suelos realizados en estos taludes se determinó que los materiales predominantes son limoso-arenosos con humedades promedio de 12% (ver tabla 25)

Tabla 25. Promedio Humedades para la terraza 1

Promedio Terraza	Wt	Wh	Ws	W (%)
1	30,0309091	47,5055556	38,92	12,61

El cálculo de humedades, se realizó mediante la utilización de una Balanza analítica con un error de 0,1. Donde Wt: Peso de la Tara, Wh: Peso Húmedo, Ws: Peso Seco, W (%): Humedad en %. Las planillas que reflejan los ensayos efectuados en este sector se presentan en el Anexo.

Los materiales finos presentan regularmente baja plasticidad con IP de 0%, mientras que los suelos presentan por lo general un promedio de 30% de partículas finas en su

proporción granulométrica, representando materiales mixtos. (Para descripción granulométrica ver anexo)

Los límites de Atterberg, tanto su límite líquido como su límite plástico se presentan en la tabla 26 y 27, acotando que este último fue imposible realizar debido a que nuestro suelo es material de erosión y remoción de los esquistos de Las Mercedes, y este aún no se ha transformado verdaderamente en suelo, ya que contiene mucho sílice, los rollitos realizados no llegan al tamaño idóneo para la elaboración del ensayo de límite plástico.

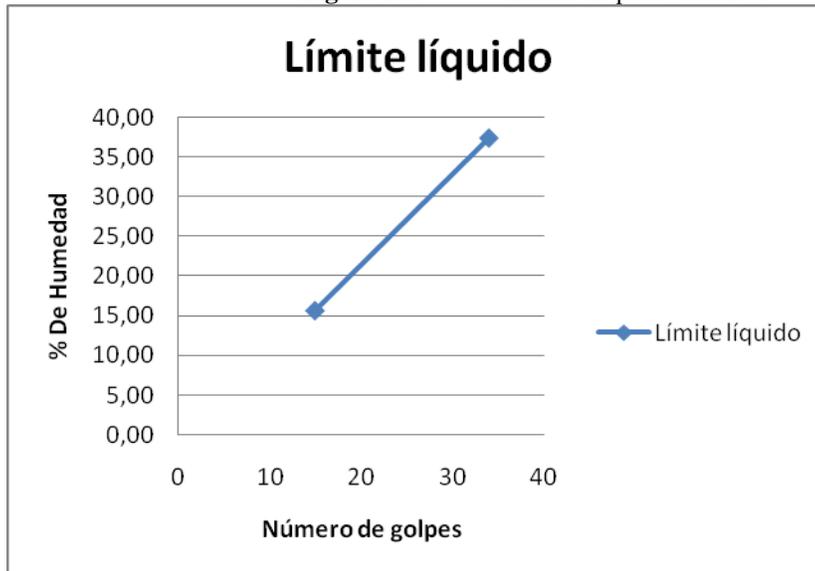
Tabla 26. Ensayo de límite líquido. en terraza 1

Terraza	Punto	Golpes	Peso Tara	Peso Húmedo	Peso Seco	Muestra
1	1,1	13	3,99	11,98	9,87	M45T1
1	1,3	33	3,8	11,8	9,98	

Tabla 27. Resultados de límite líquido. en terraza 1

Peso de Humedad (Wh)	Límite 1 (I1)	Límite 2 (I2)
Peso suelo seco (Wseco)	2,11	1,82
Porcentaje de humedad (%h)	9,87	9,98
Límite líquido (WI)	21,38	18,24
Límite líquido (Wltotal)	19,75	18,86
		19,31

Figura 24. Límite Líquido terraza 1



Según el Sistema Unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S), en cuanto a los resultados obtenidos anteriormente el tipo de suelo de esta terraza es ML (limo areno arcilloso de baja plasticidad).

VII.2. TERRAZA 2.

VII.2.1. ENSAYOS DE LABORATORIO

Las muestras de suelo recolectadas en este sector fueron sometidas a ensayos de caracterización (granulometría y límites de consistencia).

A continuación se presentan la descripción visual de las muestras recolectadas en esta terraza, cuyas características esenciales es olor terroso, color marrón oscuro, textura pastosa y con fragmentos subredondeados de tamaño mediano.

Tabla 28. Descripción visual. muestras de terraza 2

Terraza	olor	Color	Presencia de Raíces	Reacción con Hcl	Tamaño	Forma	Generalidades	Textura
2	terroso	Marrón Oscuro	Si	No	Mediano	Subredondeados	Posible limo-arcilloso de baja plasticidad	Pastosa

En los ensayos de suelos realizados en estos taludes, se determinó que los materiales predominantes son limoso-arenosos con humedades promedio de 13% (ver tabla 29)

Tabla 29. Promedio Humedades para la terraza 2

Promedio Terraza	Wt	Wh	Ws	W (%)
2	53,0875	58,0244444	56,8711111	13,17

El cálculo de humedades, se efectuó mediante la utilización de una Balanza analítica con un error de 0,1. Donde Wt: Peso de la Tara, Wh: Peso Húmedo, Ws: Peso Seco, W (%): Humedad en %. Los Resultados completos de cada una de las muestras recolectadas de esta terraza se presentan en el Anexo.

Los materiales finos presentan regularmente baja plasticidad con IP de 0, mientras que los suelos presentan por lo general un promedio de 37 % de partículas finas en su proporción granulométrica, representando materiales mixtos (ver Anexo)

En cuanto lo limites de consistencia o límites de Atterberg, se describen en la siguiente tabla

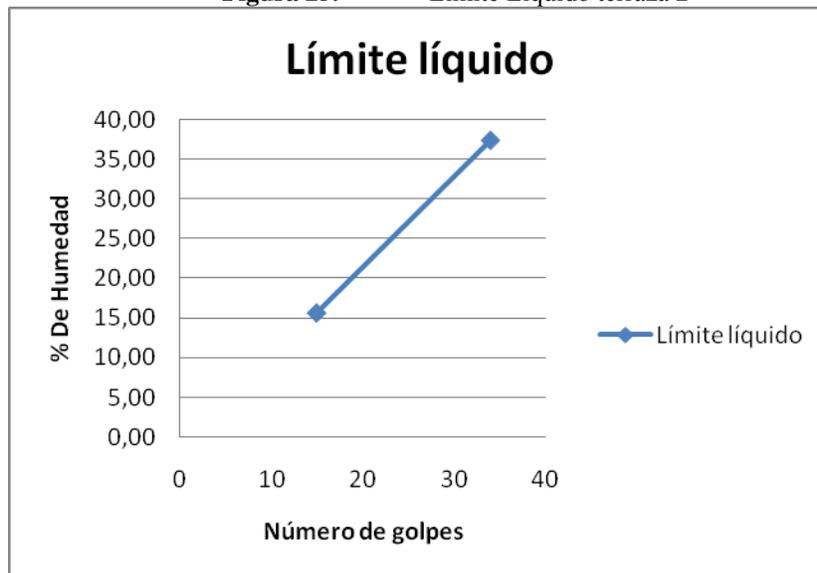
Tabla 30. Ensayo de límite líquido de terraza 2

Terraza	punto	Golpes	Peso Tara	Peso Húmedo	Peso Seco	Muestra
2	2,1	5	7,52	17,27	14,8	M48T2
2	2,2	4	6,35	11,59	8,52	

Tabla 31. Resultados de límite líquido. de terraza 2

	Límite 1 (11)	Límite 2 (12)	
Peso de Humedad (Wh)	2,47	3,07	
Peso suelo_seco (Wseco)	14,8	8,52	
Porcentaje de humedad (%h)	16,69	36,03	
Límite líquido (WL)	15,69	37,40	
Límite líquido (Wltotal)			26,54

Figura 25. Límite Líquido terraza 2



El límite plástico no se pudo obtener debido a que nuestro suelo es material de erosión y remoción de los esquistos de las Mercedes, y al poseer gran cantidad de sílice y

minerales no transformados en suelo fino, los rollitos realizados no llegan al tamaño idóneo para la elaboración del ensayo de límite plástico.

Según el Sistema Unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S), en cuanto a los resultados obtenidos anteriormente el tipo de suelo de esta terraza es ML (limo areno arcilloso de baja plasticidad).

VII.3. TERRAZA 3.

VII.3.1. ENSAYOS DE LABORATORIO

Las muestras pertenecientes a este sector fueron sometidas a diversos ensayos de laboratorio mostrados en el Anexo. Las muestras de suelo fueron ensayadas para su caracterización geotécnica y les fue determinado, en algunos se realizaron cortes directos siguiendo la Norma ASTM

El ensayo principal de realizado a las muestras recolectadas en los taludes de esta terraza, es el de descripción visual, presentándose en la siguiente tabla.

Tabla 32. Descripción visual muestras terraza 3

Terraza	Olor	Color	Presencia de Raíces	Reacción con Hcl	Tamaño	Forma	Generalidades	Textura
3	Terroso	Marrón Oscuro	Si	No	Mediano	Subredondeados	Posible limo-arcilloso de baja plasticidad	Pastosa

Presentado en general muestras de olor terroso, color marrón claro, textura pastosa y con fragmentos subredondeados de tamaño mediano, siendo destacable que dicho suelo no reacciona con HCL.

Se pudo determinar que los materiales predominantes son limoso-arcillosos con humedades promedio de 9% (ver tabla 33).

Tabla 33. Promedio Humedades para la terraza 3

Promedio Terraza	Wt	Wh	Ws	W=%
3	40,2038462	50,2038462	49,3769231	9,08

El cálculo de estas humedades, se realizó mediante la utilización de una Balanza analítica con un error de 0,1. Donde Wt: Peso de la Tara, Wh: Peso Húmedo, Ws: Peso Seco, W (%): Humedad en %. Los resultados completos se pueden apreciar en el anexo correspondiente.

Para saber la granulometría de estos especímenes se elaboró el ensayo correspondiente el cual se detalla a continuación.

Los materiales finos presentan regularmente baja plasticidad con IP entre 2 y 9,5%, mientras que los suelos presentan por lo general un promedio de 50% de partículas finas, 36% de Arenas y 13% de gravas en su proporción granulométrica, representando materiales mixtos, siendo principalmente una arena de media a fina.

Los límites de consistencia se presentan a continuación, destacándose que el límite plástico no se pudo realizar debido a que nuestro suelo es material de que se produjo del corte de los esquistos de las Mercedes, y estos poseen gran cantidad de sílice y minerales no transformados en suelo fino, los rollitos realizados no pueden llegar al tamaño ideal para la elaboración del ensayo de límite plástico.

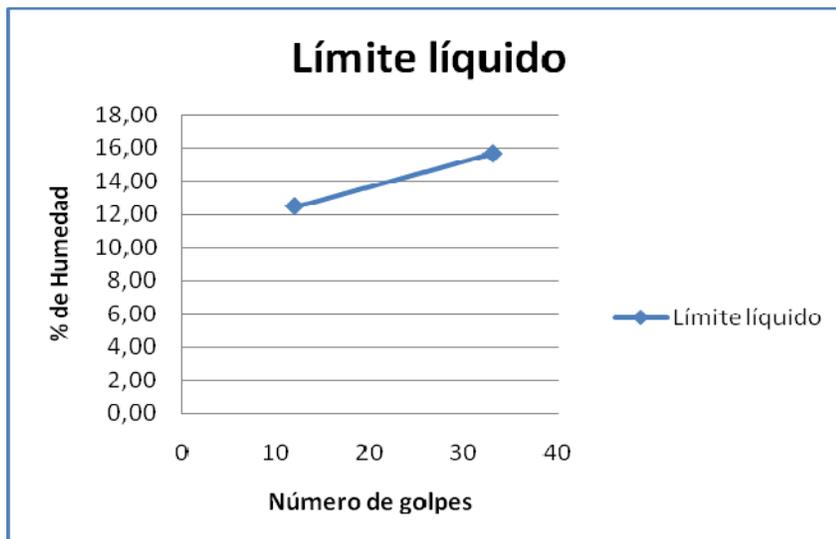
Tabla 34. Ensayo de límite líquido de terraza 3

Terraza	Punto	Golpes	Peso Tara	Peso Húmedo	Peso Seco	Muestra
3	3,1	12	7,61	13,26	11,79	M49T3
3	3,2	33	7,56	17,3	14,96	

Tabla 35. Resultados de límite líquido. de terraza 3

	Límite 1 (I1)	Límite 2 (I2)	
Peso de Humedad (Wh)	1,47	2,34	
Peso suelo_seco (Wseco)	11,79	14,96	
Porcentaje de humedad (%h)	12,47	15,64	
Límite líquido (WL)	11,41	16,18	
Límite líquido (Wltotal)			13,79

Figura 26. Límite Líquido terraza 3



Según el Sistema Unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S), en cuanto a los resultados obtenidos anteriormente el tipo de suelo de esta terraza es ML (limo areno arcilloso de baja plasticidad).

VII.4. TERRAZA 4.

VII.4.1. ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos de laboratorio considerados para esta terraza consisten en granulometrías, humedades y pesos unitarios.

A continuación se muestra la descripción visual realizada a los especímenes recolectados en la zona de estudio. Presentado en general muestras de olor terroso, color marrón claro, textura pastosa y con fragmentos subredondeados de tamaño mediano, no reaccionando con HCL.

Tabla 36. Descripción visual muestras terraza 4

Terraza	Olor	Color	Presencia de Raíces	Reacción con Hcl	Tamaño	Forma	Generalidades	Textura
4	Terroso	Marrón Oscuro	Si	No	Mediano	Subredondeados	Posible limo-arcilloso de baja plasticidad	Pastosa

En los ensayos realizados en estos taludes pudo determinar que los materiales predominantes son limoso-arenosos con humedades promedio de 10% (ver tabla 37)

Tabla 37. Promedio Humedades para la terraza 4

Promedio Terraza	Wt	Wh	Ws	W=%
4	30,0328571	40,0328571	39,0914286	10,44

En la granulometría realizada se evidencia que la mayoría de los suelos comprenden materiales granulares, predominantemente arenas limosas con variables porcentajes de grava. El nivel de gradación de las arenas y gravas es bueno en la zona saturada (bien gradada), por lo que es posible que los suelos sean fácilmente erosionables en caso de ser sujetas a un fuerte gradiente hidráulico (ver Anexo)

En cuanto a los límites de Atterberg, el ensayo que se pudo realizar fue el de el límite de líquido, El material de relleno oscila entre los 6 y 10 metros de material suelto colocado directamente sobre el suelo, consistente en trozos de esquistos muy meteorizados colocados sin ningún control, haciendo esta configuración imposible realizar el ensayo de limite de plasticidad ya que los rollitos de suelo no alcanzan el tamaño idóneo para dicho ensayo (ver Tabla 38 y 39)

Tabla 38. Ensayo de límite líquido de terraza 4

Terraza	Punto	Golpes	Peso Tara	Peso Húmedo	Peso Seco	Muestra
4	4,1	12	7,7	16,3	14,12	M51T4
4	4,2	33	14,31	23,69	21,42	

Figura 27. Límite Líquido terraza 4

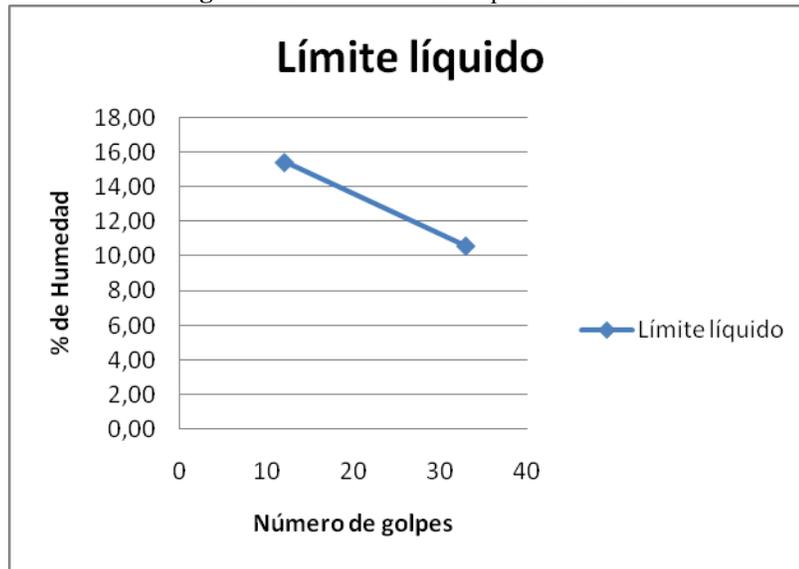


Tabla 39. Resultados de límite líquido. de terraza 4

	Limite 1 (I1)	Limite 2 (I2)	
Peso de Humedad (Wh)	2,18	2,27	
Peso suelo_seco (Wseco)	14,12	21,42	
Porcentaje de humedad (%h)	15,44	10,60	
Limite liquido (WI)	14,13	10,96	
Limite liquido (Wltotal)			12,54

Según el Sistema Unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S), en cuanto a los resultados obtenidos anteriormente el tipo de suelo de esta terraza es ML (limo areno arcilloso de baja plasticidad).

VII.5. TERRAZA 5.

VII.5.1. ENSAYOS DE LABORATORIO

A las muestras recuperadas durante los sondeos de campo se les realizaron distintos ensayos de laboratorio para determinar las propiedades geomecánica de los materiales cuyas planillas se presentan en el Anexo. A los suelos se les realizaron ensayos de descripción visual, granulometría, humedad, límites.

La descripción visual realizada a las muestras recuperadas de esta terraza presentan las siguientes características: olor terroso, color marrón claro, textura pastosa, con fragmentos subredondeados de tamaño moderado, no reaccionando con HCL (ver tabla 40)

Tabla 40. Descripción visual muestras terraza 5

Terraza	Olor	Color	Presencia de Raíces	Reacción con Hcl	Tamaño	Forma	Generalidades	Textura
5	Terroso	Ocre	Si	No	Moderado	Subredondeados	Posible limo-arcilloso de baja plasticidad	Pastosa

El promedio de las humedades obtenidas en las muestras tomadas en esta terraza es de 8 %, como se puede evidenciar en la siguiente tabla (para verificar las humedades individuales por muestra ver anexo)

Tabla 41. Promedio Humedades para la terraza 5

Promedio Terraza	Wt	Wh	Ws	W=%
5	48,1585714	58,1585714	57,4	8,26

En función de los resultados obtenidos en este sector en cuanto a su análisis granulométrico se aprecia que el suelo esta compuesto por materiales granulares, predominando las arenas limosas con variables porcentajes de grava. Es destacable que el nivel de gradación de las arenas y gravas es bueno en la zona saturada (bien gradada), (ver Anexo).

En la Siguiete Tabla se puede apreciar el resultado del límite liquido realizado a la muestra M19T5, tomada a un profundidad de 50 cm en la parte central del talud frontal de esta terraza, frente a la terraza 8.

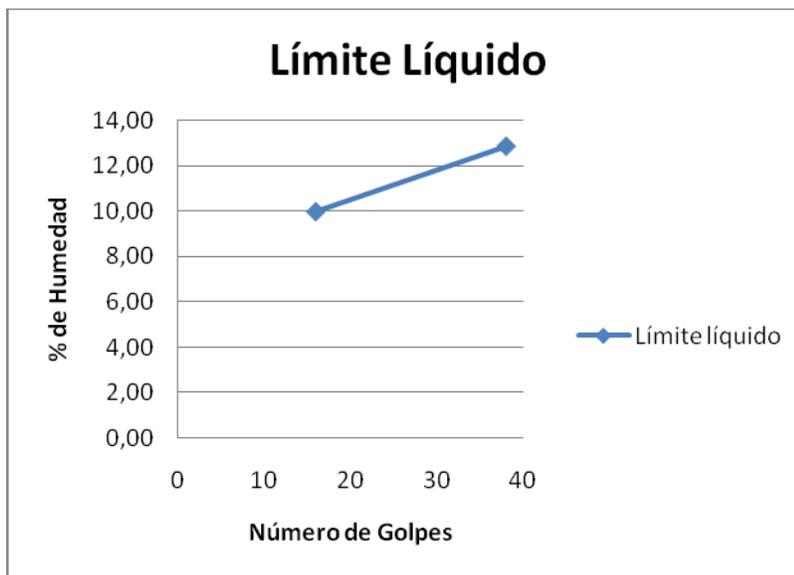
Tabla 42. Ensayo de límite líquido de terraza 5

Terraza	Punto	Golpes	Peso Tara	Peso Húmedo	Peso Seco	Muestra
5	5,1	16	13,45	21,48	19,53	M19T5
5	5,2	38	10,67	21,76	19,28	

Tabla 43. Resultados de límite líquido. de terraza 5

	Limite 1 (I1)	Limite 2 (I2)	
Peso de Humedad (Wh)	1,95	2,48	
Peso suelo_seco (Wseco)	19,53	19,28	
Porcentaje de humedad (%h)	9,98	12,86	
Limite liquido (Wl)	9,46	13,53	
Limite liquido (Wltotal)			11,50

Figura 28. Límite Líquido terraza 5



El límite plástico no se pudo obtener ya que el suelo encontrado en estos terraplenes es material producto de la erosión y remoción de los esquistos de Las Mercedes, y al ser un material cuyo tamaño de grano no llega a suelo fino, por la cantidad de sílice que posee, los rollitos realizados no llegan al tamaño ideal para la elaboración de este ensayo.

Según el Sistema Unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S), en cuanto a los resultados obtenidos anteriormente el tipo de suelo de esta terraza es ML (limo areno arcilloso de baja plasticidad).

VII.6. TERRAZA 6.

VII.6.1. ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos de laboratorio ejecutados a muestras tomadas en este sector comprenden ensayos de caracterización de suelos como lo son: ensayos de descripción visual,

granulometría, humedad y límites de consistencia, para la descripción visual se obtuvo olor terroso, color marrón claro, textura pastosa, con fragmentos subredondeados de tamaño moderado, no reaccionando con HCL (ver tabla 44).

Tabla 44. Descripción visual muestras terraza 6

Terraza	Olor	Color	Presencia de Raíces	Reacción con Hcl	Tamaño	Forma	Generalidades	Textura
6	Terroso	Ocre	Si	No	Mediano	Subredondeados	Posible limo-arcilloso de baja plasticidad	Grumosa

El promedio de las humedades obtenidas en las muestras tomadas en esta terraza es de 8 %, como se puede evidenciar en la siguiente tabla (para verificar las humedades individuales por muestra ver anexo).

Tabla 45. Promedio Humedades para la terraza 6

Promedio Terraza	Wt	Wh	Ws	W=%
6	30,3518182	40,3518182	39,6127273	8,00

El cálculo de humedades, se realizó mediante la utilización de una Balanza analítica con un error de 0,1. Donde Wt: Peso de la Tara, Wh: Peso Húmedo, Ws: Peso Seco, W=(%): Humedad en %.

En cuanto a los resultados obtenidos en este sector en su análisis granulométrico se destaca que el suelo esta compuesto por materiales granulares, siendo su clasificación arenas limosas con variables porcentajes de grava. Es destacable que el nivel de gradación de las arenas y gravas es bueno en la zona saturada (bien gradada), (ver Anexo).

Los limites de consistencia, se presentan en la tabla 46 y 47, siendo destacable que el ensayo para calcular el limite plástico fue imposible de realizar, debido a que nuestro suelo es material de erosión y remoción de los esquistos de las Mercedes, y este aún no se ha transformado en suelo, ya que contiene mucho sílice, los rollitos realizados no llegan al tamaño idóneo para la elaboración del ensayo de límite plástico.

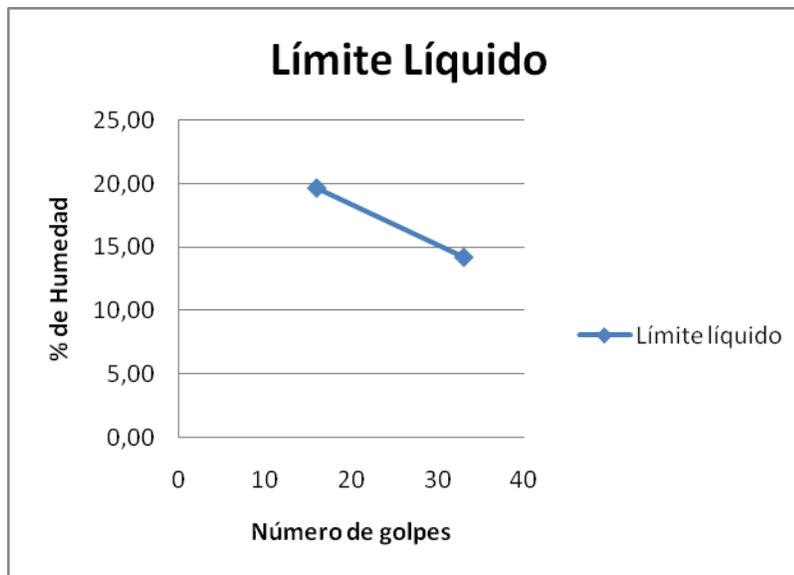
Tabla 46. Ensayo de límite líquido de terraza 6

Terraza	Punto	Golpes	Peso Tara	Peso Húmedo	Peso Seco	Muestra
6	6,1	16	6,29	18,28	15,28	M53T6
6	6,2	33	8,7	17,98	15,74	

Tabla 47. Resultados de límite líquido. de terraza 6

	Límite 1 (I1)	Límite 2 (I2)	
Peso de Humedad (Wh)	3	2,24	
Peso suelo_seco (Wseco)	15,28	15,74	
Porcentaje de humedad (%h)	19,63	14,23	
Límite líquido (WL)	18,60	14,72	
Límite líquido (Wltotal)			16,66

Figura 29. Límite Líquido terraza 6



Según el Sistema Unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S), en cuanto a los resultados obtenidos anteriormente el tipo de suelo de esta terraza es ML (limo areno arcilloso de baja plasticidad).

VII.7. TERRAZA 7.

VII.7.1. ENSAYOS DE LABORATORIO

Para las muestras de suelo recolectadas se llevaron a cabo ensayos de granulometría, humedad natural, límites de consistencia (en el caso que lo requiriese), peso unitario y corte directo.

En los ensayos de suelos se determinó que los materiales predominantes son los suelos granulares arenosos con humedades promedio de 12% y peso específico de 1,631 ton/m³. Los materiales finos presentan regularmente baja plasticidad con IP de 0%, mientras que los suelos granulares presentan por lo general un promedio de 27% de partículas finas en su proporción granulométrica, representando materiales mixtos. (Para el análisis granulométrico ver Anexo).

A continuación se presentan la descripción visual de las muestras recolectadas en este sector, cuyas características esenciales son los siguientes: olor terroso, color marrón oscuro, textura pastosa y con fragmentos subredondeados de tamaño mediano (ver tabla 43).

Tabla 48. Descripción visual muestras terraza 7

Terraza	Olor	Color	Presencia de Raíces	Reacción con Hcl	Tamaño	Forma	Generalidades	Textura
7	Terroso	Marrón Oscuro	Si	No	Mediano	Subredondeados	Posible limo-arcilloso de baja plasticidad	Pastosa

El promedio de las humedades realizadas a las muestras recolectadas en esta terraza se presenta en la siguiente Tabla. (Para ver la información detallada por muestras, dirigirse al anexo).

Tabla 49. Promedio Humedades para la terraza 7

Promedio Terraza	Wt	Wh	Ws	W=%
7	41,7816667	51,7816667	50,83	10,57

El ensayo de peso específico se ejecutó a la muestra M31T7 (muestra de suelo N° 31, recolectada en la terraza 7), la cual se puede observar la siguiente tabla.

Tabla 50. Ensayo de peso específico. terraza 7

Muestra	Picnómetro	Peso Especifico
M31T7	356	1,631

A continuación se presentan los resultados correspondientes a los ensayos de límites de consistencia, donde podemos destacar que el límite plástico no se pudo realizar debido a que el material de relleno de estos terraplenes son producto del corte de los esquistos de Las Mercedes, y estos poseen gran cantidad de sílice y minerales no transformados en suelo fino, los rollitos realizados no pueden llegar al tamaño ideal para la elaboración del ensayo de límite plástico.

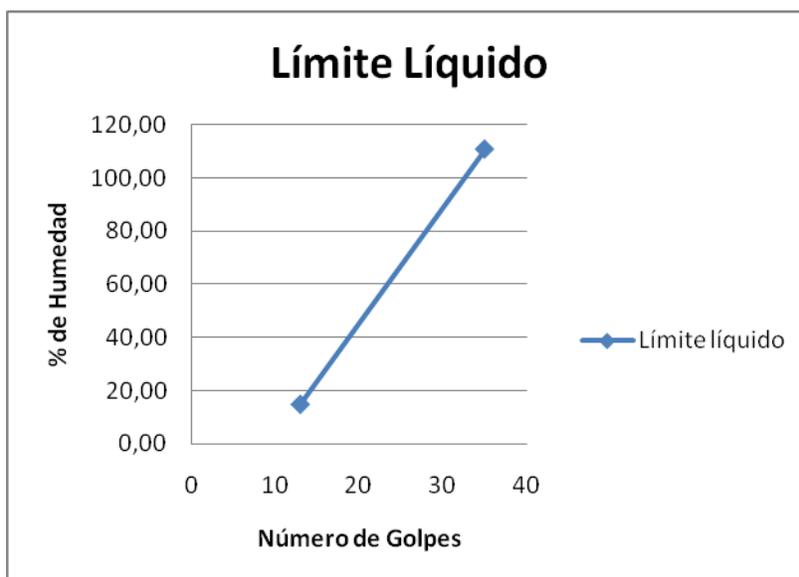
Tabla 51. Ensayo de límite líquido de terraza 7

Terraza	Punto	Golpes	Peso Tara	Peso Húmedo	Peso Seco	Muestra
7	7,1	13	6,45	17,68	15,38	M55T7
7	7,2	35	8,42	28,22	13,38	

Tabla 52. Resultados de límite líquido. de terraza 7

	Límite 1 (I1)	Límite 2 (I2)	
Peso de Humedad (Wh)	2,3	14,84	
Peso suelo_seco (Wseco)	15,38	13,38	
Porcentaje de humedad (%h)	14,95	110,91	
Límite líquido (Wl)	13,82	115,52	
Límite líquido (Wltotal)			64,67

Figura 30. Límite Líquido terraza 7



Según el Sistema Unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S), en cuanto a los resultados obtenidos anteriormente el tipo de suelo de esta terraza es ML (limo areno arcilloso de baja plasticidad).

VII.8. TERRAZA 8.

VII.8.1. ENSAYOS DE LABORATORIO

A las muestras recuperadas durante los sondeos de campo se les realizaron ensayos de laboratorio con el objetivo de determinar las propiedades geomecánica de los materiales. A los suelos se les realizaron ensayos de descripción visual, granulometría, humedad, límites, difracción de rayos X y peso específico.

La descripción visual realizada a las muestras recuperadas de esta terraza poseen las siguientes características: olor terroso, color marrón claro, textura pastosa, con fragmentos subredondeados de tamaño moderado, no reaccionando con HCL (ver tabla 53).

Tabla 53. Descripción visual muestras terraza 8

Terraza	Olor	Color	Presencia de Raíces	Reacción con Hcl	Tamaño	Forma	Generalidades	Textura
M6,T8	Terroso	Ocre	Si	No	Mediano	Subredondeados	Posible limo-arcilloso de baja plasticidad	Pastosa

El promedio de las humedades realizadas a las muestras tomadas en esta terraza es de 9.67 %, como se puede evidenciar en la siguiente tabla (para verificar las humedades individuales por muestra ver anexo).

Tabla 54. Promedio Humedades para la terraza 8

Promedio Terraza	Wt	Wh	Ws	W=%
8	18,8881818	33,495	32,6175	9,67

Los suelos predominantes son los suelos granulares arenosos de baja plasticidad con IP de 0%, presentan por lo general un promedio de 39% de partículas finas en su proporción granulométrica, representando materiales mixtos (ver Anexo).

En la Siguiete Tabla se puede apreciar el resultado del límite liquido realizado a la muestra M57T8 (muestras de suelo N° 57 obtenida en los taludes de la terraza 8), tomada a un profundidad de 50cm en la parte central del talud frontal de esta terraza, detrás del salón de fiesta.

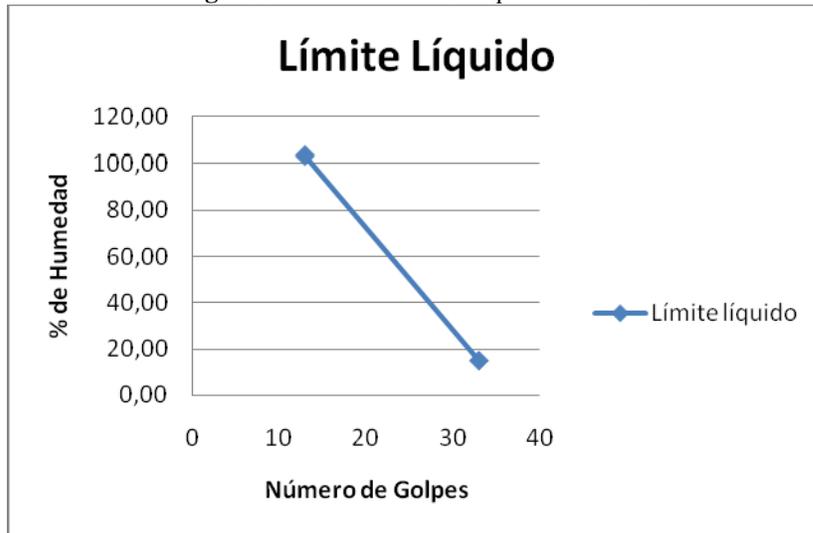
Tabla 55. Ensayo de límite líquido de terraza 8

Terraza	Punto	Golpes	Peso Tara	Peso Húmedo	Peso Seco	Muestra
8	8,1	13	9,66	23,04	11,34	M57T8
8	8,2	33	11,35	25,25	21,93	

Tabla 56. Resultados de límite líquido. de terraza 8

	Limite 1 (I1)	Limite 2 (I2)	
Peso de Humedad (Wh)	11,7	3,32	
Peso suelo_seco (Wseco)	11,34	21,93	
Porcentaje de humedad (%h)	103,17	15,14	
Limite liquido (Wl)	95,33	15,66	
Limite liquido (Wltotal)			55,49

Figura 31. Límite Líquido terraza 8



Según el Sistema Unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S), en cuanto a los resultados obtenidos anteriormente el tipo de suelo de esta terraza es ML (limo areno arcilloso de baja plasticidad).

El ensayo de peso específico se ejecutó a la muestra M3T8 (muestra de suelo N_o 3, recolectada en la terraza 8), la cual se puede observar la siguiente tabla.

Tabla 57. Ensayo de peso específico. terraza 8

Muestra	Picnómetro	Peso Específico
M3T8	355	1,622

VII.8.1.1 ENSAYO PROCTOR

Los valores obtenidos en el laboratorio se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 58. Compactación 25 golpes por capa

Muestra	Molde No	Volumen (cm3)	Humedad Aparente (ml)	Humedad Real (%) W	P molde + material (g)	P molde solo (g)	P material solo (g)	D húmeda (g/ml)	D.seca (g/ml)
T8 4%	4	945	100	8,11	5889	4123	1766	1,868	1,728
T8 6%	4	945	150	8,11	6049	4123	1926	2,038	1,885
T8 8%	4	945	200	8,11	6134	4123	21	2,128	1,968
T8 10%	4	945	250	8,11	6202	4123	2079	2,2	2,035
T8 12%	4	945	300	11,11	6209	4123	2086	2,207	1,986
T8 14%	4	945	350	14,29	6082	4123	1959	2,073	1,814

A continuación se presentan las fórmulas que se utilizaron para obtener los valores del peso del material solo, la densidad húmeda y la densidad seca, los demás valores se midieron directamente en el laboratorio y la determinación del contenido de humedad real se detalla a continuación.

$$\text{Peso material Solo} = (\text{Peso molde} + \text{material}) - \text{Peso molde solo.}$$

$$\text{Densidad húmeda} = (\text{Peso material solo} / \text{Volumen}).$$

$$\text{Densidad Seca} = (\text{Densidad húmeda} / (100 + w)) * 100$$

Tabla 59. Determinación humedad Real

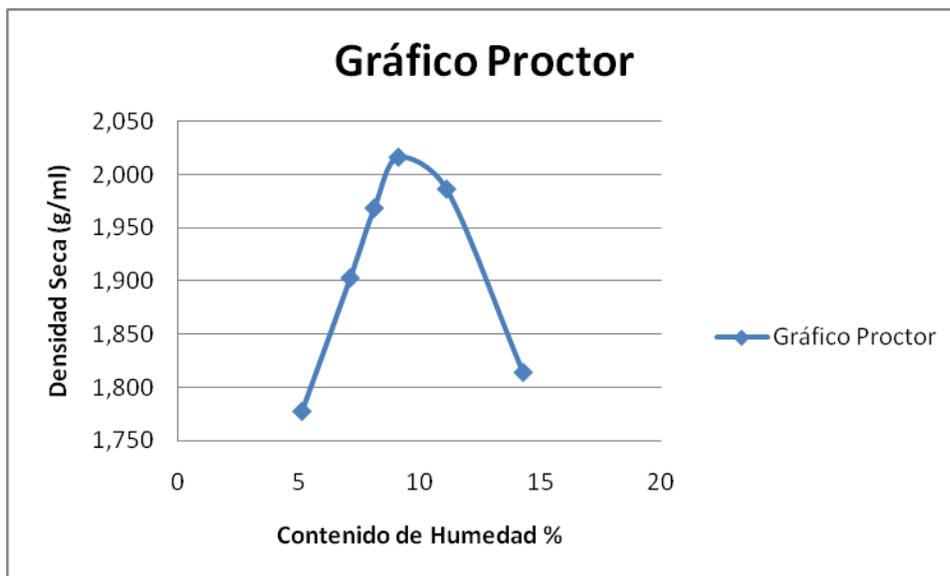
Muestras	Peso Tara	Peso Tara + Mat húmedo	PesoTara+ Mat Seco	Contenido de Humedad (w %)
T8 4%	34	74	71	5,11
T8 6%	32	72	69	7,11
T8 8%	30	70	67	8,11
T8 10%	30	70	67	9,11
T8 12%	29	69	65	11,11
T8 14%	29	69	64	14,29

El contenido de humedad se determinó mediante la siguiente fórmula

$$W = \frac{(\text{Peso Tara} + \text{Material Húmedo}) - (\text{Peso Tara} + \text{Material Seco})}{(\text{Peso Tara} + \text{Material Seco}) - (\text{Peso Tara})} * 100$$

Los resultados anteriores se resumen en el siguiente gráfico el cual muestra el contenido de humedad versus la densidad seca, en él se aprecia claramente cual es la densidad seca máxima y cual será entonces la humedad óptima.

Figura 32. Ensayo Proctor



En cuanto a los resultados obtenidos, podemos decir que el suelo alcanza su máxima compacidad con un contenido de humedad cerca de un 9 %, llegando a una densidad seca de 2,035 g/ml. De acuerdo a estos valores se puede inferir que el suelo no es adecuado para ser usado en terraplenes o rellenos que deban soportar carga, lo cual se corresponde con la experiencia, ya que el suelo era fino y tenía un alto contenido de material orgánico.

A continuación se presenta el análisis de difracción de rayos X realizado a la muestra M5T8 (muestra de suelo tomada en la terraza), en la cual se puede observar la composición porcentual de minerales en dicho suelo.

M5 Terraza 8 debajo puente 8CDDM5

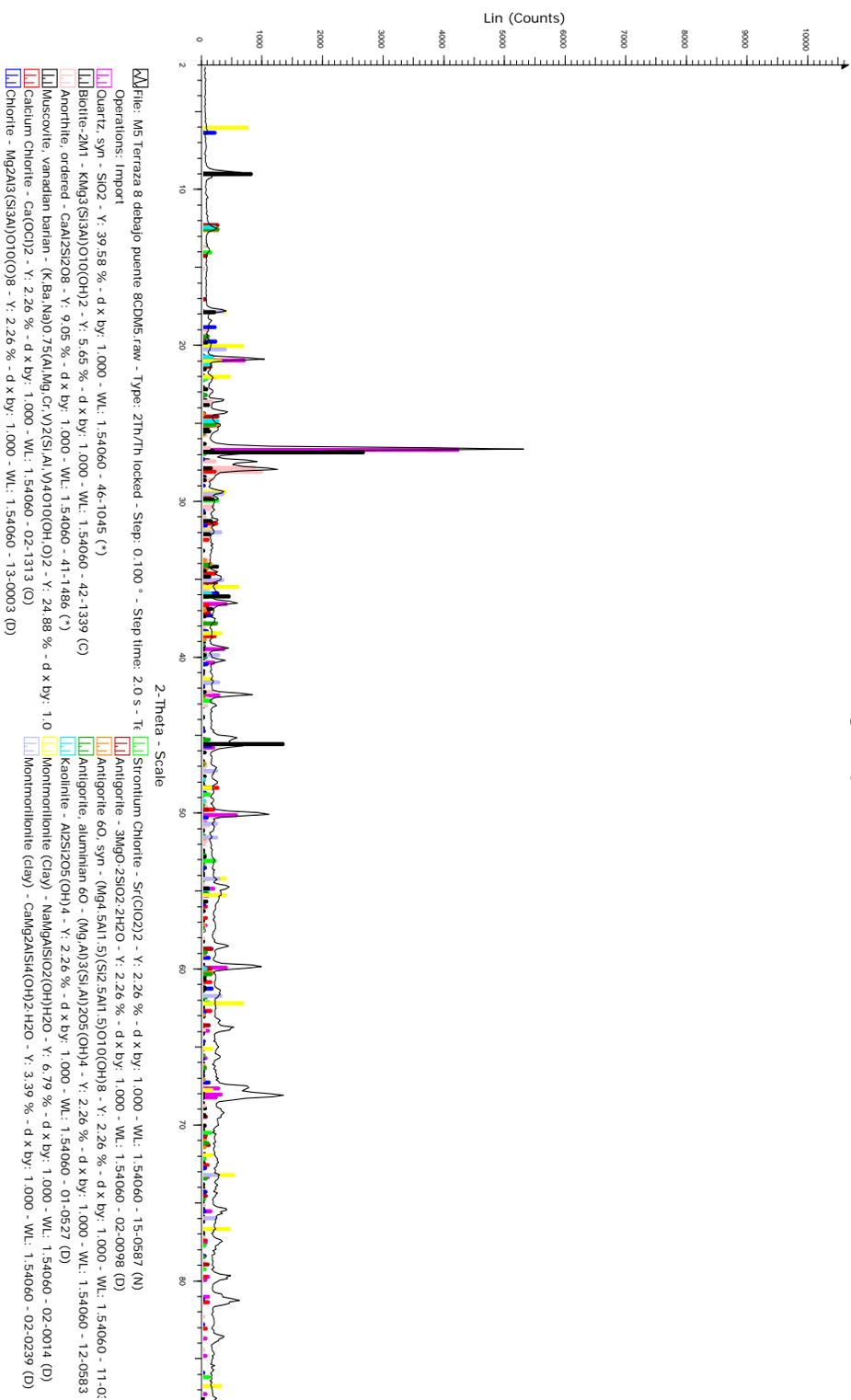


Figura 33. Difracción de Rayos X, M5 T8

En la difracción anterior se puede apreciar que la composición granulométrica es la siguiente.

Tabla 60. Composición mineralógica de M5T8

Minerales	Porcentaje %
Cuarzo	39,58
Moscovita	24,98
Anortita	9,05
Clorita	4,45
Clorita cálcica	2,65
Caolinita	2,26
minerales con poca importancia	17,03

VII.9. TERRAZA 9.

VII.9.1. ENSAYOS DE LABORATORIO

Para la clasificación de las muestras recolectadas en los taludes de esta terraza, se llevaron a cabo ensayos de granulometría, límites de consistencia, peso específico, humedades y difracción de rayos X obteniendo así la clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

A partir de los ensayos realizados se determinó que los materiales predominantes son los suelos granulares arenosos con humedades promedio de 13% y peso específico de 1,631 ton/m³. Los materiales finos presentan regularmente baja plasticidad con IP de 0%, mientras que los suelos granulares presentan por lo general un promedio de 32% de partículas finas en su proporción granulométrica, representando materiales mixtos. (Para el análisis granulométrico ver Anexo).

A continuación se presentan la descripción visual de las muestras recolectadas en esta terraza, cuyas características esenciales son los siguientes: olor terroso, color marrón oscuro, textura pastosa y con fragmentos subredondeados de tamaño mediano (ver tabla 61).

Tabla 61. Descripción visual muestras terraza 9

Terraza	Olor	Color	Presencia de Raíces	Reacción con Hcl	Tamaño	Forma	Generalidades	Textura
M1,T9	Terroso	Marrón Oscuro	Si	No	Mediano	Subredondeado	Posible limo-arcilloso de baja plasticidad	Pastosa

En la siguiente Tabla se puede apreciar el promedio de las humedades realizadas a los especímenes recolectados en esta terraza. (Para ver la información detallada por muestras, dirigirse al anexo).

Tabla 62. Promedio Humedades para la terraza 9

Promedio Terraza	Wt	Wh	Ws	W=%
9	33,5041667	43,5041667	42,3533333	13,07

El cálculo de humedades, se realizó mediante la utilización de una Balanza analítica con un error de 0,1. Donde Wt: Peso de la Tara, Wh: Peso Húmedo, Ws: Peso Seco, W=(%): Humedad en %.

En cuanto a los límites de Atterberg, el ensayo que se pudo realizar fue el del límite de líquido, debido a El material de relleno con un espesor entre los 6 y 10 metros de material suelto colocado directamente sobre el suelo, consistente en trozos de esquistos de Las Mercedes muy meteorizados colocados sin ningún control, originando esto que sea imposible realizar el ensayo de límite de plasticidad, ya que los rollitos de suelo no alcanzan el tamaño idóneo para dicho ensayo (ver Tabla 63 y 64)

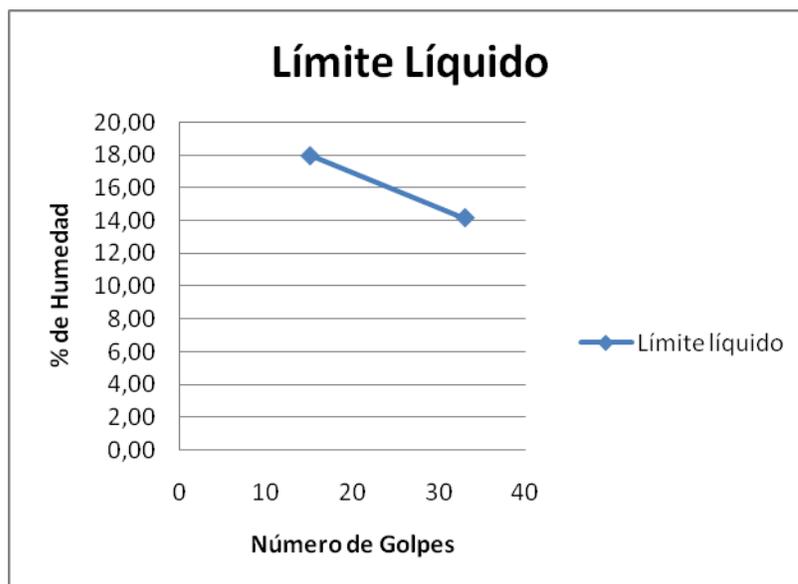
Tabla 63. Ensayo de límite líquido de terraza 9

Terraza	Punto	Golpes	Peso Tara	Peso Húmedo	Peso Seco	Muestra
9	9,1	15	7,53	21,64	18,34	M1T9
9	9,2	33	10,14	22,42	19,64	

Tabla 64. Resultados de límite líquido. de terraza 9

	Limit e 1 (I1)	Limit e 2 (I2)	
Peso de Humedad (Wh)	3,3	2,78	
Peso suelo_seco (Wseco)	18,34	19,64	
Porcentaje de humedad (%h)	17,99	14,15	
Límite líquido (Wl)	16,91	14,64	
Límite líquido (Wltotal)			15,78

Figura 34. Límite Líquido terraza 9



Según el Sistema Unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S), en cuanto a los resultados obtenidos anteriormente el tipo de suelo de esta terraza es ML (limo areno arcilloso de baja plasticidad).

VII.10. TERRAZA 10.

VII.10.1. ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos de laboratorio ejecutados a muestras tomadas en este sector comprenden ensayos de caracterización de suelos, densidades in situ, difracción de rayos x y compactación.

En la siguiente tabla se puede distinguir la descripción visual realizada a la muestras de la zona de estudio. Presentado en general muestras de olor terroso, color ocre, textura pastosa y con fragmentos subredondeados de tamaño mediano, no reaccionando con Hcl

Tabla 65. Descripción visual muestras terraza 10

Terraza	Olor	Color	Presencia de Raíces	Reacción con Hcl	Tamaño	Forma	Generalidades	Textura
10	Terroso	Ocre	Si	No	Mediano	Subredondeado	Posible limo-arcilloso de baja plasticidad	Pastosa

El promedio de las humedades obtenidas en las muestras tomadas en esta terraza es de 8 %, como se puede evidenciar en la siguiente tabla (para verificar las humedades individuales por muestra ver anexo)

Tabla 66. Promedio Humedades para la terraza 10

Promedio Terraza	Wt	Wh	Ws	W=%
10	43,235	53,235	52,4866667	8,21

El cálculo de humedades, se realizó mediante la utilización de una Balanza analítica con un error de 0,1. Donde Wt: Peso de la Tara, Wh: Peso Húmedo, Ws: Peso Seco, W=(%): Humedad en %.

Los materiales finos presentan regularmente baja plasticidad con IP de 0%, mientras que los suelos granulares presentan por lo general un promedio de 34% de partículas finas en su proporción granulométrica, representando materiales mixtos. (Para el análisis granulométrico ver Anexo).

En la siguiente tabla se presenta el ensayo de peso específico realizado a la muestra M10T10 (muestra de suelo N_o 10, recolectada en la terraza 10), la cual se puede observar la siguiente tabla.

Tabla 67. Ensayos de laboratorio en suelos, Peso específico

Muestra	Picnómetro	Peso Específico
M10T10	364	1,6

A continuación se presentan los resultados correspondientes a los ensayos de límites de consistencia, donde el ensayo de límite plástico (IP) no se pudo realizar debido a que el material de relleno de estos terraplenes son producto del corte de los esquistos de Las Mercedes, y estos poseen gran cantidad de sílice y minerales no transformados en suelo fino, los rollitos realizados no pueden llegar al tamaño ideal para la elaboración del ensayo de límite plástico.

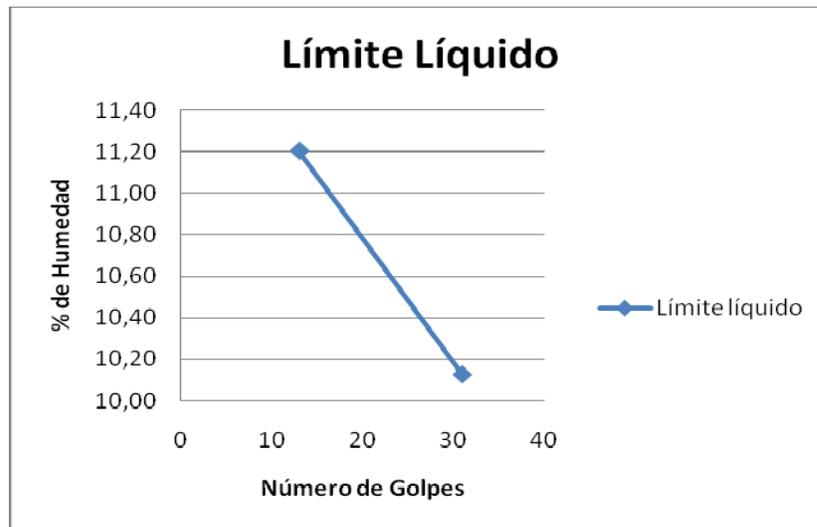
Tabla 67. Ensayo de límite líquido de terraza 10

Terraza	Punto	Golpes	Peso Tara	Peso Húmedo	Peso Seco	Muestra
10	10,1	13	14,67	25,21	22,67	M60T10
10	10,2	31	8,43	20,88	18,96	

Tabla 68. Resultados de límite líquido. de terraza 10

	Límite 1 (I1)	Límite 2 (I2)	
Peso de Humedad (Wh)	2,54	1,92	
Peso suelo_seco (Wseco)	22,67	18,96	
Porcentaje de humedad (%h)	11,20	10,13	
Límite líquido (WL)	10,35	10,39	
Límite líquido (Wltotal)			10,37

Figura 35. Límite Líquido terraza 10



Según el Sistema Unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S), en cuanto a los resultados obtenidos anteriormente el tipo de suelo de esta terraza es ML (limos areno arcilloso de baja plasticidad).

Los ensayos de laboratorio efectuados en muestras de roca consisten en: ensayo de corte, cargas puntuales y petrografías, debido a que los especímenes tomados son muestras irregulares.

Se realizaron descripciones petrográficas de las muestras MR-18, MR-20, MR-21 correspondientes a la terraza 10, con una profundidad entre los 0.5 a 1m, todas las muestras

pertenece a La Formación Las Mercedes considerándola suficientemente representativa del macizo rocoso en el área de estudio.

Del análisis petrográfico de las muestras de roca MR-18, MR-20 y MR-21 correspondiente al tramo en estudio, se obtuvo lo siguiente como resultado, esquistos-calcíticos-cuarzo-micáceo-grafitoso, a veces moscovíticos, con marcada foliación y alteración baja, principalmente de las micas a hematita (Óxido de Fe).

Estas rocas se clasifican como metamórficas, meta sedimentarias. Presentan calcita como mineral mayoritario observándose anhedral, de tamaño muy pequeño, formando una especie de matriz carbonática. Sin embargo al igual que el cuarzo, éste se encuentra como cristales subhedrales (en pequeñas vetas y a lo largo de la roca).

Tabla 69. Minerales presentes y concentración

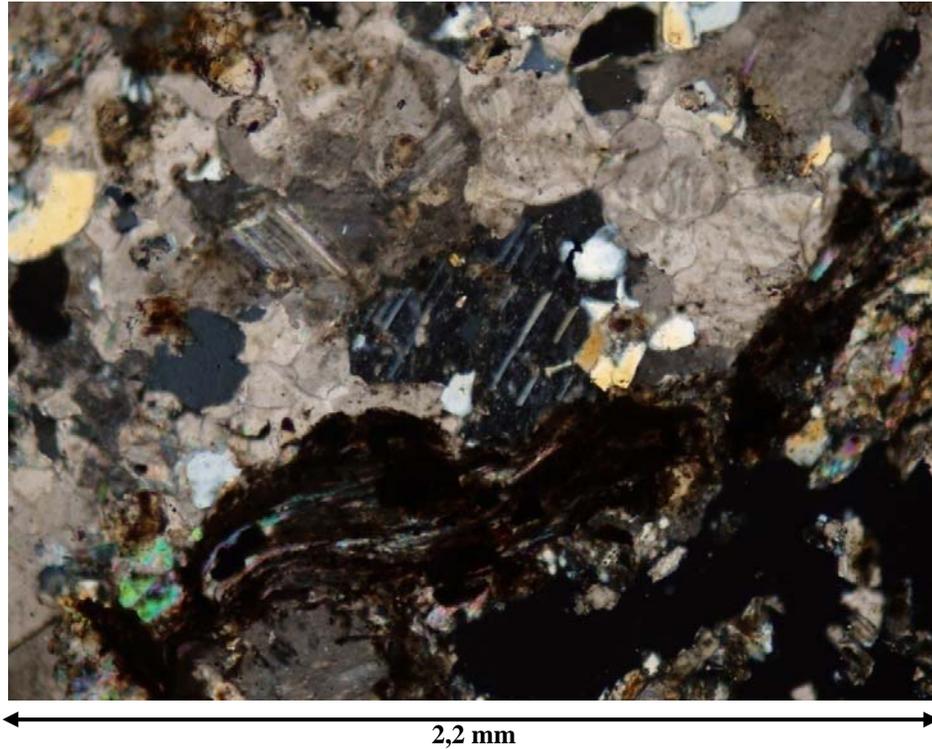
Mineral	Porcentaje
Grafito	22%
Pirita	2%
Moscovita	14%
Cuarzo	22%
Calcita	40%

Tabla 70. Tamaño de granos de cuarzo y distribución

	Tamaño	Porcentaje
Máximo	0,45mm	9%
Medio	0,18mm	46%
Mínimo	0,045mm	45%

Los cristales bien formados muestran las maclas polisintéticas típicas de este mineral (Foto 29 sección fina). El cuarzo muestra una extinción ondulatoria producto de la deformación durante el metamorfismo (Foto.30 sección fina).

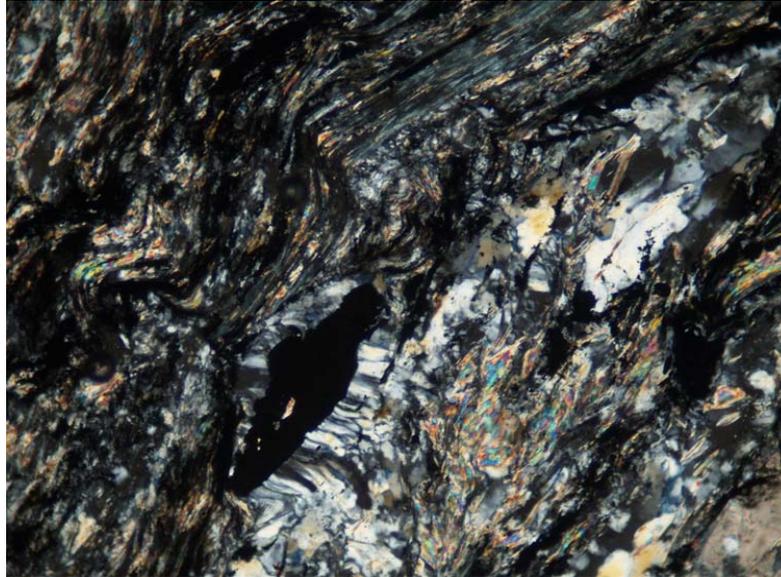
Foto 28. Sección fina No 1.



Se observa la calcita anhedral y subhedral. En los granos más grandes, se observa el maclado polisintético típico de las calcitas. Así mismo, se observan los pocos granos de cuarzo y los opacos presentes en la sección (principalmente Pirita). Objetivo 10x, ocular 10x. Foto: LOPEZ G, (2010)

El grafito se presenta en parte de la roca, en porcentajes que varían entre 2 y 24% del total de los componentes. Este se observa de color negro, anisótropo y orientado en dirección de la foliación al igual que las micas (Foto28 Sección fina). En algunas rocas, se reporta presencia de Hematita como producto de alteración, así como de pirita, de color amarillo ocre brillante, notable solamente con luz reflejada. Asimismo, se observa clorita como traza en algunas rocas de la zona en estudio.

Foto 29. Sección fina No 2

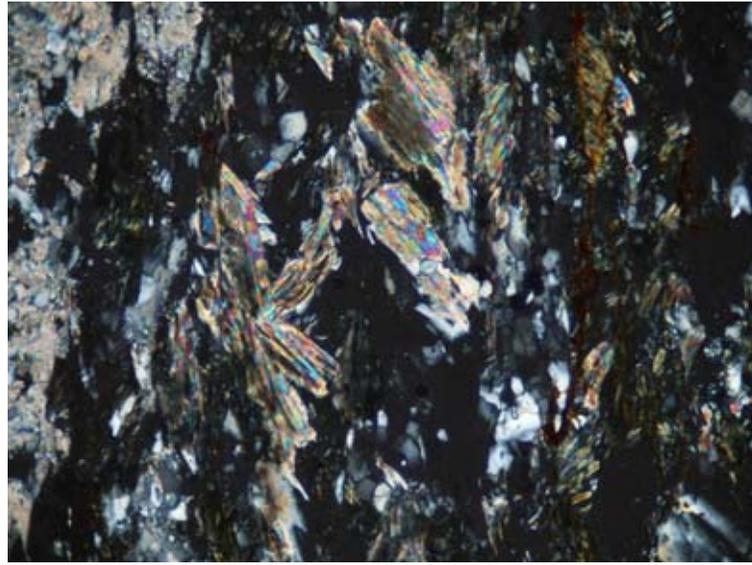


2,2 mm

Se observa Textura Esquistosa, la orientación de la foliación se ve favorecida principalmente por el grafito y las micas. El cuarzo se encuentra embebido en la foliación, presentando extinción ondulatoria, asimismo, se observan algunos granos particularmente fracturados, debido posiblemente al metamorfismo sufrido por la roca. Presencia de óxido de hierro (Hematita), de color marrón rojizo. Objetivo 10x, ocular 10x. Foto: LOPEZ G (2010)

La moscovita, aunque en su mayoría presenta sus colores de interferencia de alto orden (típicos de éste mineral), evidencia deformación mostrando una trituración y flujo de moscovita entre los granos de cuarzo y calcita. A su vez, la misma se encuentra en algunos casos, alterada a minerales de arcilla (posiblemente esméctita) así como a oxido de hierro (Hematita) (Foto 30 y 31 Sección fina).

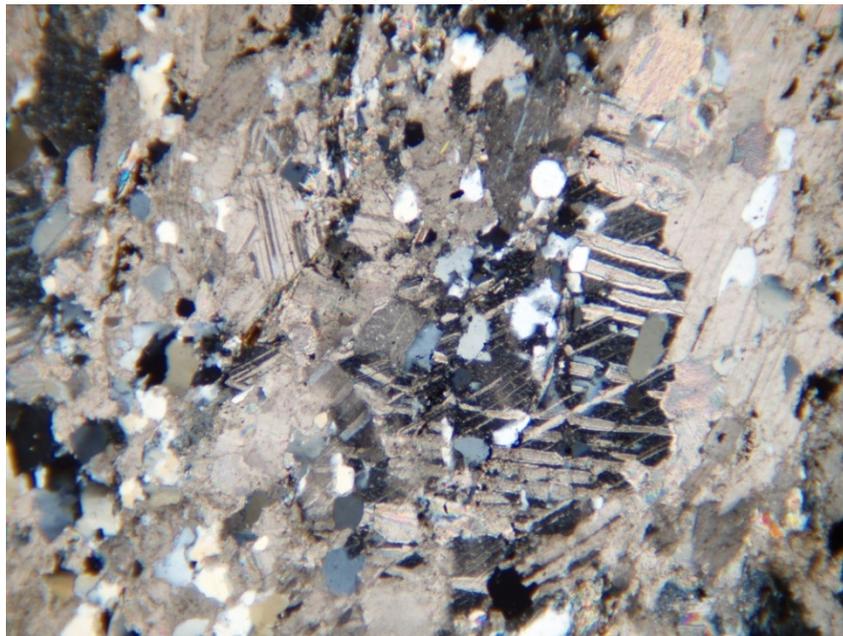
Foto 30. Sección fina.



2,2 mm

Se observan las micas al centro de la fotografía, con colores de interferencia altos. El óxido de hierro se observa en la parte superior derecha, de color marrón rojizo. Foto: LOPEZ G, (2010)

Foto 31. Sección fina.



2,2 mm

Se observan las evidencias de plagioclasas subhedrales, presentándose los granos de cuarzo y calcita

A continuación se muestran los resultados del Método de Prueba estándar para la determinación del Índice de resistencia de Carga Puntual en Rocas (ASTM 5371-01)

Tabla 71. Ensayo de carga puntual

No. Muestra	Identificación	Dirección de ensayo	diámetro (mm)	diámetro promedio (mm)	carga máxima (kN)	aplicación de carga	Factor de corrección	<i>I_s</i> (50) MPa	<i>I_a</i> (50) MPa	C	Resistencia a la compresión (Mpa)
MR3T10	Prof. 1m-1,5m, Terraza 10	diametral	52,520	53,184	1,20	Perpendicular al plano de foliación	1,03	0,44		24	10,47
			53,610								
			53,421								
MR4T10	Prof. 1m-1,5m, Terraza 10	diametral	54,950	54,750	1,80	Perpendicular al plano de foliación	1,04	0,63	1,58	24	15,01
			54,900		2,85	Paralela al plano de foliación		0,99			23,77
			54,400								
MR17T2	Prof. 0,5m-1m, Terraza 2	diametral	53,800	53,883	2,50	Paralela al plano de foliación	1,03	0,89		24	21,37
			53,850								
			54,000								
MR18T2	Prof. 0,5m-1m, Terraza 2	diametral	40,421	39,409	1,75	Perpendicular al plano de foliación	0,90	1,01	0,97	24	24,30
			38,351		1,80	Paralela al plano de foliación		0,00	0		0,00
			39,456					1,04	24,99		
MR8T10	Prof. 1m-1,5m, Terraza 10	diametral	45,654	45,300	1,50	Perpendicular al plano de foliación	0,96	0,70		24	16,78
			45,354								
			44,891								
MR19T2	Prof. 0,5m-1m, Terraza 2	axial	64,321	64,041	5,55	Perpendicular al plano de foliación	,12	,51		4,5	37,06
			63,567								
			64,234								
MR28T5	Prof. 0,5m-1m, Terraza 5	diametral	54,000	54,000	2,45	Paralela al plano de foliación	1,04	0,87		24	20,88
			54,000								
			54,000								
MR12T2	Prof. 0,5m-1m, Terraza 2	diametral	47,234	47,304	1,8	Perpendicular	0,97	0,78		24	18,83
			47,789								
			46,890								
MR2T10	Prof. 1m-1,5m, Terraza 10	diametral	53,124	53,123	2,4	Perpendicular	1,03	0,87		24	20,97
			53,567								
			52,678								
MR9T10	Prof. 1m-1,5m, Terraza 10	diametral	48,523	48,523	1,6	Perpendicular	0,99	0,67		24	16,09
			48,423								
			48,623								

Donde la resistencia a la compresión mínima en MPA es de 10,47 y la máxima 37,06, siendo la mediana 20,88 indicando esto, que los valores por debajo a esta medida representa a la zona mas vulnerable la cual se encuentra localizada en la parte del talud intacta, la cual no ha sido removida, y los valores más alto por encima de la mediana, representa a la zona del talud que ha sido corta, presentando esta mayor dureza, la cual con el paso del tiempo la erosión debilitara l a roca haciéndose tan vulnerable como la parte débil.

A continuación se presenta el análisis de difracción de rayos X realizado a la muestra MR19T10 (muestra de roca tomada en la terraza 10), en la cual se puede observar la composición porcentual de minerales en dicha roca.

Tabla 72. Composición mineralógica de M5T8

Minerales	Porcentaje %
Calcita	50
Cuarzo	29.55
Caolinita	2,37
Montmorillonita	5

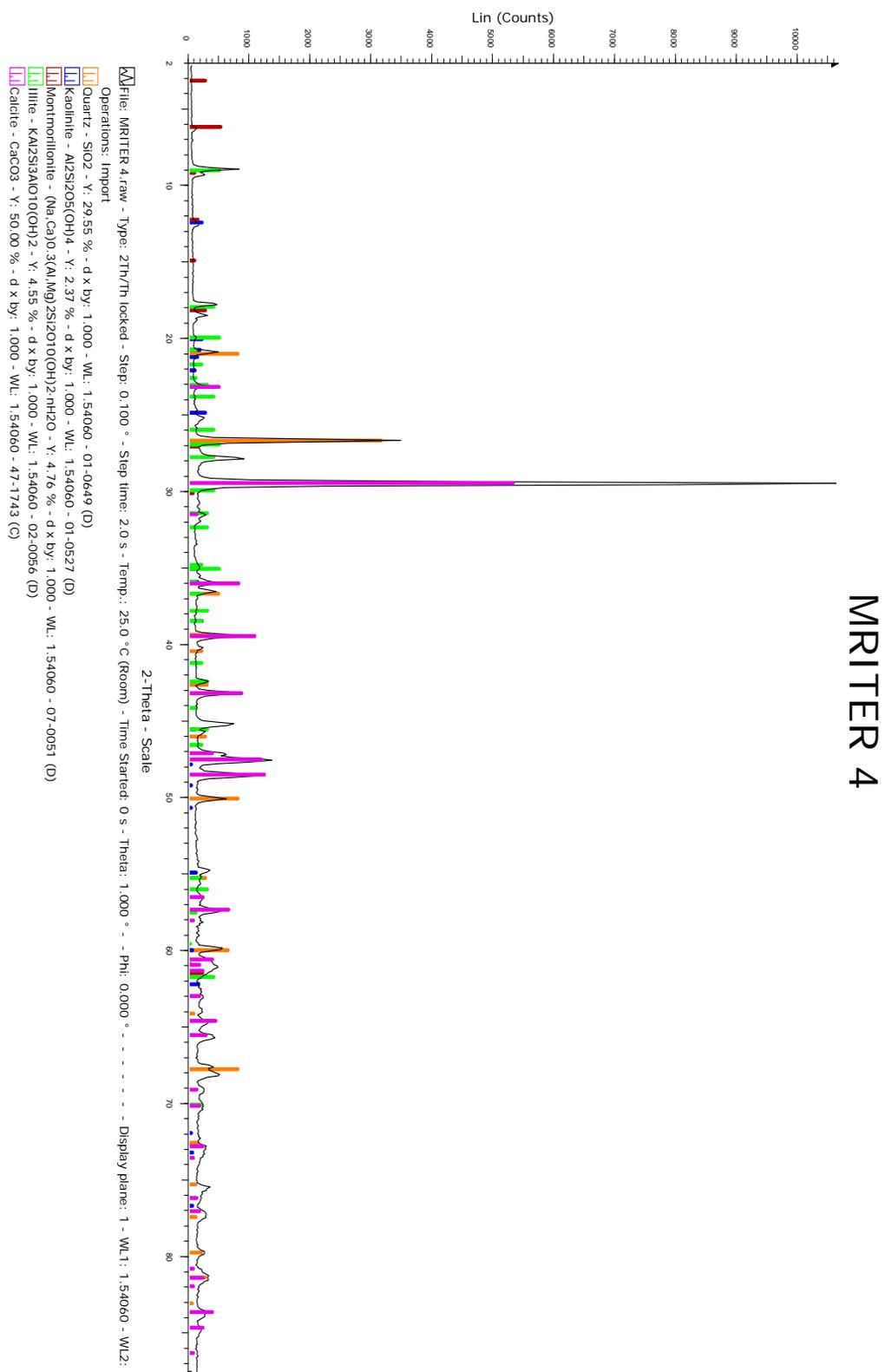


Figura 36. Difracción de Rayos X, MT4

VII.10.2 PRUEBA DE CORTE DIRECTO EN ROCA

La muestra tomada en la terraza 10, fue dividida en tres piezas y los esfuerzos normales aplicados fueron 5000, 1000 y 15000 Kpa en un área de $0,0003 \text{ m}^2$. Para cada esfuerzo normal constante, la muestra fue sometida a esfuerzos cortantes con incremento gradual de 5000 Kpa aproximadamente, midiendo el desplazamiento de corte.

VII.10.2.1 EVALUACIÓN DE LA COHESIÓN Y EL ÁNGULO DE FRICCIÓN

El ángulo de fricción y la cohesión son parámetros que definen la resistencia de corte de la discontinuidad y son evaluados por medio de la envolvente de falla de Mohr Coulomb, graficando el esfuerzo normal en función del esfuerzo de corte.

Con la prueba de corte aplicada se analizó el comportamiento de la resistencia de corte pico de las discontinuidades sin tomar en cuenta la resistencia residual por limitaciones del equipo.

La cohesión pico fue de $C = 18333 \text{ Kpa}$, lo cual corresponde a contactos entre granos pocos compactados y el ángulo de fricción fue de $\phi = 20^\circ$ basados en los puntos graficados en la siguiente figura y tabla. La cohesión en discontinuidades es muy baja e incluso es cero cuando la roca presenta una historia de corte o cuando tienen un ancho de abertura significativa, como en el caso de fracturas. En discontinuidades con relleno de algún material (débil o fuerte), la resistencia es controlada por la cohesión y el ángulo de fricción de ese material.

Figura 37. Evaluación de la cohesión y el ángulo de fricción

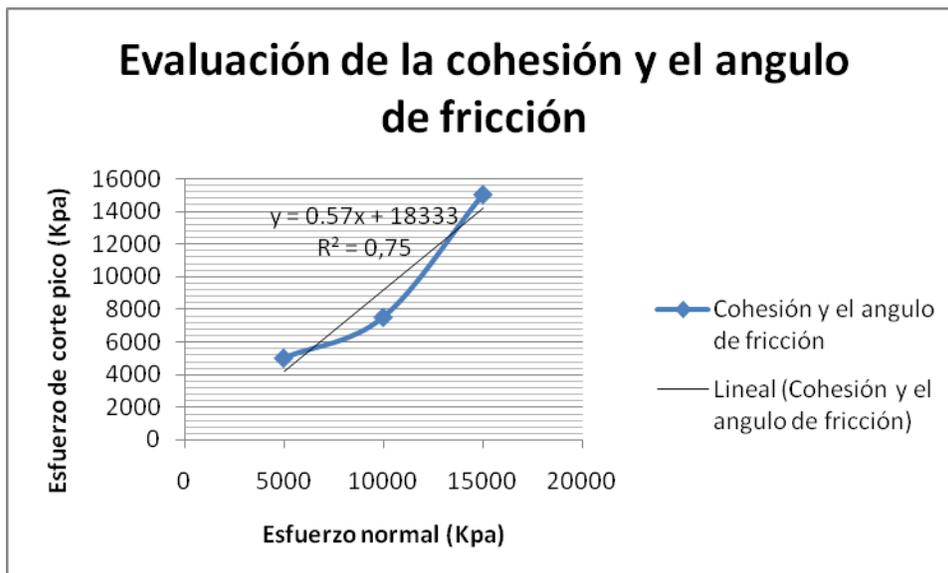


Tabla 73. Valores de las propiedades de la resistencia de corte.

Cohesión	Tan (ϕ)	(grados)
18333 Kpa	0,57	20

VII.10.2.2. EVALUACIÓN DE LA RIGIDEZ DE CORTE (KS)

La Rigidez de corte es la relación entre el desplazamiento de corte y le esfuerzo de corte, valores altos de rigidez indican mayor resistencia al corte. La línea recta entre el punto de origen y el punto pico para cada esfuerzo normal aplicado se ilustra en la siguiente figura. La regresión lineal de todos los desplazamientos picos y los esfuerzos picos son graficados en la figura 34 y mostrados en la tabla 74.

Los valores obtenidos en la prueba de laboratorio de corte directo no fueron realizados a las mismas condiciones del campo (profundidad de 5 a 7 metros), lo cual se debe considerar que debido a que el incremento del esfuerzo normal a tales profundidades es proporcional al incremento de la resistencia de corte, establecido por la envolvente de falla Mohr Coulomb.

Figura 38. Desplazamiento de corte pico

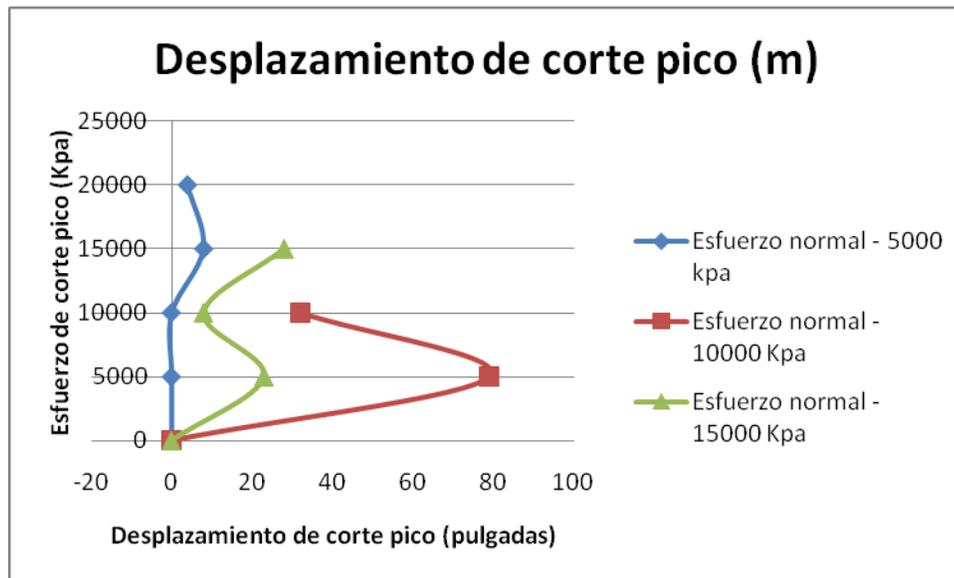
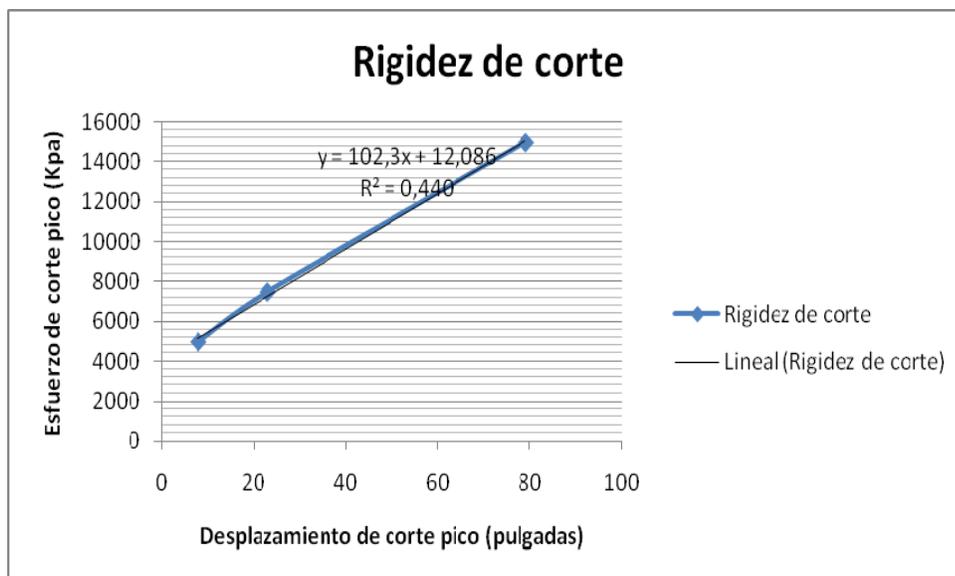


Tabla 74. Valores de los esfuerzos normales y propiedades de corte de las laminaciones

Esfuerzo normal (Kpa)	Esfuerzo de corte pico (Kpa)	Desplazamiento de corte pico (pulgadas)
5000	5000	8
10000	7500	23
15000	15000	79

Figura 39. Evaluación de rigidez de corte



VII.10.3. PROBLEMAS EN LA EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN ROCA

- El material ensayado se halla totalmente descompuesto, lo cual hace que las curvas y graficas obtenidas según el parámetro de Mohr Coulomb rompan muy rápido, siendo estas rocas poco estables.
- La superficie de corte se encuentra triturada.
- Problema de medición, la medición debe ser continua, la cual no se pudo realizar debido a que el equipo es analógico y la roca descompuesta.
- Precisión.
- Control del ensayo, este debe ser controlado mediante un incremento de fuerza paulatino y la roca tomada en la urb la quinta se le realizaron incremento de 1,5Kn. Con incremento controlado las curvas pueden ser más precisas,
- En general en la urb la Quinta, la roca trabaja más a cohesión que ha fricción, observándose en la figura 34.

Se presenta a continuación las proyecciones estereográficas de los taludes correspondientes a esta terraza.

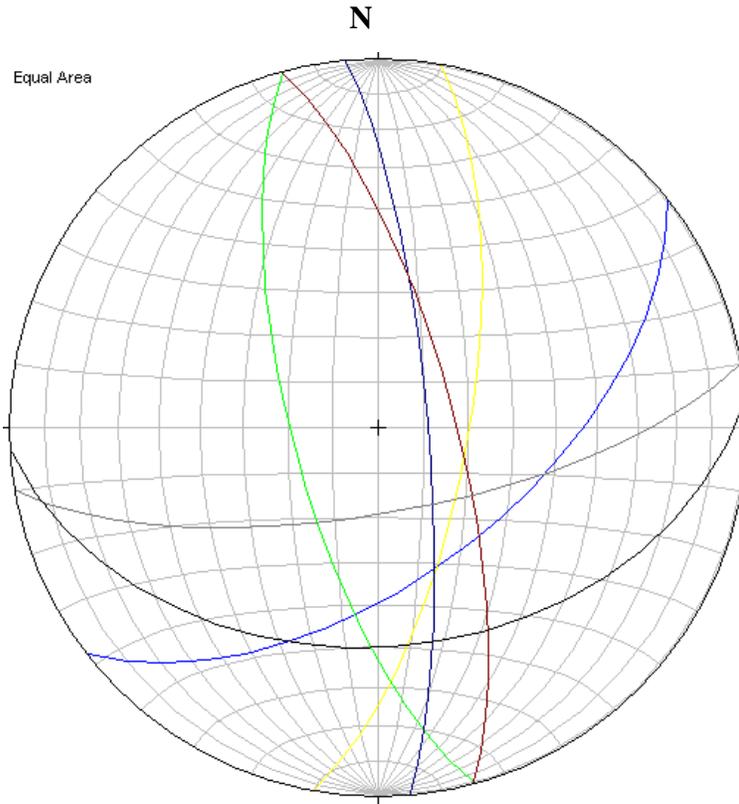
VII.10.4. TALUD ROCA 1

VII.10.4. 1. TALUD ROCA 1.1

Tabla 75. Estructuras presentes en Talud Roca 1.1

Estructura	Dirección	Color
Talud	N52°E57°S	Azul
Foliación	N86°E40°S	Negro
Familia Principal 1	N10°E70°S	Amarillo
Familia Principal 2	N15°W71°S	Naranja
Familia Principal 3	N5°W79°N	Morado
Familia Principal 4	N15°W73°N	Marrón
Familia Principal 5	N80°E71°S	Gris

Figura 40. Proyección estereográfica Talud Roca 1.1

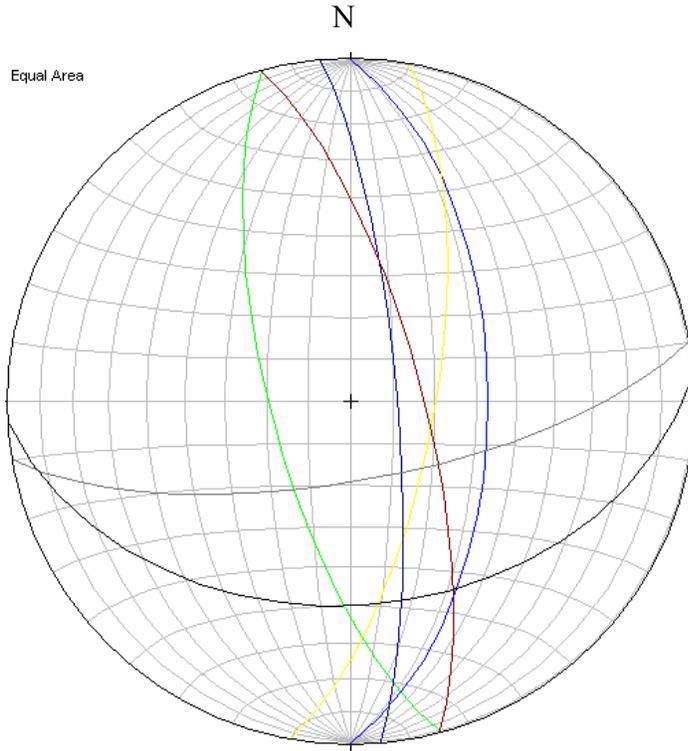


VII.10.4.2. TALUD ROCA 1.2

Tabla 76. Estructuras presentes en Talud Roca 1.2

Estructura	Dirección	Color
Talud	N-S57°S	Azul
Foliación	N86°E4°0S	Negro
Familia Principal 1	N10°E70°S	Amarillo
Familia Principal 2	N15°W71°S	Naranja
Familia Principal 3	N5°W79°N	Morado
Familia Principal 4	N15°W73°N	Marrón
Familia Principal 5	N80°E71°S	Gris

Figura 41. Proyección estereográfica Talud Roca 1.2



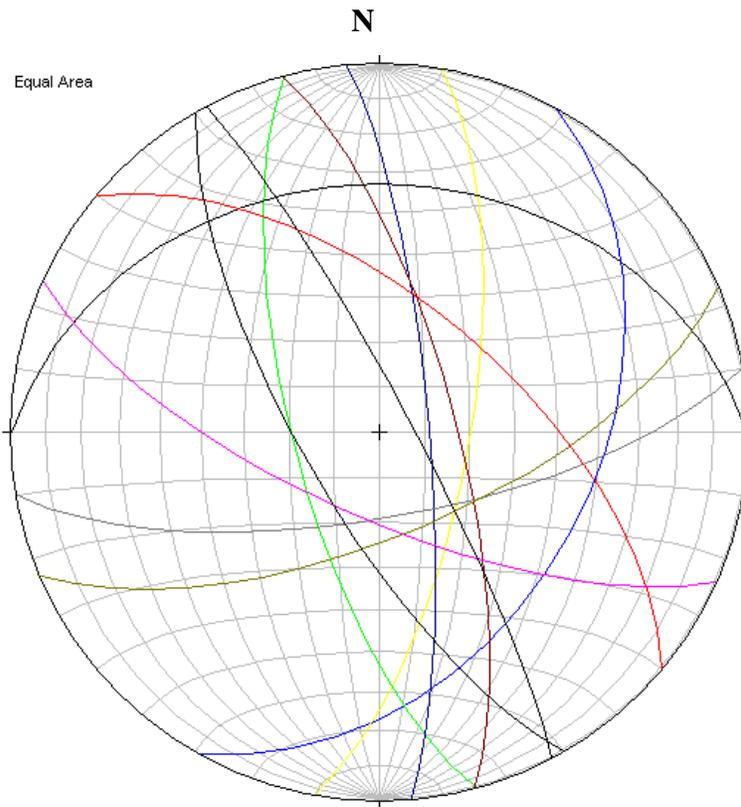
VII.10.5. TALUD ROCA 2

VII.10.5.1. TALUD ROCA 2.1

Tabla 77. Estructuras presentes en Talud Roca 2.1

Estructura	Dirección	Color
Talud	N29°E41°S	Azul
Foliación	E-O33°N	Negro
Familia Principal 1	N10°E70°S	Amarillo
Familia Principal 2	N15°W71°S	Naranja
Familia Principal 3	N5°W79°N	Morado
Familia Principal 4	N15°W73°N	Marrón
Familia Principal 5	N80°E71°S	Gris
Familia Secundaria 1	N67°E67°S	Rojo
Familia Secundaria 2	N66°W71°S	Azul Cielo
Familia Secundaria 3	N50°W61°N	Rojo Ladrillo
Familia Secundaria 4	N30°W73°S	Negro
Familia Secundaria 5	N28°W83°N	Negro

Figura 42. Proyección estereográfica Talud Roca 2.1

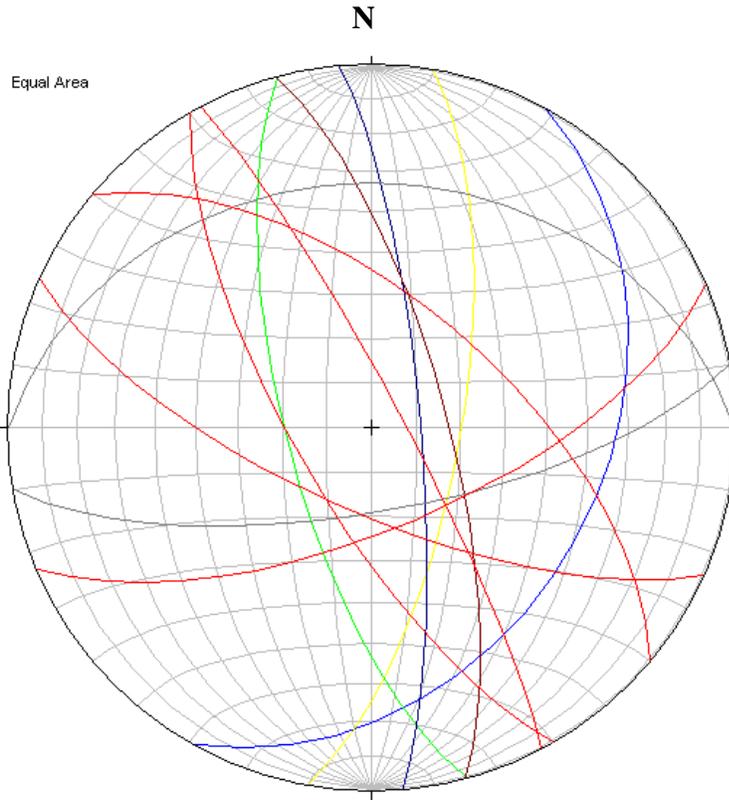


VII.10.5.2. TALUD ROCA 2.2

Tabla 78. Estructuras presentes en Talud Roca 2.2

Estructura	Dirección	Color
Talud	N29°E36°S	Azul
Foliación	E-O33°N	Gris Oscuro
Familia Principal 1	N10°E70°S	Amarillo
Familia Principal 2	N15°W71°S	Naranja
Familia Principal 3	N5°W79°N	Morado
Familia Principal 4	N15°W73°N	Marrón
Familia Principal 5	N80°E71°S	Gris
Familia Secundaria 1	N67°E67°S	Rojo Ladrillo
Familia Secundaria 2	N66°W71°S	Rojo Ladrillo
Familia Secundaria 3	N50°W61°N	Rojo Ladrillo
Familia Secundaria 4	N30°W73°S	Rojo Ladrillo
Familia Secundaria 5	N28°W83°N	Rojo Ladrillo

Figura 43. Proyección estereográfica Talud Roca 2.2

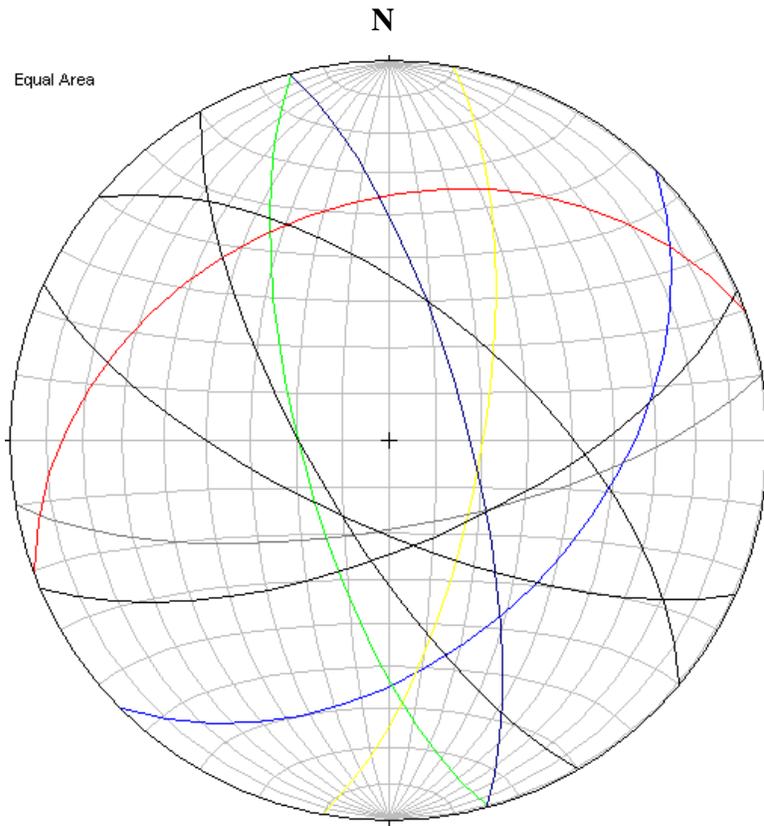


VII.10.6. TALUD ROCA 3

Tabla 79. Estructuras presentes en Talud Roca 3

Estructura	Dirección	Color
Talud	N45°E45°S	Azul
Foliación	N70°E37°N	Negro
Familia Principal 1	N10°E70°S	Amarillo
Familia Principal 2	N15°W71°S	Naranja
Familia Principal 3	N5°W79°N	Morado
Familia Principal 4	N15°W73°N	Marrón
Familia Principal 5	N80°E71°S	Gris
Familia Secundaria 1	N67°E67°S	Negro
Familia Secundaria 2	N66°W71°S	Negro
Familia Secundaria 3	N50°W61°N	Negro
Familia Secundaria 4	N30°W73°S	Negro

Figura 44. Proyección estereográfica Talud Roca 3

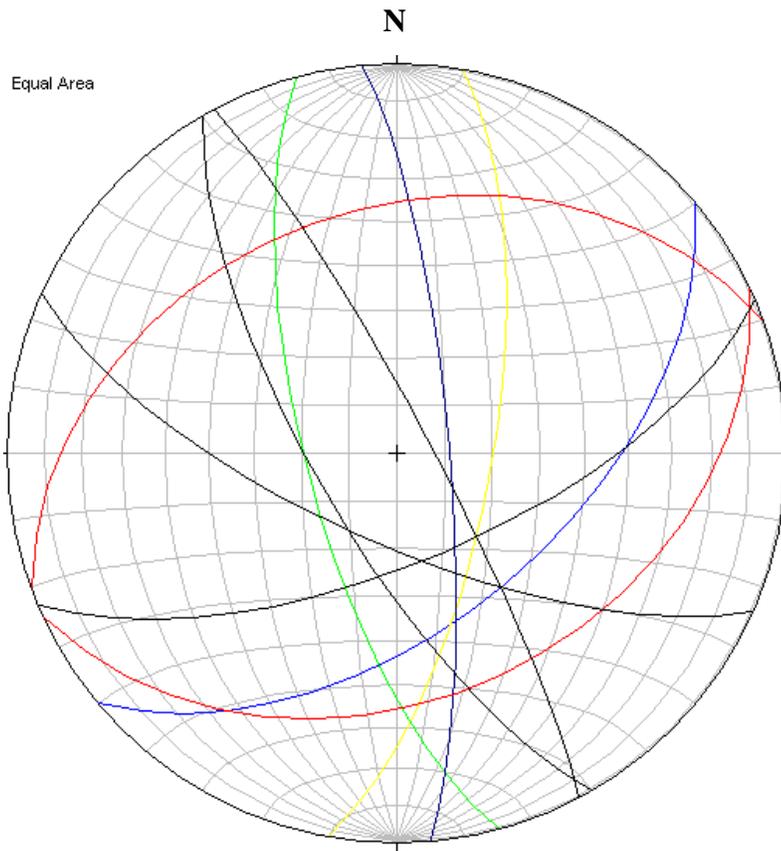


VII.10.7. TALUD ROCA 4

Tabla 80. Estructuras presentes en Talud Roca 4

Estructura	Dirección	Color
Talud	N50°E54°S	Azul
Foliación 1	N65°E37°N	Rojo
Foliación 2	N70°E37°N	Rojo
Familia Principal 1	N10°E70°S	Amarillo
Familia Principal 2	N15°W71°S	Naranja
Familia Principal 3	N5°W79°N	Morado
Familia Principal 5	N80°E71°S	Gris
Familia Secundaria 1	N67°E67°S	Negro
Familia Secundaria 2	N66°W71°S	Negro
Familia Secundaria 4	N30°W73°S	Negro
Familia Secundaria 5	N28°W83°N	Negro

Figura 45. Proyección estereográfica Talud Roca 4



VII.10.8. ANÁLISIS DE PROYECCIONES ESTEREOGRÁFICAS TALUDES DE ROCA TERRAZA 10

VII.10.8.1. TALUD ROCA 1.1

En la Figura 36 anexa, se representa la proyección estereográfica de todos los planos que están interactuando, es decir, el talud de corte, la foliación y las familias de diaclasas, destacándose que hay una concentración de familias de diaclasas (FP4-FP1, FP4-FP2, FP4-FP3 y FP4-FP4) alrededor de la norte-sur, mientras que FP4-FP5 las corta casi perpendicularmente. Las intersecciones de las familias de diaclasas FP4-FP1, FP4-FP2, FP4-FP3 Y FP4-FP5 con el plano de foliación caen dentro de la zona crítica definida por la proyección del talud de corte y el círculo correspondiente a un ángulo de fricción de 20°, lo

que permiten visualizar la génesis de cuatro cuñas potenciales de inestabilidad como la que ya se ha generado en las adyacencias del tanque de agua.

VII.10.8.2. TALUD ROCA 1.2

La Figura 37, anexa, muestra las proyecciones estereográficas, destacándose la existencia de una relación angular notoria entre dicho talud y la foliación que, en principio, tiende a atenuar la influencia negativa de tales planos en la estabilidad del corte, sin embargo, la familias de diaclasas FP2 se intercepta con el plano de foliación generando una situación favorable a la formación de cuñas inestables de roca, sobre todo cuando si se toma en cuenta la altura y la pendiente del talud

VII.10.8.3. TALUD ROCA 2.1

En la Figura 38 se puede apreciar la proyección estereográfica de los planos estructurales considerada con el plano de referencia del corte y, en primera instancia se detecta que los planos de foliación se presentan virtualmente perpendiculares a la dirección del corte y con buzamiento hacia el norte, lo que nos permitiría prever una situación potencialmente favorable. Por otro lado la intersección de los planos de diaclasa FP1, FP2 y FP5 entre si y con los planos de foliación quedan fuera del sector propicio para la generación de cuñas de roca inestables. De todas formas las diaclasas minoritarias y que no se consideraron para la elaboración de la proyección estereográfica, podrían disparar algunas caídas localizadas.

VII.10.8.4. TALUD ROCA 2.2

De acuerdo a la Figura 39, correspondiente a la proyección estereográfica de los planos considerados, se repite una relación de casi perpendicularidad entre la foliación y el talud , siendo la relación angular notoria entre la foliación y la dirección del talud de corte, lo cual beneficiaría la estabilidad del sector, además de que la intersección entre las familias de diaclasas entre si y con los planos de foliación caen fuera del área favorable a la generación de cuñas potencialmente inestables, lo cual nos lleva a conclusiones similares a las del *Talud Roca 2.1*

VII.10.8.5. TALUD ROCA 3

La Figura 40 muestra las proyecciones estereográficas de los planos considerados, resaltando la persistente concentración de familias de diaclasas con rumbo cercano a la norte-sur. Al respecto debe resaltarse que aun cuando la intersección entre dichos planos cae fuera del área crítica, y que se pudiera pensar que tal situación implica la no generación de cuñas inestables, se considera que en este caso se podrán presentar inestabilidades asociadas al control ejercido por los planos de foliación, los cuales facilitarán la ocurrencia de deslizamientos traslacionales a lo largo de dichas superficies, tales como la identificada en el extremo este del talud.

VII.10.8.6. TALUD ROCA 4

La Figura 41 permite apreciar la interacción de los planos estructurales considerados con la del talud de corte, destacándose la relación angular notoria entre la foliación y la dirección del talud de corte, que como en otros casos se percibe como una situación potencialmente favorable. Así mismo se puede apreciar que las intersecciones de las familias de diaclasa FP4-FP1, y FP4-FP5 con la foliación se localizan dentro del área crítica, por lo cual se considera probable la formación de cuñas inestables.

VII.11. TERRAZA 11.

VII.11.1. ENSAYOS DE LABORATORIO

A las muestras recuperadas durante los sondeos de campo se les realizaron diferentes ensayos de laboratorio con el objetivo de determinar las propiedades geomecánica de los materiales cuyas planillas se presentan en el Anexo. A los suelos se les realizaron ensayos de Descripción visual, granulometría, humedad, límites.

En la siguiente tabla se presenta la descripción visual realizada a la muestras de la zona de estudio. Poseen en general olor terroso, color marrón claro, textura pastosa y con fragmentos subredondeados de tamaño mediano.

Tabla 81. Descripción visual muestras terraza 11

Terraza	Olor	Color	Presencia de Raíces	Reacción con Hcl	Tamaño	Forma	Generalidades	Textura
11	Terroso	Marrón Oscuro	Si	No	Mediano	Subredondeados	Posible limo-arcilloso de baja plasticidad	Pastosa

El promedio de las humedades realizadas a las muestras tomadas en esta terraza es de 10,33 %, como se puede evidenciar en la siguiente tabla (para verificar las humedades individuales por muestra ver anexo).

Tabla 82. Promedio Humedades para la terraza 11

Promedio Terraza	Wt	Wh	Ws	W=%
11	58,8466667	68,8466667	67,9166667	0,33

El cálculo de humedades, se realizó mediante la utilización de una Balanza analítica con un error de 0,1. Donde Wt: Peso de la Tara, Wh: Peso Húmedo, Ws: Peso Seco, W=(%): Humedad en %.

En el ensayo granulométrico realizado se evidencia que la mayoría de los suelos comprenden materiales granulares, predominantemente arenas limosas con 20 % de grava finos, 50 % de arena y 29 % de finos. El nivel de gradación de las arenas y gravas es bueno en la zona saturada (bien gradada), por lo que es posible que los suelos sean fácilmente erosionables en caso de ser sujetas a un fuerte gradiente hidráulico (ver Anexo)

A continuación se presentan los resultados correspondientes a los ensayos de límites de consistencia, destacando que el límite plástico (IP) no se pudo realizar debido a que el material de relleno es producto del corte de los esquistos de Las Mercedes, y estos poseen gran cantidad de sílice y minerales no transformados en suelo fino, los rollitos realizados no pueden llegar al tamaño ideal para la elaboración del ensayo de límite plástico.

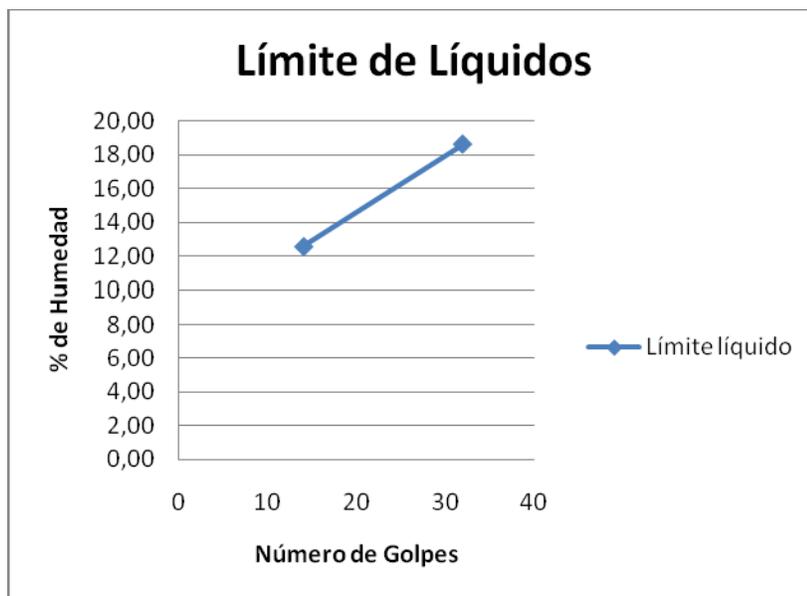
Tabla 83. Ensayo de límite líquido de terraza 11

Terraza	Punto	Golpes	Peso Tara	Peso Húmedo	Peso Seco	Muestra
11	11,1	14	14,37	25,67	22,81	M24T11
11	11,2	32	7,86	22,78	19,2	

Tabla 84. **Resultados de límite líquido. de terraza 11**

	Limite 1 (I1)	Limite 2 (I2)	
Peso de Humedad (Wh)	2,86	3,58	
Peso suelo_seco (Wseco)	22,81	19,2	
Porcentaje de humedad (%h)	12,54	18,65	
Limite liquido (Wl)	11,69	19,21	
Limite liquido (Wltotal)			15,45

Figura 46. Límite Líquido terraza 11



VII.12. TERRAZA 12.

VII.12.1. ENSAYOS DE LABORATORIO

A las muestras de suelos recolectadas a una profundidad de 0,5m a 1m se llevaron a cabo ensayos de descripción visual, granulometría, humedad natural, límites de consistencia y corte directo,

En los ensayos de suelos se pudo determinar que los materiales predominantes son los suelos granulares arenosos con humedades promedio de 15,69 %. Los materiales finos presentan regularmente baja plasticidad con IP de 0 %, mientras que los suelos granulares presentan por lo general un promedio de 30% de partículas finas, 16 % de grava y 54 % de

arena en su proporción granulométrica, representando materiales mixtos (En el anexo se puede apreciar el análisis granulométrico más detallado)

En cuanto a la descripción visual se puede destacar que dichas muestras poseen olor terroso, color marrón claro, textura pastosa y con fragmentos subredondeados de tamaño mediano, no reaccionando con Hcl (ver tabla 85)

Tabla 85. Descripción visual muestras terraza 12

Terraza	Olor	Color	Presencia de Raíces	Reacción con Hcl	Tamaño	Forma	Generalidades	Textura
12	Terroso	Marrón Oscuro	Si	No	Mediano	Subredondeados	Posible limo-arcilloso de baja plasticidad	Pastosa

A continuación se presenta el promedio de las humedades para dicha terraza (Para ver las humedades individuales por muestra, visualizar anexo)

Tabla 86. Promedio Humedades para la terraza 12

Promedio Terraza	Wt	Wh	Ws	W=%
12	53,8433333	64,1766667	67,9166667	15,69

El cálculo de humedades, se realizó mediante la utilización de una Balanza analítica con un error de 0,1. Donde Wt: Peso de la Tara, Wh: Peso Húmedo, Ws: Peso Seco, W=(%): Humedad en %.

El resultado de los ensayos para determinar los límites de consistencia se presentan a continuación, donde el límite plástico no se pudo obtener debido a que nuestro suelo es material de que se produjo del corte de los esquistos de las Mercedes, y estos poseen gran cantidad de sílice y minerales no transformados en suelo fino, los rollitos realizados no pueden llegar al tamaño ideal para la elaboración del ensayo de límite plástico (ver tabla 87 y 88)

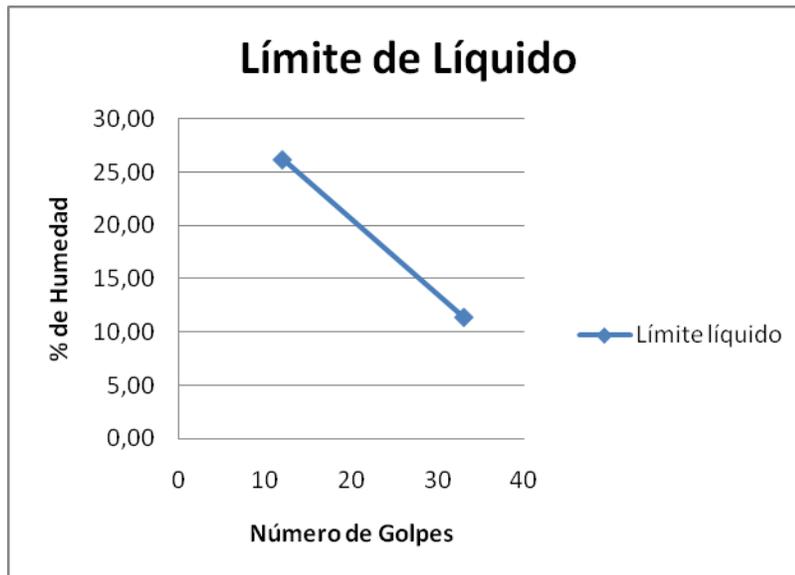
Tabla 87. Ensayo de límite líquido de terraza 12

Terraza	Punto	Golpes	Peso Tara	Peso Húmedo	Peso Seco	Muestra
12	12,1	12	10,19	24,28	19,24	M27T12
12	12,2	33	14,71	17,36	15,58	

Tabla 88. Resultados de límite líquido. de terraza 12

	Limite 1 (I1)	Limite 2 (I2)	
Peso de Humedad (Wh)	5,04	1,78	
Peso suelo_seco (Wseco)	19,24	15,58	
Porcentaje de humedad (%h)	26,20	11,42	
Limite liquido (Wl)	23,97	11,82	
Limite liquido (Wltotal)			17,89

Figura 47. Límite Líquido terraza 12



VII.13. TERRAZA 13.

VII.13.1. ENSAYOS DE LABORATORIO

A las muestras de suelos recolectadas a una profundidad de 0,5m a 1m, tanto en los bordes como en el centro de los taludes, se llevaron a cabo ensayos de descripción visual, granulometría, humedad natural, límites de consistencia y corte directo.

La descripción visual indica que dichas muestras poseen olor terroso, color marrón claro, textura pastosa y con fragmentos subredondeados de tamaño mediano, no reaccionando con HCl (ver tabla 89)

Tabla 89. Descripción visual muestras terraza 13

Terraza	Olor	Color	Presencia de Raíces	Reacción con Hcl	Tamaño	Forma	Generalidades	Textura
M64,T13	Terroso	Marrón Oscuro	Si	No	Mediano	Subredondeados	Posible limo-arcilloso de baja plasticidad	Pastosa

Se pudo determinar que los materiales predominantes son los suelos granulares arenosos con humedades promedio de 15,69 %. Los materiales finos presentan regularmente baja plasticidad con IP de 0 %, mientras que los suelos granulares presentan por lo general un promedio de 30% de partículas finas, 15 % de grava y 55 % de arena en su proporción granulométrica, representando materiales mixtos (En el anexo se puede apreciar el análisis granulométrico más detallado).

En la siguiente tabla se puede observar el promedio de las humedades (en el anexo se puede ver la información detallada por muestra)

Tabla 90. Promedio Humedades para la terraza 13

Promedio Terraza	Wt	Wh	Ws	W=%
13	43,8775	53,8775	52,8175	11,94

El cálculo de humedades, se realizó mediante la utilización de una Balanza analítica con un error de 0,1. Donde Wt: Peso de la Tara, Wh: Peso Húmedo, Ws: Peso Seco, W=(%): Humedad en %.

En cuanto a los límites de Atterberg, el ensayo que se pudo realizar fue el de el límite de líquido, debido a El material de relleno con un espesor entre los 6 y 10 metros de material suelto colocado directamente sobre el suelo, consistente en trozos de esquistos de Las Mercedes muy meteorizados colocados sin ningún control, originando esto que sea imposible realizar el ensayo de limite de plasticidad, ya que los rollitos de suelo no alcanzan el tamaño idóneo para dicho ensayo (ver tabla 91 y 92)

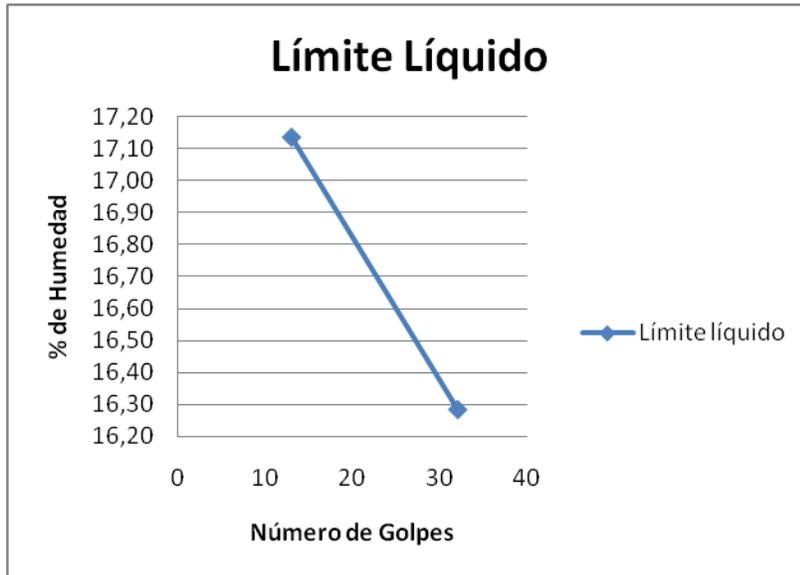
Tabla 91. Ensayo de límite líquido de terraza 13

Terraza	Punto	Golpes	Peso Tara	Peso Húmedo	Peso Seco	Muestra
13	13,1	13	10,88	27,89	23,81	M64T13
13	13,2	32	10,39	24,92	21,43	

Tabla 92. Resultados de límite líquido. de terraza 13

	Límite 1 (I1)	Límite 2 (I2)	
Peso de Humedad (Wh)	4,08	3,49	
Peso suelo_seco (Wseco)	23,81	21,43	
Porcentaje de humedad (%h)	17,14	16,29	
Límite liquido (WI)	15,83	16,78	
Límite liquido (WItotal)			16,31

Figura 48. Límite Líquido terraza 13



CAPITULO VIII

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VIII.1. CONCLUSIONES

- En cuanto a la zona de estudio se concluye que está conformado por suelo y macizo rocoso. Los depósitos localizados en las terrazas de suelos, provienen de las rocas que conforman el basamento metamórfico representado por la formación Las Mercedes, principalmente esquistos cuarzo micáceo grafitosos de grano medio a fino, cuyo estado general es el de meteorizado blando a duro, muy fracturado, con buzamientos que oscilan entre los 40° y 55° , presentando los suelos una energía de transporte variable, ya que se encuentran materiales finos como arcillas y limos hasta suelos gravosos con partículas tamaño peñones.
- Las rocas identificadas están muy plegadas, por lo que la orientación de los planos de foliación presentan amplias variaciones, tanto en el rumbo como en el buzamiento.
- La interacción en el espacio de los planos estructurales ha permitido la conformación de cuñas inestables tales como las observadas en el Talud Roca 1 y en el extremo nor-este del Talud Roca 3, que podrían originarse en otros sectores.
- En general, debido a las condiciones físicas descritas, se constata la susceptibilidad acentuada a la formación de cárcavas, debido a la acción de la escorrentía no controlada.
- El análisis de los datos recabados en el campo más las proyecciones estereográficas de los planos estructurales elaboradas permiten establecer que es muy probable que se originen cuñas de deslizamiento en los Taludes de Roca 1, 2 y 4, mientras que en el Talud de Roca 3 pueden generarse deslizamientos traslacionales asociados a los planos de foliación.

- De los ensayos de corte directo se obtuvieron parámetros de ángulo de fricción $\varphi = 20^\circ$ y cohesión $c = 20 \text{ kpa/m}^2$, con excepción del Talud Roca 2 donde $c = 5 \text{ kpa/m}^2$, valores éstos relativamente bajos.
- En los taludes de suelos por lo general se observan procesos de socavación por debajo del asfalto, por lo cual se presentan deslizamientos al borde de los taludes, lo que origina un desprendimiento y movimiento de la capa vegetal, todo esto es asociado a la falta de cuneta en las coronas, lo cual incrementa el volumen de agua que puede infiltrarse.
- Del análisis de estabilidad realizado en base a los parámetros de corte directo correspondientes, tomando en cuenta la geometría de cada talud, referida a su altura e inclinación, con la determinación de la profundidad y ubicación de grietas en posibles áreas activas, o de influencia al talud, los factores de seguridad resultantes dan valores muy bajos, y no serán representativos, indicando esto que los taludes de corte son potencialmente inestables.

VIII.2. RECOMENDACIONES

- La parte superior del Talud Roca 1, entre el tanque de agua y la cresta del corte, presenta una extensión de aproximadamente 15 m., la cual debe ser protegida mediante un sistema de saneamiento de roca hasta una profundidad de 10 m. con inyecciones de lechadas de cemento y aditivo expansivo, a muy baja presión, del orden de 1 kg/cm^2 y con una separación entre las perforaciones de inyección del orden de 0,5 m. de centro a centro.
- En base a los resultados de los análisis de estabilidad de los cuatro taludes de roca y de los taludes de suelo correspondientes a las terrazas 7, 8 y 9, se establece que son potencialmente inestables, principalmente por posibles desprendimientos y/o deslizamientos localizados. Para minimizar el peligro debido a la caída libre de los fragmentos de roca a las áreas inferiores a los taludes, se considera que la solución más económica y rápida de ejecutar, es la de cubrir la superficie de los taludes con malla metálica, fijada mediante claveteo adecuado. En caso de ocurrir

desprendimientos de grandes dimensiones, habría que rectificar la malla y/u proceder a proteger el talud con concreto proyectado.

- Se recomienda construir cunetas de coronación en todos los taludes de corte considerados, para canalizar las aguas de lluvia provenientes de las áreas superiores periféricas.
- Ya que se ha acometido un proceso de reforestación, se debe proceder al riego periódico y controlado de las fajinas, para tratar de que la vegetación implantada se desarrolle al máximo antes del inicio del próximo periodo de lluvia, para minimizar los efectos de la erosión.
- En el Talud de Roca 3, donde se ha presentado la inestabilidad localizados, se deberá tratar de reconformar la ladera con una pendiente similar al buzamiento de los planos de foliación.
- Se recomienda un mantenimiento permanente de los drenajes recomendados y de las irregularidades que se presenten a lo largo de la vida útil de los taludes evaluados.
- Es recomendable la finalización de las torrenteras localizadas en las terrazas 7, 8 y 9 ya que estas se encuentran inconclusas y no realizan un trabajo adecuado.

-

BIBLIOGRAFÍA

American Society for Testing and Materials (1999). **D 1586-99: Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils**. ASTM. 5p.

Baecher, Gregory & Christian, John. **“Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering”**. John Wiley & Sons; 1 edition, (November 14, 2003) 618 pages ISBN-13: 978-0471498339.

CARRILLO, M. et al. (2002) **Clasificación Geomecánica y Análisis de Estabilidad de Taludes del Macizo Rocosos Coris, Cartago, Costa Rica**. Revista Geológica de América Central.

DE MARCO, P. (2004). **Caracterización geotécnica del subsuelo mediante sondeos exploratorios del Estado del Arte a la práctica**. XVIII Seminario Venezolano de Geotecnia, Caracas. (pp 87-97).

DIAZ, A. (2005). **La otra cara de las rocas metamórficas en el área de Caracas**. GEOS No. 38. Escuela de Geología, minas y Geofísica de la UCV, Caracas. P 27.

DUQUE, G. (S/F) **Manual de Geología para Ingenieros**. (Texto en línea) Disponible: www.geocities.com/manualgeo_12.

ESSIS, BRACHO ALFREDO (Febrero 2006). **Seminario de Análisis de Riesgo en Exploración y Producción**. Universidad Central de Venezuela,

GONZÁLEZ DE JUANA, C., ITURRALDE AROZENA, J. M. y PICARD, X. (1980). **Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas**. Ediciones Foninves Tomo I.

GONZÁLEZ DE JUANA, C., ITURRALDE AROZENA, J. M. y PICARD, X. (1980). **Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas**. Ediciones Foninves Tomo II.

GONZALEZ DE VALLEJO, L., FERRER, M. (2002) **Ingeniería Geológica**. Pearson Educación, Madrid.

SINGER, A (1977, noviembre 19-23). **Tectónica Reciente, Morfogénesis Sísmica y Riesgo Geológico en el Graben de Caracas**. Ponencia presentada en el V Congreso Geológico Venezolano (pp.1861-1902). Caracas: Sociedad Venezolana de Geólogos.

VILA, MARCO AURELIO. 1967: **Aspectos geográficos del Distrito Federal. Corporación Venezolana de Fomento. Caracas – Venezuela.** Disponible en: es.wikipedia.org/wiki/Cerro_El_Ávila - 33k. [Consulta: 2007, octubre]

WESTON GEOPHYSICAL ENGINEERS INTERNACIONAL INC., WESTON. MASSACHUSETTS, USA. (1969). **Investigaciones Sísmicas en el Valle de Caracas y el Litoral Central.** Comisión Presidencial para el Estudio del Sismo de Caracas de 1967. Anexos.

XII Seminario de Geotecnia. (1992). Sociedad Venezolana de Mecánica de suelos e Ingeniería de Fundaciones. Pp 21-43. Caracas.

ANEXOS 1

ANEXOS 2

ANEXOS 3

