

# TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

## "ESTUDIO GEOLOGICO-GEOTECNICO EN UN SECTOR DE TURUMO-CAIZA, CARRETERA NACIONAL PETARE- GUARENAS, ESTADO MIRANDA"

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela

Por los bachilleres:

Marcos T. Martus R.

Denny Tejera

Para optar al Título de Ingeniero Geólogo

Caracas, Abril 2010

# TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

## "ESTUDIO GEOLOGICO-GEOTECNICO EN UN SECTOR DE TURUMO-CAIZA, CARRETERA NACIONAL PETARE- GUARENAS, ESTADO MIRANDA"

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Feliciano De Santis

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela

Por los bachilleres:

Marcos T. Martus R.

Denny Tejera

Para optar al Título de Ingeniero Geólogo

Caracas, Abril 2010

Caracas, Abril 2010

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Facultad de Ingeniería, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres Marcos Thomas Martus Rojas y Denny Tejera, titulado:

**"ESTUDIO GEOLOGICO-GEOTECNICO EN UN SECTOR DE  
TURUMO-CAIZA, CARRETERA NACIONAL PETARE-  
GUARENAS, ESTADO 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 autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Armando Díaz Q.

Jurado

Prof. Pietro De Marco

Jurado

Prof. Feliciano De Santis

Tutor Académico

*Dedicado a mi tío Salvador Martínez y madre Alba Rojas Las  
personas que más respeto y admiro*

*"Día a día abro mi mente ante nuevas sugerencias, siempre  
cuestionándolas por ser verdades relativas, para finalmente escoger la  
mejor parte de cada una y crear a partir de ellas mi propia verdad  
absoluta"*

*Marcos Martus*

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central de Venezuela por exigirme siempre el máximo esfuerzo, brindarme cobijo en estos años de formación académica y convertirme en él profesional que soy hoy en día.

A la empresa Ingenieros De Santis y todos los integrantes de ésta, por brindarme su apoyo y formación profesional.

Al profesor Feliciano De Santis, quien nos ayudó incondicionalmente en el desarrollo de éste trabajo.

### **Agradecimientos de Marcos Martus**

A los profesores: Miguel Castillejo, Katherin Silva, Ricardo Alezones, y Gustavo Corone], por su colaboración en la elaboración del trabajo de investigación.

A los profesores: Franck Audemard y Rafel Falcón (par de yablos) por todos sus consejos y apoyo durante el transcurso de mi carrera.

A mi amigo y profesor Carlos Albrizzio (mi papá en la escuela), quien me enseñó que existen cosas en la vida mas importantes que pasan desapercibidas cuando uno se concentra solo en trabajar.

A los panas de la biblioteca que siempre estuvieron presentes y dispuestos a ayudar en lo que fuese: Ángel (Pototo), Mariat (Mi Santa), y la loba Abigail (Akiles).

A las licenciadas Morella, Leudith, y la Sra. Maria Teresa Y Denis Riera por tantos favores que me hicieron a lo largo de mi carrera, las quiero mucho.

A mis amigos del centro de estudiantes 500NuevaGeología, quienes de una u otra forma contribuyeron en mi desarrollo como profesional y persona: Yonkar Morillo (la Golda), Ronni (el suegro), Aldo (el compadre), Alejandro Z (hermano), Juan P. L'hoeste (boy scout), Maria Z (la bruja), Andrés Soíorzano, Angelvis (el negro), Airam, Laura Gonzales (lauris), Juan Z (pequeño juan), Whenddy Tremont, Juanpi (KinoTachira), Mauro (el bodoque), Clemente (la catira), Marlys y muchos otros mas, Muchas Gracias... De no haber compartido con ustedes, esta experiencia de estudiante en la UCV no hubiera sido tan gratificante.

A los compañeros del departamento de minas: José, Javier, Kismalu, Ricardo, Rafa, Juan, Sasha, Aurora (la profe), Aleida (mama de mariat); con los cuales tuve el placer de compartir durante varias salidas de campo espectaculares.

Especialmente quiero agradecer hoy y siempre a mi familia por estar presentes en todo momento, preocupándose por mi bienestar, y esta claro que si no fuese por el esfuerzo realizado por ellos, mis estudios no hubiesen sido posible. A mi madre Alba, mi hermano Emerson, mi novia Marian y mi suegra Lourdes. Gracias por el ánimo, apoyo y alegría que me brindan y me dan la fortaleza necesaria para seguir adelante.

Marcos T. Martus R., Denny Tejera

ESTUDIO GEOLOGICO-GEOTECNICO EN UN SECTOR DE  
TURUMO-CAIZA, CARRETERA NACIONAL PETARE-  
GUARENAS, ESTADO MIRANDA

Tutor: Ing. Feliciano De Santis. Tesis, Caracas UCV. Facultad de  
Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 2010,117 p.

Palabras Claves: Mercedes, Brisas, Geotecnia, Miranda, Turumo, Caiza,  
Sísmica Refracción, Compresión Simple, Estabilidad de Taludes,  
Caracterización Geomecánica.

**Resumen:** La zona de estudio se encuentra ubicada en la faja sur de la cordillera de la costa, que según la conceptualización estructural propuesta por Beck (1985) se sitúa dentro de la Napa de Caracas. Este Flanco sur del Ávila se ha definido por el Grupo Caracas; la misma se constituye por rocas de origen sedimentario, pertenecientes a la asociación Meta-sedimentaria integrada por el Esquisto de Las Mercedes y el Esquisto de las Brisas (de edad Mesozoico). El área abarca unos 20 km<sup>2</sup>, comenzando en la localidad de Turumo y finalizando en el sector Caiza.

Este trabajo pretende evaluar de las zonas de inestabilidad, producto de la dinámica superficial, y generar de un modelo de susceptibilidad en función de los agentes que condicionan la estabilidad del terreno; como lo son: las condiciones litológicas, y condiciones geotécnicas del macizo rocoso.

Para ello se realizó el análisis petrográfico de las facies gruesas del Esquisto Las Mercedes y el Esquisto Las Brisas, así como de los olistolitos y bloques de mármoles alóctonos contenidos en ella. Se interpretó la ubicación y distribución de las muestras a lo largo de la zona de estudio. De igual manera, se realizó una recopilación de las características petrográficas de las unidades propuestas como potenciales fuentes, al igual que el análisis directo de algunas de ellas. A partir de la integración de mapas topográficos y estructurales de la zona a distintas escalas, se elaboró la cartografía geológica a escala 1:10.000.

Según la asociación mineralógica presente en estas rocas, se consideran que las formaciones alcanzan un metamorfismo en la facies de los esquistos verdes, con presiones entre 3 y 10 Kbar y temperaturas entre 350°C y 550°C. Luego se procedió a caracterizar geomecánicamente muestras tomadas en los diferentes sectores susceptibles a deslizamientos, para obtener una clasificación del macizo rocoso. Y mediante la Adquisición de perfiles sísmicos, y procesamiento de los datos adquiridos, se obtuvo un perfil de meteorización indicando un cambio de calidad de material a una profundidad promedio de 13 metros (de roca S2 a SI).

Una vez establecido el tipo de macizo al cual nos enfrentamos, se procede a determinar la cinemática de los taludes, mediante el uso del programa "stereonet" y la teoría de Hoek&Bray(1982).

Los estudios que realizamos en esta área se agruparon en 6 estaciones de medición. Las primeras dos estaciones de medición son afectadas por fallas en cuña, mientras que la sexta estación con flujo de derrubios y las tres estaciones centrales de medición presentaron un bajo potencial de inestabilidad; debido a las características estructurales y geotécnicas.

Según los parámetros analizados en la zona de estudio, además de las condiciones de carácter social que están involucradas de manera directa a este caso; se elaboró un capítulo con la intención de aportar posibles soluciones a las inestabilidades de las zonas evaluadas, específicamente donde se presencian movimientos o inestabilidades netamente superficiales.

# ÍNDICE GENERAL

	pp.
CAPÍTULO II. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1- Generalidades .....	1
1.2- Objetivo General .....	1
1.2.1- Objetivos Específicos .....	1
1.3- Ubicación .....	2
1.4- Planteamiento del problema .....	3
1.5- Justificación e importancia del trabajo .....	3
1.6- Trabajos previos: (ANTECEDENTES) .....	3
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....	7
2.1- Fase Pre-Campo .....	7
2.2- Fase de Campo .....	8
2.2.1- Materiales Empleados (Geología de Campo).....	9
2.2.1.a-Recolección de Datos (Geología de Campo).....	9
2.2.2- Materiales Empleados (Geofísica de Campo).....	10
2.2.2.a- Recolección de Datos (Geofísica de Campo) .....	11
2.2.2.a.a- Características del Tendido #1 (GF1).....	11
2.3- Fase Post-Campo .....	12
2.3.1- Fase de Laboratorio .....	12
2.3.1.a- El análisis petrográfico convencional (secciones finas).....	12
2.3.1.b- Ensayo de Compresión Uniaxial .....	13
2.3.2- Fase de Oficina .....	15
2.3.2.a-Digitalización de la zona en cuestión .....	15
2.3.2.b-Procesamiento y análisis .....	15

2.3.2.c- Clasificación GSI y RQD .....	15
2.3.2.d- Determinación de la calidad de la roca excavada .....	15
2.3.2.e-Integración de la información contenida en el mapa geológico de la zona.....	15
<b>CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
3.1- Discontinuidad .....	17
3.2- Diaclasa .....	17
3.3- Fallas .....	18
3.4- Grietas .....	18
3.5- Fracturas .....	18
3.6- Nomenclatura de un Talud o Ladera .....	18
3.6.1- Altura .....	19
3.6.2- Pie .....	19
3.6.3- Cabeza o escarpe .....	19
3.6.4- Altura de nivel freático .....	19
3.6.5- Pendiente .....	19
3.7- Dureza de las Rocas .....	19
3.8- Clasificación de los movimientos de masa .....	21
3.8.1- SALCEDO D. (1978). .....	21
3.8.1.a- Fallas Planares .....	21
3.8.1.a.a- Condiciones geométricas para ocurrencias de fallas Planares.....	21
3.8.1.b- Fallas en Cuñas.....	21
3.8.1.c- Fallas en Volcamiento .....	22
3.8.1.d- Fallas en Deslizamiento .....	22
3.8.1.e- Fallas Circulare.....	22
3.9- Exploración del subsuelo mediante ondas elásticas.....	23

3.10- Métodos de prospección sísmica .....	24
3.10.1- Ondas reflejadas .....	24
3.10.2- Ondas cónicas o refractadas críticamente .....	24
3.10.3- Ondas directas .....	24
3.10.4- Ondas superficiales .....	24
3.11- -Sísmica de Refracción .....	25
3.11.1- Instrumentos usados en la prospección .....	26
3.12- -Ley de Snell .....	27
3.12.1- Ley de refracción (Ley de Snell) .....	27
3.13- Algunas definiciones básicas importantes relacionadas con la mecánica de rocas son las siguientes .....	28
3.13.1- Roca sana .....	28
3.13.2- Roca fresca .....	28
3.13.3- Roca meteorizada .....	28
3.13.4- Discontinuidad .....	28
3.13.5- Macizo rocoso .....	28
3.13.6- Matriz rocosa .....	28
3.13.7- Anisotropía .....	28
3.13.8- Heterogeneidad .....	28
3.13.9- Factores de interés .....	28
3.14- Clasificación De Macizos Rocosos .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.15- Caracterización En Campo De Los Macizos Rocosos .....	29
3.15.1- Descripción general y zonificación .....	30
3.15.1.a-Identificación .....	30
3.15.1.b-Descripción .....	30
3.15.1.c-División en zonas .....	30
3.15.2- Caracterización de la matriz rocosa .....	30

3.15.2.a- Identificación de la litología.....	30
3.15.2.b- Descripción de las discontinuidades .....	31
3.15.3- Descripción de los parámetros del macizo rocoso .....	35
3.15.3.a- Número de familias de discontinuidades .....	35
3.15.3.b- Tamaño de bloque .....	36
3.15.3.c- El Índice de tamaño de bloque (Ib) .....	37
3.15.3.d- El conteo volumétrico de diaclasas (Jv) .....	37
3.15.3.e- Grado de meteorización .....	38
3.16- Propiedades Mecánicas De Resistencia Y Deformabilidad De La Roca .....	39
3.16.1- Conceptos básicos relacionados al comportamiento mecánico de la roca.....	40
3.16.1.a-Fuerzas, P .....	40
3.16.1.b- Esfuerzo o tensión, $\sigma$ .....	41
3.16.1.c-Estado tensional o de esfuerzos .....	41
3.16.1.d-Deformación, $\varepsilon$ .....	41
3.16.1.e-Resistencia pico y resistencia residual, $\sigma_p$ y $\sigma_r$ <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
3.16.1.f-Rotura .....	42
3.16.1.f.a-Rotura por esfuerzo cortante .....	42
3.16.1.f.b-Rotura por compresión.....	42
3.16.1.f.c-Rotura por tracción.....	42
3.16.1.f.d-Fractura .....	42
3.16.1.f.e-Cohesión, c .....	42
3.16.1.f.f-Ángulo de fricción interna, $\phi$ .....	43
3.16.2-Esfuerzos, Tensiones Y Deformación De Las Rocas.....	43
CAPÍTULO IV. GEOLOGÍA REGIONAL .....	45

4.1- Generalidades .....	45
4.2- Sección Litodémica .....	45
CAPÍTULO V. GEOLOGÍA LOCAL.....	48
5.1- Generalidades .....	48
5.2- Geología Local .....	48
5.2.1- Resultados del análisis petrográfico .....	60
5.3- Geología Estructural local .....	61
5.4- Geomorfología .....	61
5.4.1- Control Geomorfológico.....	62
5.4.2- Control Morfodinámico .....	63
CAPÍTULO VI. PROSPECCIÓN SÍSMICA DE REFRACCIÓN MÚLTIPLE .....	66
6.1- Generalidades .....	66
6.2- Adquisición de datos sísmica de refracción múltiple .....	67
6.2.1- Diseño del Tendido Generalidades.....	67
6.2.2- Generación de Ondas.....	69
6.3- Metodología de procesamiento de datos sísmicos .....	72
6.4- Análisis de la prospección sísmica .....	76
CAPÍTULO VII. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LA ZONA.....	78
7.1- Generalidades .....	78
7.2- Índice de Resistencia Geológica GSI .....	78
7.3- Clasificación de Bieniawski (R.M.R) .....	80
7.3.1- Resistencia de la roca .....	80
7.3.2- Índice de calidad de la roca, RQD .....	80
7.3.3- Separación entre discontinuidades .....	81
7.3.4- Estado de las discontinuidades. ....	81
7.3.5- Presencia de agua. ....	81
7.3.6- Orientación de las discontinuidades. ....	81

7.4- Análisis de Resultados es. ....	87
CAPÍTULO VIII. ANÁLISIS DE LA CINEMÁTICA DE TALUDES .....	78
8.1- Generalidades .....	89
8.2- Análisis Cinemáticos de taludes, en estaciones de medición representativas en la zona de estudio.....	89
8.2.1- Estación MD1 .....	89
8.2.2- Estación MD2.....	92
8.2.3- Estación MD3.....	96
8.2.4- Estación MD4 .....	100
8.2.5- Estación MD5 .....	103
8.2.6- Estación MD6 .....	105
CAPÍTULO IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	108
9.1- Conclusiones.....	108
9.2- Recomendaciones .....	109
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	111
ANEXOS .....	114

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA N°	pp.
1. Ubicación de la Zona de Estudio.....	2
2. Croquis de Tendido para Refracción múltiple.....	12
3. Tipos de Fallas en Macizos Rocosos. (HOEK Y BRAY 1974) .....	22
4. Ley de refracción (Ley de Snell) .....	27
5. Representación en rosetas de los planos de foliación y diaclasa correspondiente al litotipo I.....	51
6. Orientación Preferencial de los planos de discontinuidad en el litotipo II .....	54
7. Orientación Preferencial de los planos de discontinuidad en el litotipo IV .....	57
8. Orientación Preferencial de los planos de discontinuidad en el litotipo V.....	60
9. Morfología Muy bien diferenciada entre la topografía del Esquisto Las Brisas y el Esquisto Las Mercedes .....	63
9.1 Morfología de cucharas coalescentes de desliazamiento .....	65
10. Perfil de deslizamiento rotacional .....	65
11. Mapa del talud en el Barrio San Isidro escala 1:10.000. ....	67
12. Esquema de la geometría de adquisición disparando en el extremo .....	68
13. Esquema de la geometría de adquisición disparando a entre los primeros 7 geófonos (shotpoints). ....	68
14. Onda P. Disparo a 00m, en tendido realizado en San Isidro. ....	73
15. Onda P. Disparo a 31.5m, en tendido realizado en San Isidro. ....	73
16. Travel time data and velocity time model , para cuando la fuente se encuentra en posición 00m.....	74
17. Travel time data and velocity time model , para cuando la fuente se encuentra en posición (0, 27, 36 y 45m) .....	75

18. Perfil del tendido de sismica en 2D, modelado a partir del cambio en la velocidad de onda en función de las densidades de las capas .....	76
19. Representación de los planos preferenciales de diaclasas .....	91
20. Representación de plano de discontinuidades en el talud.....	91
21. Orientación de planos de diaclasas preferenciales .....	94
22. Densidad de los polos de diaclasas preferenciales .....	94
23. Representación de plano de discontinuidades en el talud. Generan una estructura de falla en cuña para el material en la estación MD2 (D1;D2:T;F; $\Phi=27^\circ$ ). .....	95
24. Orientación de planos de diaclasas preferenciales .....	97
25. Densidad de polos para los planos de discontinuidades de la estación MD3 .....	98
26. Representación de plano de discontinuidades en el talud. Se observa una estabilidad del talud, desde el punto de vista cinemático (D1;D2:T;F; $\Phi=27^\circ$ ).....	98
27. Orientación de planos de diaclasas preferenciales .....	101
28. Densidad de los polos de planos de discontinuidades de la estación MD4 ..	102
29. Se muestra el análisis cinemático del sector con un alto ángulo de fricción (D1;D2:T;F; $\Phi>32^\circ$ ). .....	102

## LISTA DE FOTOS

FOTO N°	pp.
1. Prensa para ensayo de compresión uniaxial .....	13
2. Preparación de muestra cúbica .....	14
2.1 Muestra cúbica 6 cm.....	14
3. Afloramiento de Esquisto Calcáreo-cuarzo-moscovíticos con bajo porcentaje de grafito.....	49
3.1. Cristales de Cuarzo microfracturados con bandeamiento de micas (a. Nicles Paralelos; b. Nicles cruzados) .....	49
3.2. Cristales de Micas semi-plegadas en contacto con cristales anedrales de cuarzo (a. Nicles Paralelos; b. Nicles cruzados) .....	50
4.1. Cristales de Calcita en contacto con cristales de biotita (a. Nicles Paralelos; b. Nicles cruzados) .....	52
4.2. Cristales de Calcita en contacto con piritita y biotita (a. Nicles Paralelos; b. Nicles cruzados) .....	52
5.1. Cristales de Calcita (a. Nicles Paralelos; b. Nicles cruzados) .....	55
5.2. Cristales de Calcita con presencia de cuarzo (a. Nicles Paralelos; b. Nicles cruzados) .....	56
6. 1. Sección fina MD5(a. Nicles Paralelos; b. Nicles cruzados) .....	58
6.2. Minerales de Calcita y algunos Cristales de Cuarzo (a. Nicles Paralelos; b. Nicles cruzados) .....	58
7. Fotografía aérea donada por la empresa Centenos y Asociados, por Cortesía del Ing. Roberto Centeno .....	64
8. Barrio San Isidro, paralelo a la Qda. Valencia - escala 1:50.000 .....	67
9. Preparación de un tendido de refracción sísmica e implementos asociados ..	69
10. Generando ondas P. ....	70
11. Realizando pruebas de sonido, y calibraciones en el sismógrafo .....	70
12. Vista del talud desde la 2 terraza .....	71
13. Fotografía aérea del talud (donada por el Profesor Feliciano De Santis) .....	71

14. Talud representativo en la Estación MD1 .....	90
15. Se muestra el material colapsado y la rotura en cuña en el talud .....	92
16. Vista de perfil del talud MD2, donde se tiene una sección de rotura en cuña. 93	
17. Véase las familias de diaclasas y los planos de foliación .....	96
18. Evidencia de diaclasamiento y foliación .....	96
19. Sector estable desde el punto de vista cinemático, debido a que la geometría de las discontinuidades favorece la estabilidad .....	99
20. Evidencia de foliación, y presencia de vetas de calcita en la parte superior del talud. ....	100
21. Planos de discontinuidad de los marmoles existente en esta estacion.....	104
22. Viviendas construidas sobre el marmol. ....	104
23. Se muestra como las casas adyacentes a la carretera utilizan el mármol de fondo en sus paredes. ....	105
24. Vista del Movimiento en masa presente en el talud .....	106
25. Vista en perfil del flujo torrencial continuo que presenta el talud. ....	106
26. Vista frontal del derrubio de detritos colapsando en el talud. ....	107

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1- Generalidades:

En la investigación realizada en este Trabajo Especial de Grado (T.E.G.), se emplearon diversos conocimientos geológicos y geotécnicos, con la finalidad de encontrar y explicar los problemas de inestabilidad que se han observado en el sector Turumo-Caiza (Carretera Nacional Petare-Guarenas). Los estudios de estabilidad de taludes constituyen uno de los aspectos más importantes de la ingeniería geológica, ya que el conocimiento del comportamiento de las laderas es un valor imprescindible para la seguridad de cualquier construcción u obra pública. Se analizaron la estabilidad de algunos taludes tanto en rocas como en suelos. A partir de los datos obtenidos de los sondeos, ensayos de laboratorio y las medidas realizadas "in situ", se modela el terreno, calculando los coeficientes de seguridad para diferentes hipótesis de cálculo.

### 1.2-Objetivo General:

Evaluación de las zonas de inestabilidad, producto de la dinámica superficial; y generación de un modelo de susceptibilidad en función de los agentes que condicionan la estabilidad del terreno, como son: condiciones litológicas, y condiciones geotécnicas del macizo rocoso.

#### 1.2.1-Objetivos específicos:

- Caracterizar la zona de estudio en base a las expresiones topográficas y realizar un análisis fotogeológico de la zona, evidenciando la topografía modificada, producto del creciente urbanismo.
- Realizar el levantamiento geológico del área de estudio.
- Establecer características litológicas y geoestructurales de los taludes naturales y taludes de corte.

- Caracterizar geomecánicamente muestras tomadas en los diferentes sectores susceptibles a deslizamientos.
- Adquisición de perfiles sísmicos, y procesamiento de los datos adquiridos.
- Determinar la cinemática de los taludes, mediante el uso del programa “stereonet”.
- Generación de un mapa geológico de la zona.

### 1.3-Ubicación:

El trabajo se realizará a lo largo de la carretera vieja Petare-Guarenas, sector Turumo-Caiza municipio Sucre, edo. Miranda, entre las coordenadas norte 1.159.000 a 1.161.000 y este 744.500 a 747.500. Ver Figura N° 1.

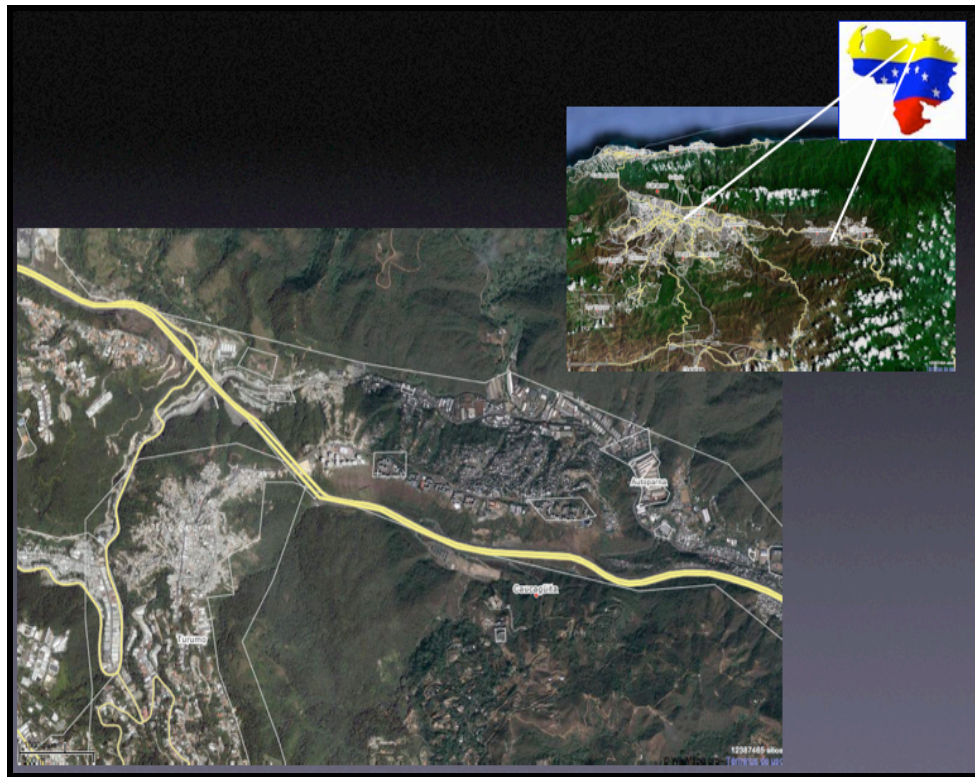


Figura N° 1 Ubicación de la Zona de Estudio

#### 1.4- Planteamiento del Problema:

El crecimiento urbano de la ciudad de Caracas se ha dado en forma no planificada, y su expansión física se ha desarrollado, en parte, a expensas de sectores estructuralmente vulnerables. Esto ha generado la degradación de los subsistemas naturales con la consiguiente aparición de zonas de amenazas. En muchos de los casos está relacionada directamente con la forma en que se ejecutan las actividades urbanas, no tomando en cuenta las características del medio físico.

#### 1.5- Justificación e importancia del trabajo:

La realización de este trabajo surge como respuesta a la necesidad existente en la zona alrededor de la carretera Petare Guarenas, específicamente en el sector de San Isidro donde existe la problemática de inestabilidad de los taludes y o laderas. Debido a los problemas causados por estos deslizamientos, las comunidades requieren asistencia técnica en el área de geología y geotecnia.

La intención de este trabajo investigativo es la de estudiar el problema de inestabilidad en los taludes con la finalidad de idear posibles soluciones e instruir conocimientos básicos a los habitantes del sector, de manera que puedan tomar previsiones ante las amenazas presentes y así mismo plantear medidas preventivas como mantenimiento de drenes y taludes.

#### 1.6- Trabajos previos (ANTECEDENTES):

AGUERREVERE & ZULOAGA (1937), realizaron el primer estudio sistemático de las rocas de la Cordillera de la Costa y la Serranía del Interior Central aportando conceptos sobre la geología estructural y la estratigrafía regional que han sido base para un sinnúmero de publicaciones en la referida área. En dicho trabajo quedan divididas las rocas de la zona en: las rocas gnéisicas graníticas del núcleo de la Cordillera que forman el basamento metamorfizado de la cuenca y tres series metasedimentarias: Serie Caracas, Serie Villa de Cura y Serie San Juan de los Morros. Estas series luego son correlacionadas con rocas sedimentarias de edad conocida, como las lutitas de la Formación Colón, la Formación La Luna, el Grupo Cogollo y la Formación Río

Negro. De esta forma se fija una edad Cretácica para estas formaciones en base a las correlaciones.

SMITH (1952), estudia la Serranía del Interior, y la denomina "Serranía de la Costa" definiéndola como dos series de esquistos y filitas de edad Cretácica suprayacente a un basamento de roca granítica. Establece que las rocas metamórficas y las relaciones estructurales son parte del sistema de arco de islas del Caribe Este.

SEIDERS (1965), reconoce tres secuencias estratigráficas, compuestas por el Grupo Caracas y tres formaciones suprayacentes al norte y centro de la zona, en el área central el gneis de La Aguadita y rocas discordantes suprayacentes y por último asigna la tercera serie al Grupo Villa de Cura. Se asigna edad Maastrichtiense-Paleoceno para la deformación principal de la zona. Con excepción del basamento, establece que la facies de los esquistos verdes es el grado metamórfico más alto.

WEHRMANN (1972) y la revisión de GONZÁLEZ DE JUANA et al. (1980, p.317), definen la formación Las Mercedes, en la cual la litología predominante consiste en esquisto cuarzo - moscovítico - calcítico - grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes, que cuando alcanza gruesos espesores se ha denominado "Caliza de Los Colorados". Las rocas presentan buena foliación y grano de fino a medio, el color característico es el gris pardusco. La mineralogía promedio consiste en cuarzo (40%) en cristales dispuestos en bandas con la mica, moscovita (20%) en bandas lepidoblásticas a veces con clivaje crenulado, calcita (23%) en cristales con maclas polisintéticas, grafito (5%), y cantidades menores de clorita, óxidos de hierro, epidoto y ocasionalmente plagioclasa sódica. El mármol intercalado con esquisto se presenta en capas delgadas usualmente centimétricas a decimétricas, son de color gris azuloso, cuya mineralogía es casi en su totalidad calcita, escasa dolomita y cantidades accesorias de cuarzo, muscovita, grafito, pirita y óxidos de hierro. En lo que respecta a la Formación las Brisas, WEHRMANN (op. cit.) afirma que está constituida en un 90% de esquistos cuarzo-feldespático-moscovíticos; el 10% restante lo constituyen, en orden de abundancia, esquistos cuarzo-feldespáticos, epidóticos o cloríticos,

calizas, cuarcitas y metaconglomerados. Menciona igualmente, mineralizaciones pobres de cobre en algunas calizas, en forma de sulfuros y sulfatos.

SINGER (1977), señala las evidencias geomorfológicas de actividad tectónica reciente a lo largo de accidentes noroeste-sureste, como el de la falla de Chacaito, en base al análisis de depósitos correlativos de formaciones cuaternarias.

RIAL (1978), estableció un modelo telesísmico de mecanismo focal para el terremoto de Caracas de 1967, asociando éste a actividad a lo largo de fallas con rumbo NS a NW-SE.

AZPIRITXAGA y RUZZANTE (1979), estudiaron la geología de una zona ubicada en la parte central de la Cordillera de la Costa, Distrito Federal.

FANTI, FRONTADO y VECCHIO (1980) estudiaron la tectónica y sismicidad del área de Caracas y sus alrededores.

OSTOS (1981), estudió la geología de una zona entre la autopista Caracas - La Guaira y el estribo Galindo, Parque Nacional El Ávila, Distrito Federal.

URBANI et al. (1997) compilaron e integraron los trabajos realizados en el flanco sur del Ávila definiendo las siguientes unidades formales: Grupo Caracas; Formaciones Las Brisa y Las Mercedes de edad Mesozoico, y el Complejo Ávila; Esquisto de San Julián, Metaígneas de Tócome, Metagranito de Naiquatá y Augengneis de Peña de Mora de edad Pre-Mesozoico.

BAENA(1998) en su estudio geológico de la cuenca del río Tacamahaca definió las unidades informales: esquisto calcáreo cuarzoso y esquisto cuarzo micáceo grafitoso, gneis y esquisto cuarzo feldespático micáceo, metaígneas máficas y metagranodiorita. Indicando que fueron afectadas por metamorfismo de la facies de los verdes ubicada en la zona de la clorita y la biotita.

URBANI et al. (2000) propusieron una actualización de nomenclatura de las unidades de rocas ígneo-metamórfica de la parte central de la Cordillera de la Costa,

adaptándose a las convenciones internacionales para unidades litodémicas (NACSN, 1983; SALVADOR, 1994).

BARBOZA & RODRÍGUEZ (2001), determinaron 3 patrones de falla, siendo el más antiguo el de orientación E – W, a este sistema pertenecen las fallas de San Sebastián, Macuto y Ávila. Los otros dos sistemas son N 40° - 70° W y N 30° - 70° E. La foliación se debe a las texturas metamórficas lepidoblásticas y nematoblásticas. La foliación predominante N 10° - 80° E con buzamiento al norte y al sur entre 16° - 84°. Las diaclasas tienen orientación principal N 35° - 80° E y buzamiento 40° - 80° tanto al sur como al norte y N 35° - 80° W, con buzamiento 30° - 85° al norte.

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA

#### 2.1- Fase Pre-Campo:

Realizada entre los meses junio / agosto del año 2009, constó de los siguientes pasos:

- Revisión bibliográfica de trabajos previos realizados en la zona (etapa que continuó durante todas las fases).
- Revisión e interpretación de las fotografías aéreas del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar, misión 0304167 a escala 1:20.000, con el fin de establecer las posibles vías de acceso y definir a grandes rasgos las litologías que se encontrarían en campo así como una interpretación estructural de la zona de estudio.
- Revisión e interpretación de las imágenes satelitales, autopista Caracas-Guarenas, pertenecientes a la fundación: Instituto para Investigación y Desarrollo Tecnológico Centro de Procesamiento Digital de Imágenes (2007-FUNVISIS).
- Recopilación y revisión del material bibliográfico correspondiente a la zona de estudio, entre los que destacan: mapas geológicos/topográficos, tesis, publicaciones, libros, etc.
- Revisión de los mapas topográficos del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar, a escala regional 1:100.000 de la hoja 6847, perteneciente al año 1986.
- A nivel detallado se revisaron y digitalizaron los mapas topográficos a escala 1:5.000: F-48, G-48 y G-49; pertenecientes al Gobierno del Distrito Federal- Dirección General de Planificación y Presupuesto, junio-1984.
- Reconocimiento de la zona de estudio, circulando la carretera Petare-Guarenas y las Quebradas Caiza –Valencia.
- La tabla N° 1 muestra en resumen de las consultas que soportan la investigación.

Tabla N° 1: Mapas, Cartas Topográficas, Fotografías aéreas e Imágenes Satelitales

MAPAS				
Descripción	Código	Escala	Año	Fuente
Plano Aerofotogramétrico	F 48	1:5.000	1983	Gobernación del Distrito Federal, Dirección General de Planificación y Presupuesto
Plano Aerofotogramétrico	G 48	1:5.000	1983	Gobernación del Distrito Federal, Dirección General de Planificación y Presupuesto
Plano Aerofotogramétrico	G 49	1:5.000	1983	Gobernación del Distrito Federal, Dirección General de Planificación y Presupuesto
Mapa Geológico	REF-6847 DG	1:100.000	1986	Ministerio de Energía y Minas
Mapa Geológico	6847-II-NE	1:25.000	2003	FUNVISIS
Mapa Geológico	6847-III-NE	1:25.000	2003	FUNVISIS
Mapa Geológico	6847-II-NO	1:25.000	2003	FUNVISIS
Mapa Geológico	6846-II-NE	1:25.000	2003	FUNVISIS
Mapa Geológico	6846-III-NE	1:25.000	2003	FUNVISIS
FOTOGRAFÍAS AEREAS				
Misión	Escala	Año	Fotos	
0304167	1:20.000	1983	023 – 024 – 025 – 026 - 027	
030304	1:7.500	1956	265	
0304167	1:20.000	1983	061 – 062 - 063	
FOTOGRAFÍAS SATELITALES				
Ubicación	Escala	Año	Fuente	
Autopista Caracas - Guarenas	1:100.000	2007	FUNVISIS -Centro de Procesamiento Digital de Imágenes.	

## 2.2- Fase de Campo:

Realizada entre los meses agosto / septiembre del año 2009, constó de los siguientes pasos:

- Ubicación de los afloramientos en las quebradas Valencia y Caiza, así como

secciones de talud a lo largo de la carretera Petare-Guarenas.

- Levantamiento Geológico del transepto de estudio tomando en cuenta todos los rasgos litológicos, estructurales y geomorfológicos. Este levantamiento incluyó la elaboración de una poligonal con el uso de un GPS, y una brújula.
- Caracterización de los tipos litológicos presentes en las secciones a estudiar, especificando las características de la roca (color fresco y meteorizado, granulometría, etc.).
- Recolección de muestras de roca y suelo, en intervalos variables dependiendo de las condiciones del terreno y/o el tipo de litología presente en la misma. Las muestras fueron georeferenciadas para ser luego ubicadas dentro de los mapas.
- Se utilizaron diferentes criterios de recolección de muestras entre los cuales se tomaron los afloramientos que presentaran menor grado de meteorización, aquellos donde los planos de las capas estuvieran bien definidos para tomar datos de rumbo y buzamiento, las cuales dependieron principalmente del tipo litológico.

#### 2.2.1- Materiales Empleados (Geología de Campo)

Se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Libreta de campo
- Cámara fotográfica
- Lápiz, marcadores, tirro , bolsas plásticas.
- Martillo geológico
- Cinta métrica de 50 metros de longitud
- Brújula con clinómetro (Brunton)
- GPS Explorist Megellan previamente calibrado.

##### 2.2.1.a- Recolección de Datos (Geología de Campo)

- La recolección de datos se fundamenta en la medición de la orientación y características principales de los planos de foliación, fallas, pliegues y

diaclasas, así como también la rugosidad y persistencia de dichas diaclasas.

- Se adquieren en el campo muestras de roca y suelo, durante el levantamiento geológico de taludes de corte generados a partir de la carretera, así como también de las quebradas Caiza y Valencia.
- Las muestras de roca fueron ubicadas mediante sistema de posicionamiento global, dada la practicidad de su uso y la poca posibilidad de ubicar algunas zonas mediante. Dicha ubicación geográfica de las coordenadas se hizo en el sistema UTM en base al huso 19 (Universal Transversal Mercator).
- En la libreta de campo se agrega una descripción litológica de las muestras, conteniendo su composición básica mineralógica, presencia o no de carbonatos, el perfil de meteorización si fuese posible determinarlo (espesor mínimo del perfil de meteorización en caso contrario tomando en cuenta los horizontes visibles y el estado de la roca) y observaciones generales sobre la frecuencia de plegamientos o persistencia de las discontinuidades (para los taludes).
- La nomenclatura utilizada para identificar las muestras obtenidas representan el tipo de afloramiento mediante sufijos de la siguiente forma: MD #.
- Se tomaron fotografías de aquellos afloramientos representativos de las zona que demuestren información útil, acompañadas de una escala gráfica.

#### 2.2.2- Materiales Empleados (Geofísica de Campo)

Instrumentos utilizados:

- Sismógrafo Geometrics de 12 canales.
- Cable de datos sísmicos de 12 canales.
- Geófonos (12 en uso y 1 de repuesto).
- Trigger o gatillo (1 en uso y 1 de repuesto).
- Batería de 12V con su cable para alimentación del sismógrafo.
- Teclados.
- Mandarrias.

- Cava.
- Cobertor plástico.
- GPS Explorist Megellan previamente calibrado y brújula.

#### 2.2.2.a- Recolección de Datos (Geofísica de Campo) ver figura 2.

- Reconocimiento del área de interés para estudios geofísicos sísmicos.
- Determinación de parámetros de grabación, geometría, situación geográfica y metodología en general óptima para la adquisición de datos sísmicos de refracción múltiple.
- Adquisición de datos sísmicos de refracción múltiple para la correlación y validación de los datos de geología de superficie levantados e interpretados, con la finalidad de luego de procesar dicha información.
- Para recabar los datos de refracción sísmica se procede a determinar las dimensiones del área de estudio basadas en el objetivo previamente definido, seguidamente se delimitan la orientación, dimensiones y características del tendido, se establece la geometría de adquisición y se fijan los parámetros de grabación. Para comenzar la grabación de los mismos se le suministra energía al sistema en forma de ondas mecánicas producidas por el apilamiento sucesivo con golpes de la mandarina sobre la plancha de hierro. Luego de revisar, ubicar y caracterizar el espacio a prospectar, se procede a establecer el tendido sísmico.

#### 2.2.2.a.a- Características del Tendido para Refracción múltiple (GF1) (Ver figura N° 2):

- Ubicación: punto GPS GF1-1 y GF1-2. Azimut: N88E.
- Parámetros de Adquisición: Intervalo de muestreo: 500 $\mu$ s, longitud de grabación: 1024ms.
- Geometría: 12 canales, fuente en (0; 9; 27; 31,5; 36; 45 y 63)m, offset: 4,5m, espacio entre geófonos: 9m.

- Observaciones: terreno regular, en MM06 se utilizo sensibilidad de trigger 50, mientras en todos los demás 100.

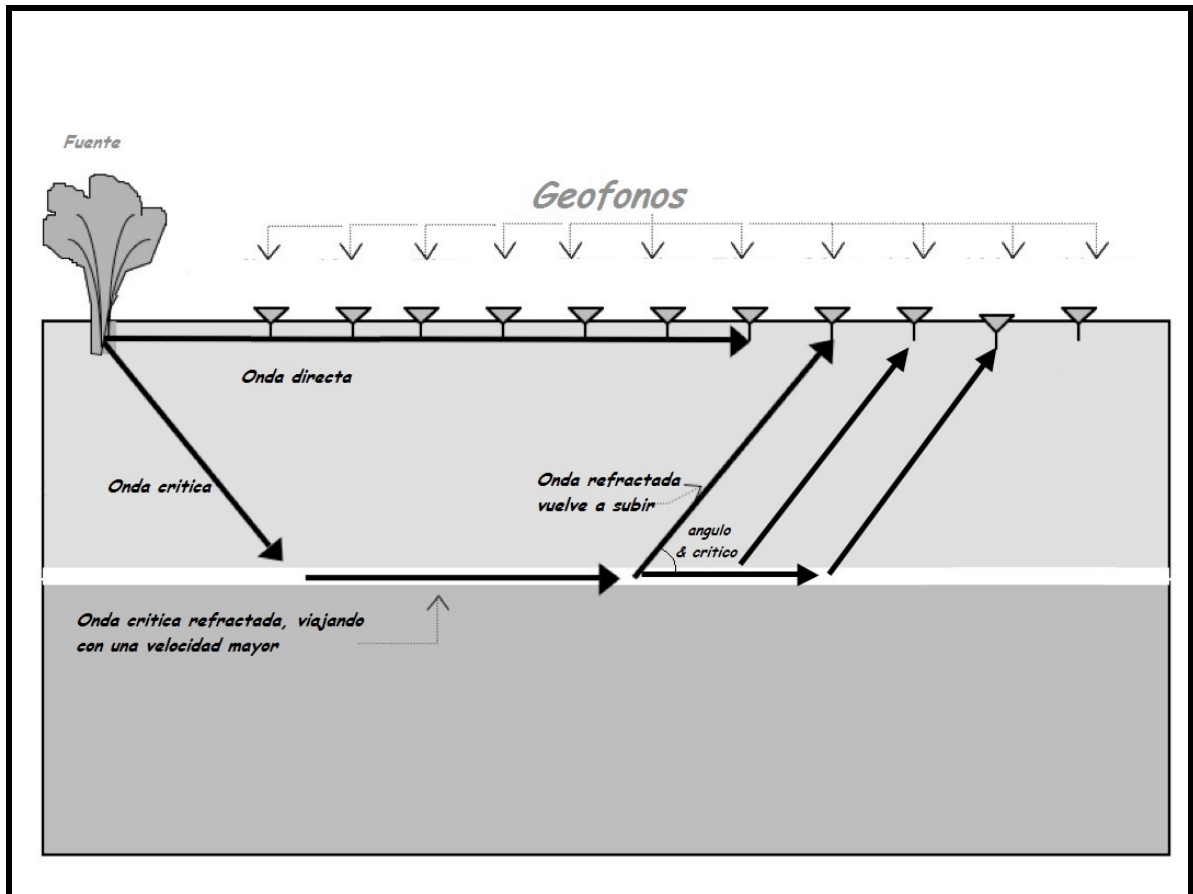


Figura N° 2: Croquis de Tendido para Refracción múltiple.

### 2.3- Fase Post-Campo

Realizada en dos etapas, la primera etapa de laboratorio (Noviembre) y la segunda de oficina (Diciembre-Febrero).

2.3.1- Fase de Laboratorio: En esta etapa de laboratorio se realizaron los distintos ensayos requeridos para la caracterización geomecánica, así como también la petrográfica de las distintas muestras de interés:

2.3.1.a- El análisis petrográfico convencional (secciones finas): se realizó a diez muestras recolectadas a nivel de afloramientos (georeferenciados). Este estudio

contempló el reconocimiento de los diferentes componentes y su contenido, porcentaje, tipo de porosidad y evidencias diagenéticas.

#### 2.3.1.b- Ensayo de Compresión Uniaxial:

Determina la resistencia a la compresión inconfiada de una muestra de roca de geometría regular, generalmente cilíndrica. Los resultados son utilizados para la clasificación y caracterización geotécnica de la roca intacta. Si se miden las deformaciones, pueden calcularse el módulo de Young y la relación de Poisson.

-Aparatos usados:

- Prensa de carga. (Ver foto N° 1).
- Discos de acero para transmisión de la carga de espesor igual a 15mm.



Foto N° 1: Prensa para ensayo de compresión uniaxial.

-Requerimientos de la muestra:

- La muestra debe ser representativa del tipo de roca, y en caso de ser cilíndrica, tener una altura de dos a dos veces y media el diámetro del cilindro. En nuestro caso se le puede aplicar una corrección de volumen, cortando la muestra en forma cúbica, donde cada lado debe tener 6cm de largo. (Ver foto N° 2 y N° 2.1)



Foto N° 2: Preparación de muestra cúbica



Foto N° 2.1: Muestra cúbica 6 cm

### 2.3.2- Fase de Oficina:

2.3.2.a-Digitalización de la zona en cuestión: a partir del calco de 3 mapas topográficos a escala 1:5.000: F-48, G-48 y G-49; pertenecientes al Gobierno del Distrito Federal- Dirección General de Planificación y Presupuesto, junio-1984 (proporcionados por MINFRA). El formato digital se ha complementado con la información geológica recopilada en la fase de campo, mediante el manejo del software Autocad-landesktop 2008.

2.3.2.b-Procesamiento y análisis continuo de los datos recolectados en campo mediante el uso del software stereonet, para construcción de proyecciones hemisféricas de los planos de foliación y discontinuidades.

2.3.2.c- Clasificación GSI y RQD (clasificación geomecánica de roca), el cual según la norma ASTM 6032-96.

2.3.2.d- Determinación de la calidad de la roca excavada, a través de las clasificaciones del macizo rocoso según los siguientes autores: Bieniawski y Barton.

2.3.2.e-Integración de la información contenida en el mapa geológico de la zona en estudio, mediante la descripción de caracteres estructurales y litológicos, a partir de la revisión de trabajos previos y en conjunto con los estudios realizados en campo.

## CAPITULO III

### MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describirán fundamentos y conceptos básicos que permiten comprender y cumplir con los objetivos de este trabajo. Terzaghi conceptualiza: La mecánica de suelos como “la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería tratados con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o la descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no materia orgánica”. Dicho concepto describe de manera global el potencial de estabilidad de los suelos, así como también su capacidad de soporte al problema de inestabilidad, presentando una característica muy propia para ser resuelto. Adicionalmente, González de Vallejo (2002) señala que la mecánica de rocas se ocupa del estudio teórico y práctico de las propiedades y comportamiento mecánico de los materiales rocosos, y de su respuesta ante la acción de las fuerzas internas y externas aplicadas en su entorno físico.

La mecánica de rocas tiene su campo de aplicación principalmente en proyectos donde el material rocoso constituye la estructura misma y en donde la roca es el soporte de otras estructuras.

Durante las últimas décadas la Ciudad de Caracas ha experimentado una gran expansión en la urbanización de los cerros que componen el perímetro del valle. Las rocas que componen estos cerros son principalmente esquistas de uno de estos tipos: micáceos, silicios, calcáreos, grafitosos o combinaciones de los mencionados. Estas rocas son bastante competentes cuando no han sido alteradas pero como consecuencia de las estaciones secas y lluviosas, la zona de meteorización es muy profunda dentro de los taludes.

A continuación se presentan algunas definiciones básicas de tipo geológicas, geofísicas y geotécnicas importantes para la comprensión de este tema:

### 3.1 - Discontinuidad:

PITEAU (1971) define las “discontinuidades estructurales o planos de debilidad”, dentro de cualquier estructura geológica que separe bloques sólidos de un macizo rocoso como diaclasas, fallas. etc. Estas estructuras tienen resistencia apreciablemente menor a la roca intacta y constituyen discontinuidades mecánicas dentro del macizo rocoso.

La sociedad internacional de mecánica de rocas ISRM (INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS) define en el año 1975 los términos colectivos para la mayoría de las diaclasas: planos de estratificación débiles, planos de esquistosidad débiles, zonas débiles y fallas. Estos términos se aplican para cualquier discontinuidad dentro de un macizo rocoso donde la resistencia a la tracción sea nula o muy baja.

Tomando en consideración la información suministrada por estos autores se utilizará de ahora en adelante en este trabajo el término discontinuidad para nombrar indistintamente a las foliaciones, diaclasas, fallas y estratificación. Teniendo por entendido que estas superficies disminuyen la capacidad de carga del macizo rocoso y a la vez la resistencia al corte es menor que en la roca intacta.

### 3.2 - Diaclasa:

Esta definida por fracturas en las rocas que no va acompañada de deslizamiento de los bloques que determina, no siendo el desplazamiento más que una mínima separación transversal. Se distinguen así de las fallas, (fallas= fracturas en las que sí hay deslizamiento de los bloques); SALCEDO (1993) las define como un quiebre o fractura de origen geológico en la continuidad de la roca a lo largo de la cual no a existido deslizamiento visible.

Las diaclasas dentro de un macizo rocoso pueden ser paralelas entre si, en este caso las denominamos una familia de diaclasas; cuando en un macizo rocoso existen varias familias de diaclasas y estas a su vez se interceptan se tiene un sistema de diaclasas. Algunas consideraciones importantes sobre las diaclasas:

-Las diaclasas que interceptan a los planos de foliación o de estratificación se denominan diaclasas de foliación o de estratificación respectivamente.

-Las diaclasas están asociadas a procesos de compresión tectónica, durante la generación de fallas y pliegues.

- Según del nivel de persistencia, frecuencia y tamaño dentro del macizo las familias de diaclasas se determinan como familias de diaclasas primarias y familias de diaclasas secundarias.

SALCEDO (1983) también define términos como “diaclasa maestra” como la que corta a través de un gran número de capas, o unidades de rocas que pueden ser seguidas por cientos de metros.

### 3.3- Fallas:

Las fallas son fracturas que se evidencian por el desplazamiento relativo de un lado respecto al otro. La clasificación de las fallas depende de la relación existente con las capas que corte, de su buzamiento, desplazamiento y de la mecánica del desplazamiento. (SALCEDO 1983).

### 3.4 - Grietas:

Las grietas son fracturas de poca dimensión.

### 3.5 - Fracturas:

Las fracturas son discontinuidades mecánicas en las rocas tales como diaclasas, fallas, grietas, fisuras.

### 3.6 - Nomenclatura de un Talud o Ladera:

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. La diferencia existente entre un talud y una ladera es que el primero fue generado artificialmente mientras las laderas se originan por procesos naturales. (SUÁREZ J. 1998).

Las laderas que han permanecido estables por mucho tiempo pueden fallar en forma imprevista debido a cambios topográficos, sismicidad, flujos de agua

subterránea, cambios en la resistencia de los suelos, meteorización o factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad.

Los taludes se pueden agrupar en tres categorías: los terraplenes, los cortes de laderas y los muros de contención.

Elementos dentro de un talud o ladera (SUÁREZ J. 1998):

3.6-1- Altura: es la distancia vertical que existe entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales pero es complicada de cuantificar en ladera; ya que en estas el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.

3.6.2- Pie: corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.

3.6.3- Cabeza o escarpe: se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.

3.6.4- Altura de nivel freático: Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.

3.6.5- Pendiente: es la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación M/1, en la cual M es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical. Ejemplo: pendiente: 45°, 100%, o 1H: 1V.

### 3.7 - Dureza de las Rocas:

La resistencia a la compresión simple es el mejor indicador de la dureza de las rocas frente a su aptitud a la trituración. Esta resistencia puede estimarse, sea directamente en el laboratorio, ensayando muestras provenientes de perforaciones con recuperación de núcleos, o indirectamente en el campo, a partir de muestras irregulares mediante el ensayo de carga puntual, o aún en el mismo macizo mediante la lectura de rebote del martillo Schmidt, o, finalmente, a partir de tablas de clasificación de dureza. (Ver tabla N° 2).

Tabla N° 2: Índice de Dureza de las Rocas.

Grado	Descripción	Identificación de Campo	Rango aprox. De resistencia a la carga simple, MPa
R0	Roca de resistencia extremadamente baja.	Indentada por la uña del pulgar.	0.25 - 1.00
R1	Roca de resistencia muy baja.	Se desmenuza bajo golpes secos con la punta del martillo geológico, puede ser descortezada con una navaja.	1.00 - 5.00
R2	Roca de resistencia baja.	Con dificultad puede ser descortezada con una navaja; el golpe seco con la punta del martillo geológico produce indentaciones superficiales.	5.00 - 25.0
R3	Roca de resistencia media.	No puede ser arañada o descortezada con una navaja ; la muestra puede ser fracturada con un solo golpe seco con el martillo geológico.	25.0 - 50.0
R4	Roca resistente.	Para romperlas requieren mas de un golpe con el martillo geológico.	50.0 – 100
R5	Roca muy resistente.	Para romper la muestra se requiere de muchos golpes con el martillo geológico.	100 – 250
R6	Roca extremadamente resistente.	La muestra solo puede ser desmenuzada con el martillo geológico.	> 250

Fuente: Fuente: ISRM (1981).

### 3.8 - Clasificación de los movimientos de masa:

3.8.1- ISRM (1981). Define que las fallas generadas en un macizo rocoso, aceptando que el movimiento posible de bloques de roca solamente es controlado por las discontinuidades, se pueden dividir en tres tipos: deslizamiento planar, deslizamiento de cuña y volcamiento.

3.8.1.a- Fallas Planares: Ocurren por gravedad en el caso de un bloque de roca que descansa sobre una discontinuidad; el plano de esta discontinuidad debe presentar una pendiente menor que el talud natural. Para que ocurra el movimiento, es necesario que la inclinación del plano de deslizamiento sea mayor que el ángulo de fricción en ese plano (ISRM,1981).

#### 3.8.1.a.a- Condiciones geométricas para ocurrencias de fallas Planares:

- a. El plano en el cual ocurre el movimiento debe tener un rumbo aproximadamente paralelo ( $\pm 15^\circ$ ) al plano del talud.
- b. El plano de falla debe intersectar el plano del talud. Es decir, el buzamiento de la discontinuidad debe ser menor que la pendiente del talud.
- c. El buzamiento del plano de falla debe ser mayor que el ángulo de fricción en ese plano.
- d. Deben existir superficies laterales de relevamiento de esfuerzos que contribuyen con muy poca resistencia al deslizamiento y que representaran los límites laterales del deslizamiento.

3.8.1.b- Fallas en Cuñas: Se refiere el caso de fallas según dos planos de debilidad definiendo un bloque de roca cuyo movimiento esta controlado por la dirección de la recta de intersección de los planos. Las fuerzas que las producen son generadas por las unidades adyacentes incluyendo además la fricción, cohesión, presiones de poros, aguas en las grietas y los movimientos sísmicos. (ISRM ,1981).

3.8.1.c- Fallas en Volcamiento: Ocurre mayormente en rocas que buzcan con ángulos altos en sentido contrario al frente del talud. El movimiento comprende el volcamiento de bloques de rocas que tratan de doblarse y caer por su peso. (ISRM, 1981). (Ver figura N° 3)

3.8.1.d- Fallas en Deslizamiento: Este movimiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, pueden ser de una sola masa que se mueve o pueden comprender varias unidades o masas semi-independientes. (SUÁREZ J. 1998). (Ver figura N° 3)

3.8.1.e- Fallas Circulares: Cuando la roca esta muy fracturada y/o meteorizada, el macizo se comporta en forma homogénea sin direcciones preferentes de falla; en este caso la superficie de falla se asume circular y la metodología de análisis es la misma aplicada en mecánica de suelos. (Ver figura N° 3).

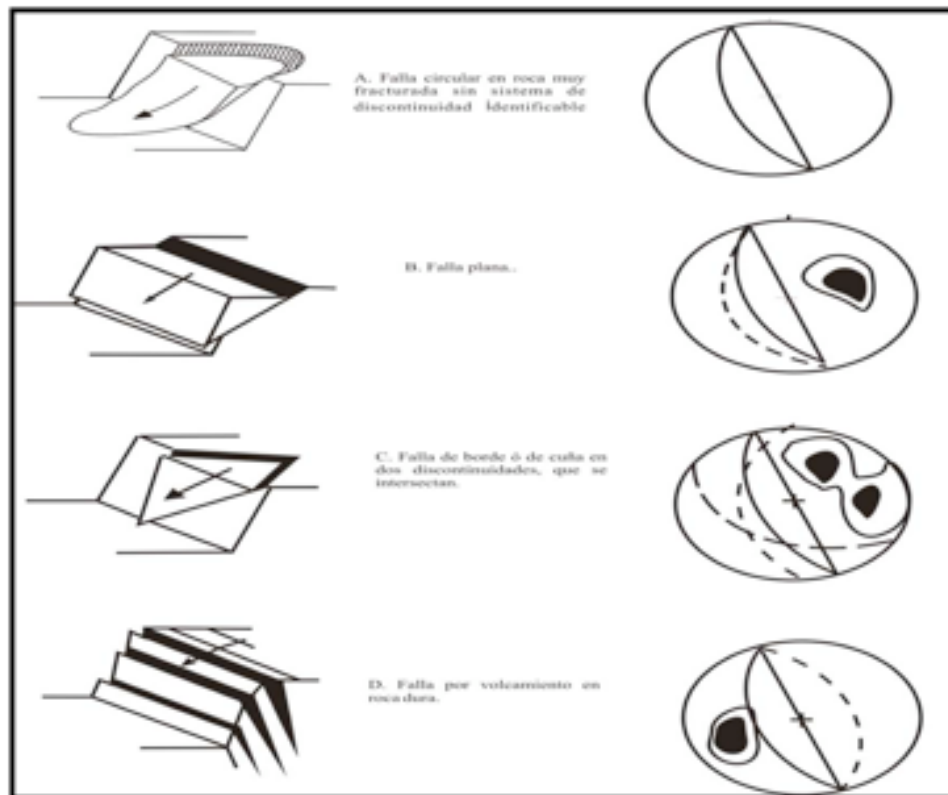


Figura N° 3: Tipos de Fallas en Macizos Rocosos. (HOEK Y BRAY 1974).

### 3.9- Exploración del subsuelo mediante ondas elásticas:

La prospección con métodos sísmicos consiste en explorar el subsuelo mediante ondas sísmicas. El método involucra un elemento generador de ondas sísmicas denominado fuente, un medio de propagación (rocas, aire, agua) y un elemento detector-registrador de las ondas denominado receptor. Analizando las ondas registradas se espera obtener información de las propiedades elásticas y morfológicas del medio de propagación. El método de obtener información mediante ondas elásticas es utilizado por todos los animales que disponen de un sistema para producir sonidos y un sistema para detectarlas (sistema auditivo). Los más parecidos a los utilizados en prospección sísmica son los sistemas de eco-localización o reflexión de ondas de los murciélagos y guácharos en el aire y el de los delfines en el agua.

Producto de la tecnología humana son los ecosonogramas usados principalmente para observar el feto en el vientre materno, los métodos ultrasónicos para detectar fisuramientos y puntos de debilidad en piezas mecánicas y el sonar usado para determinar la profundidad del fondo marino, localizar submarinos y bancos de peces.

Las ondas elásticas que se propagan por el aire y el agua son más conocidas como “ondas acústicas u ondas sónicas” (sean o no audibles por el ser humano) y las que se propagan por el subsuelo se conocen como “ondas sísmicas”; sin embargo, desde el punto de vista físico no se diferencian.

La energía de deformación elástica liberada por una fuente sísmica se propaga por el subsuelo mediante ondas. Pero estas ondas adoptan diversas características. Según el espacio en que se propagan existen ondas superficiales y ondas de cuerpo. Las ondas superficiales sólo se originan y propagan cerca de la superficie entre dos medios con propiedades elásticas distintas. Las más importantes son las que se propagan cerca de la superficie del suelo y entre las que se cuentan las ondas Rayleigh y las ondas Love. Estas son las ondas que más daño causan durante los terremotos y también las que mayores problemas causan en los registros de prospección sísmica por reflexión, porque debido a su gran amplitud ocultan las

débiles reflexiones en las capas a mayor profundidad. Las ondas de cuerpo se propagan a través de todo el volumen de material elástico. Cuando el material del subsuelo es isótropo sólo pueden propagarse dos tipos de ondas de cuerpo: las ondas P y las ondas S. Las ondas P, también se conocen como ondas primarias, ondas irrotacionales u ondas compresionales. Como ellas presentan siempre mayor velocidad que las ondas S y que las ondas superficiales, son siempre las primeras en llegar a cualquier distancia de la fuente. En materiales isótropos las ondas P se caracterizan porque el movimiento de las partículas del suelo al paso de la onda sigue la misma dirección en que esta se propaga. Las ondas S, también se conocen como ondas secundarias, ondas de corte u ondas equivolumentales. Siempre tienen menor velocidad que las ondas P y las partículas del suelo se mueven en una dirección ortogonal a la dirección en que se propaga la onda. Las ondas S se pueden descomponer en dos componentes vectoriales: ondas SV en las que el movimiento ocurre enteramente en un plano vertical, y ondas SH en las que el movimiento ocurre en un plano horizontal (Cavada, 2000).

### 3.10 –Métodos de prospección sísmica:

Los métodos de prospección sísmica se pueden clasificar según el tipo de ondas utilizadas para obtener información del subsuelo. Según este criterio se tienen métodos basados en:

3.10.1- ondas reflejadas

3.10.2- ondas cónicas o refractadas críticamente

3.10.3- ondas directas

3.10.4- ondas superficiales

Cuando se efectúa un registro sísmico, casi siempre es inevitable que se reciban y graben todos estos tipos de ondas; sin embargo, sólo uno de ellos se considera útil. Las ondas consideradas útiles se las denomina “señal”, mientras que las ondas de otro tipo se las denomina “ruido” y se consideran inconvenientes. Por ejemplo, en el método de reflexión, sólo se consideran útiles las ondas sísmicas reflejadas, mientras

que las cónicas, directas y superficiales se consideran ruido. Por el contrario, cuando se utilizan métodos basados en ondas superficiales, estas son la “señal”, mientras que las reflejadas forman parte del ruido.

El método de exploración sísmica más utilizado para prospección de hidrocarburos es el que utilizan ondas reflejadas y se denomina “método de reflexión sísmica”. El siguiente método más utilizado en prospección de hidrocarburos es el que utiliza ondas directas, y en esta categoría caen todos los registros sísmicos de pozo. Las ondas directas también se utilizan en geología aplicada a obras civiles, ya sea en pozos o en galerías (Cavada, op.cit.).

### 3.11- Sísmica de Refracción:

La sísmica de refracción es un método sísmico de prospección donde se generan ondas sísmicas, por impulsos controlados, a través explosivos y/u objetos pesados que se dejan caer sobre la superficie y se determina el tiempo de llegada de la energía refractada o reflejada usando geófonos (receptores), los cuales se colocan en perfiles a una distancia conocida de la fuente.

La fuente y los detectores se encuentran en la superficie, la cual en la mayoría de los casos es tierra. La información del subsuelo es aportada por las ondas sísmicas refractadas críticamente en las interfases entre estratos de diferente velocidad de ondas sísmicas compresionales (ondas P). Estas ondas refractadas críticamente también se conocen como ondas cónicas, ondas de primera llegada, ondas de cabecera, ondas laterales. Ellas son, con excepción de las ondas directas hasta cierta distancia, las que primero llegan a los receptores desde el instante en que se produce la liberación de energía en la fuente, por lo que identificarlas y medirles el tiempo de llegada suele ser relativamente sencillo. La mayor aplicación del método es explorar el subsuelo con fines geotécnicos o mineros a profundidades entre 0 y 100 m . Es efectivo para delimitar la interfase entre medios elásticos con un fuerte contraste de velocidad (mayor que 2:1), tal como el que existe entre el basamento de roca inalterada y el material de recubrimiento constituido por aluvión o por roca meteorizada. No suele ser de utilidad para delimitar estratos sedimentarios entre si.

Debido a la alta resolución que se consigue, con la sísmica de refracción se busca determinar las velocidades y los espesores de las formaciones en el subsuelo utilizando los tiempos de viajes de ondas críticamente refractadas, llamadas también ondas cabezales o “head wave” y se utiliza principalmente para fines geotécnicos, prospección de acuíferos, así como delimitación de las primeras capas del subsuelo.

Se debe tomar en cuenta que la adquisición de los datos durante la sísmica de refracción se puede diseñar dependiendo del objetivo a estudiar, por ejemplo, para definir estructuras a grandes profundidades o para realizar estudios someros (Cavada, op.cit.).

En la sísmica de refracción la distancia entre la fuente y los receptores debe ser grande, aproximadamente 4 veces la profundidad esperada, ya que los rayos refractados se propagan a lo largo de discontinuidades o límites entre capas.

Por otro lado la frecuencia dominante para la sísmica de refracción se encuentra entre los 5 a 20 hertz. La característica principal de la sísmica de refracción es la de poder detectar las interfases entre capas litológicas. La mayor aplicación de la sísmica de refracción es la de explorar el subsuelo con fines geotécnicos (interesa la profundidad de la roca inalterada, grado de meteorización, localizar materiales de construcción, grado de fractura o de facilidad de fractura de la roca y evaluación de riesgo sísmico) a profundidades entre 0 y 100 metros o con fines petroleros. La sísmica de refracción es bastante práctica para delimitar la interfase entre medios elásticos con un fuerte contraste de velocidad, como por ejemplo el existente entre el basamento de roca inalterada y el material de recubrimiento que usualmente es aluvional o roca meteorizada (Cavada, op.cit.).

#### 3.11.1- Instrumentos usados en la prospección:

a-Geófonos: son transductores de desplazamiento, velocidad o aceleración que convierten el movimiento del suelo en una señal eléctrica. En los métodos sísmicos de prospección se suele registrar el movimiento del suelo generado por una fuente energética como son los explosivos y camiones vibradores.

b- Cámara sísmica (sismógrafo): Un sismógrafo es un instrumento usado para medir

movimientos de la Tierra. Se basa en el principio de inercia de los cuerpos, como sabemos este principio nos dice que todos los cuerpos tienen una resistencia al movimiento o a variar su velocidad. Así, el movimiento del suelo puede ser medido con respecto a la posición de una masa suspendida por un elemento que le permita permanecer en reposo por algunos instantes con respecto al suelo.

### 3.12 -Ley de Snell:

En la refracción sísmica se producen dos tipos de ondas elásticas desde la fuente, estas son las “P” y las “S”. Si consideramos un frente de ondas viajando por un cuerpo con velocidad de propagación  $V_1$  acercándose a la superficie de separación con respecto a otro cuerpo con velocidad de propagación  $V_2$ , al pasar la energía de un primer medio a un segundo medio, la razón entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción es igual a la razón entre la velocidad de la onda en el primer medio y la velocidad de la onda en el segundo medio. (ver figura N° 4).

#### 3.12.1- Ley de refracción (Ley de Snell)

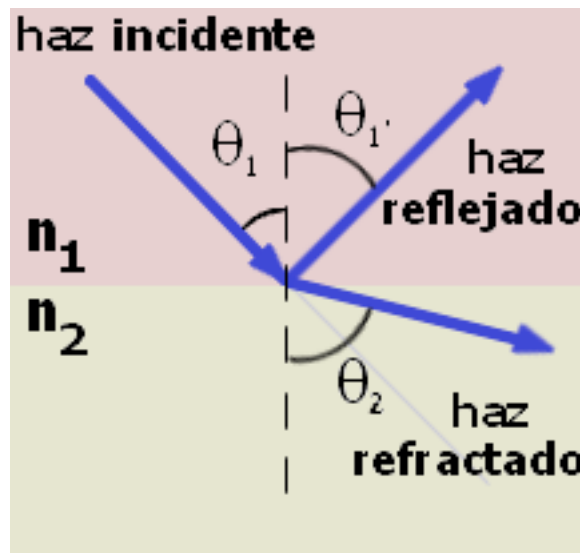


Figura N° 4: Ley de refracción (Ley de Snell).

$$n_1 \cdot \text{sen } q_1 = n_2 \cdot \text{sen } q_2$$

$q_1$ : ángulo entre el haz incidente y la normal (perpendicular) a la superficie

$q_2$ : ángulo entre el haz refractado y la normal a la superficie

El ángulo de incidencia  $q_1$  es igual al ángulo de reflexión  $q_1$ .

3.13- Algunas definiciones básicas importantes relacionadas con la mecánica de rocas son las siguientes:

3.13.1- Roca sana: Roca original sin fracturamiento que forma el substrato impermeable.

3.13.2- Roca fresca: Roca que no presenta cambios en su composición original.

3.13.3- Roca meteorizada: Roca que presenta cambios físicos o químicos en su composición original.

3.13.3.a- Roca descompuesta: roca fracturada, que presenta alteración física.

3.13.4- Discontinuidad: Es cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que separa bloques de matriz rocosa en un macizo rocoso.

3.13.5- Macizo rocoso: Es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades de diversos tipos que afectan el medio rocoso.

3.13.6- Matriz rocosa: Es el material rocoso exento de discontinuidades.

3.13.7- Anisotropía: Se refiere a la condición del material rocoso de presentar diferentes propiedades y comportamiento mecánico según la dirección considerada, debido a la presencia de planos de debilidad con orientaciones preferentes.

3.13.8- Heterogeneidad: Se refiere a la variabilidad de las propiedades físicas y mecánicas de un medio rocoso que puede presentarse debido a diferencias de litología, grados de meteorización, alteración y presencia de agua.

3.13.9- Factores de interés:

Al estudiar un macizo rocoso se tienen que tomar en cuenta factores claves que controlan su comportamiento ante las modificaciones de las condiciones del medio rocoso a causa de la acción antrópica; estos factores son:

- Las características de la matriz rocosa y las discontinuidades
- Las propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso
- Las estructuras geológicas (tectónicas y sedimentarias)

- El estado tensional al que está sometido
- El grado de alteración y meteorización
- Las condiciones hidrogeológicas y ambientales

La importancia de darle un carácter cuantitativo a estos factores para utilizarlos en el diseño de obras ingenieriles, dio origen a una serie de clasificaciones geomecánicas. Estos sistemas de clasificación de macizo rocoso son una herramienta práctica y muy útil que además permite al profesional estimar la viabilidad, durabilidad, costos, y tiempo de ejecución de un proyecto.

#### 3.14- Clasificación de macizos rocosos:

Las clasificaciones geomecánicas tienen por objeto caracterizar un determinado macizo rocoso en función de una serie de parámetros a los que se les asigna un cierto valor. Estas clasificaciones permiten obtener datos sobre los parámetros geomecánicos de un macizo rocoso de una manera práctica, rápida y económica mediante la observación directa y la realización de sencillos ensayos. Por medio de estas se llega a calcular un índice característico de la roca, que permite describir cuantitativamente la calidad de la misma.

Las clasificaciones pueden ser usadas tanto en la etapa de proyecto como durante la obra. En la etapa de proyecto, permiten estimar el sostenimiento necesario en base a las propuestas del autor de cada sistema de clasificación, mientras que durante la obra, permiten evaluar la calidad del terreno que se va atravesando conforme avanza la excavación del túnel y aplicar el sostenimiento correcto en cada caso.

Las clasificaciones geomecánicas modernas, más utilizadas y aceptadas son la de Bieniawski, la de Barton y el índice GSI y el índice RQD.

#### 3.15- Caracterización en campo de los macizos rocosos

La caracterización o descripción de un macizo rocoso es uno de los pasos iniciales que se debe efectuar cuando se pretende realizar un proyecto de ingeniería

que involucre modificar el estado inicial de una masa rocosa, es decir, se debe evaluar geomecánicamente el medio rocoso para de esta manera mitigar posibles imprevistos geológicos y geomecánicos que afecten la viabilidad del proyecto, e impliquen costos excesivamente altos en el sostenimiento.

Esta caracterización debe hacerse de manera cuidadosa, sistemática y en un lenguaje técnico, de manera que pueda ser utilizado como dato en cualquiera de los diferentes sistemas de clasificación de los macizos rocosos descritos anteriormente. Para lograr esto, se realizó el levantamiento geológico en etapas, las cuales se describen a continuación:

#### 3.15.1- Descripción general y zonificación

Es el primer paso en el estudio de un macizo rocoso, consiste en la descripción geológica general que incluye:

3.15.1.a-Identificación: Se indica la localización o ubicación precisa del afloramiento, accesos, situación geográfica, extensión y las condiciones generales en las que se encuentra.

3.15.1.b-Descripción: Se deben identificar las litologías presentes y su color, los rasgos estructurales generales, estructuras observables como fallas, pliegues, zonas meteorizadas, presencia de agua y diaclasas predominantes; todo esto de manera general. Es recomendable tomar una fotografía y realizar un dibujo o esquema.

3.15.1.c- División en zonas: Consiste en zonificar el afloramiento determinando las zonas que litológica y estructuralmente sean más o menos homogéneas.

#### 3.15.2- Caracterización de la matriz rocosa:

Consiste en la identificación de las características y propiedades intrínsecas del material básico. Se debe hacer una caracterización a detalle de cada una de las zonas identificadas, tomando en cuenta lo siguiente:

##### 3.15.2.a- Identificación de la litología:

Se debe determinar el tipo o los tipos de roca presentes según su litología. Para

usos geotécnicos no es necesario hacer una descripción geológica exacta, basta con indicar los principales minerales observables a simple vista, su dureza, color, tamaño de grano, y en qué forma se presentan dentro de la zona estudiada.

La roca puede nombrarse y clasificarse según la tabla 14, propuesta por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM).

### 3.15.2.b- Descripción de las discontinuidades:

Las superficies o planos de discontinuidad, imprimen un carácter discontinuo y anisotrópico a los macizos rocosos haciéndolos deformables y débiles por lo que condicionan las propiedades y el comportamiento geomecánico de los mismos, siendo además, planos preferentes de alteración, meteorización y fractura que permiten el flujo de agua. Es por esto que su reconocimiento descripción y caracterización son fundamentales para el estudio y la estimación del comportamiento geomecánico del macizo.

Según el ISRM (1981), las discontinuidades pueden clasificarse en sistemáticas, cuando se encuentran en familias, y singulares cuando aparecen en un único plano; esta clasificación se presenta en la tabla N° 3.

Tabla N° 3: Tipos de discontinuidades.

Discontinuidades	Sistemáticas	Singulares
Planares	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Planos de estratificación.</li> <li>– Planos de laminación</li> <li>– Diaclasas o juntas</li> <li>– Planos de esquistosidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fallas</li> <li>– Diques</li> <li>– Discordancias</li> </ul>
Lineales	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Intersección de discontinuidades planares</li> <li>– Lineaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ejes de pliegues</li> </ul>

Fuente: ISRM (1981).

La descripción de las discontinuidades se realiza en campo tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Orientación

- Espaciado
- Número de familias
- Continuidad
- Rugosidad
- Abertura
- Relleno
- Filtraciones

**Orientación:**

La orientación de una discontinuidad en el espacio queda definida por su dirección de buzamiento y por su buzamiento. Es posible también determinar la orientación tomando el rumbo y buzamiento del plano de discontinuidad. Su medida se realiza mediante la brújula con clinómetro.

**Espaciado:**

El espaciamiento de una discontinuidad se define como la distancia que existe entre dos planos de discontinuidad de una misma familia adyacentes entre sí, medidos en la dirección perpendicular a dicho plano. La medición debe realizarse en un área representativa, de al menos 10 veces superior al espaciado, tomando como espaciado el valor medio de las mediciones registradas, utilizando este valor en la descripción según la tabla N° 4.

Tabla N° 4: Descripción del espaciado de las discontinuidades.

Descripción	Espaciado
Extremadamente junto	< 20 mm
Muy junto	20 – 60 mm
Junto	60 – 200 mm
Moderadamente junto	200 – 600 mm
Separado	600 – 2000 mm
Muy separado	2000 – 6000 mm
Extremadamente separado	> 6000 mm

Fuente: ISRM (1981).

#### Continuidad:

La continuidad o persistencia de una discontinuidad indica su extensión superficial o tamaño, representada por la longitud de la misma a lo largo de la traza en la superficie expuesta. Describir este parámetro es de gran importancia, debido a que determina el grado al cual se produce la rotura de la roca a lo largo de la superficie de discontinuidad. Por lo general, las discontinuidades singulares como fallas y diques son muy continuas y deben ser caracterizadas con especial atención. La medida de la continuidad debe realizarse con una cinta métrica y se describe según la tabla N° 5.

Tabla N° 5: Descripción de la persistencia para cada familia de discontinuidades.

Persistencia	Longitud
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: Fuente: ISRM (1981).

#### Rugosidad:

El término rugosidad se emplea tanto para las ondulaciones como a la rugosidad en sí de una discontinuidad. Las rugosidades mayores o de primer orden (métrica y decimétrica), son denominadas ondulaciones; y se llaman rugosidades propiamente dichas a aquellas asperezas de una escala menor o de segundo orden (centimétrica y milimétrica). Las ondulaciones tienen una dimensión tal que es poco probable que sean cizalladas, mientras que las rugosidades de segundo orden son suficientemente pequeñas para ser cizalladas durante el movimiento a lo largo del plano de la discontinuidad. La rugosidad de la superficie de una discontinuidad afecta sus características de movimiento y su resistencia al corte por lo que es importante su descripción, que se realiza en campo por comparación visual con los perfiles estándar de rugosidad.

#### Abertura:

La abertura de una discontinuidad es la distancia perpendicular que separa dos paredes adyacentes de ésta. Su medida se realiza directamente con una regla graduada o con un vernier o calibrador. Este parámetro se describe según la tabla N° 6.

Tabla N° 6: Descripción de la abertura.

Abertura	Descripción
< 0,25 mm	Cerrada
0,25 – 0,5 mm	Parcialmente abierta
0,5 – 2,5 mm	Abierta
2,5 – 10 mm	Moderadamente ancha
> 10 mm	Ancha

Fuente: modificado de Fuente: ISRM (1981).

#### Relleno:

El relleno corresponde al material de naturaleza distinta a la roca de las paredes encontrado entre las discontinuidades. Este parámetro se describe en campo según su composición, espesor y resistencia. La composición se refiere al tipo de material encontrado, que puede ser: arena, arcilla, grava, brecha, milonita, entre otros. El espesor es medido directamente con una regla graduada en milímetros. La resistencia se describe de forma sencilla, discriminando entre materiales duros y blandos.

#### Filtraciones:

En un macizo rocoso, el agua generalmente fluye a través de las discontinuidades, lo cual se denomina “permeabilidad secundaria”; aunque en algunas rocas permeables las filtraciones se pueden presentar a través de los poros de la roca intacta, como ocurre en algunas rocas sedimentarias, lo que se conoce como “permeabilidad primaria”. La descripción del flujo o filtraciones de las discontinuidades, estén rellenas o no, se realiza según la tabla N° 7.

Tabla N° 7: Descripción de las filtraciones en discontinuidades.

Clase	Discontinuidades sin relleno	Discontinuidades con relleno
I	Junta muy plana y cerrada. Aparece seca y no parece posible que circule agua	Relleno muy consolidado y seco. No es posible el flujo de agua
II	Junta seca sin evidencia de flujo de Agua	Relleno húmedo pero sin agua libre
III	Junta seca pero con evidencia de haber circulado agua	Relleno mojado con goteo ocasional
IV	Junta húmeda pero sin agua libre	Relleno que muestra señales de lavado, flujo de agua continuo (estimar el caudal en l/min)
V	Junta con rezume, ocasionalmente goteo pero sin flujo continuo	Relleno localmente lavado, flujo considerable según canales preferentes (estimar caudal y presión)
VI	Junta con flujo continuo de agua (estimar el caudal l/min y la presión)	Rellenos completamente lavados, presiones de agua elevadas

Fuente: Fuente: ISRM (1981).

### 3.15.3- Descripción de los parámetros del macizo rocoso.

Para la caracterización global del macizo rocoso, además de describir sus componentes, la matriz rocosa y sus discontinuidades, deben tomarse en cuenta otros factores como el número de familias de discontinuidades, la intensidad de fracturación, el tamaño de los bloques y grado de meteorización del macizo, los cuales se describen a continuación:

#### 3.15.3.a- Número de familias de discontinuidades

Como lo indica el ISRM (1981), 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 si se interceptan entre sí o no, pueden determinar la estabilidad de una obra geotécnica.

La intensidad o grado de facturación 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. Para describir el número de familias de discontinuidades que ocurren localmente (por ejemplo a lo largo de un túnel), la ISRM sugiere el uso de la siguiente tabla: (Tabla N° 8)

Tabla N° 8: Clasificación de los macizos rocosos según el número de familias

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: ISRM (1981).

### 3.15.3.b- Tamaño de bloque

Otro indicador del comportamiento del macizo rocoso es el tamaño de los bloques, ya que éste condiciona sus 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, y estas características permiten una clasificación como se muestra en la siguiente tabla: (Tabla N° 9)

Tabla N° 9: Clasificación de macizos rocosos según el tamaño y forma de los bloques

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: ISRM (1981).

### 3.15.3.c- El Índice de tamaño de bloque (Ib)

Representa las dimensiones medias de los bloques que conforman el macizo rocoso; para estimarlo, deben registrarse los valores medios del espaciado de cada familia de discontinuidad.

En el caso de las rocas donde existan tres familias de discontinuidades el índice de bloque se define por:

$$I_b = (e_1 + e_2 + e_3) / 3$$

Donde: e1, e2 y e3 son los valores de espaciado promedio de cada familia.

### 3.15.3.d- El conteo volumétrico de diaclasas (Jv)

Representa el número total de discontinuidades que interceptan a una unidad de volumen del macizo rocoso. Debido a la dificultad de observar tridimensionalmente el macizo rocoso, el valor de Jv se puede determinar contando el número de discontinuidades de cada familia que interceptan una longitud determinada, midiendo perpendicularmente a la dirección de cada una de las familias; quedando el parámetro Jv definido por la siguiente fórmula:

$$J_v = \Sigma (\text{número de discontinuidades} / \text{longitud de la medida})$$

Una vez obtenido Jv, el tamaño de los bloques se puede describir según la Tabla N°10:

Tabla N° 10: Descripción del tamaño de bloque

Descripción	$J_v$ (discontinuidades/m <sup>3</sup> )
Bloques muy grandes	< 1
Bloques grandes	1 – 3
Bloques de tamaño medio	3 – 10
Bloques pequeños	10 – 30
Bloques muy pequeños	> 30
Fuente: ISRM (1981).	

### 3.15.3.e-Grado de meteorización

Para evaluar el grado de meteorización del macizo rocoso se debe hacer una observación directa y general del mismo. Este factor se puede describir mediante la tabla N° 11.

Tabla N° 11. Evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso

Clase	Tipo	Descripción
I	Fresco	No hay signos visibles de meteorización. Si acaso una tenue decoloración en superficies de discontinuidades más desarrolladas.
II	Ligeramente meteorizado	La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto está decolorado por la meteorización
III	Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad del macizo rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados
IV	Altamente meteorizado	Más de la mitad del macizo rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
V	Completamente meteorizado	Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o desintegrado a suelo. La estructura original del macizo rocoso está prácticamente intacta.
VI	Suelo residual	Todo el macizo rocoso está descompuesto o desintegrado a suelo. La estructura del macizo y su textura se ha destruido. Hay cambio de volumen pero el suelo no ha sido transportado.

Fuente: ISRM (1981).

### 3.16- Propiedades mecánicas de resistencia y deformabilidad de la roca:

Las propiedades mecánicas y el contexto geológico son las que fijan en gran medida las deformaciones que se manifiestan en un macizo rocoso intervenido por la acción antrópica, de esta manera es de suma importancia estimar, de una manera especulativa pero controlada, como serán las deformaciones in situ del macizo rocoso una vez que deje de ser continuo, homogéneo y potencialmente estable por una intervención antrópica.

Es pertinente recordar lo necesario de estudiar el contexto geológico que está involucrado en la intervención antrópica debido a que es un factor que debe tratarse con especial cuidado ya que su rango de acción es de gran escala y con impactos sociales y económicos considerables ya sean favorables o desfavorables en el proyecto de construcción a realizar, ya que de no practicar un estudio basado en las condiciones geológicas del macizo rocoso y sus adyacencias podría obviarse fenómenos geológicos no constantes en el tiempo que podrían causar daños en la construcción y a sus usuarios. A continuación algunos fenómenos geológicos capaces de afectar la viabilidad y seguridad en una obra de ingeniería. Una vez recordado lo necesario y preventivo que es un estudio de sitio se llega al punto de la evaluación del macizo rocoso a intervenir; las características físicas principales que presentan las rocas son propias de su naturaleza geológica y se refieren principalmente a su mineralogía, tamaño de grano, densidad, dureza, porosidad, textura, arreglo cristalino, permeabilidad y grado de meteorización, entre otros.

Las rocas en un macizo rocoso no se presentan de forma aislada y su comportamiento mecánico también depende de los diferentes tipos de rocas que lo conforman, las estructuras presentes y los estados de esfuerzos a los que son sometidos en su medio natural.

Todos estos factores que condicionan al macizo rocoso deben tomarse en cuenta al momento de diseñar una obra de ingeniería. Las características físicas, que se refieren básicamente a la geología y estructura del macizo, se pueden cuantificar de una manera aceptable como se explico anteriormente, en el capítulo dedicado a la caracterización de los macizos rocosos, pero surge entonces el problema de cómo se

puede medir o cuantificar las características mecánicas de la roca intacta y de todo el macizo rocoso.

Ya que este ha sido por mucho tiempo un problema con difícil definición de criterio que acompaña a la mecánica de rocas y a medida que pasa el tiempo los proyectos son cada vez más sofisticados y con restricciones de costo y tiempo entonces, conviene aprovechar las propiedades mecánicas del macizo rocoso para cumplir las exigencias requeridas en la planificación de la obra y así poder generar un modelo especulativo prudente con un margen de error mínimo para predecir las posibles deformaciones en el macizo rocoso que es afectado por la acción antrópica.

Dando respuesta a esta problemática, surgieron los criterios de resistencia y rotura de las rocas y de los macizos rocosos. Es necesario antes de entrar de lleno en estos criterios mencionar una gama de conceptos relacionados con las propiedades físicas, los cuales han sido tomados de González de Vallejo (2002).

### 3.16.1- Conceptos básicos relacionados al comportamiento mecánico de la roca:

#### 3.16.1.a-Fuerzas, P

Las fuerzas son las principales responsables del estado y el comportamiento mecánico del sistema; la fuerza principal que actúa sobre cualquier objeto y en el caso particular en el macizo rocoso es la gravedad y otras fuerzas que también actúan son las originadas por los materiales que lo rodean; estas fuerzas se transmiten directamente por la superficie de contacto y se propagan a cualquier punto del macizo rocoso, estas fuerzas pueden generarse en diferentes direcciones causando deformaciones e inestabilidad pero todo depende del punto de aplicación y de las características de la superficie de contacto del material y el macizo en objeto. Las fuerzas superficiales pueden ser compresivas o distensivas, según actúen hacia dentro o hacia fuera del punto de aplicación.

#### 3.16.1.b- Esfuerzo o tensión, $\sigma$ :

Se define como la relación interna de un cuerpo a la aplicación de una fuerza o conjunto de fuerzas, y es una cantidad que no se puede medir directamente, ya que el parámetro físico que se mide es la fuerza. Si la fuerza actúa uniformemente en una superficie, el esfuerzo o tensión indica la intensidad de las fuerzas que actúan sobre el plano. Por tanto, a diferencia de las fuerzas carece de sentido hablar de esfuerzo actuando sobre un punto.

Es importante señalar que el esfuerzo sobre un plano no varía si la fuerza es aplicada uniformemente sobre éste, pero si esto no sucede, es decir que la fuerza no se aplica de manera uniforme sobre todo el plano, el esfuerzo variará para las diferentes áreas del mismo. Al igual que las fuerzas, los esfuerzos compresivos son positivos, y los distensivos o traccionales, son negativos. El esfuerzo se puede representar como un vector  $\sigma$ , y como tal puede descomponerse en sus componentes normal  $\sigma$  y tangencial  $\tau$  o  $\sigma$ .

#### 3.16.1.c-Estado tensional o de esfuerzos:

Se refiere a la definición y cuantificación de todas las fuerzas, por unidad de área, que son aplicadas sobre un cuerpo en un momento determinado; generalmente se determina definiendo los esfuerzos que son aplicados sobre tres planos ortogonales a través de un punto.

#### 3.16.1.d-Deformación, $\epsilon$ :

La deformación indica la variación entre la longitud o espacio entre dos partículas en dos estados mecánicos distintos, y se puede expresar como la relación entre la variación de longitud y la longitud inicial entre las partículas. Se refiere entonces, al cambio en la forma o configuración de un cuerpo, según los desplazamientos que sufre la roca al soportar la carga.

#### 3.16.1.e-Resistencia pico y resistencia residual, $\sigma_p$ y $\sigma_r$ :

La resistencia es el esfuerzo que la roca puede soportar para unas ciertas condiciones de deformación. Cuando una roca alcanza su resistencia máxima se habla de resistencia pico ( $\sigma_p$ ), y si la roca sobrepasa esta resistencia pico y cae a otro valor de resistencia para deformaciones elevadas, sin que exista rotura de la misma,

se llama resistencia residual ( $\sigma$ )

#### 3.16.1.f-Rotura:

La rotura es un efecto que se produce cuando la roca no puede soportar las fuerzas que se le aplican y el esfuerzo alcanza un valor máximo que corresponde a la resistencia pico del material. Según la resistencia de la roca y las relaciones entre los esfuerzos aplicados y las deformaciones producidas, la rotura puede ser: rotura frágil, en la que la rotura de la roca se produce de forma instantánea y violenta; o rotura dúctil, donde la rotura de la roca se produce en forma progresiva.

En un medio rocoso existen diferentes mecanismos de rotura de las rocas, de los cuales se presentan los siguientes:

##### 3.16.1.f.a-Rotura por esfuerzo cortante:

Se produce cuando una determinada superficie de la roca se somete a esfuerzos de corte suficientemente altos como para que una cara de la superficie se deslice con respecto a otra; ejemplo, la rotura a favor de discontinuidades.

##### 3.16.1.f.b-Rotura por compresión:

Se produce cuando la roca está sometida a esfuerzos compresivos, y a nivel microscópico se producen en la roca grietas de tracción y planos de corte por donde se producirá la rotura.

##### 3.16.1.f.c-Rotura por tracción:

Se produce cuando la forma o estructura del macizo rocoso hace que una sección de la roca se someta a una tracción pura o casi pura.

##### 3.16.1.f.d-Fractura

La fractura es la formación de planos de separación en la roca, rompiéndose los enlaces de las partículas para crear nuevas superficies; se pierden las fuerzas cohesivas y permanecen únicamente las friccionantes. La dirección de estos nuevos planos de fractura depende de: la dirección de aplicación de las fuerzas y las anisotropías presentes en el material rocoso, a nivel microscópico y/o macroscópico.

##### 3.16.1.f.e-Cohesión, c:

En una roca, la cohesión es la fuerza que une las partículas minerales que conforman la roca.

#### 3.16.1.f .f-Ángulo de fricción interna, $\phi$ :

Es el ángulo de rozamiento entre dos planos de la misma roca

#### 3.16.2-ESFUERZOS, TENSIONES Y DEFORMACIÓN DE LAS ROCAS

Las rocas pueden estar sometidas a diversos esfuerzos y estados de tensiones. En condiciones naturales, un núcleo de roca intacta puede estar sometido a esfuerzos como los mostrados en la figura 15, donde  $\sigma_1$  es el esfuerzo principal mayor y  $\sigma_3$  es el esfuerzo principal menor ( $\sigma_1 > \sigma_3$ ). Adicionalmente, también se encuentran sometidas a esfuerzos tangenciales  $\tau$ , ocasionados por la tracción entre las partículas de rocas o en las discontinuidades. A continuación se muestra un testigo de perforación del macizo rocoso del túnel San Juan donde se esquematizan los esfuerzos.

Debido a que estos esfuerzos a los que se ven sometidos las rocas le ocasionan ciertas deformaciones que influyen directamente sobre sus propiedades mecánicas, es importante conocer las relaciones entre los esfuerzos y las deformaciones para poder predecir la magnitud de éstas.

Uno de los aspectos más importantes que se debe conocer de un material rocoso es su resistencia a los esfuerzos a los que se ve sometido y las leyes que rigen su rotura y deformación. En este sentido, surgieron los llamados criterios de resistencia o rotura, los cuales son expresiones matemáticas que buscan establecer una relación entre los esfuerzos aplicados, la resistencia del material y sus deformaciones, así como de otros parámetros representativos de las rocas.

Estos criterios son empíricos, y están basados en una serie de experiencias en campo y en laboratorio, entre los más utilizados en la mecánica de rocas se encuentran los de Hoek y Brown y los de Mohr-Coulomb.

Los principales parámetros de las rocas que emplean estos criterios y que se detallarán más adelante, son:

- La resistencia a la compresión sin confinar o compresión uniaxial
- La resistencia a la compresión confinada o triaxial
- La resistencia a la tracción

Todos estos parámetros se obtienen mediante ensayos de laboratorio en núcleos de roca intacta, donde a medida que se aplica una fuerza en forma gradual se va produciendo una deformación que puede ser en el mismo eje en que se aplica la fuerza (deformación axial) o en un eje perpendicular a la aplicación de la fuerza (deformación transversal o diametral), y que pueden ser medidas mediante la instalación de mecanismos especiales en la muestra. Durante el ensayo, se van registrando los esfuerzos y las deformaciones que se producen en la muestra de roca en diferentes intervalos del ensayo, entonces, se puede dibujar la curva esfuerzo-deformación.

## CAPITULO IV

### GEOLOGÍA REGIONAL

#### 4.1- Generalidades:

El área de trabajo, a escala regional comprende la faja sur de la cordillera de costa, que según la conceptualización estructural propuesta por Beck (1985) se ubica dentro de la Napa de Caracas, la cual se constituye por rocas de origen sedimentario, pertenecientes a la asociación Meta-sedimentaria Caracas integrada por el Esquisto de Las Mercedes y de las Brisas.

#### 4.2- Sección Litodémica:

Aguerrevere y Zuloaga (1938) designaron la Asociación Metasedimentaria Caracas como una secuencia de rocas metasedimentarias de grado bajo, las cuales se encuentran bien expuestas en la región de Caracas.

Su localidad tipo aún no se ha establecido formalmente, sin embargo; en forma general corresponde a la zona de Caracas, en cuyos alrededores se ubican las localidades típicas de sus formaciones mayoritarias: el Esquisto de Las Brisas y Las Mercedes, ocupando la franja septentrional de la serranía costera de la Cordillera de la Costa, inmediatamente al sur de las franjas que ocupan los complejos la Costa y Ávila. 46 La litología típica de los grupos litológicos que constituyen esta asociación son:

- Para el Esquisto de la Formación Las Brisas: predominan rocas esquistasas o filíticas, cuarzo - muscovítico – feldespático ocasionalmente clorítico, así como también metareniscas y metaconglomerados también cuarzo - feldespático - micáceo.
- En el Esquisto de Las Mercedes predomina el esquisto cuarzo – calcáreo - muscovítico - grafitoso, de color gris oscuro.

La tabla N° 12 se muestra una síntesis de las descripciones litológicas elaboradas por algunos autores

Tabla N° 12: Esquisto De Las Mercedes

Año	Autor	Extensión geográfica	Localidad tipo	Litología	Edad	Contactos	Correlación:
1937	Aguerrevere Zuloaga	En toda la extensión y en los flancos del Macizo Central de la Cordillera de la Costa, entre carenero Estado Miranda, hasta el Estado Cojedes.	Hacia las mercedes (este de caracas)	Parte superior de esquistos calcáreos con zonas arenosas y grafitosas, micáceos con vetas de calcita. Parte inferior: Fase de colorados) calizas oscuras en capas delgadas intensamente plegadas.	Cretácico por correlación con rocas sin metamorfizar.	Por debajo concordante al conglomerado calcáreo de zenda, del esquisto de las brisas.	Por su similitud óptica, se le presume equivalente al esquisto de Aroa, en el estado Yaracuy, así como con el esquisto de Carúpano, en la península de paria. Aguerrevere y Zuloaga (1937) y Wehmann (1972), la correlacionan tentativamente con la Formación la luna y Querecual, inclusive Navarro et al. (1988) afirman que la única diferencia entre las unidades entre las litoestratigraficas "Formación las Mercedes" y "grupo Guayusa" lo constituye el metamorfismo, ya que representan Facies semejantes en tiempo y ambiente.
1952	Dengo		Área de Caracas	Esquistos Calcáreos-cuarzo-moscovítico-clorótico y grafitoso.	Mesozoico	Se correlacionan parcialmente o totalmente con el esquisto de las brisas.	
1965	Seiders		Miranda central	Metaconglomerados, metareniscas pura, grauvaca y filitas negras calcáreas.	Cretácico-jurásico (?)	Señala el contacto con el esquisto de chuspita posiblemente transicional.	
1972	Werhmann		Propone una sección de referencia en la carretera Petare-santa Lucia	Metaconglomerados cuarzosos y capas calcáreas delgadas en la base, hacia el tope se hace cada vez más cuarzoso y menos calcárea.		Concordante con el mármol de Antemano o en ausencia de esta con el Esquisto de las Brisas.	
2000, 2002	Urbani		Antigua hacienda Las Mercedes al oeste de caracas, hoy urbanizaciones las mercedes y valle arriba autopista Caracas-La Guaira.	Esquisto cuarzo-calcáreo-moscovítico- grafitoso, de color gris oscuro.	Mesozoico, jurásico-Cretácico.	De tipo tectónico con respecto al esquisto de las Brisas.	

TABLA N° 13: Tabla Comparativa De La Geología Regional De Las Unidades Pertencientes A La Napa De Caracas.

Napas Regionales	Napas Locales	Asociación Litológica	Unidad Litodémica	Composición Litológica	Contactos
Serranía del Litoral	Napa Caracas	Asociación Metasedimentaria Caracas (Jurásico-Cretácico)	Esquisto de Las Mercedes	<p>Según WEHRMANN (1972) y la revisión de GONZÁLEZ DE JUANA et al. (1980, p. 317) la litología predominante consiste en esquisto cuarzo - muscovítico - calcítico - grafitoso (70%), con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes de laminación delgada (15%) y una pequeña variedad de rocas arenosas y rudáceas (15%). Estas últimas son en su mayoría metareniscas puras feldespática y metareniscas de cuarzo con estratificación delgada. La mayoría de las rocas de la unidad son carbonáticas, una de las metareniscas contiene dolomita. La piritita es un mineral accesorio común en todos los tipos de rocas. El tope de la unidad se hace más cuarzosa y menos carbonática en su transición hacia el Esquisto de Chuspita.</p>	<p>El contacto entre el Esquisto de Las Mercedes y el Esquisto de Chuspita es una falla y no se puede demostrar directamente una secuencia concordante</p>
			Esquisto de Chuspita	<p>SEIDERS (1965), considera, que el tipo de roca más común son las metarenisca de color gris claro a gris oscuro, localmente grafitosa y micácea, cuyo constituyente principal es el cuarzo, con cantidad mucho menor de feldespato (45%). Estas rocas se hacen conglomeráticas con fragmentos líticos como guijarros y peñas de hasta 25 cm de diámetro, constituidos por filita, mármol y metarenisca carbonática. El resto consiste en filita de color gris oscuro, carbonática y grafitosa (50%). También mármol calcítico (5%) que se presentan 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, con cantidades secundarias de dolomita negra y argilita negra pirítica en capas delgadas y cortados por vetas de cuarzo y calcita.</p>	<p>Se considera actualmente que en el tope, el Esquisto de Chuspita está también en contacto de falla con la Filita de Urape, aunque SEIDERS (1965) sugiere la posibilidad de "una gran discordancia no angular" entre ambas formaciones.</p>

## CAPITULO V

### GEOLOGÍA LOCAL

#### 5.1- Generalidades:

La zona de estudio esta conformada por el Esquisto las Mercedes y el Esquisto las Brisas. Se utilizaron 6 estaciones de mediciones para describir y caracterizar el macizo rocoso en función de su litología, geología estructural y geomorfología.

#### 5.2- Geología Local:

Se realizo un estudio detallado en el área, determinándose la existencia de 5 litotipos, en su totalidad compuestos por rocas metamórficas. Los mismos fueron clasificados de acuerdo a la mineralogía y características texturales de la roca:

- I- Esquistos cuarzo-moscovítico-grafitoso- calcáreo.(perteneiente al Esquisto Las Mercedes).
- II- Esquisto cuarzo grafitoso calcáreo. (perteneiente al Esquisto Las Mercedes).
- III- Mármoles (considerados bloques alóctonos) – (asociado al Esquisto Las Mercedes).
- IV- Esquistos calcáreos cuarzo grafitosos (perteneiente al Esquisto Las Brisas).
- V- Mármoles oscuros en capas delgadas intercaladas con Esquistos Micáceos (perteneiente al Esquisto Las Brisas).

#### I- Esquistos cuarzo-moscovítico-grafitoso- calcáreo:

Éste litotipo corresponde a la estación de medición MD1 y MD6; ubicado en el sector de Turumo, Barrio San Isidro y el en sector de los Ochoa de la carretera nacional Petare Guarenas. Se caracteriza por tener un alto porcentaje de micas y por presentar vetas de calcita entre de los planos de discontinuidades. Característico de la roca es la presencia de pirita, que al meteorizar, infunde una coloración rosada a rojo ladrillo a la roca (ver foto Nº 3). La textura predominante en la roca es de tipo esquistosa, donde las micas como: la biotita, muscovita y clorita, forman la textura lepidoblástica.



Foto N° 3: Afloramiento del Esquisto Calcáreo-cuarzo-moscovíticos con bajo porcentaje de grafito.

Petrografía:

A continuación se presentan los resultados del análisis petrográfico de las muestras representativas del litotipo I.

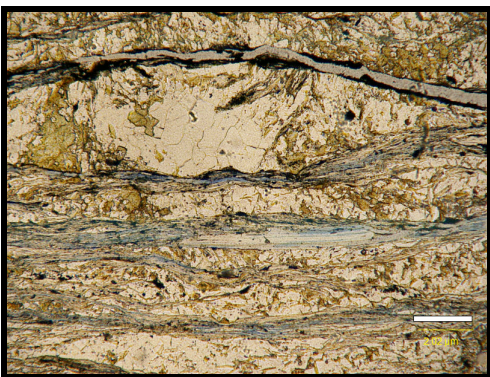


Foto N° 3.1.a: Nicols Paralelos

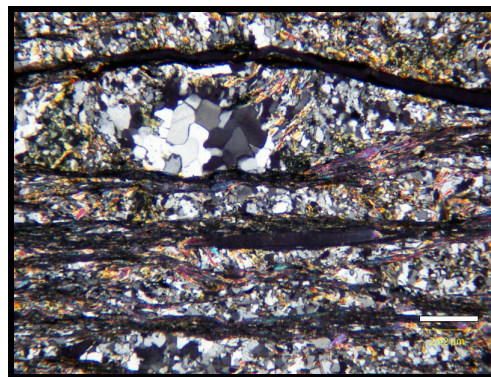


Foto N° 3.1.b: Nicols cruzados

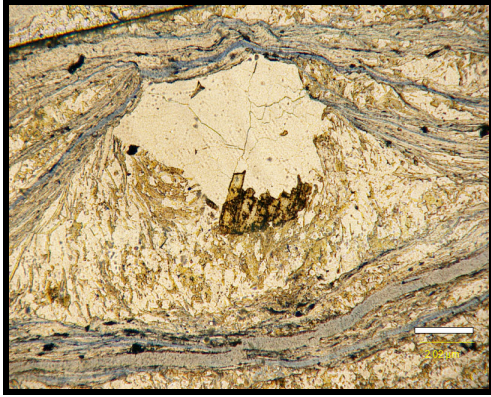


Foto N° 3.2.a: Nicos Paralelos

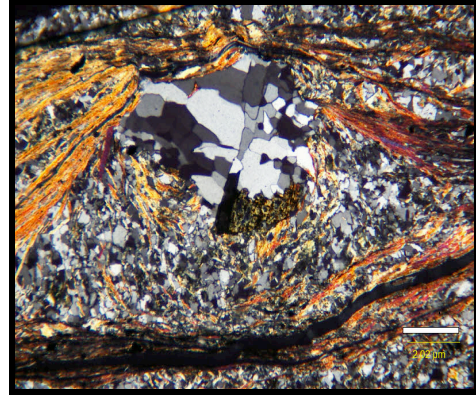


Foto N° 3.2.b: Nicos Cruzados

En las fotos N° 3.1 y 3.2 se muestran los cristales de cuarzo microfracturados y un bandeamiento de los micas evidenciando un reordenamiento de los minerales por efectos del metamorfismo.

Tabla N° 14: Datos del análisis petrográfico del litotipo I.

Muestras	QZ	MU	CA	GR
MD4	40	30	20	10

CUARZO (QZ); MUSCOVITA (MU); CALCITA (CA); GRAFITO (GR)

Las muestra analizada presenta cristales de cuarzo como mineral mayoritario (ver tabla N°14), se observan cristales de este mineral distribuidos en toda la sección y con microfracturas rellenas de oxido y grafito orientado en bandas. En general los minerales encontrados se describen de la siguiente manera:

**Cuarzo:** Se presentan como cristales anhedral policristalinos y monocristalinos, con un tamaño que oscila entre 0,02 y 1 mm y una moda de 0,4 mm. Se pueden observar como poiquilos en cristales de calcita, en algunos casos.

**Calcita:** En general se presentan como cristales anhedral dispuestos de manera uniforme en la mayoría de los casos. Presenta exfoliación romboédrica que se observa fácilmente y sus cristales poseen un tamaño promedio de 0,5 mm.

Moscovita: Se presentan distribuidas de dos maneras, como pequeñas concentraciones dispuestas de manera aleatoria y en bandas paralelas y de un espesor aproximado de 0,5 mm.

Grafito: Aparecen en delgadas laminas entrelazadas con los filosilicatos en la mayoría de los casos, en otras ocasiones se puede ver a este mineral en microfisuras o espacios vacíos.

Foliacion y diaclasa:

Los datos se agruparon en la tabla N° 15. Esta tabla presenta las mediciones realizadas a este macizo rocoso, utilizándose los diagramas de rosetas. Realizando la evaluación de la estructura por medio de la red estereográfica (ver figura N° 5) se tiene lo siguientes datos:

Tabla N° 15: Datos de campo del litotipo I.

DISCONTINUIDAD	RUMBO	BUZAMIENTOS
FOLIACIÓN 1	N45W	58N
DIACLASA 1	N40E	64N
DIACLASA 2	N35W	60N
FOLIACIÓN 2	N56W	63N

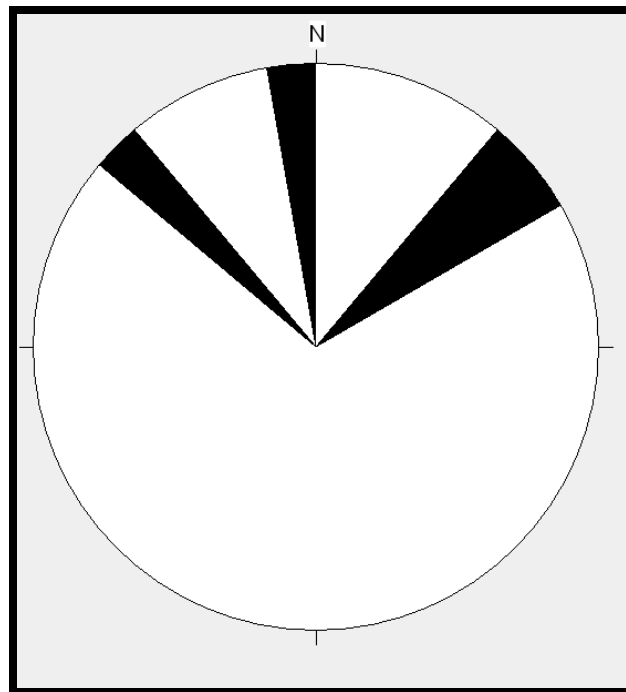


Figura N° 5: Representación en rosetas de los planos de foliación y diaclasa correspondiente al litotipo I.

## II- Esquisto Cuarzo Grafitoso Calcáreo:

Este litotipo corresponde a las estaciones de medición md2 y md3. La roca constituyente de este sector de la carretera lo conforma un esquisto calcáreo con altos porcentajes de grafito diseccionado en los planos de foliación, con vetas de calcita y granos de cuarzo dispersos.

### Petrografía:

A continuación se presentan los resultados del análisis petrográfico de las muestras representativas del litotipo II



Foto N° 4.1.a: Nicoles Paralelos

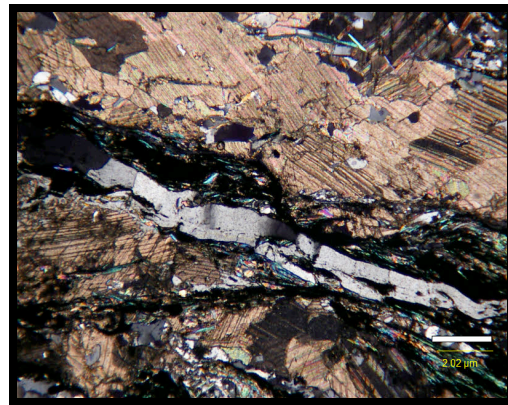


Foto N° 4.1.b: Nicoles Cruzados

En las fotos 4.1 y 4.2 se observan cristales de calcita con alineaciones de biotita e intrusiones de cuarzo dentro de la foliación.

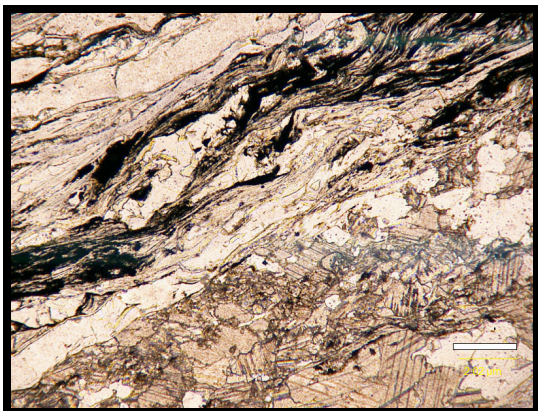


Foto N° 4.2.a: Nicoles Paralelos

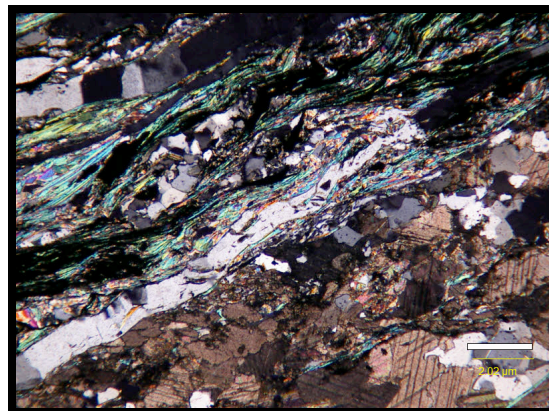


Foto N° 4.2.a: Nicoles Cruzados

Tabla N° 16: Datos de análisis petrográfico del litotipo II.

Muestras	QZ	MU	CA	GR	CL
MD4	32	18	44	5	1

CUARZO (QZ); MUSCOVITA (MU); CALCITA (CA); GRAFITO (GR), CLORITA (CL).

En las fotos 4.1.a, 4.1.b; 4.2.a, 4.2.b, se evidencia el ordenamiento de los minerales laminares dentro de la roca en sentido de la foliación. Se evidencian los cristales de calcita constituyente en mayor porcentaje con cristales de cuarzo - micas y grafito laminares (ver tabla N° 16). En general los minerales encontrados se describen de la siguiente manera:

**Cuarzo:** Se presentan como cristales anhedrales policristalinos y monocristalinos dispuestos a lo largo de toda la sección, con un tamaño que oscila entre 0,02 y 1,5 mm y una moda de 0,4 mm. Se pueden observar como poiquilos en cristales de calcita, en las imágenes 4.1.b y 4.2.b se observa este mineral orientado y rellenando pequeñas vetas.

**Calcita:** En general se presentan como cristales anhedrales y subanhedrales dispuestos de manera uniforme en la mayoría de los casos. Presenta exfoliación romboédrica en la mayoría de los casos que se observa fácilmente; sus cristales poseen un tamaño de los cristales en la sección oscila entre 0.05 y 0.7 mm.

**Moscovita:** Se presentan como cristales alargados con una orientación preferencial en la mayoría de los casos; y en bandas subparalelas. Los cristales se pueden ver algo deformados y en ocasiones desorientados, los cristales se encuentran entrelazados con láminas delgadas de grafito.

**Grafito:** Aparecen en delgadas laminas entrelazadas con muscovita en la mayoría de los casos, lo que resalta el aspecto foliado de la muestra; en otras ocasiones se puede ver a este mineral en microfisuras o espacios vacíos.

**Clorita:** Al igual que la muscovita, la clorita se encuentra como cristales hojosos dispuestos en bandas a lo largo de toda la sección, el mismo no excede el 1% en las secciones observadas.

Foliacion y diaclasa:

Los datos se agruparon en la Tabla N° 17. Esta tabla presenta las mediciones realizadas a este macizo rocoso, utilizándose los diagramas de rosetas. Realizando la evaluación de la estructura por medio de la red estereográfica (ver figura N° 6) se tiene los siguientes datos:

Tabla N° 17: Datos de campo del litotipo II.

DISCONTINUIDAD	RUMBO	BUZAMIENTOS
FOLIACIÓN	N60E	50N
DIACLASA 1	N15W	20N
DIACLASA 2	N31W	30N
PLANO DEL TALUD	N72E	52N

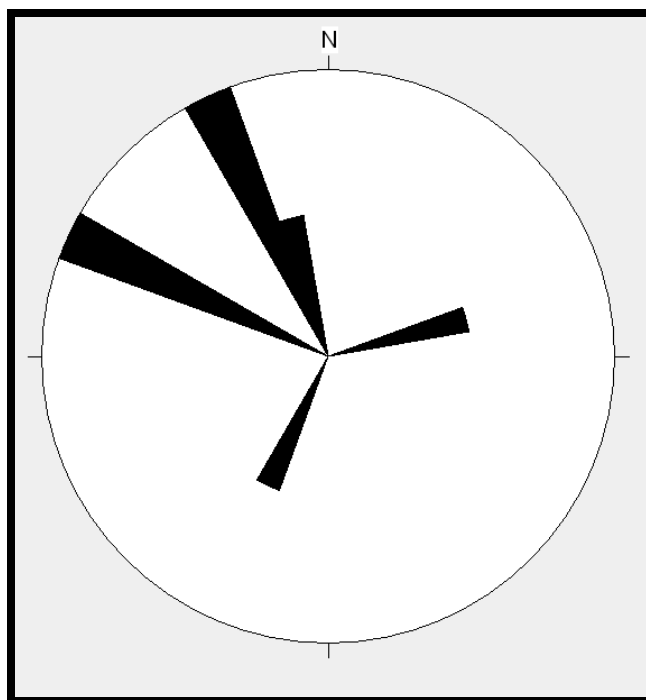


Figura N° 6: Orientación preferencial de los planos de discontinuidad en el litotipo II.

### III- Mármoles:

Se refieren a bloques alóctonos encontrados en algunos sectores del Esquisto las Mercedes, donde la dolomita se encuentra en baja concentración predominando así los mármoles calcíticos.

### IV- Esquistos calcáreos- cuarzosos -ligeramente grafitosos:

Corresponden la mayor representación de la formación las brisas (90%). Éste litotipo se encuentra ubicado en la zona del Barrio la Cuesta, Sector los Sapitos. Compuesto también de calcita, cuarzo y micas. Presentando abundantes vetas de calcita y cuarzo, distribuidos tanto en la foliación como en las diaclasas. Sin embargo, se tienen diferencias con respecto al litotipo I

en cuanto a la composición porcentual de cuarzo y feldespato. Este sector concierne a la estación de medición MD4.

En campo la roca se presenta con un color fresco gris claro (dependiendo del contenido de grafito), mientras que para el color meteorizado se tiene un marrón rojizo. En la parte estructural se observaron numerosas familias de diaclasas, un alto grado de fracturamiento en la roca, y algunos micropliegues.

#### Características de Campo:

Se observa un color fresco en los afloramientos de gris claro a medio, dependiendo de la cantidad de grafito existente y un color meteorizado de gris pálido y pardo muy claro a blanquecino con manchas de oxidación de color rojizo. Se observan vetas de cuarzo así también como de calcita, perpendiculares y paralelas a la foliación con espesores aproximados de 4 cm.

#### Petrografía:

A continuación se presentan los resultados del análisis petrográfico de las muestras representativas del litotipo IV.

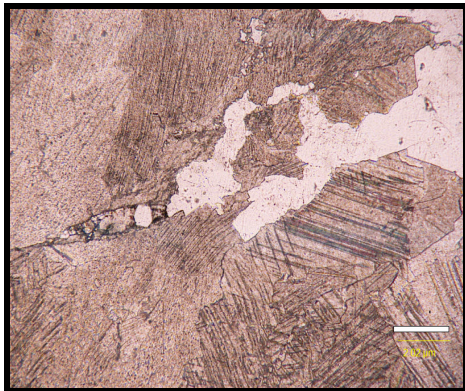


Foto N° 5.1.a: Nicoles paralelos

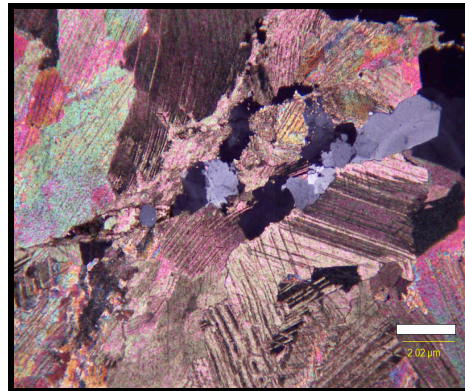


Foto N° 5.1.b: Nicoles cruzados.

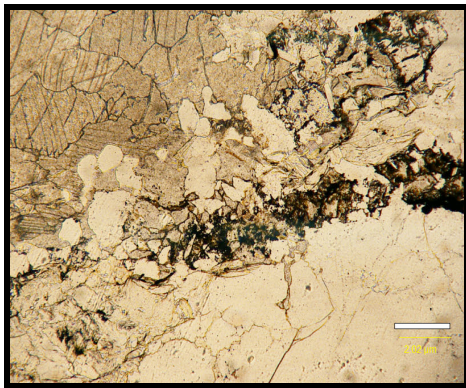


Foto N° 5.2.a: Nicoles paralelos.

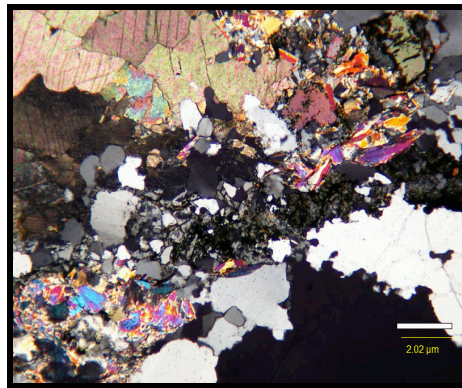


Foto N° 5.2.b: Nicoles cruzados.

En las fotos 5.1 y 5.1 se observan los cristales de calcita mayoritarios, con presencia de cuarzo remanente.

Tabla N°18: Valores de porcentaje mineral en el esquisto calcáreo grafitoso del litotipo IV.

Muestras	QZ	MU	CA	GR
MD4	20	10	65	5

CUARZO (QZ); MUSCOVITA (MU); CALCITA (CA); GRAFITO (GR)

Las muestra analizada presenta cristales de calcita como mineral mayoritario, se observan bandas de este mineral y microfracturas rellenos de oxido (ver Tabla N°18) . En general los minerales encontrados se describen de la siguiente manera:

**Cuarzo:** Se presentan como cristales anhedrales policristalinos y monocristalinos, con un tamaño que oscila entre 0,02 y 1 mm y una moda de 0,4 mm. Se pueden observar como poiquilos en cristales de calcita, en algunos casos.

**Calcita:** En general se presentan como cristales anhedrales dispuestos de manera uniforme en la mayoría de los casos. Presenta exfoliación romboédrica que se observa fácilmente y sus cristales poseen un tamaño promedio de 0,5 mm.

**Moscovita:** Se presentan distribuidas de dos maneras, como pequeñas concentraciones dispuestas de manera aleatoria y en bandas paralelas y de un espesor aproximado de 0,5 mm.

**Grafito:** Aparecen en delgadas laminas entrelazadas con los filosilicatos en la mayoría de los casos, en otras ocasiones se puede ver a este mineral en microfisuras o espacios vacíos.

Foliación y Diaclasas:

Los datos se agruparon en la tabla # 18, esta tabla presenta las mediciones realizadas a este macizo rocoso, utilizándose los diagramas de rosetas. Realizando la evaluación de la estructura por medio de la red estereográfica (ver figura 7) se tienen los siguientes resultados:

Tabla N° 19: Datos de campo del litotipo IV.

DISCONTINUIDAD	RUMBO	BUZAMIENTOS
FOLIACIÓN	N45E	35N
DIACLASA 1	N23W	20N
DIACLASA 2	N30E	35 N

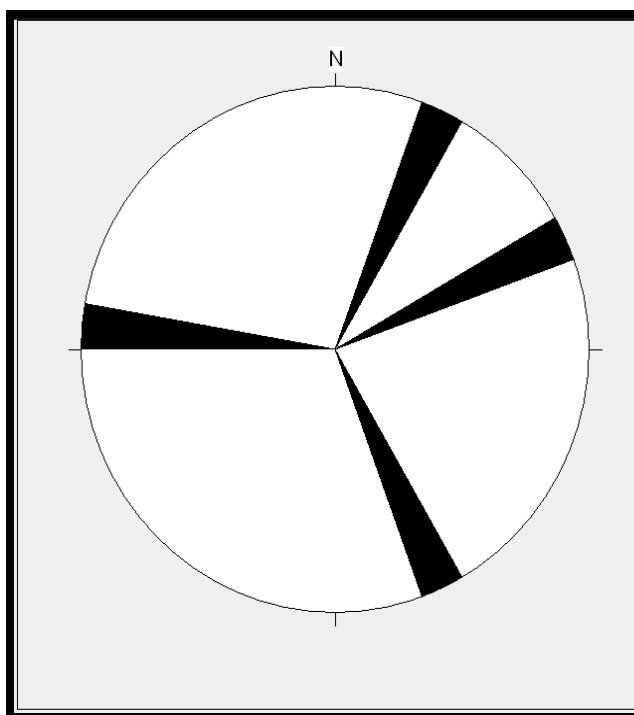


Figura N° 7. Orientación preferencial de los planos de discontinuidad para el litotipo IV..

V -Mármoles oscuros en capas delgadas intercaladas con Esquitos Micáceos (Esq. Las Brisas):

Corresponde a la estación de medición MD5. Se encuentra ubicado en la carretera a unos 300 m del Barrio los Ochoa antes de llegar a la sede de maquinas de INVITRAMI. El sector se caracteriza por mármoles en secciones de espesores menores a los presentados en el

litotipo III, y se diferencia también, por estar intercalado con esquistos micáceos - grafitosos.

Características de Campo:

Se observa un color fresco en los afloramientos azul claro, y color meteorizado azul a gris claro. Los espesores de las capas de mármol son unos 6 cm intercalado por laminas de esquistos micáceo, en este afloramiento no se observan vetas de cuarzo.

Petrografía:

A continuación se presentan los resultados del análisis petrográfico de las muestras representativas del litotipo V.

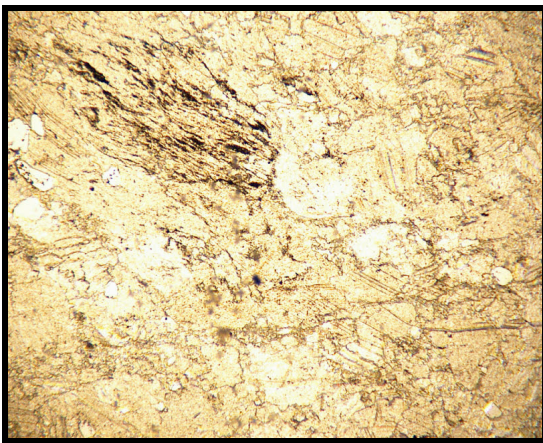


Foto N° 6.1.a: Nícoles paralelos

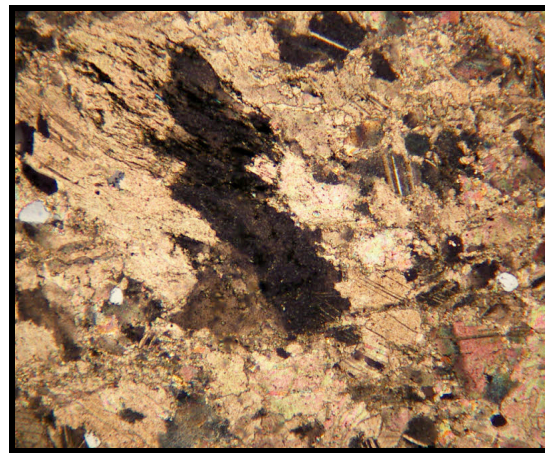


Foto N° 6.1.b: Nícoles cruzados

Las imágenes 6.1.a y 6.1.b, muestran la sección fina MD5, se evidencian los minerales de calcita y algunos cristales de cuarzo dispersos.

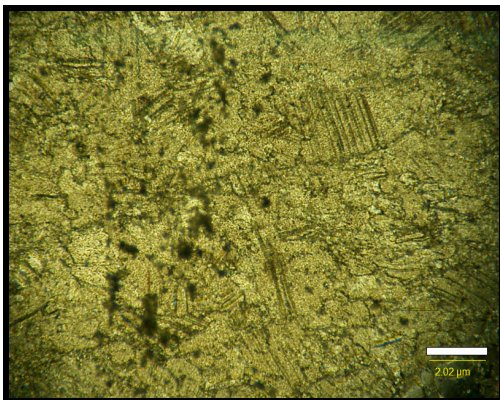


Foto N° 6.2.a: Nícoles paralelos

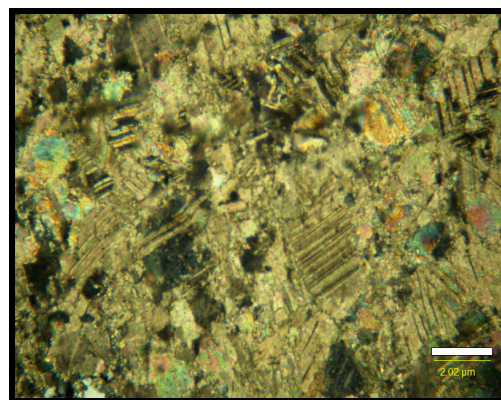


Foto N° 6.2.b: Nícoles cruzados

En las fotos 6.2.a y 6.2.b, se muestran los minerales de calcita y algunos cristales de cuarzo dispersos en mayor proporción que la foto anterior.

Tabla N° 20: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en el mármol intercalado por esquistos ligeramente grafitosos del litotipo V

Tabla N° 20: Porcentajes de minerales en el litotipo V.

Muestras	QZ	MU	CA	GR
MD4	10	1	85	5

CUARZO (QZ); MUSCOVITA (MU); CALCITA (CA); GRAFITO (GR)

La muestra analizada presenta cristales de calcita como mineral mayoritario, se observan bandas de este mineral y microfracturas (ver Tabla N° 20) . En general los minerales encontrados se describen de la siguiente manera:

**Cuarzo:** Se presentan como cristales muy dispersos anhedrales policristalinos y monocristalinos, con un tamaño que oscila entre 0,02 y 1 mm y una moda de 0,4 mm. Se pueden observar como poiquilos en cristales de calcita, en algunos casos.

**Calcita:** En general se presentan como cristales anhedrales dispuestos de manera uniforme en la mayoría de los casos, ya que la concentración del mismo varía en las muestras observadas. Presenta exfoliación romboédrica marcada y sus cristales poseen un tamaño promedio de 0,5 mm a 0.7 mm. Se puede observar en contacto con grafito. El mismo puede verse alterado dejando poros, los cuales están rellenos y en otros casos como pórfidos conteniendo cristales de cuarzo.

**Moscovita:** No se observa en la muestra.

**Grafito:** Aparecen en delgadas laminas entrelazadas con los filosilicatos en la mayoría de los casos, en otras ocasiones se puede ver a este mineral en microfisuras o espacios vacíos.

**Foliación y Diaclasas:**

Los datos se agruparon en la tabla N° 21, esta tabla presenta las mediciones realizadas a este macizo rocoso, utilizándose los diagramas de rosetas. Realizando la evaluación de la estructura por medio de la red estereográfica (ver figura N° 8) se tiene los siguientes datos.

Tabla N° 21: Datos de campo del litotipo V.

DISCONTINUIDAD	RUMBO	BUZAMIENTOS
FOLIACIÓN	N50W	48N
DIACLASA 1	N20E	V
DIACLASA 2	E:W	20S

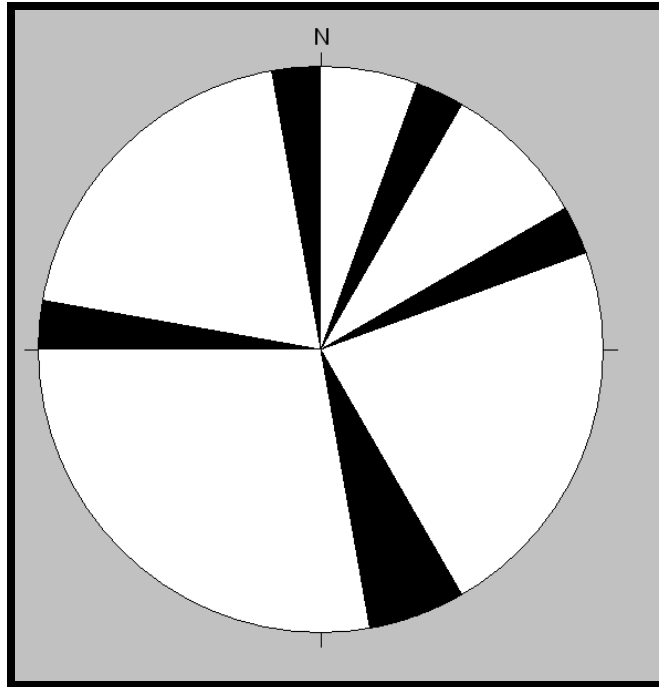


Figura N° 8: Orientación preferencial de los planos de discontinuidad para el litotipo V.

#### 5.2.1 Resultados del análisis petrográfica:

En el sector estudiado se encontró roca metamórfica perteneciente a la litodemia del Esquisto las Mercedes en contacto en diferentes sectores con el Esquisto las Brisas. Se presenta esquisto calcáreo y esquistos grafitosos con altos niveles de diaclasamiento y foliación altamente acentuada. Esta zona puede caracterizarse como esquistos calcáreos-cuarzos-micáceos, grafitosos; con intercalaciones esporádicas de filitas grafitosas y algunas capas delgadas de caliza metamórfica (mármoles).

La asociación litológica presenta granos de medio a fino en la roca, la coloración de los afloramientos presenta tonalidades que van desde el típico rosado de meteorización al gris oscuro y negro debido a la presencia de grafito. En estos sectores existe una composición mineralógica donde la calcita puede alcanzar valores representativos del 25% hasta el 80 % en la composición total de la muestra; el cuarzo representa hasta un 25%, las micas (mayormente moscovita); desde un 20% hasta un 30 % con presencia de material grafitoso.

En general los afloramientos presentan abundantes vetas de cuarzo y calcita asociadas, que se distribuyen según los planos de foliación y subordinadamente según los planos de diaclasas, otorgándoles una estructura reticular y con típicas disoluciones.

Los litotipos esquistosos exhiben un estado físico de roca meteorizada blanda. Los planos de foliación son abundantes y presentan superficies lisas o semi-lisas, esto representativo de que la roca la componen minerales de grano fino, las diaclasas son discontinuas y están rellenas por material esquistoso mas fino o suelo residual.

Estos sectores presentan altos niveles de retención de aguas en los suelos residuales además de los parámetros geotécnicos y caracterización de los suelos que mas adelante se presentaran.

### 5.3.- Geología estructural local:

En el área de estudio resaltan un conjunto de elementos estructurales, entre ellos: plegamientos, y un frente de corrimiento que se dispone entre ambas formaciones litológicas (ver mapa geológico anexo). En general se tiene un marco tectónico activo debido a que la placa Caribe sigue deformando la cordillera de la Costa a medida que avanza en dirección W-NE, generando el cinturón de deformación a nivel de la cordillera de la costa.

La tendencia principal de la foliación sigue un rumbo N50W, con buzamientos hacia el norte entre 55 y 70 grados. Adicionalmente se encontraron cuerpos de mármoles alóctonos que buzan hacia el sur, los cuales han sido emplazados en la zona.

El mayor plegamiento se encuentra entre la Urb. Bolívar y Urb. Brisas de Turumo, y consiste de un anticlinal compuesto por el Esquisto las Mercedes. Hacia el sur se tiene un frente de corrimiento en la Urb. Turumo, donde se comienza a solapar el Esq. Las Mercedes sobre el Esq. Las Brisas, en dirección NW-SE.

### 5.4- Geomorfología:

El objetivo de esta fase consiste en discriminar a través del estudio de ciertas regiones geográficas de la zona, los distintos controles morfogenéticos que han sido la causa de las

geoformas presentes en las mismas. Esto se logra encontrando la relación existente entre las geoformas y las topoformas.

#### 5.4.1- Control Geomorfológico:

Para la geología local el control geomorfológico brinda un nivel interpretativo que relaciona el relieve estructural con las formas topográficas modeladas sobre superficie. Es el medio por el cual se obtiene la información referente a las geoformas con respecto a los materiales y estructuras que forman las irregularidades del terreno. Están fundamentadas por los criterios presentados en la tabla Tabla N° 22.

Tabla N° 22: Clasificación Morfoclimática del Control Geomorfológico en las topoformas del Esquisto Las Brisas Y el Esquisto Las Mercedes.

Unidad litológica	Topoforma	Variable Morfogenetica	Control Geomorfológico	Geoformas
Afloramientos Esquisto Las Brisas	Crestas suaves y laderas convexas en Las Brisas	Marco Climático	Control Morfoclimático	Modelado de Erosión Diferencial
Afloramientos Esquisto Las Mercedes	Crestas apuntadas y laderas cóncavas en Las Mercedes.	Imperante		Modelado de Erosión por escorrentía difusa

Todo lo descrito anteriormente es producido por el perfil de meteorización donde en el caso del Esquisto Las Mercedes se produce una escorrentía y por consiguiente tiene un alto índice de erosión, mientras que en el esquisto Las Brisas hay infiltración y el perfil de meteorización o saprolito es de mayor espesor.

Por los cambios litológicos se generan dos diferentes tipos de alteritas o formaciones superficiales (ver Figura N°9), las cuales se comportan hidro - geomorfológicamente diferente ante las mismas condiciones climáticas.

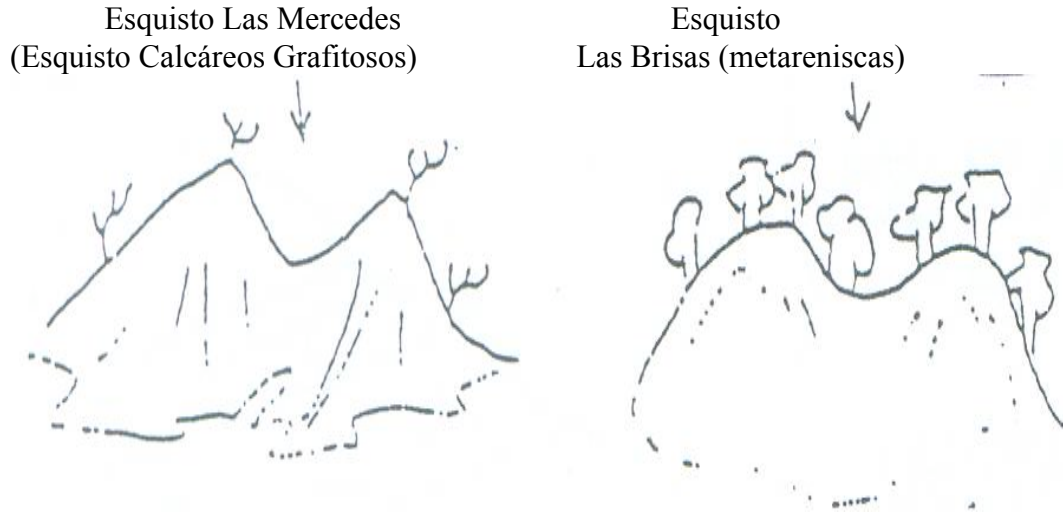


Figura N° 9: Morfología Muy bien diferenciada entre la topografía del Esquisto Las Brisas y el Esquisto Las Mercedes.

En el caso del Esquisto Las Mercedes, el arrastre mecánico de sedimentos es mayor motivado a la escorrentía difusa sobre el manto de meteorización laterítico. Esto conlleva a el engrosamiento de los valles y adelgazamiento constante del perfil de meteorización.

La vegetación cumple un papel muy importante en el caso del modelado. En el Esquisto Las Mercedes se presenta una vegetación del tipo xerofila; la cual ofrece poca o baja resistencia relativa al impacto mecánico de la lluvia, en contraste con la vegetación de bosque nublado presente en la Fm Las Brisas.

#### 5.4.2- Control Morfodinámico:

Adicionalmente en la localidad norte de la Urb. Miranda se puede extraer información de los efectos causados por la geodinámica externa en los terrenos de la zona. Este control geomorfológico esta fundamentado por los criterios presentados en la tabla N° 23, presentada a continuacion.

Tabla N° 23: Clasificación Morfoexodinámica del Control Geomorfológico en relación a los vicios del subsuelo.

Sector	Topoforma	Variable Morfogénica	Control Geomorfológico	Geoformas
Localidad Norte de la Urb. Miranda	Escalonamientos de pendiente de talud y contra-pendiente de peldaño	Agentes Exodinámicos	Control Morfoexodinámico	Modelado de deslizamiento rotacionales

Los agentes exodinámicos generan inestabilidad a estos terrenos susceptibles a deslizamientos rotacionales en fallas listricas. Las señales morfológicas de estas inestabilidades se pueden observar en las cicatrices transmitidas desde subsuelo a la superficie.

Estas señales morfológicas son en forma de media luna en las laderas (ver Foto N° 7) y perfiles de cuestras y contrapuestas en forma de gradas al centro del valle. En el caso de las cuestras y contrapuestas podemos observar un movimiento rotacional (ver figura N°: 9.1 y 10) contrario al movimiento o deslizamiento del bloque en cuestión.

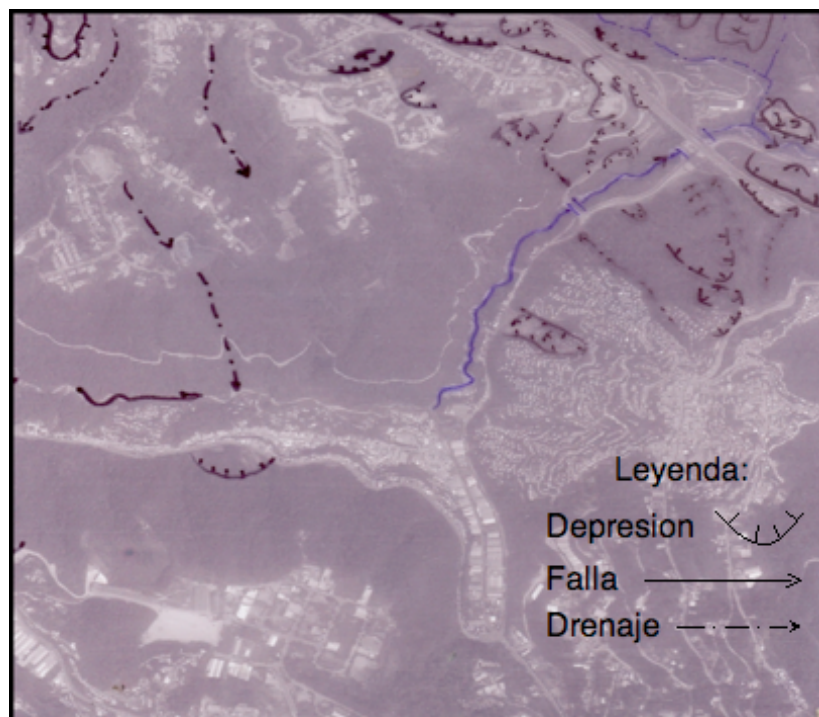


Foto N° 7: Fotografía aérea donada por la empresa Centenos y Asociados, por cortesía del Ing. Roberto Centeno.

En algunos casos se observan agrietamientos en muros, paredes y hasta inclinación de viviendas en patrones consecutivos al movimiento de estas cuestras y contrapuestas. Las tuberías han tenido que ser instaladas por el exterior debido a que los movimientos constantes del terreno generaban su rotura. En el caso de las vías recubiertas con manto asfáltico se observan microescarpes flexurales por la condición de ductilidad del mismo.

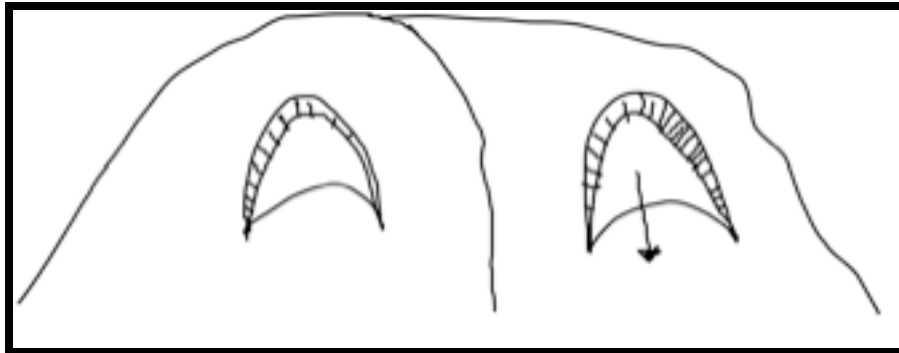


Figura N° 9.1: Morfología de cucharas coalescentes de deslizamiento. El terreno se desliza ladera abajo dejando las grietas en superficie de media luna

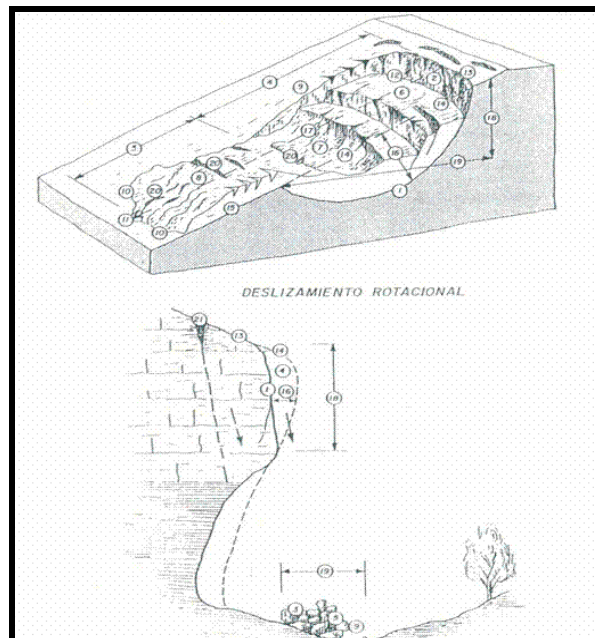


Figura N° 10: Perfil de deslizamiento rotacional

## CAPITULO VI

### PROSPECCIÓN SÍSMICA DE REFRACCIÓN MÚLTIPLE

#### 6.1- Generalidades:

La interpretación sísmica es una herramienta de gran utilidad para la determinación de ambientes depositacionales y estructura del subsuelo. Cada día la interpretación sísmica ha sido mejorada mediante la utilización de nuevas técnicas más avanzadas y que nos permiten caracterizar de forma más precisa el subsuelo. Entre las técnicas más utilizadas se encuentran los atributos sísmicos, y los más utilizados son: la descomposición espectral, atributos de frecuencia, tiempo, coherencia, similaridad, energía entre otros.

Además de nuevas técnicas de interpretación se con los avances tecnológicos se han creado nuevas plataformas de computo para la interpretación una de ellas, la cual fue utilizada para la elaboración de este trabajo es el PickWin. Este software tiene como propósito principal la identificación de las primeras respuestas recibida por los geófonos luego de inducir energía en un terreno, para luego procesar ésta data en el software Plotrefa. PlotRefa es el módulo de interpretación de SeisImager (producto del PickWin). Toma el output de PickWin como input, y mediante la aplicación de uno de las tres disponibles técnicas de interpretación, ofrece una sección transversal de velocidad. Incluye muchas herramientas útiles para facilitar la interpretación de los datos.

Para nuestro caso se realizo la prospección sísmica en un talud que ha sido modelado en forma de terrazas debido a su alto potencial de inestabilidad (ver Foto N° 12 y 13).

## 6.2- Adquisición de datos sísmicos de refracción múltiple:

En el siguiente mapa se observa la distribución del tendido de refracción sísmica en la localidad de San Isidro.

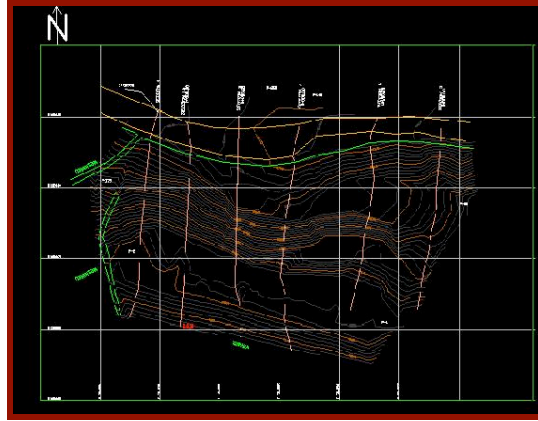


Figura N° 11: Mapa del talud en el Barrio San Isidro escala 1:10.000.

### 6.2.1-Diseño del Tendido:

El tendido se diseño con una separación entre receptores (geófonos) de 9m por limitaciones del espacio disponible, y su ubicación fue debidamente georeferenciada (ver Tabla N°24). La fuente de energía en todo momento fueron los golpes con mandarría. Los golpes generalmente se realizaban en un de los extremos y entre los primeros 7 geófonos del tendido para comparar si existía variación en la resolución de los resultados (Figura N° 12 y 13). La localidad escogida para el tendido sísmico se encuentra a nivel de Barrio San Isidro, paralelo a la Qda. Valencia (Foto N° 8).

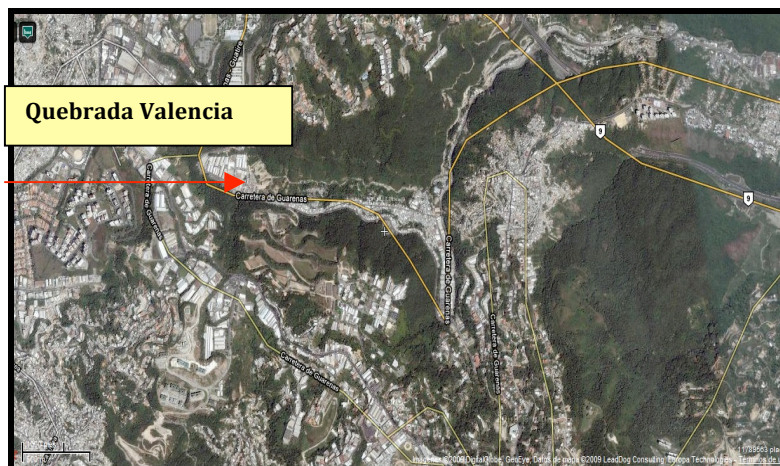


Foto N° 8: Barrio San Isidro, paralelo a la Qda. Valencia - escala 1:50.000

A continuación se muestra la ubicación exacta de los puntos extremos del tendido (ver foto N° 8).

Tabla N°24: Coordenadas de los puntos de tiro (primero-ultimo) del tendido GF1 en U.T.M, con error promedio de  $\pm 4m$ .

Longitud (m)	Latitud (m)	Cota (m)	Punto
440477	1268403	930	GF1-1
440534	1268402	931	GF1-2

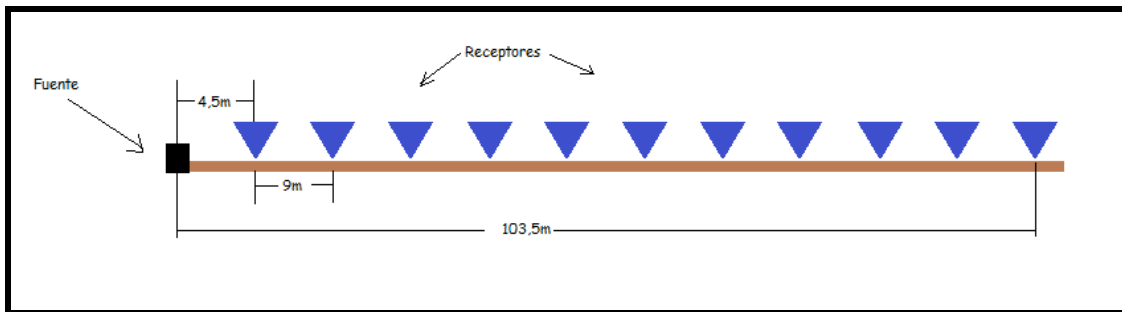


Figura N° 12. Esquema de la geometría de adquisición disparando en el extremo

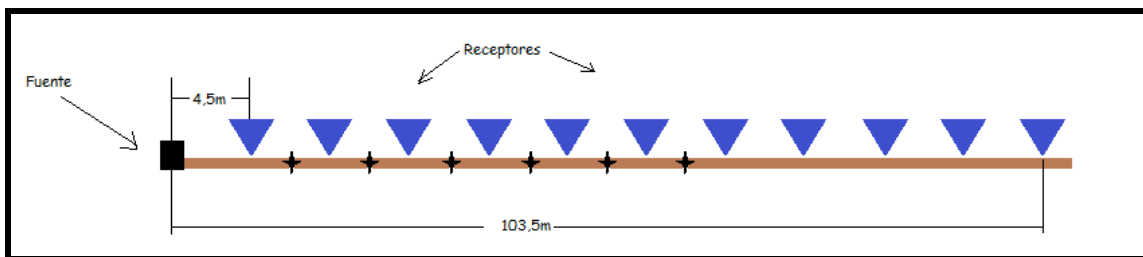


Figura N° 13. Esquema de la geometría de adquisición disparando a entre los primeros 7 geófonos (shotpoints).



Foto N° 9: Preparación de un tendido de refracción sísmica e implementos asociados.

#### 6.2.2- Generación de Ondas:

Para generar las ondas P se colocó la placa metálica en el suelo y se golpeó con la mandarina de forma vertical. Luego para generar las ondas S se golpeó con la mandarina de forma horizontal a la placa metálica previamente enterrada en forma vertical (Ver Foto N°9 y 10), generando así un efecto de cizalla. Es importante destacar que previamente a la adquisición de datos se realizaron pruebas de sonido para optimizar el ensayo (ver Foto N° 11) mediante la aplicación de filtros en el sismógrafo.



Foto N° 10: Generando ondas P.



Foto N° 11: Realizando pruebas de sonido, y calibraciones en el sismógrafo



Foto N° 12: Vista del talud desde la 2 terraza



Foto N° 13: Fotografía aérea del talud  
(donada por el Profesor Feliciano De Santis)

Los doce (12) geófonos se conectan a los cables transmisores que a su vez van conectados al sismógrafo de doce (12) canales. En promedio se apilaron unos diez (10) golpes con la mandarina en cada punto, dependiendo de la situación del terreno y la respuesta obtenida en la transmisión de la energía al terreno, esto con la finalidad de obtener los mejores resultados posibles.

Se realizó la polarización de las ondas de corte, golpeando en un mismo punto por ambos lados de la placa. Esto se hizo con la finalidad de observar claramente el momento exacto de la llegada de dicha onda y obtener mejores resultados.

### 6.3-Metodología de procesamiento de datos sísmicos:

Una vez descargados los datos del sismógrafo en un disco 3<sup>1/2</sup>, éstos fueron interpretados con el software de PickWin y Plotrefa, siguiendo la siguiente metodología de trabajo:

- Se importaron los datos de .DAT (grabados en el sismógrafo) a SEG2 para luego ser procesados en el software PickWin.
- Se obtuvieron las trazas y se aplicaron filtros para mejorar la visualización de la primera llegada, como por ejemplo el filtro pasabanda de frecuencia entre 20 y 100Hz.
- Se seleccionaron los tiempos de primeras llegadas (PICKS) y se crearon modelos 1D iniciales (ver Figura N° 14y 15).

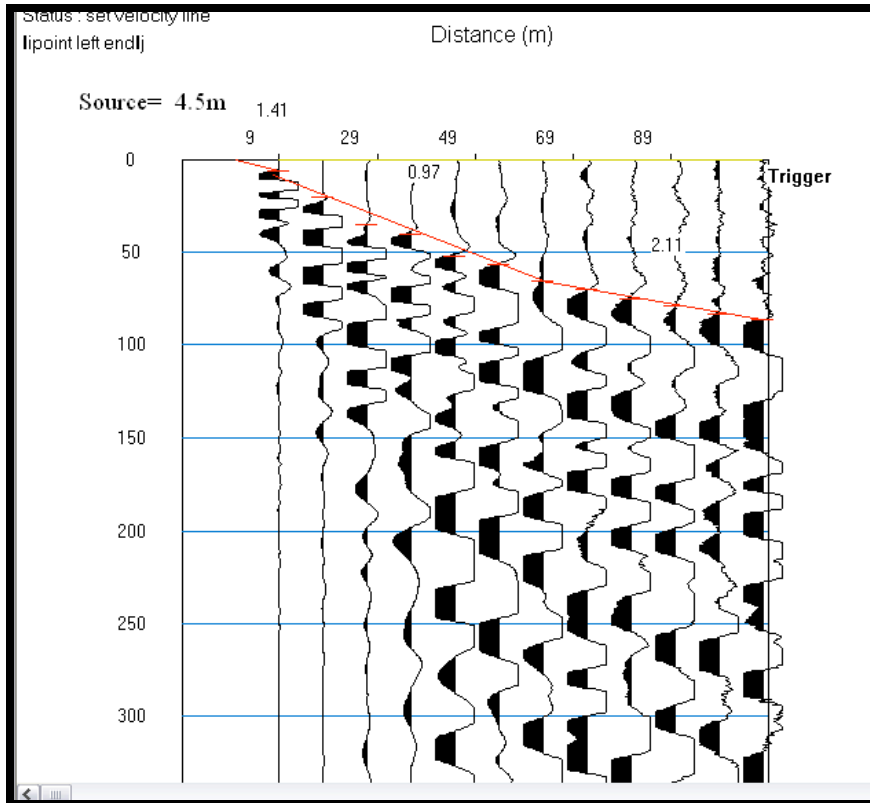


Figura N° 14. Onda P. Disparo a 00m, en tendido realizado en San Isidro.

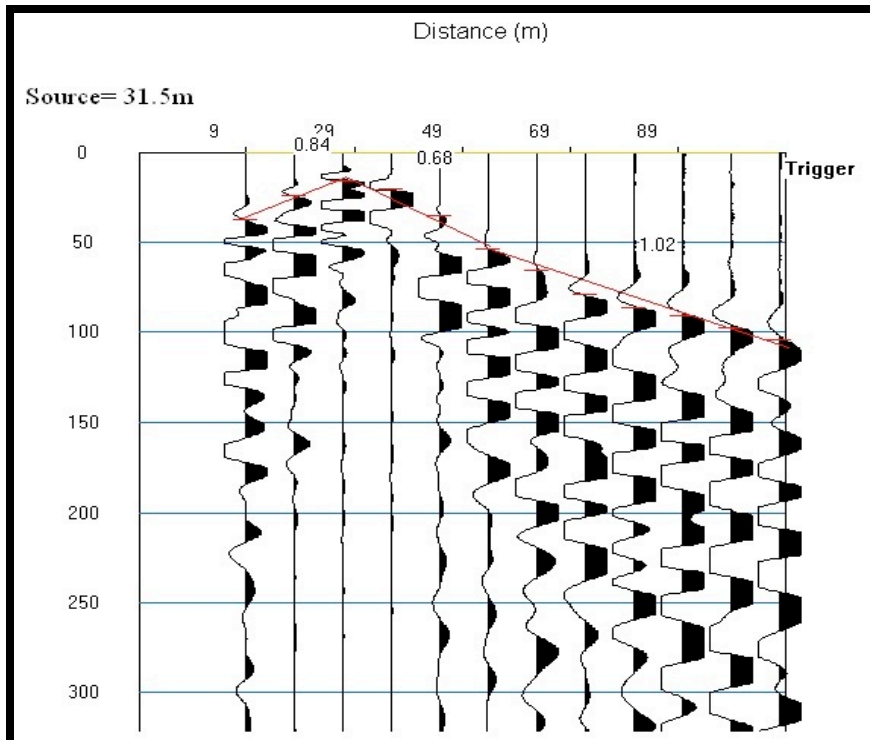


Figura N° 15. Onda P. Disparo a 31.5m, en tendido realizado en San Isidro.

- Con la información de los modelos 1D, se interpretan las velocidades del subsuelo y se preparaban los archivos en formato VS, necesarios para poder modelar en el software Plotrefa (ver Figura N° 16 y 17), el cual es un trazador de rayos que simulan la transmisión de la energía de cada disparo en la zona de estudio.

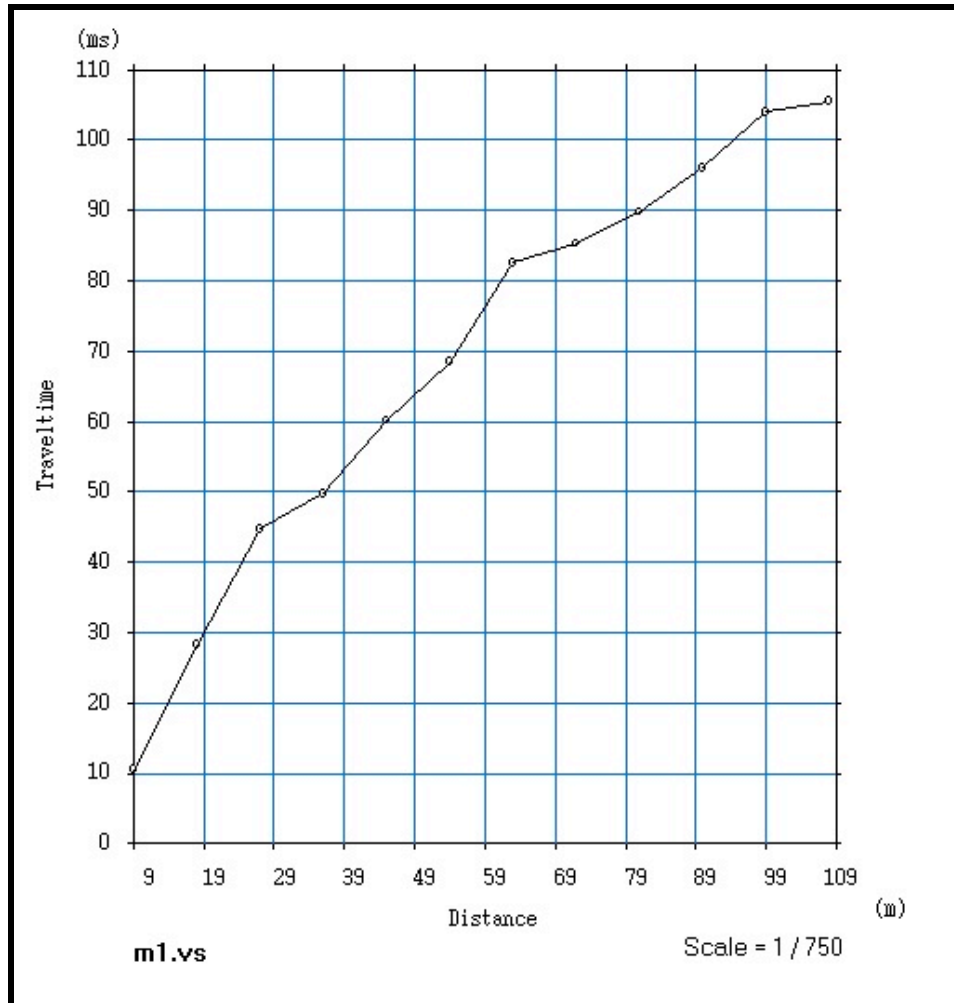


Figura N° 16. Travel time data and velocity time model , para cuando la fuente se encuentra en posición 00m

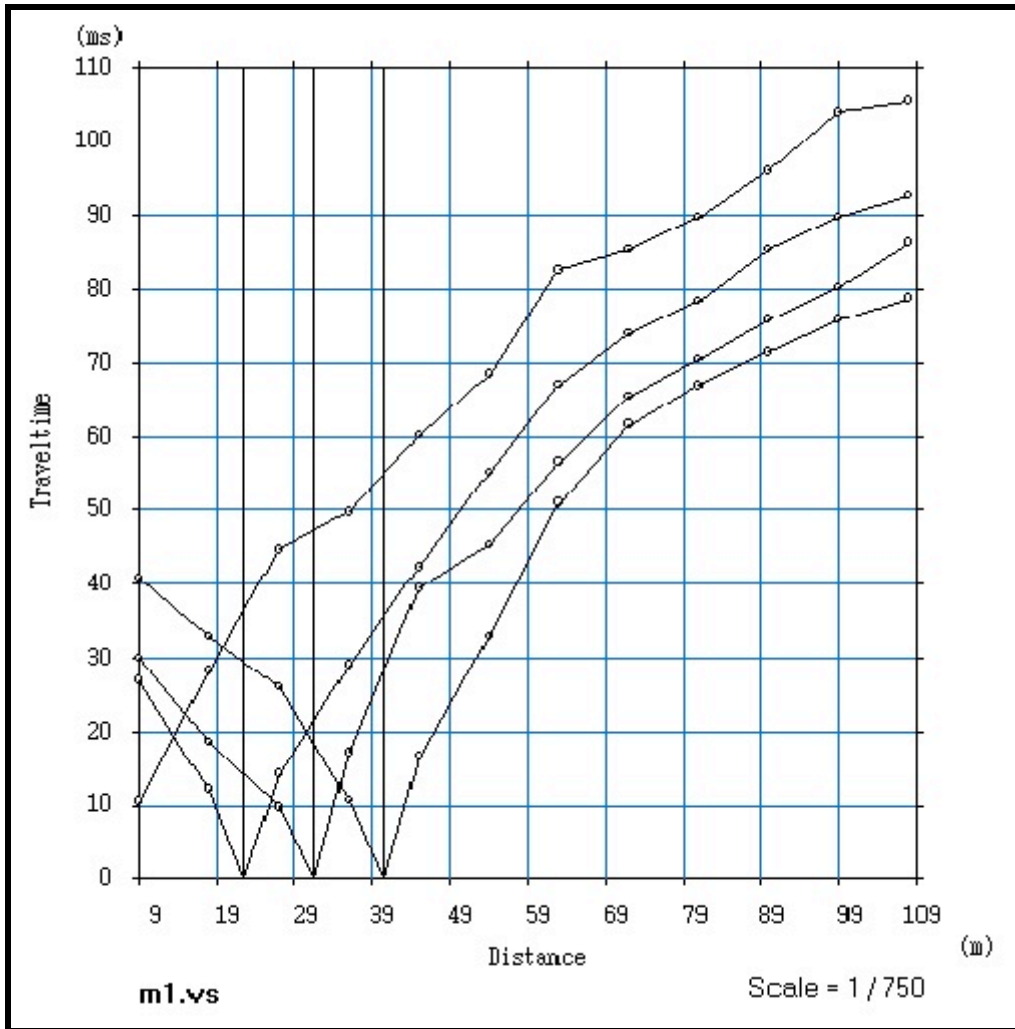


Figura N° 17. Travel time data and velocity time model , para cuando la fuente se encuentra en posición (0, 27, 36 y 45m)

- Mediante el modelado de trazados de rayos en 2D, se obtuvo la disposición espacial en profundidad de los estratos así como la velocidad de las onda P .

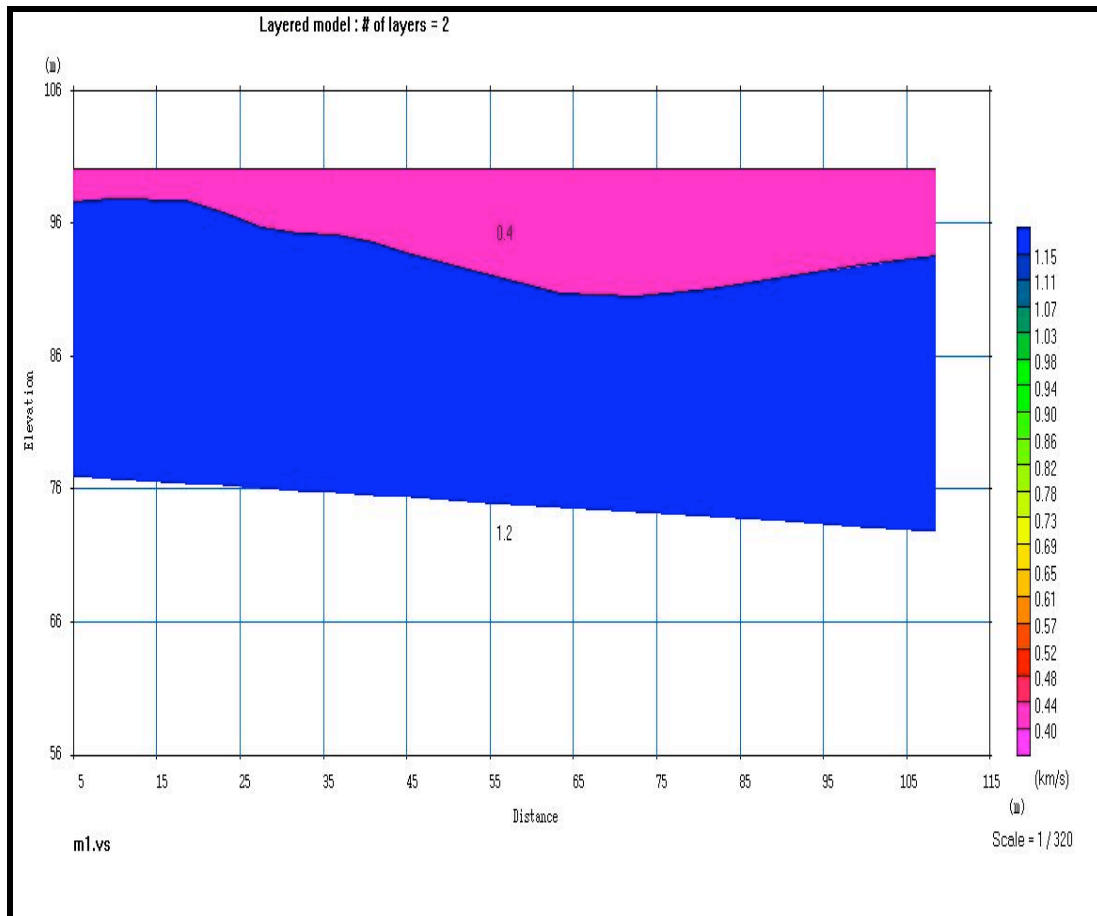


Figura N° 18. Perfil del tendido de sísmica en 2D, modelado a partir del cambio en la velocidad de onda en función de las densidades de las capas

#### 6.4- Análisis de la prospección sísmica:

En conclusión se tiene la curva dromocrónica, necesaria para generar la grafica (perfil 2d) en el cual se representa 2 velocidades de ondas: 0,40km/s y 1,15km/s. Dichas velocidades, obtenidas en el sondeo, representan un cambio en la densidad del subsuelo a cierta profundidad. El cambio de densidad esta relacionado directamente al cambio en el grado de meteorización presente del macizo rocoso. En el perfil 2d se puede apreciar que a partir de los 10m de profundidad, la roca comienza a modificar sus propiedades físicas debido al producto de fracturamiento, meteorización, y percolación de agua. Estas velocidades aumentan conjuntamente con la profundidad, evidenciando así el aumento de calidad en la roca a medida que se profundiza el sondeo.

En el procesamiento se comprobó la separación de dos capas de material con densidades distintas, indicando que la parte mas superficial se esta comportando como una

roca blanda o meteorizada(S2) mientras que a partir de una profundidad de 13 m (en promedio, considerando que el tendido sísmico fue realizado sobre un corte de la montaña) la roca aumenta su competencia y se comporta como una roca sana fracturada (S1). Todo lo antes descrito se fundamenta en las formas espectrales tipificadas de los terrenos de fundación establecidos en la Norma Venezolana COVENIN 1756:2001-1. Esta norma considera cuatro formas espectrales tipificadas (SI a S4) y un factor de corrección para el coeficiente de aceleración horizontal ( $p$ ), los cuales dependen de las características del perfil geotécnico del terreno de fundación.

## CAPITULO VII

### CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LA ZONA

#### 7.1- Generalidades:

Las clasificaciones geomecánicas tienen por objeto caracterizar un determinado macizo rocoso en función de una serie de parámetros a los que se les asigna un valor. Por medio de la clasificación se llega a calcular un índice característico de la roca, que permite describir numéricamente la calidad de la misma. Es una herramienta muy útil en el diseño y construcción de obras subterráneas, pero debe ser usada con cuidado para su correcta aplicación, pues exige conocimientos y experiencia por parte de quien la utiliza. Las clasificaciones pueden ser usadas en la etapa de Proyecto y también durante la Obra. En la etapa de Proyecto, permiten estimar el sostenimiento necesario en base a las propuestas del autor de cada sistema de clasificación, mientras que durante la Obra, permiten evaluar la calidad del terreno que se va atravesando conforme avanza la excavación del túnel y aplicar el sostenimiento correcto en cada caso. En nuestro caso enfocaremos la clasificación del macizo rocoso a través del índice de resistencia geológica GSI, para las rocas metamórficas de la cordillera de la costa. Al determinar el GSI se realizarán cálculos para obtener los valores del parámetro RQD necesarios para clasificar geomecánicamente nuestro macizo rocoso por el teorema de Bieniawski (RMR).

#### 7.2- Índice de Resistencia Geológica GSI:

Es un valor tomado a partir de la descripción de la estructura y las condiciones de la superficie de la masa rocosa, seleccionando el intervalo apropiado de la clasificación (ver Tabla Nº 25) elaborada por Hoek & Brown (1997), estimando el valor promedio del índice de resistencia geológica (GSI). Los parámetros a tomar en consideración principalmente son las estructuras encontradas en el macizo rocoso, la condición superficial de las discontinuidades así como también la disminución en calidad de la roca en superficie (es decir el grado de meteorización presente).

Para la zona en estudio se calculó un valor GSI comprendido entre los rangos 25 – 35, evidenciado por la presencia de: rocas muy foliadas, altamente fracturadas, presentando

plegamientos, y con superficies de discontinuidades muy meteorizadas

INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA (GSI) PARA LAS ROCAS METAMORFICAS DE LA CORDILLERA DE LA COSTA DE VENEZUELA		CONDICION SUPERFICIE DE DIACIASAS				
A partir de la descripción de la estructura y las condiciones de la superficie de la masa rocosa, seleccionar el intervalo apropiado de esta gráfica. Estimar el valor promedio del Índice de Resistencia Geológica (GSI) de dicho intervalo. No intentar ser tan preciso. Escoger un rango de GSI de 38 a 42 es más aceptable que fijar un GSI = 38. También es importante reconocer que el criterio de Hoek-Brown debería ser aplicado solamente en macizos rocosos donde el tamaño de los bloques o fragmentos es pequeño comparado con el tamaño de la excavación a ser evaluada. Cuando el tamaño de los bloques individuales es aproximadamente mayor a un cuarto de la dimensión de la excavación, generalmente la falla estaría controlada por la estructura y el criterio de Hoek-Brown no debería ser utilizado.		MUY BUENA Muy rugosa, superficies cerradas sin meteorización	BUENA Rugosa, ligeramente meteorizada, aberturas < 1mm, refrentes duros	MEDIA Ligeramente rugosa, moderadamente meteorizada, aberturas 1-5 mm, refrentes duros y blandos	MALA Lisa, superficies muy meteorizadas con aberturas > 5mm, predominan los refrentes blandos	MUY MALA Espesores de falla, superficies muy meteorizadas y abiertas con refrentes blandos
ESTRUCTURA		DISMINUCIÓN EN CALIDAD DE SUPERFICIE				
INTACTA O MASIVA – macizo rocoso con pocas discontinuidades, carencia de planos de foliación Ej: Gneis, cuarcita o mármol con un sistema de diaclasas poco frecuente	90		N/A	N/A	N/A	
POCO FOLIADA – macizo rocoso parcialmente fracturado con hasta tres sistemas de discontinuidades. Puede contener intercalaciones delgadas de rocas foliadas Ej: Cuarcita fracturada intercalada ocasionalmente con esquistos y/o filitas	80					
MODERADAMENTE FOLIADA – macizo rocoso fracturado constituido por intercalaciones de rocas foliadas y no foliadas en proporciones semejantes Ej: Intercalaciones de esquistos y/o filitas con mármoles fracturados en proporción similar	70					
FOLIADA – macizo rocoso plegado y/o fallado, muy fracturado, donde predominan las rocas foliadas, con ocasionales intercalaciones de rocas no foliadas Ej: Esquistos y/o filitas muy fracturadas intercaladas ocasionalmente con mármoles lenticulares	60					
MUY FOLIADA – macizo rocoso plegado, altamente fracturado, constituido únicamente por rocas muy foliadas Ej: Esquistos y/o filitas muy fracturadas sin la presencia de mármoles, gneises o cuarcitas	50					
BRECHADA/CIZALLADA – macizo rocoso muy plegado, alterado tectónicamente, con aspecto brechoso. Ej: Breche de falla	40					
	30					
	20					
	10					
	5					
	N/A	N/A				

AUMENTO EN LA PRESENCIA DE ROCAS FOLIADAS

Adaptado por M. Truzman (1.999) de Hoek y Brown (1.997) para las Rocas Metamórficas de la Cordillera de La Costa de Venezuela

Tabla N° 25: Parámetros requeridos para el cálculo del GSI para los macizos rocosos de roca foliada (valor determinado 25-35).

### 7.3- Clasificación de Bieniawski (R.M.R)

El sistema de clasificación Rock Mass Rating o sistema RMR fue desarrollado por Z.T. Bieniawski durante los años 1972- 73, y ha sido modificado en 1976 y 1979, en base a más de 300 casos reales de túneles, cavernas, taludes y cimentaciones. Actualmente se usa la edición de 1989, que coincide sustancialmente la con de 1979. Permite hacer una clasificación de las rocas 'in situ' y estimar el tiempo de mantenimiento y longitud de un vano. Se utiliza usualmente en la construcción de túneles, de taludes y de cimentaciones. Consta de un índice de calidad RMR (Rock Mass Rating), independiente de la estructura, y de un factor de corrección. Para determinar el índice RMR de calidad de la roca se hace uso de los seis parámetros del terreno siguientes:

- La resistencia a compresión simple del material.
- Índice de calidad de la roca, RQD.
- El espaciamiento de las discontinuidades.
- El estado de las discontinuidades.
- La presencia de agua.
- La orientación de las discontinuidades.

Al resultado de cada uno de los parámetros se le asigna, según la Tabla N° 26, un valor y se suman todos ellos para obtener el índice de calidad RMR sin correcciones. A este valor se le debe restar un factor de ajuste en función de la orientación de las discontinuidades.

#### 7.3.1- Resistencia de la roca:

Tiene una valoración máxima de 15 puntos y puede utilizarse como criterio, el resultado del ensayo de resistencia a compresión simple o bien el ensayo de carga puntual (Point Load).

#### 7.3.2- Índice de calidad de la roca, RQD:

Tiene una valoración máxima de 20 puntos, y se ha estimado midiendo la cantidad de discontinuidades en 1m<sup>2</sup> del talud. Su valor fue determinado usando la formula propuesta

por Palmstrom (1982):

$$RQD = 115 - 3.3J_v$$

Donde  $J_v$  es la suma del número de discontinuidades por unidad de longitud ( $1m^2$ ) de todas las familias de discontinuidades presentes en el talud; también conocido como el conteo volumétrico de discontinuidades.

#### 7.3.3- Separación entre discontinuidades.-

Tiene una valoración máxima de 20 puntos, y el parámetro considerado es la separación en metros entre juntas de la familia principal de diaclasas la de roca.

#### 7.3.4- Estado de las discontinuidades.-

Es el parámetro que más influye, con una valoración máxima de 30 puntos. Pueden aplicarse los criterios generales, en la que el estado de las diaclasas se descompone en otros cinco parámetros: persistencia, apertura, rugosidad, relleno y alteración de la junta.

#### 7.3.5- Presencia de agua.-

La valoración máxima es de 15 puntos. La ofrece tres posibles criterios de valoración: estado general, caudal cada 10 metros de túnel y relación entre la presión del agua y la tensión principal mayor en la roca.

#### 7.3.6- Orientación de las discontinuidades.-

Este parámetro tiene una valoración negativa, y oscila para túneles entre 0 y -12 puntos. En función del buzamiento de la familia de diaclasas y de su rumbo, en relación con el eje del túnel (paralelo o perpendicular), se establece una clasificación de la discontinuidad en cinco tipos: desde muy favorable hasta muy desfavorable.

El RMR se obtiene como suma de unas puntuaciones (ver tabla N° 26) que corresponden a los valores de cada uno de los seis parámetros enumerados. El valor del RMR oscila entre 0 y 100, y es mayor cuanto mejor es la calidad de la roca.

Tabla Nº 26: Clasificación Geomecánica de Bieniawski (1989). Calculo del (R.M.R).

1	Resistencia de la roca sana	Ensayo de carga puntual	> 100 Kg/cm <sup>2</sup>	40-80 Kg./cm <sup>2</sup>	40-20 Kg./cm <sup>2</sup>	20-10 Kg/cm <sup>2</sup>	Compresión simple Kg/cm <sup>2</sup>		
		C. Simple	> 2500 Kg/cm <sup>2</sup>	2500-1000Kg/cm <sup>2</sup>	1000-500Kg/cm <sup>2</sup>	500-250Kg/cm <sup>2</sup>	250-50	50-10	10
Valoración			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	<25%		
	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0,6 - 2m	0,6 - 0,2m	0,2 - 0,06m	< 0,06m		
	valoración		20	15	10	8	5		
4	estado de las diaclasas		persistencia	abertura	rugosidad	relleno	meteorización		
			<1m 6	cerrada 6	muy rugosa 6	sin relleno 6	bordes sanos	6	
			1-3m 4	<0,1mm 5	rugosa 5	duro<5mm 4	lig. Meteorizados	5	
			3-10m 2	0,1-1mm 4	lig. Rugosa 3	duro>5mm 2	mode. Meteorizados	3	
			>10m 0	1-5mm 1	lisa 1	blando<5mm 2	muy meteorizados	1	
				>5mm 0	espejo de falla 0	blando>5mm 0	descompuesto	0	
5	Agua freática	estado general	seco	Lig. Húmedo	húmedo	goteando	fluyendo		
	valoración		15	10	7	4	0		

#### 7.4-Resultados:

Como se describió anteriormente, la litología encontrada consta de rocas metasedimentarias, mayormente esquistosas y con niveles de metamorfismo que los ubica en la fase de esquistos verdes.

En primera instancia se presentan los valores obtenidos para la resistencia a la compresión simple del material (tabla N° 27). Luego se determinan los valores de los factores  $J_v$  y RQD, necesarios para catalogar el macizo rocoso mediante clasificación de RMR.

Tabla N° 27. Resultados de ensayos a la resistencia de la compresión uniaxial

Muestra	Densidad				Resistencia					
	Litotipo	Peso (g)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Altura. (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Resistencia Ensayo (kg/cm <sup>2</sup> )
MDI	I	574.00	198.36	2.894	5.80	6.00	5.70	34.20	6,570	192.11
MDII	II	576.00	212.28	2.713	6.00	6.10	5.80	35.38	2,490	70.38
MDIII	II	312.00	119.81	2.604	4.80	5.20	4.80	24.96	1,670	66.91
MDIV-1	IV	206.00	82.80	2.488	4.50	4.00	4.60	18.40	1,660	90.22
MDIV-2	IV	560.00	215.76	2.595	6.00	6.20	5.80	35.96	6,750	187.71
MDVI-1	V	306.00	112.50	2.720	4.50	5.00	5.00	25.00	2,560	102.40
MDVI-2	V	640.00	242.05	2.644	6.40	6.10	6.20	37.82	6,550	173.19
MDV-1	III	612.00	217.74	2.811	6.10	5.90	6.05	35.70	22,150	620.54
MDV-2	III	656.00	226.92	2.891	6.20	6.00	6.10	36.60	19,150	523.22

Tabla N° 28:Calculo de los valores: JV y RQD, para las diferentes estaciones de medición.

LOCALIDAD	LITOLÓGÍA	JV	RQD
ESTACIÓN 1	Esquistos cuarzo-moscovítico-grafitoso-calcáreo	3,4	2,8
ESTACIÓN 2	Esquisto cuarzo grafitoso calcáreo.	3,3	6,1
ESTACIÓN 3	Esquisto cuarzo grafitoso calcáreo.	3,15	11,05
ESTACIÓN 4	Esquistos calcáreos-cuarzo- ligeramente grafitosos	3,15	11,05
ESTACIÓN 5	Mármoles oscuros en capas delgadas intercaladas con Esquitos Micáceos	2,9	19,3
ESTACIÓN 6	Esquistos cuarzo-moscovítico-grafitoso-calcáreo	3	16

Jv= conteo volumétrico de las discontinuidades.

rqd=Índice de calidad de la roca

$$RQD = 115 - 3.3Jv$$

Tabla Nº 29: CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO EN BASE A LA CLASIFICACIÓN (RMR) DE BIENIAWSKI

LOCALIDAD	Litotipo	Resistencia De La Matriz Rocosa	RQD	Espaciado	Continuidad	Abertura	Rugosidad	Relleno	Meteorización	Hidrología	RMR		CALIDAD DEL MACIZO	
											INICIAL	CORREGIDO	CLASE	CALIDAD
Estación 1	I	2	2,8	5	6	1	3	2	5	10	36,8	26,8	IV	MALA
Estación 2	II	2	6,1	5	4	1	5	0	6	10	39,1	29,1	IV	MALA
Estación 3	II	2	11,1	5	4	1	5	0	6	10	44,05	34,05	IV	MALA
Estación 4	IV	2	11,1	5	6	0	5	0	3	10	42,05	32,05	IV	MALA
Estación 5	V	7	19,3	5	6	6	1	6	3	10	58,3	48,3	III	MEDIA
Estación 6	I	2	16	5	6	6	1	0	5	10	51	41	III	MEDIA

#### 7.4- Análisis de Resultados:

El GSI para esta roca se encuentra en el rango de valores (25-40). Esto representa un macizo rocoso con alto grado de foliación, plegamiento y fracturas; así como también, la presencia de diaclasas rugosas, una meteorización intermedia, y rellenos blandos entre los planos de discontinuidad.

El sector correspondiente a éste tipo de macizo rocoso puede presentar inestabilidad debido a colapso de material saturado y derrumbes en general. Adicionalmente se observan de dos a tres familias de diaclasas; mientras que la foliación está bien marcada.

Los espesores de capa vegetal del suelo en el área están por el orden de los 25 cm. además se presenta una porción importante de suelo residual y material descompuesto que al momento de los deslizamientos se comportará como suelo o material suelto; en otras palabras los talud presentan condiciones de diaclasamiento de alta frecuencia, foliación desfavorable a la carretera; y en resumen se tiene una roca altamente meteorizada (descompuesta) y con buzamiento favorable al deslizamiento (factores que influyen favorablemente a la inestabilidad).

Con respecto a la resistencia en la compresión uniaxial: se tomaron un total de 9 muestras distribuidas a lo largo de la zona estudiada (debidamente georeferenciadas en el mapa anexo). Los resultados del ensayo se muestran en la Tabla N° 27 donde el valor máximo para:

- Esquistos Calcáreos Grafíticos (roca representativa del Esq. Las Mercedes): es de 192.11 kg/cm<sup>2</sup> lo que es igual a 18.83 Mpa (1Mpa = 10.2 Kg/cm<sup>2</sup>), ver tabla N°30.

Tabla N° 30: Caracterización de la resistencia de la roca del esquisto calcáreo- grafítico.

Grado	Descripción	<u>Identificación de terreno</u>	Rango aproximado de resistencia a la compresión uniaxial (Mpa)
R2	Roca Débil	Puede ser escarbada por el cortaplumas con dificultad, se deforma o disgrega por un fuerte golpe de la punta del martillo.	5,0-25

- Esquistos Grafíticos (roca representativa del Esq. Las Brisas): es de 187.71 kg/cm<sup>2</sup>;

o lo que es igual a 18.40 Mpa. Este resultado clasifica la roca del sector como una roca de grado R2 (roca débil), con un rango de resistencia a la compresión simple de (Mpa) de 5 – 25 Mpa.

- Mármol (bloques alóctonos): es de 620.54kg/cm<sup>2</sup>; o lo que es igual a 60.83Mpa (ver tabla N° 31).

Tabla N° 32: Caracterización de la resistencia del mármol aloctono.

Grado	Descripción	<u>Identificación de terreno</u>	Rango aproximado de resistencia a la compresión uniaxial (Mpa)
R4	Roca Resistente	Para romperlas requieren mas de un golpe con el martillo geológico.	50.0 – 100

## CAPITULO VIII

### ANÁLISIS DE LA CINEMÁTICA DE TALUDES

#### 8.1- Generalidades:

La posible falla de un talud a favor de una determinada superficie depende de la resistencia al corte de la misma. En primera instancia, esta resistencia depende de los parámetros resistentes del material : cohesión y rozamiento interno (ángulo de fricción). Sin embargo, en los macizos rocosos son las propiedades resistentes de las discontinuidades y de la matriz rocosa, las que controlan el comportamiento mecánico. Es decir, los diferentes tipos de fallas para los taludes en rocas van a estar condicionados por el grado de fracturamiento del macizo rocoso y por la orientación y distribución de las discontinuidades con respecto al talud.

En este trabajo se realizaron análisis cinemáticos de taludes representativos de la zona de estudio, en 6 estaciones (georeferenciadas en el mapa geológico) distribuidas a lo largo de la carretera Petare-Guarenas. Los modelos de fallas encontrados fueron: falla planar y falla en cuña. El análisis de dichas estaciones se realizó mediante el uso de redes estereográficas para la interpretación de los distintos planos de discontinuidades, foliaciones y planos de talud,; que luego fueron comparados con los modelos de fallas presentados por Hoek & Bray (1982).

#### 8.2- Análisis Cinemáticos de taludes, en estaciones de medición representativas en la zona de estudio:

##### 8.2.1- Estación MD1:

Se tiene un talud de aproximadamente 120m de longitud, con una orientación N80E, una pendiente de 50N y una altura de 35m (ver Foto N° 14 ).



Foto N° 14: Talud representativo en la Estación MD1.

Este talud corresponde al modelo de deslizamiento de un bloque en forma de cuña (Hoek & Bray, 1982), formado por los planos de diaclasas principales D1 y D2 (ver tabla N° 32). Dichos planos de discontinuidades se encuentran aflorando en la superficie del talud, y su intercepción forma una línea con un ángulo inferior a la pendiente del talud. Este tipo de fallas es característico de macizos rocosos con varias familias de discontinuidades, donde la orientación y espaciado de material, es determinado por la forma y el volumen de la cuña.

Tabla N° 32: Datos de Planos de discontinuidades en el talud.

DISCONTINUIDAD	RUMBO	BUZAMIENTOS
FOLIACIÓN (F)	N45W	58N
DIACLASA 1 (D1)	N40E	64N
DIACLASA 2 (D2)	N35W	60N
PLANO DE TALUD (T)	N80E	55N

A continuación se presentan las direcciones preferenciales de los planos de diaclasas D1 y D2 en estereografía (figura N° 19), así como también el modelo de falla en cuña (figura N° 20).

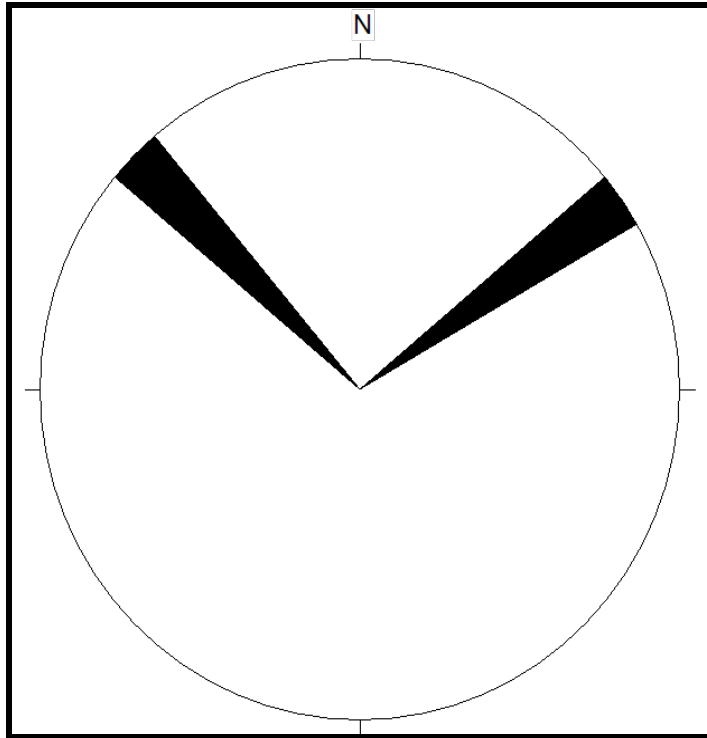


Figura N° 19. Representación de los planos preferenciales de diaclasas

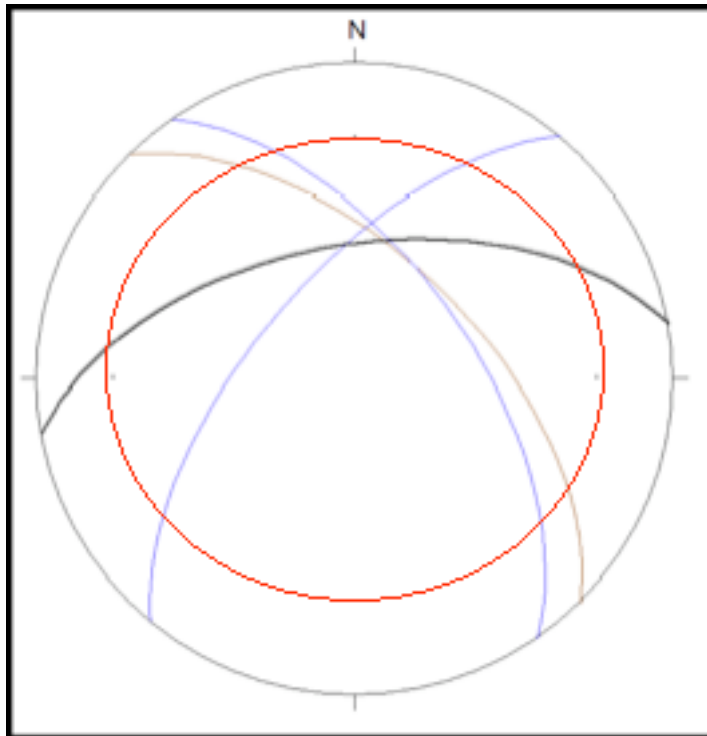


Figura N° 20. Representación de plano de discontinuidades en el talud.  
(D1;D2:T;F;  $\Phi=27^\circ$ )

En la figura N° 20, se observa como los planos D1 y D2 se interceptan formando una línea de orientación N15E, cumpliéndose la condición de falla en cuña donde: el ángulo del talud > ángulo de la línea intercepción > ángulo de fricción .

Actualmente se realizan esfuerzos para estabilizar el talud mediante la modelación de banqueos; que tienen como objetivo principal: minimizar la sobrecarga de material que tiene la montaña y disminuir el ángulo de la pendiente del talud.

#### 8.2.2- Estación MD2:

Se tiene un talud de 150 m de longitud y 15m de altura, en el sector del Barrio la Cuesta (ver foto N° 15) . Dicho talud presenta una orientación N72E, y una pendiente de 52N. La roca constituyente de este sector de la carretera es un esquisto calcáreo, con altos porcentajes de grafito y presenta vetas de calcita.



Foto N° 15. Se muestra el material colapsado y la rotura en cuña en el talud.



Foto N° 16. Vista de perfil del talud MD2, donde se tiene una sección de rotura en cuña.

En las fotos 15 y 16 se evidencia el potencial de inestabilidad presente a nivel base del talud representativo de la Estación MD2.

Evaluando las características estructurales del talud desde el punto de vista de las discontinuidades tomando como referencia los planos medidos en campo se tiene (ver tabla N° 33):

Tabla N°33. Datos de Planos de discontinuidades en el talud.

DISCONTINUIDAD	RUMBO	BUZAMIENTOS
FOLIACIÓN	N60E	50N
DIACLASA 1	N15W	20N
DIACLASA 2	N31W	30N
PLANO DEL TALUD	N72E	52N

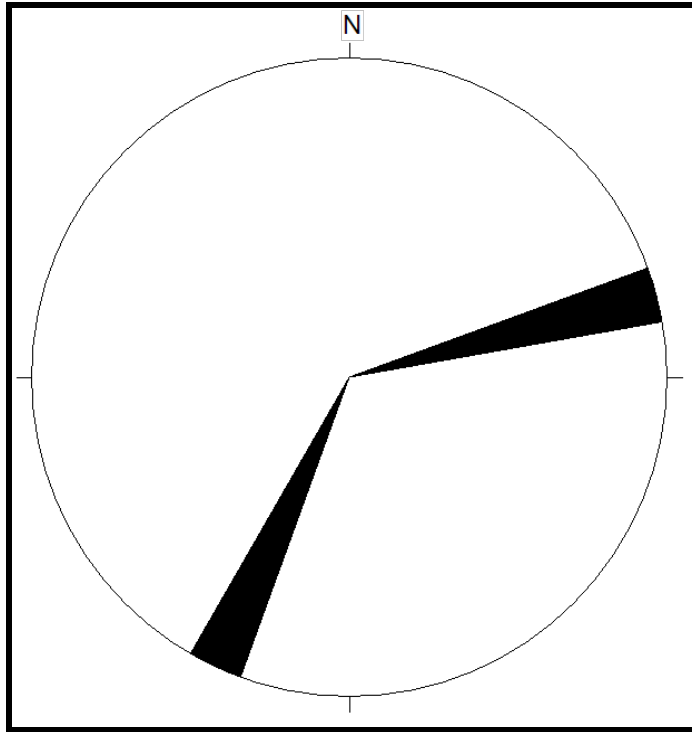


Figura N° 21. Orientación de planos de diaclasas preferenciales.

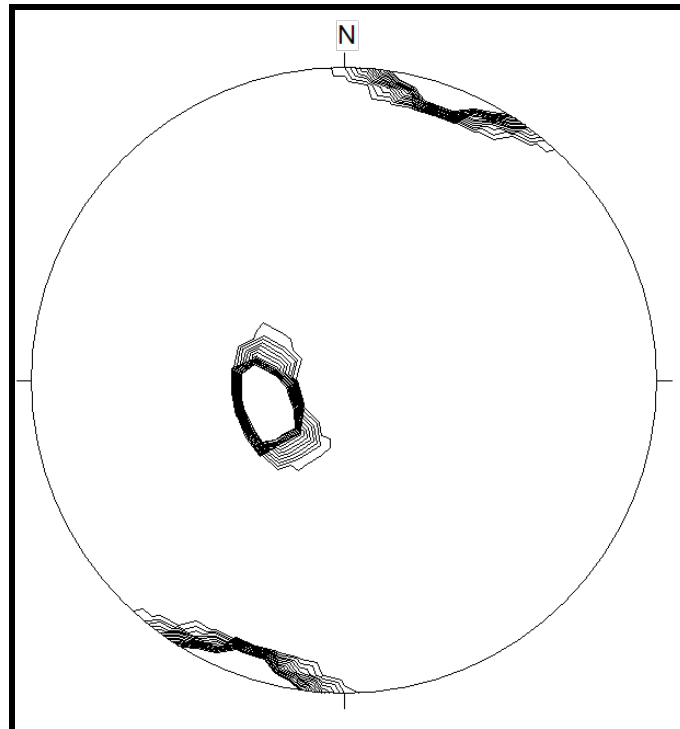


Figura N° 22. Densidad de los polos de diaclasas preferenciales.

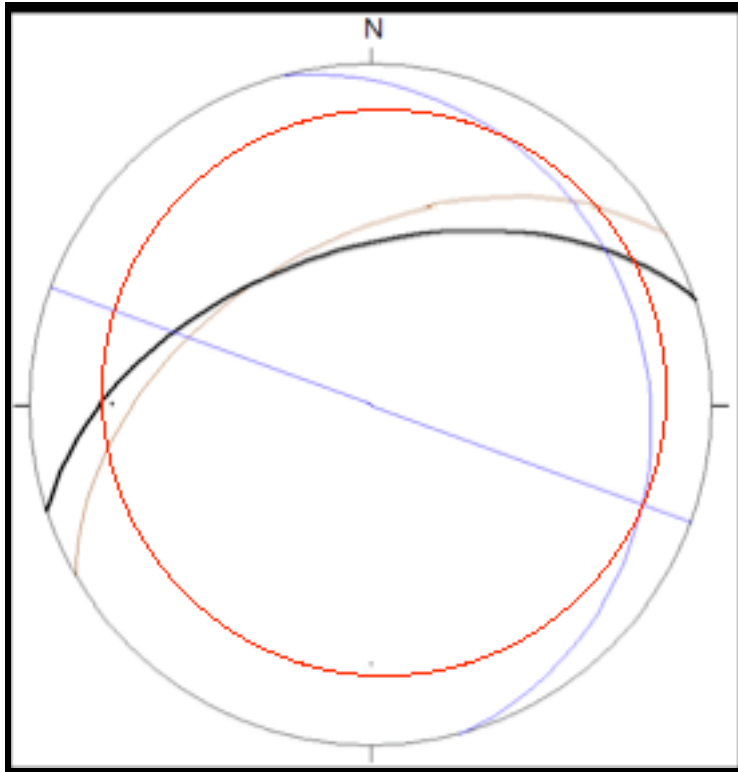


Figura N°23. Representación de plano de discontinuidades en el talud. Generan una estructura de falla en cuña para el material en la estación MD2 (D1;D2:T;F;  $\Phi=27^\circ$ ).

En la figura N° 23 se observa como se interceptan: el plano de foliación preferencial en la roca y el plano de diaclasamiento D2, generando una falla en cuña a nivel del talud. Dicha falla viene dada por la presencia de discontinuidades buzando a favor del talud y en su misma dirección, cumpliéndose la condición de que la discontinuidad (D2) debe estar aflorando en el talud, y su buzamiento tiene que ser menor al buzamiento del talud y mayor que el ángulo de fricción en la roca.

Este talud presenta sectores de inestabilidad asociados a la caída de material, generando continuos problemas de tránsito vial en la carretera nacional. En general el factor más influyente es el nivel de pendiente modelado en el corte de carretera, y los cambios en la humedad que modifican la cohesión presente en el material.

### 8.2.3- Estación MD3:

Se observa un talud de 50m de longitud y 20m de altura. El talud presenta una orientación N63E y un buzamiento de 80N (ver foto N° 17). Esta estación corresponde a el sector adyacente a la Quebrada Valencia, alrededor de las coordenadas  $10^{\circ}29'24''\text{N}$   $-66^{\circ}45'34''\text{W}$ .



Foto N° 17. véase las familias de diaclasas y los planos de foliación.



Foto N° 18. Evidencia de diaclasamiento y foliación.

Este talud presenta un grado mucho menor de inestabilidad geotécnica con respecto a los taludes evaluados anteriormente. A pesar de tener un alto grado de diaclasamiento, como se muestra en la foto N°19, esta zona no presenta colapso de material.

A continuación se presentan los datos de mediciones de las estructuras principales en la roca:

Tabla N° 34. Datos de Planos de discontinuidades en el talud

DISCONTINUIDAD	RUMBO	BUZAMIENTO
FOLIACIÓN	N22E	12N
DIACLASA 1	N40W	30N
DIACLASA 2	N60E	89N
PLANO DEL TALUD	N63E	80N

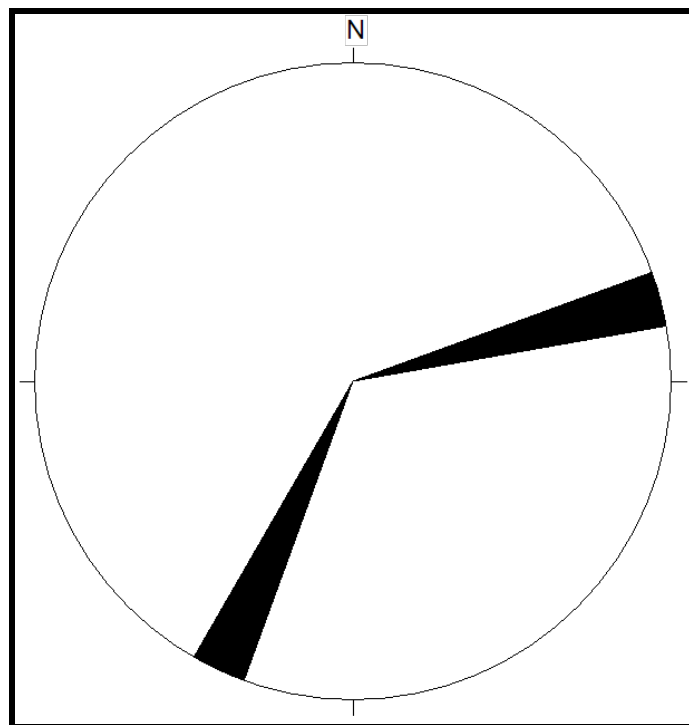


Figura N° 24. Orientación de planos de diaclasas preferenciales.

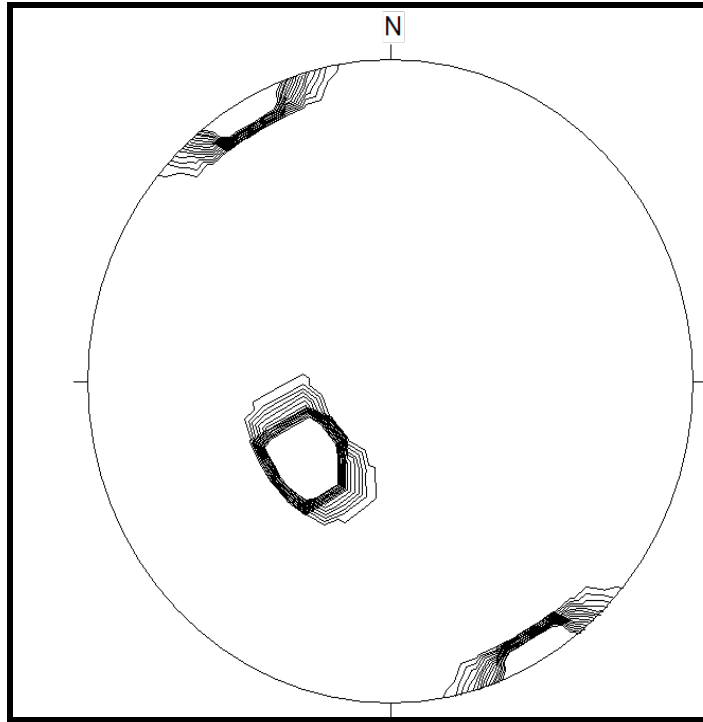


Figura N° 25. Densidad de polos para los planos de discontinuidades de la estación MD3

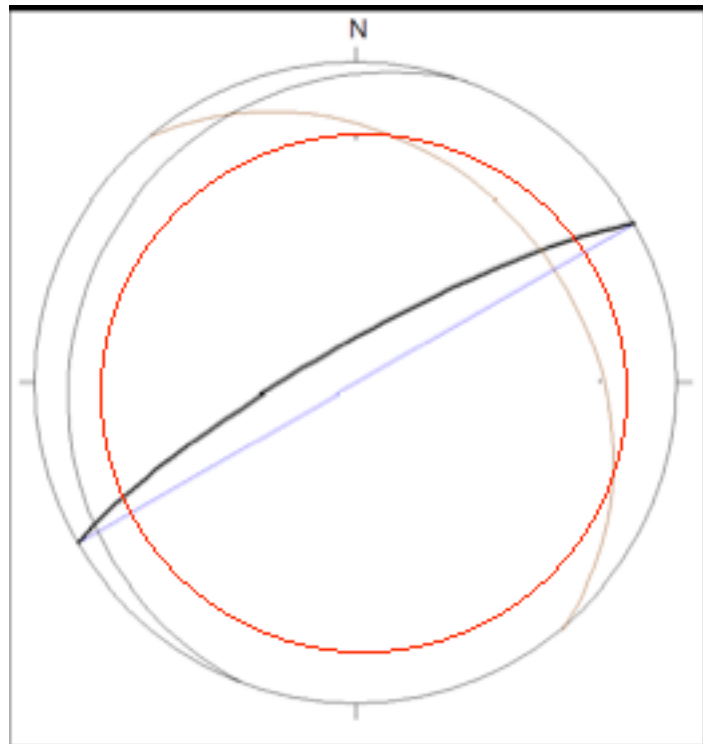


Figura N° 26. Representación de plano de discontinuidades en el talud. Se observa una estabilidad del talud, desde el punto de vista cinemático ( $D1; D2; T; F; \Phi=27^\circ$ ).

En la figura N° 26, se observa que aun cuando la pendiente del talud es casi vertical, la geometría y disposición de las discontinuidades presentes en la roca favorecen la estabilidad del talud. Esto se determino porque la intercepción de las diaclasas con el plano preferencial de la foliación, no cumplen con la condición básica de deformación o rotura planar. Es decir, que las líneas de intercepción generadas entre los planos de discontinuidades nunca cumplen con tener un ángulo de buzamiento superior al ángulo de rozamiento interno (ángulo de fricción).

En este sentido, se tiene que el talud representa una estructura favorable desde el punto de vista geológico estructural; resumiéndose en el hecho de que el ángulo de fricción es suficientemente alto como para evitar el deslizamiento de material entre las discontinuidades. Este sector representa un bajo nivel de potencial de inestabilidad.



Foto N° 19. Sector estable desde el punto de vista cinemático, debido a que la geometría de las discontinuidades favorece la estabilidad.

#### 8.2.4- Estación MD4:

Se observa un talud de 20m de longitud y 7m de altura. El talud presenta una orientación N60E y un buzamiento de 80N. Esta estación se encuentra limitada por las zonas de la Urb. Santa Elena y la Urb. Maturin, y se dispone adyacente a la Quebrada Caiza.



Foto N° 20. Evidencia de foliación, y presencia de vetas de calcita en la parte superior del talud.

A continuación se presentan los datos estructurales de las principales discontinuidades observadas en el talud (ver tabla N° 35 ).

Tabla N° 35. Datos de Planos de discontinuidades en el talud.

DISCONTINUIDAD	RUMBO	BUZAMIENTOS
FOLIACIÓN	N45E	35N
DIACLASA 1	N23W	20N
DIACLASA 2	N30E	35 N
PLANO DEL TALUD	N60E	80N

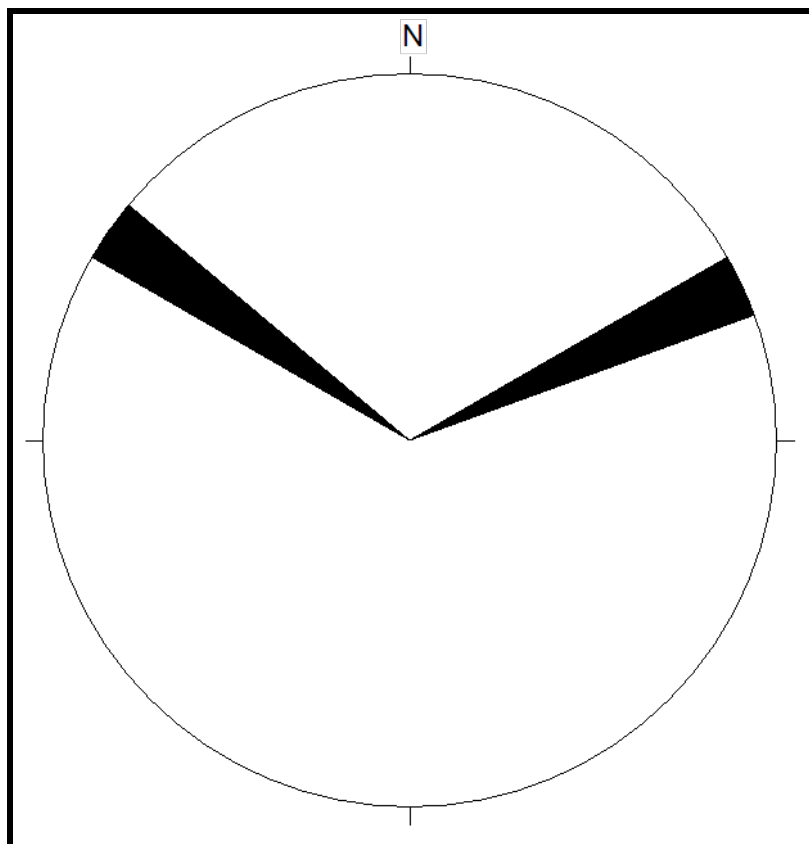


Figura N° 27. Orientación de planos de diaclasas preferenciales.

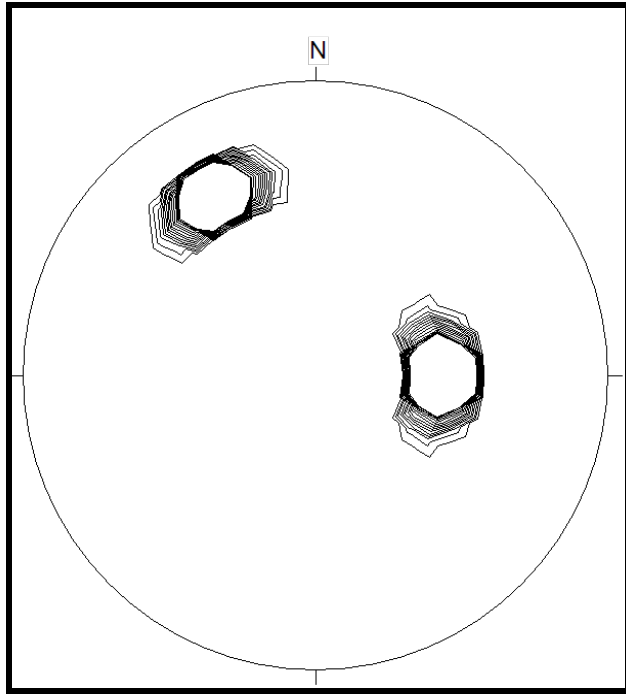


Figura N° 28. Densidad de los polos de planos de discontinuidades de la estación MD4

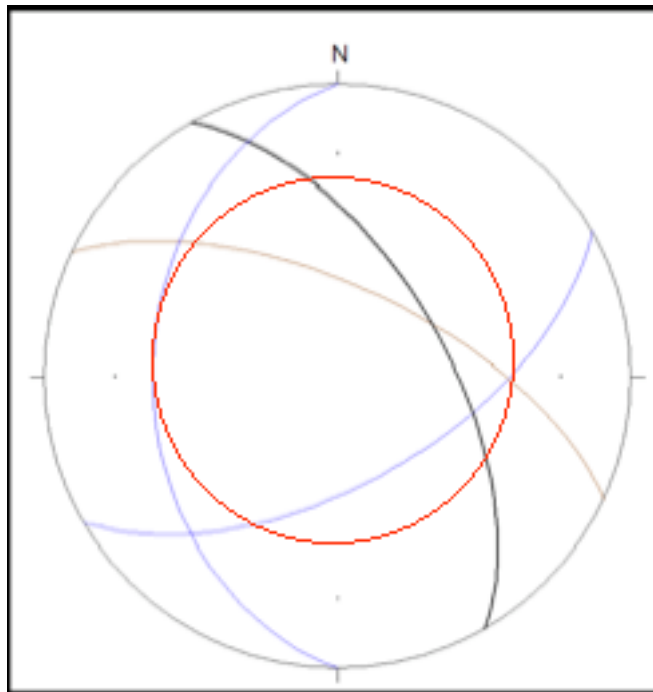


Figura N° 29. Se muestra el análisis cinemático del sector con un alto ángulo de fricción ((D1;D2:T;F;  $\Phi > 32^\circ$ ).

La figura N° 29, nos revela que la recta intercepción de las diaclasas con la foliación presenta la misma dirección del talud y un buzamiento de 28. Sin embargo, para esta roca el ángulo de fricción es superior a 32 . Por ende, se considera un talud con bajo potencial de inestabilidad.

En campo se evidencio la estabilidad del sector, compuesto por esquistos calcáreos grafitosos, debido a la ausencia de derrumbes en la carretera. El material constituyente presenta planos de foliación favorables a la estabilidad del talud. Este sector de la carretera nacional presenta una roca moderadamente foliada, con intercalaciones calizas metamorfizadas, donde las superficies de diaclasas se muestran rugosas, y ligeramente meteorizadas. El GSI es de 45 a 55, lo cual es favorece la estabilidad del talud en el sector. En conclusión, este tramo de la carretera se comporta como un macizo bastante competente.

#### 8.2.5- Estación MD5:

Se observa un talud de 45m de longitud y 10m de altura, con una orientación de N50W y un buzamiento de 85N. La estación está representado por uno de los bloques alóctonos de mármol encontrados de forma aleatoria en la zona de estudio. Dichos mármoles presentaron los valores de resistencia a lo compresión uniaxial mas altos (60.83 Mpa) entre todas las muestras ensayadas; clasificándose como rocas de alta resistencia (Grado R4). Adicionalmente, la roca se encuentra buzando hacia al sur, mientras que el talud se encuentra buzando hacia el norte; lo que significa que no se cumple la norma básica para roturas (las discontinuidades deberían tener la misma dirección de buzamiento que el talud). En conclusión el talud presenta un bajo nivel en potencial de inestabilidad.



Foto N° 21. Planos de discontinuidad de los marmoles existente en esta estacion.

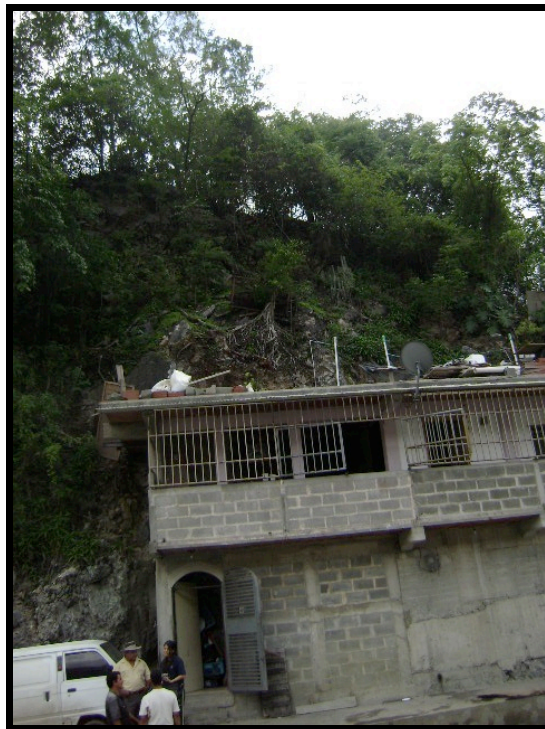


Foto N° 22. Viviendas construidas sobre el marmol.

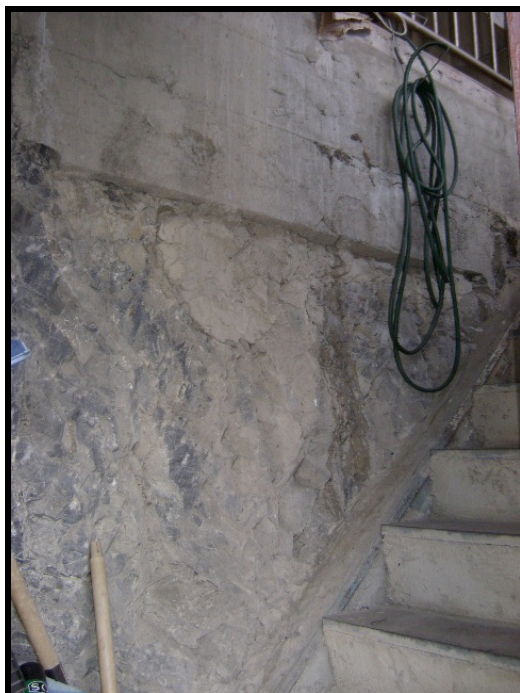


Foto N° 23. Se muestra como las casas adyacentes a la carretera utilizan el mármol de fondo en sus paredes.

#### 8.2.6- Estación MD6:

Esta estación concierne a un talud de 140m de longitud y 50m de altura. Esta ubicado en las Coordenadas:  $10^{\circ}28'32''N$   $66^{\circ}41'56''$ ; a nivel de la Quebrada Ochoa, en el sector Caiza. Actualmente se presenta un continuo movimiento en masa en el talud (ver foto 24, 25 y 26). Dicho movimiento ha sido clasificado como un flujo de tierra. Con respecto a la cinemática, presenta un movimiento rápido asociado a la reducción de la fricción interna en la pendiente fuerte, y a la resistencia del material al deslizamiento de los elementos de la masa. Al llegar al pie de talud, aumenta la horizontalidad de la superficie, generando un repentino incremento de la fricción interna y disipación rápidamente la energía cinética; acumulándose de esta manera la masa al pie de la ladera.

En conclusión el talud presenta un alto potencial de inestabilidad, evidenciado por el continuo flujo torrencial que comienza a partir de la caída de una masa rocosa, sin originar una zona de ruptura característica. Es decir no tiene una geometría asociada a ningún tipo de deslizamiento por la vía de planos de discontinuidad, ya que el factor influyente es el desprendimiento de bloques o masas rocosas.



Foto N° 24. Vista del movimiento en masa presente en el talud.



Foto N° 25. Vista en perfil del flujo torrencial continuo que presenta el talud.



Foto N° 26. Vista frontal del derrubio de detritos colapsando en el talud.

## CAPÍTULO IX

### SOLUCIONES PROPUESTAS

9.1 Generalidades: Según los parámetros analizados (litología, estructuras, geomorfología, hidrológica...etc.) en la zona de estudio, además de las condiciones de carácter social que están involucradas de manera directa a este caso; se provee elaborar este capítulo con la intención de aportar posibles soluciones a las inestabilidades de las zonas evaluadas.

En las seis estaciones de medición estudiadas se presencia movimientos o inestabilidades netamente superficiales. Los estudios que hemos realizado en esta área han arrojado datos de dos estaciones de medición con fallas en cuña, una estación con flujo de derrubios y tres estaciones de medición que presentan un bajo potencial de inestabilidad; debido a las características estructurales y geotécnicas que presentan. (Ver Tabla N° 36)

Tabla N° 36. Tabla resumen de las estaciones estudiadas,

ESTACIÓN	LITOLOGÍA	CALIDAD DEL MACIZO		TIPO DE FALLA
		CLASE	CALIDAD	
Estación 1	Esquistos cuarzo-moscovítico-grafitoso-calcáreo	IV	MALA	Falla en cuña
Estación 2	Esquisto cuarzo grafitoso calcáreo	IV	MALA	Falla en cuña
Estación 3	Esquisto cuarzo grafitoso calcáreo.	IV	MALA	Bajo potencial de inestabilidad. Estructura favorable a la estabilidad y un $\Phi=25^\circ$ aprox.
Estación 4	Esquistos calcáreos-cuarzo- ligeramente grafitosos	IV	MALA	Bajo potencial de inestabilidad (sector con un $\Phi>32^\circ$ )
Estación 5	Mármoles oscuros en capas delgadas intercaladas con Esquistos Micáceos	III	MEDIA	Bajo potencial de inestabilidad (Se considerar estable).
Estación 6	Esquistos cuarzo-moscovítico-grafitoso-calcáreo	III	MEDIA	Flujo de derrubios.

### 9.2.1- Estación MD1:

En los casos de las rocas esquistosas calcáreas con porcentaje minoritario de grafito como se evidencia en el Sector San Isidro (estación MD1), se explicó anteriormente que poseen espesores de meteorización de hasta 10 m. y la inestabilidad de la zona esta controlada por los planos de foliación y por el alto fracturamiento del material, aunado a esto se tiene un talud de corte en este sector paralelo al rumbo de la carretera. En primera instancia este deslizamiento pudo ser evitado si se hubiera realizando una obra de ingeniería para la contención del talud, es decir se podría haber elaborado un diseño de pantalla atirantada, con anclajes de 20 M de longitud y un ángulo respecto a la horizontal de 20°, distribuidos en un mallado de espaciamiento 2 X 2 entre los anclajes en la cara frontal de la pantalla. Sin embargo este trabajo no fue realizado en su momento y debido a esto se presenta hoy este problema de inestabilidad grave. Actualmente el ministerio para las obras publicas y viviendas esta realizando un terraceo en este sector para mitigar el empuje que genera el material suprayacente en el talud. Se recomienda luego de terminar este terraceo, elaborar la construcción de torrenteras de coronas en la cabecera del talud para la captación de las aguas superficiales, además recubrir las caras frontales del talud con mallas macaferri o similar, que permita el crecimiento de vegetación para controlar el flujo e infiltración de aguas y minimizar la erosión.

### 9.2.2- Estación MD2 y MD3:

Para los casos de las rocas esquistosas grafitosas poco calcáreas evaluadas en las estaciones MD2 y MD3, se recomienda realizar un sistema de sostenimiento en la estación MD2 (donde se presenta mayor inestabilidad), con concreto proyectado debido a las fracturas y degradación de la roca, el concreto proyectado debe ser reforzado superficialmente por una malla metálica y acompañado por pernos de 7 m a 10 m. en este sector se debe realizar un correcto empotramiento de las aguas servidas, ya que las mismas en muchos casos, están siendo ubicadas en pozos sépticos que de igual manera filtran a los taludes disminuyendo la capacidad de soporte.

#### 9.2.3- Estación MD4:

Para el caso de la estación # 4, se tiene un talud de unos 20 m de longitud y 7 metros de altura; compuesto por rocas esquistos calcáreos-cuarzos-ligeramente grafitosos en este sector el potencial de inestabilidad es bajo debido a que la roca presenta un ángulo de fricción superior a  $32^\circ$ , así como también una estructura favorable a la estabilidad.

#### 9.2.4- Estación MD5:

La estación está representada por bloques alóctonos de mármol, los cuales presentaron valores de resistencia a la compresión uniaxial más altos (60.83 Mpa) entre todas las muestras ensayadas; clasificándose como rocas de alta resistencia (Grado R4). Juntamente a esto la estructura favorece a la estabilidad ya que las rocas buzanan al sur mientras el talud se encuentra buzando al norte.

#### 9.2.5- Estación MD6:

Para el caso del esquisto que conforma el sector de Los Ochoa, donde actualmente se está generando un flujo de derrubios se recomienda elaborar obras de anclajes pretensados, realizando anclajes de 25 m de longitud con un ángulo respecto a la horizontal de  $15^\circ$  aproximadamente, y con una distribución de los anclajes en malla de 3X3; esta obra de estabilización debe ir acompañada de las labores de empotramiento de aguas de las viviendas existentes en la parte superior del talud; para dar una mejor calidad de vida a las familias y a su vez garantizar la estabilidad por mucho más tiempo de la obra.

## CAPITULO X

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 10.1 - CONCLUSIONES:

En general se tiene que la relación entre ambas formaciones (el Esquisto Las Mercedes y el Esquisto Las Brisas) es regularmente transicional, aunque presenta un contacto estructural al momento de solaparse por efectos de un corrimiento local (específicamente en el área de la Urb. Turumo). El Esq. Las Brisas forma en la región capital, el núcleo de los anticlinorios que corren a lo largo de la faja de la Cordillera de la Costa, ofreciendo un cuadro estructural clásico de plegamientos longitudinales, con sus respectivas fallas, segmentados por fallas transversales, haciendo mención de microestructuras tales como lineaciones, pliegues de flujo, micropliegues, etc., tomando como base para la composición estructural, el principio de que la foliación es paralela a la estratificación, y de que los esfuerzos de deformación provienen del norte, con una componente menor en sentido E-W.

Para solventar el problema de inestabilidad presente en la carretera Petare-Guarenas se considera indispensable la información derivada de los estudios geológicos y geotécnicos de la zona. Para nuestro caso en el tramo de los sectores Turumo -Caiza, el estudio geológico - geomecánico permitió estimar valores especulativos, pero prudentes, sobre los parámetros que determinan el comportamiento del macizo rocoso ante la intervención antrópica. La prospección sísmica nos indico un valor promedio para la profundidad a la cual el material comienza a aumentar su calidad o competencia. Suprayacente a los estratos rocosos existe una capa de suelo residual, de carácter areno limoso, que puede alcanzar espesores considerables de hasta dos metros. Adicionalmente las clasificaciones geomecánicas permitieron cuantificar las propiedades del macizo rocoso, por lo que su uso se consideró imprescindible para la determinación del posible comportamiento en los taludes. Es sumamente importante determinar y controlar la presencia del factor agua en el área de estudio, en superficie, debido a que esta es un factor fundamental como agente perjudicial ante una intervención antrópica ya que afecta la calidad del macizo, el comportamiento y la estabilidad de los taludes. Los ensayos de

compresión uniaxial permitieron obtener valores estimados de las propiedades físicas de las rocas que componen el macizo, por lo que es importante realizar un número significativo de ensayos con los que se puedan estimar los parámetros geotécnicos de las rocas con un menor grado de incertidumbre.

Para culminar, el comportamiento geomecánico de la zona de estudio según la clasificación de Bieniawski, varía principalmente entre macizos de calidad mala tipo IV (65%) y de calidad media tipo III (35%), para un valor ángulo de fricción estimado entre 25° y 35°. Indicando así el alto nivel en potencial de inestabilidad para la zona. En adición al comportamiento de la roca, tenemos la disposición geométrica de las discontinuidades con respecto a la de los taludes elaborados en función de la carretera; indicando que mientras la orientación de los mismos diverge se presentaran estados de inestabilidad muy bajos, mientras que al converger aumentarían el potencial de inestabilidad en el terreno. En el sector estudiado se tiene un modelo de falla múltiple, donde predomina las fallas en cuña (estaciones MD1 y MD2) con una profundidad somera, mientras que en la última estación (MD6) se tiene un flujo de derrubio de tipo superficial.

#### 10.2- Recomendaciones:

Ante los resultados obtenidos, es importante acatar las siguientes sugerencias, especialmente en aquellas zonas donde el riesgo es mayor:

- Elaborar en el sector de San Isidro una debida canalización de las aguas que actualmente corren libremente por la superficie vial. Así como también llevar a término los trabajos de terraceo que actualmente se están realizando.
- Elaborar el empotramiento de las aguas provenientes de las viviendas que se encuentran sobre los taludes alrededor de la Carretera Nacional Petare Guarenas, para de esta manera disminuir la cantidad de humedad en los taludes.
- En los sectores descritos como potencialmente inestables por caída de peñones es necesario realizar una contención del material por medio de concreto proyectado o alguna geomalla que retenga el material y evite el colapso a la carretera.

- Teniendo en cuenta la zonificación de riesgos, debe generarse un plan de ordenamiento territorial que impida el uso de zonas riesgosas, y redistribuya de la manera más provechosa el espacio de aquellas que no lo son.
- Realizar el estudio detallado con núcleos de perforación a fin de tener valores de las propiedades geomecánicas más fiables, debido a la gran cobertura existente en la mayoría de los trayectos.
- Ampliar el área de estudio a fin de poseer una base de datos cartográfica digital de las zonas adyacentes al presente estudio y así mejorar y los conocimientos geológicos y estudios geotécnicos de dichas zonas.
- Se recomienda el diseño y construcción de geodrenes, bermas, zanjas de drenaje, entre otros como elementos de estabilización para terrenos y taludes de corte con el fin de preservar el rango de estabilidad dentro de las zonas.
- Realizar un plan de reinsertión vegetal tanto autóctona como alóctona en las laderas y taludes de corte en donde se haya realizado remoción para la subsecuente utilización en planes urbanísticos y de desarrollo habitacional, con el fin de mantener la capa vegetal y así proteger el suelo de los agentes erosivos que generan inestabilidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AGUERREVERE, P. I. y Zuloaga, G. (1937). Observaciones geológicas en la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela. *Bol. Geol y Min.*, Caracas, 1(2-4): 3-22.

ALFARO, A. (2000). Análisis Multiespectral a Microtemblores en Barcelona. Procc. Segunda Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Barcelona, España. Resumen

AKI, K. (1957). Space and time spectra of stationary stochastic waves with special reference to microtremors, *Bull. Earthquake Res. Inst. Universidad de Tokio. Japon*, 35.

AKAMATSU, K y M. Nogosi (1961). On microseisms in frequency range from 1 c/s, *Bull. Earthquake.Res. Inst.*, 39.

BIENIAWSKI, Z. T. (1989). Engineering rock mass classifications. New York. John Wiley and Sons Inc: pp. 251.

GONZÁLEZ, L. I. *ET AL.* (2002). Ingeniería Geológica. Madrid. Prentice Hall: pp. 744.

GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. I. (2003). SRC rock mass classifications of tunnels under high tectonics stress excavated in weak rocks. *Engineering Geology. Elsevier*, LXIX (3-4): pp. 273-285.

HOEK, E. & BROWN, E. T. (1997). Practical estimates of rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. Elsevier*, XXXIV (8): pp. 1165-1186.

MARINOS, P. & HOEK, E. (2001). Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch. Bulletin of the International Association of Engineering Geologists. (60): pp. 85–92.

PERRI, G. (1999). Contribución a la caracterización geomecánica de los macizos rocosos en base al GSI de Hoek. Boletín de la Sociedad Venezolana de Geotecnia. (75).

PERRI, G. (2002). Proyecto de Túneles: Criterios de Diseño. Boletín de la Sociedad Venezolana de Geotecnia. (81): pp. 3-41.

SEIDERS, V. (1965). Geología de Miranda central, Venezuela. Boletín de Geología, VI (12): 289-416.

PARASNIS, D. S. (1970) Principios de Geofísica Aplicada. Edit. Paraninfo. Madrid, 367 p.  
Picard, X. y N. Pimentel (1968). Geología de la cuenca Santa Lucía-Ocumare del Tuy, *Bol. Geol.* 10(19): 263-296.

SINGER, A. (1977). Tectónica reciente, morfogénesis sísmica y riesgo geológico en el Graben de Caracas, Caracas, Venezuela, Noviembre 19 – Noviembre 23. V Congreso Geológico Venezolano, Caracas, 1861 – 1902 p.p.

SINGER, A., SCHMITZ, M., *ET AL.* (2008). Estudio de amenaza sísmica, procesos geomorfológicos activos y estimación de los efectos de sitio para el proyecto del tren Caracas-Guaremas-Guatire. Informe técnico. (40).

TELFORD, W. M., Geldart, L.P. y Sheriff, R.E. (1990) Applied Geophysics. Cambridge University Press, United Kingdom, 769 p.

TRUZMAN, M. (2000). Determinación del índice de resistencia geológica (GSI) en rocas metamórficas de la cordillera de la costa. Boletín de la Sociedad Venezolana de Geotecnia. (78).

URBANI, F. (1973). Notas sobre el hallazgo de fósiles en rocas metamórficas de la parte central de la Cordillera de la Costa. Bol. Inf. Asoc. Vzla. Geol., Min. y Petról, 16(4-6):4154.

URBANI, F., y M. Ostos (1989). El Complejo Ávila. Cordillera de la Costa, Venezuela. GEOS, Caracas, (29): 205-217.

URBANI, F. Y J. RODRÍGUEZ (2003). Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa. Venezuela. UCV. FUNVISIS.

URBANI, F. y Rodríguez, J.A. (2004). Atlas geológico de la Cordillera de la Costa, Venezuela. Edic. Fundación Geos, U.C.V., ediciones en CD-rom, número 1, Caracas, IX + 146 mapas a escala 1:25.000.

AMARIS, E (2006). Estudio Geofísico de la zona de expansión Este de la zona de la ciudad de Caracas (Municipio Sucre y Municipio Plaza). Trabajo Especial de Grado. Departamento de Geofísica. Universidad Central de Venezuela. Caracas-Venezuela. 200 p.