

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE UN ÁREA UBICADA EN LA LOCALIDAD DE CARENERO, ESTADO MIRANDA**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
para optar al título de Ingeniero Geólogo.  
Por el Br. Menéndez V., Daniel A.

Caracas, mayo de 2002

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE UN ÁREA UBICADA EN LA LOCALIDAD DE CARENERO, ESTADO MIRANDA**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Herbert Fournier  
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Feliciano De Santis

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
para optar al título de Ingeniero Geólogo.  
Por el Br. Menéndez V., Daniel A.

Caracas, mayo de 2002

## **DEDICATORIA**

A la Universidad Central de Venezuela, Alma Mater y Máxima Casa de Estudio de Venezuela.

**Menéndez V., Daniel A.**

## **ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE UN ÁREA UBICADA EN LA LOCALIDAD DE CARENERO, ESTADO MIRANDA**

**Tutor Académico: Prof. Herbert Fournier. Tutor Industrial: Ing. Feliciano De Santis. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Departamento de Geología. 2002, # pag's.**

**Palabras claves:** Carenero, Geología, Geotecnia, Estabilidad de taludes, Caracterización geotécnica.

**Resumen:** Con la finalidad de estudiar y realizar el análisis de estabilidad de algunos taludes dentro de la planta de suministro de combustible ubicada en la localidad de Carenero, estado Miranda, se realizó un levantamiento geológico y geotécnico completo de la zona, con la finalidad de establecer las relaciones entre ambos parámetros en las posibles causas de estas fallas.

Al realizar el levantamiento geológico completo de la zona de estudio se establecieron unidades litológicas diferenciables entre sí tanto por su composición mineralógica como por su textura, las cuales presentan las siguientes características:

- Unidad sedimentaria, representada por un conglomerado compuesto por clastos de roca esquistosa embebidos en una matriz limo arenosa, correlacionada con la Formación Aramina.
- Unidad de esquistos muscovíticos plagiclásicos, ubicada en la parte este de la zona de estudio, la cual aflora dentro de la planta de suministro de combustible, se correlaciona con el Complejo de San Julián en su fase esquistosa.

- Sub Unidad de serpentinita y Subunidad de mármol, ambos pertenecientes a la unidad anterior, representados por cuerpos lenticulares dentro de la misma.
- Unidad de esquistos cuarzo muscovíticos, aflora únicamente en la parte central de la zona de estudio, y es correlacionable con el Esquisto de Las Mercedes.
- Unidad de gneis microclínico, solo reportada en la quebrada Radita al oeste de la zona, se interpreta como la fase gnéisica del Complejo de San Julián.

Según la asociación mineralógica presente en estas rocas se considera que alcanzaron un metamorfismo en la facies de los esquistos verdes, con presiones entre 3 y 10 Kbar y temperaturas entre 350 y 550 °C.

Se reportaron en campo evidencias de inestabilidad en los taludes tales como deslizamientos y grietas de tracción. Al realizar el levantamiento de las discontinuidades se determinó que los taludes pertenecientes a los diques de seguridad de la planta de suministro de combustible pueden fallar según sea el caso en forma planar o en forma de cuña.

El análisis de estabilidad de los taludes fallados determino que estos son cinemáticamente estables en condiciones secas, y que al aumentar las condiciones de saturación de la grieta de tracción va disminuyendo drásticamente el factor de seguridad de los planos o cuñas de deslizamiento según sea el caso, lo que muestra la considerable influencia del agua en los deslizamientos ocurridos, corroborada esta influencia además con ensayos de laboratorio.

Como solución a los problemas de inestabilidad presentes y para evitar problemas de deslizamiento a futuro se recomienda la elaboración de una pantalla de perfos, que además de retener el talud debe facilitar el libre drenaje de los fluidos que percolan el talud, los cuales actualmente entra pero no salen del mismo.

## ÍNDICE GENERAL

|           | Pag.                                              |
|-----------|---------------------------------------------------|
| 1         | Introducción                                      |
| 1.1       | Generalidades                                     |
| 1.2       | Objetivos                                         |
| 1.2.1     | Objetivos generales                               |
| 1.2.2     | Objetivos específicos                             |
| 1.2.2.1   | Geológicos                                        |
| 1.2.2.2   | Geotécnicos                                       |
| 1.3       | Alcances                                          |
| 1.4       | Ubicación del área de estudio                     |
| 1.5       | Mapas, fotografías aéreas e imágenes de radar     |
| 1.6       | Vías de acceso                                    |
| 1.7       | Agradecimientos                                   |
| 2         | Metodología                                       |
| 2.1       | Generalidades                                     |
| 2.2       | Recopilación de información                       |
| 2.3       | Trabajo de campo                                  |
| 2.3.1     | Métodos geológicos de campo                       |
| 2.3.2     | Métodos geotécnicos de campo                      |
| 2.3.2.1   | Martillo de Schmidt                               |
| 2.3.2.2   | Caracterización geotécnica de los macizos rocosos |
| 2.3.2.2.1 | Espaciamiento                                     |
| 2.3.2.2.2 | Persistencia                                      |
| 2.3.2.2.3 | Abertura                                          |

|     |           |                                                     |    |
|-----|-----------|-----------------------------------------------------|----|
|     | 2.3.2.2.4 | Rugosidad                                           | 26 |
|     | 2.3.2.2.5 | Relleno                                             | 27 |
|     | 2.3.2.2.6 | Grado de meteorización de la roca                   | 30 |
|     | 2.3.2.2.7 | Condiciones de flujo                                | 30 |
|     | 2.3.2.2.8 | Grado de meteorización del macizo rocoso            | 31 |
|     | 2.3.2.3   | Ensayo de S.P.T.                                    | 32 |
| 2.4 |           | Trabajo de laboratorio                              | 35 |
|     | 2.4.1     | Métodos geológicos                                  | 36 |
|     | 2.4.1.1   | Petrografía                                         | 36 |
|     | 2.4.2     | Métodos geotécnicos                                 | 37 |
|     | 2.4.2.1   | Ensayos de caracterización de suelos                | 37 |
|     | 2.4.2.1.1 | Descripción visual                                  | 38 |
|     | 2.4.2.1.2 | Contenido de humedad                                | 43 |
|     | 2.4.2.1.3 | Granulometría por lavado                            | 43 |
|     | 2.4.2.1.4 | Límites de consistencia                             | 44 |
|     |           | 2.4.2.1.4.1 Límite líquido                          | 45 |
|     |           | 2.4.2.1.4.2 Límite plástico                         | 46 |
|     |           | 2.4.2.1.4.3 Índice de plasticidad                   | 46 |
|     | 2.4.2.2   | Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) | 46 |
|     | 2.4.2.3   | Ensayo de caracterización de rocas                  | 48 |
|     | 2.4.2.3.1 | Ensayo de compresión uniaxial                       | 48 |
|     | 2.4.2.3.2 | Ensayo de densidad                                  | 51 |
|     | 2.4.2.3.3 | Ensayo de corte directo                             | 52 |
| 2.5 |           | Trabajo de oficina                                  | 58 |
|     | 2.5.1     | Representaciones gráficas                           | 58 |
| 3   |           | Características físicas                             | 60 |
|     | 3.1       | Generalidades                                       | 60 |
|     | 3.2       | Clima                                               | 60 |
|     | 3.3       | Relieve                                             | 64 |
|     | 3.4       | Drenaje                                             | 65 |

|           |                                                     |     |
|-----------|-----------------------------------------------------|-----|
| 3.5       | Erosión y meteorización                             | 66  |
| 3.6       | Suelos y vegetación                                 | 66  |
| 4         | Geología regional                                   | 69  |
| 4.1       | Generalidades                                       | 69  |
| 4.2       | Litología                                           | 69  |
| 4.2.1     | Complejo de San Julián                              | 70  |
| 4.2.2     | Esquisto de Las Mercedes                            | 71  |
| 4.2.3     | Formación Aramina                                   | 73  |
| 4.3       | Marco tectónico                                     | 74  |
| 4.3.1     | Faja tectónica de la Cordillera de la Costa         | 75  |
| 4.3.2     | Metamorfismo                                        | 78  |
| 4.4       | Amenaza sísmica                                     | 79  |
| 5         | Geología local                                      | 80  |
| 5.1       | Generalidades                                       | 80  |
| 5.2       | Métodos geológicos de campo                         | 80  |
| 5.2.1     | Unidades litológicas                                | 81  |
| 5.2.1.1   | Unidad sedimentaria                                 | 81  |
| 5.2.1.2   | Unidad I: Unidad de esquistos cuarzo plagioclásicos | 83  |
| 5.2.1.2.1 | Unidad II: Subunidad de serpentinitas               | 85  |
| 5.2.1.2.2 | Unidad III: Subunidad de mármol                     | 85  |
| 5.2.1.3   | Unidad IV: Unidad de esquistos cuarzo micáceos      | 87  |
| 5.2.1.4   | Unidad V: Unidad de gneis feldespático              | 88  |
| 5.2.2     | Geología estructural                                | 89  |
| 5.3       | Ensayos de laboratorio                              | 93  |
| 5.3.1     | Petrografía                                         | 93  |
| 5.3.1.1   | Esquisto cuarzo muscovíticos plagioclásicos         | 95  |
| 5.3.1.2   | Serpentinita                                        | 98  |
| 5.3.1.3   | Mármol                                              | 100 |
| 5.3.1.4   | Esquistos cuarzo muscovíticos                       | 102 |
| 5.3.1.5   | Gneis microclínico                                  | 104 |

|           |                                                                                   |     |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.4       | Correlaciones                                                                     | 105 |
| 5.4.1     | Unidad sedimentaria                                                               | 107 |
| 5.4.2     | Unidad de esquistos cuarzo micáceos plagioclásicos y unidad de gneis microclínico | 107 |
| 5.4.3     | Unidad de esquistos cuarzo muscovíticos                                           | 108 |
| 6         | Metamorfismo                                                                      | 109 |
| 6.1       | Generalidades                                                                     | 109 |
| 6.2       | Texturas metamórficas                                                             | 109 |
| 6.3       | Facies metamórficas                                                               | 111 |
| 6.4       | Clasificación de la roca                                                          | 114 |
| 6.5       | Petrogenésis                                                                      | 117 |
| 7         | Geotecnia local                                                                   | 120 |
| 7.1       | Generalidades                                                                     | 120 |
| 7.2       | Métodos geotécnicos de campo                                                      | 120 |
| 7.2.1     | Ensayo de SPT                                                                     | 121 |
| 7.2.1.1   | Nivel freático                                                                    | 122 |
| 7.2.1.2   | Caracterización geotécnica del perfil del subsuelo                                | 123 |
| 7.2.1.2.1 | Perfil geotécnico P-1, P-2, P-3                                                   | 123 |
| 7.2.1.2.2 | Perfil geotécnico P-4, P-5                                                        | 125 |
| 7.2.1.2.3 | Perfil geotécnico P-6, P-7, P-8                                                   | 125 |
| 7.2.1.2.4 | Perfil geotécnico P-9, P-10                                                       | 125 |
| 7.2.2     | Caracterización geotécnica de los macizos rocosos                                 | 130 |
| 7.2.3     | Martillo de <i>Schmidt</i>                                                        | 137 |
| 7.3       | Ensayos de laboratorio                                                            | 139 |
| 7.3.1     | Ensayo de compresión uniaxial                                                     | 140 |
| 7.3.2     | Ensayo de densidad                                                                | 142 |
| 7.3.3     | Ensayo de corte directo                                                           | 142 |
| 7.4       | Correlaciones                                                                     | 145 |
| 7.4.1     | Compresión uniaxial vs Martillo de <i>Schmidt</i>                                 | 145 |
| 7.4.2     | Compresión uniaxial vs densidad                                                   | 147 |

|           |                                                                          |     |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.4.3     | Compresión uniaxial vs SPT                                               | 148 |
| 7.4.4     | Densidad vs Martillo de Schmidt                                          | 150 |
| 8         | Estabilidad de taludes                                                   | 152 |
| 8.1       | Generalidades                                                            | 152 |
| 8.2       | Clasificación geomecánica del macizo rocoso                              | 153 |
| 8.2.1     | Índice de calidad de la roca, RQD (Rock Quality Designation)             | 153 |
| 8.2.2     | Índice de resistencia geológica, GSI                                     | 154 |
| 8.2.3     | Clasificación geomecánica de la roca, RMR (Rock Mass Rating System)      | 156 |
| 8.3       | Análisis de estabilidad de los taludes afectados                         | 159 |
| 8.3.1     | Método de las discontinuidades                                           | 159 |
| 8.3.2     | Aspecto general de las masas de rocas colapsadas                         | 160 |
| 8.3.3     | Modos de falla                                                           | 161 |
| 8.3.3.1   | Talud sur                                                                | 161 |
| 8.3.3.1.1 | Cálculo del factor de seguridad para condiciones secas ( $z_w = 0$ )     | 165 |
| 8.3.3.1.2 | Cálculo del factor de seguridad para condiciones saturadas ( $z_w = z$ ) | 165 |
| 8.3.3.1.3 | Variación del $F_s$ según $\phi$ y $z_w$                                 | 166 |
| 8.3.3.2   | Talud este                                                               | 171 |
| 9         | Discusión y conclusiones                                                 | 175 |
| 9.1       | Generales                                                                | 175 |
| 9.2       | Geología                                                                 | 176 |
| 9.3       | Geotecnia                                                                | 180 |
| 10        | Referencias                                                              | 185 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                         | Pag. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Figura 1:</b> Ubicación de la zona de estudio                                        | 5    |
| <b>Figura 2:</b> Martillo de Schmidt usado en campo y partes del mismo                  | 17   |
| <b>Figura 3:</b> Relación entre el Martillo de Schmidt tipo L y el tipo M               | 18   |
| <b>Figura 4:</b> Resistencia a la compresión a partir de valores de Martillo de Schmidt | 19   |
| <b>Figura 5:</b> Medición de espaciamiento para familias de discontinuidades            | 22   |
| <b>Figura 6:</b> Tipos de persistencia relativa                                         | 24   |
| <b>Figura 7:</b> Diferencias entre abertura y relleno                                   | 29   |
| <b>Figura 8:</b> Sondeo con corrida SPT                                                 | 34   |
| <b>Figura 9:</b> Parámetros que definen la forma de una partícula                       | 39   |
| <b>Figura 10:</b> Significado de los límites de consistencia                            | 44   |
| <b>Figura 11:</b> Maquina de Compresión Uniaxil                                         | 49   |
| <b>Figura 12:</b> Procedimiento de ensayo compresión uniaxil                            | 50   |
| <b>Figura 13:</b> Ensayo de densidad                                                    | 51   |
| <b>Figura 14:</b> Procedimiento de ensayo densidad parafina                             | 53   |
| <b>Figura 15:</b> Equipo de corte directo                                               | 54   |
| <b>Figura 16:</b> Procedimiento de ensayo corte directo                                 | 55   |
| <b>Figura 17:</b> Esfuerzo de corte vs Desplazamiento                                   | 56   |
| <b>Figura 18:</b> Esfuerzo de corte vs Esfuerzo normal                                  | 57   |
| <b>Figura 19:</b> Principios de la proyección estereográfica                            | 59   |
| <b>Figura 20:</b> Características físicas de la zona                                    | 63   |
| <b>Figura 21:</b> Marco tectónico regional                                              | 76   |
| <b>Figura 22:</b> Unidad sedimentaria                                                   | 82   |
| <b>Figura 23:</b> Contacto litológico                                                   | 83   |

|                   |                                                                                                   |     |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 24:</b> | Unidad de esquisto cuarzo plagioclásico                                                           | 84  |
| <b>Figura 25:</b> | Textura kárstica                                                                                  | 86  |
| <b>Figura 26:</b> | Unidad de esquisto cuarzo micáceos                                                                | 88  |
| <b>Figura 27:</b> | Budines                                                                                           | 90  |
| <b>Figura 28:</b> | Esquema de los sistemas de fallas                                                                 | 91  |
| <b>Figura 29:</b> | Espejos de falla                                                                                  | 92  |
| <b>Figura 30:</b> | Contactos de falla                                                                                | 92  |
| <b>Figura 31:</b> | Composición mineralógica porcentual de la unidad de esquistos<br>cuarzo muscovítico plagioclásico | 95  |
| <b>Figura 32:</b> | Testigo y sección fina de la unidad de esquistos cuarzo muscovítico<br>plagioclásico              | 97  |
| <b>Figura 33:</b> | Secciones finas de la unidad de esquistos cuarzo muscovítico<br>plagioclásico                     | 97  |
| <b>Figura 34:</b> | Composición mineralógica porcentual de la unidad de serpentinitas                                 | 98  |
| <b>Figura 35:</b> | Testigo y sección fina de la unidad de serpentinitas                                              | 99  |
| <b>Figura 36:</b> | Secciones finas de la unidad de serpentinitas                                                     | 99  |
| <b>Figura 37:</b> | Composición mineralógica porcentual de la unidad de mármol                                        | 100 |
| <b>Figura 38:</b> | Testigo y sección fina de la unidad de mármol                                                     | 101 |
| <b>Figura 39:</b> | Secciones finas de la unidad de mármol                                                            | 101 |
| <b>Figura 40:</b> | Composición mineralógica porcentual de la unidad de esquistos<br>cuarzo muscovíticos              | 102 |
| <b>Figura 41:</b> | Testigo y sección fina de la unidad de esquistos cuarzo muscovíticos                              | 103 |
| <b>Figura 42:</b> | Secciones finas de la unidad de esquistos cuarzo muscovíticos                                     | 103 |
| <b>Figura 43:</b> | Composición mineralógica porcentual de la unidad de gneis<br>microclínico                         | 104 |
| <b>Figura 44:</b> | Testigo y sección fina de la unidad de gneis microclínico                                         | 106 |
| <b>Figura 45:</b> | Secciones finas de la unidad de gneis microclínico                                                | 106 |
| <b>Figura 46:</b> | Facies metamórficas                                                                               | 112 |
| <b>Figura 47:</b> | Ensayo de SPT, sobre talud fallado dentro de la planta                                            | 122 |
| <b>Figura 48:</b> | Perfil geotécnico P1-P2-P3                                                                        | 124 |

|                   |                                                                    |     |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 49:</b> | Perfil geotécnico P4-P5                                            | 126 |
| <b>Figura 50:</b> | Perfil geotécnico P6-P7-P8                                         | 127 |
| <b>Figura 51:</b> | Perfil geotécnico P9-P10                                           | 129 |
| <b>Figura 52:</b> | Diaclasas estereografía                                            | 131 |
| <b>Figura 53:</b> | Discontinuidades punto 005                                         | 133 |
| <b>Figura 54:</b> | Discontinuidades punto 007                                         | 134 |
| <b>Figura 55:</b> | Discontinuidades punto 004                                         | 135 |
| <b>Figura 56:</b> | Discontinuidades punto 003                                         | 136 |
| <b>Figura 57:</b> | Determinación del esfuerzo normal, según las condiciones del talud | 144 |
| <b>Figura 58:</b> | Correlación Compresión uniaxial vs Martillo de Schmidt             | 146 |
| <b>Figura 59:</b> | Correlación Compresión uniaxial vs Densidad                        | 147 |
| <b>Figura 60:</b> | Correlación Compresión uniaxial vs SPT                             | 149 |
| <b>Figura 61:</b> | Correlación Densidad vs Martillo de Schmidt                        | 150 |
| <b>Figura 62:</b> | Condiciones de falla planar                                        | 162 |
| <b>Figura 63:</b> | Red estereográfica falla planar                                    | 163 |
| <b>Figura 64:</b> | Condiciones geométricas del talud sur                              | 164 |
| <b>Figura 65:</b> | $F_s$ vs $z_w(z)$                                                  | 166 |
| <b>Figura 66:</b> | $F_s$ vs $f(z_w=0)$                                                | 168 |
| <b>Figura 67:</b> | $F_s$ vs $f(z_w=z)$                                                | 168 |
| <b>Figura 68:</b> | Condiciones de falla en cuña                                       | 171 |
| <b>Figura 69:</b> | Red estereográfica falla en cuña                                   | 173 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                 | Pag. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Tabla 1:</b> Coordenadas de la zona de estudio                                                               | 4    |
| <b>Tabla 2:</b> Lista de mapas, fotos e imágenes de radar usados durante este trabajo                           | 6    |
| <b>Tabla 3:</b> Terminología relacionada con el espaciamento de las discontinuidades                            | 21   |
| <b>Tabla 4:</b> Terminología relacionada con la persistencia de las discontinuidades                            | 23   |
| <b>Tabla 5:</b> Terminología relacionada con la abertura de las discontinuidades                                | 25   |
| <b>Tabla 6:</b> Terminología relacionada con la rugosidad de las discontinuidades                               | 27   |
| <b>Tabla 7:</b> Clasificación de los niveles de humedad y permeabilidad en los rellenos de las discontinuidades | 29   |
| <b>Tabla 8:</b> Grado de meteorización de la roca                                                               | 30   |
| <b>Tabla 9:</b> Condiciones de flujo del macizo rocoso                                                          | 31   |
| <b>Tabla 10:</b> Terminología relacionada con el grado de meteorización del macizo rocoso                       | 32   |
| <b>Tabla 11:</b> Lista de ensayos realizados                                                                    | 37   |
| <b>Tabla 12:</b> Terminología relacionada con la angularidad de las partículas en los suelos granulares         | 38   |
| <b>Tabla 13:</b> Terminología relacionada con la forma de las partículas                                        | 38   |
| <b>Tabla 14:</b> Terminología relacionada con la humedad de las muestras                                        | 40   |
| <b>Tabla 15:</b> Terminología relacionada con la reacción de los suelos frente al HCL                           | 40   |
| <b>Tabla 16:</b> Terminología relacionada con consistencia del suelo                                            | 41   |
| <b>Tabla 17:</b> Terminología relacionada con la cementación de la fracción gruesa de las muestras              | 41   |
| <b>Tabla 18:</b> Terminología relacionada con la estructura de los suelos                                       | 42   |

|                  |                                                                                       |     |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 19:</b> | Terminología relacionada con la plasticidad de la fracción fina de las muestras       | 41  |
| <b>Tabla 20:</b> | Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)                                   | 47  |
| <b>Tabla 21:</b> | Composición mineralógica porcentual                                                   | 94  |
| <b>Tabla 22:</b> | Facies metamórficas                                                                   | 112 |
| <b>Tabla 23:</b> | Clases químicas                                                                       | 115 |
| <b>Tabla 24:</b> | Clasificación de las rocas metamórficas                                               | 116 |
| <b>Tabla 25:</b> | Serie cristaloblástica                                                                | 119 |
| <b>Tabla 26:</b> | Longitud de las perforaciones                                                         | 121 |
| <b>Tabla 27:</b> | Valores del Martillo de Schmidt completo                                              | 138 |
| <b>Tabla 28:</b> | Valores del Martillo de Schmidt por unidades                                          | 139 |
| <b>Tabla 29:</b> | Resultados de la compresión uniaxial                                                  | 141 |
| <b>Tabla 30:</b> | Resultados densidad                                                                   | 143 |
| <b>Tabla 31:</b> | Condiciones geométricas corte directo                                                 | 144 |
| <b>Tabla 32:</b> | Resultados corte directo                                                              | 145 |
| <b>Tabla 33:</b> | GSI (Truzmann)                                                                        | 155 |
| <b>Tabla 34:</b> | Valuaciones de las propiedades de la roca en el punto 007 del levantamiento geológico | 156 |
| <b>Tabla 35:</b> | RMR                                                                                   | 158 |
| <b>Tabla 36:</b> | Condiciones geométricas y geológicas talud sur                                        | 163 |
| <b>Tabla 37:</b> | Variación de $F_s$ con $z_w$                                                          | 167 |
| <b>Tabla 38:</b> | Variación de $F_s$ con $f$ ( $z_w=0$ )                                                | 169 |
| <b>Tabla 39:</b> | Variación de $F_s$ con $f$ ( $z_w=z$ )                                                | 170 |
| <b>Tabla 40:</b> | Condiciones geométricas y geológicas talud este                                       | 172 |

# **INTRODUCCIÓN**

## **1.1.- GENERALIDADES**

En la investigación realizada en este Trabajo Especial de Grado (T.E.G.), se aplicaron diversos conocimientos geológicos y geotécnicos, con la finalidad de encontrar y explicar los problemas de inestabilidad que se observaron en algunos taludes presentes en la zona de estudio, específicamente aquellos ubicados dentro de una planta de suministro de combustible.

## **1.2.- OBJETIVOS**

El objetivo fundamental de este trabajo es el de estudiar la inestabilidad de los taludes antes mencionados, estableciendo las posibles relaciones entre las características geológicas de la roca que aflora en la zona con sus propiedades geotécnicas. Para cumplir con este objetivo, se establece la siguiente discriminación de objetivos generales y objetivos específicos.

### **1.2.1.- OBJETIVOS GENERALES**

- Caracterización geológica y geotécnica de todos los tipos de rocas que afloran en la zona, incluyendo los taludes dentro de la planta de suministro de combustible y aquellos en los afloramientos en los alrededores de la misma.

- Establecer los posibles factores que afectaron la estabilidad de los taludes presentes dentro de las instalaciones de la planta de suministro de combustible.
- Elaboración de un modelo geológico-geotécnico del sector en función de los parámetros estudiados estableciendo además los modos de falla de los taludes.

### **1.2.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

A fin de establecer un óptimo esquema de trabajo se discriminaron los objetivos específicos en dos categorías, aquellos relacionados directamente con los aspectos geológicos y los relativos al área de geotecnia.

#### **1.2.2.1.- GEOLÓGICOS**

- Identificación de las unidades litológicas en toda el área de estudio mediante un levantamiento convencional de campo, incluyendo el levantamiento de estructuras geológicas, apoyado en la fotointerpretación y en la revisión de los trabajos previos realizados en la zona.
- Determinación a partir de minerales índices del grado de metamorfismo alcanzado por las rocas en la zona.
- Correlación de las unidades litológicas que afloran en la zona con las unidades litodémicas formales.
- Elaboración de un mapa geológico de la zona de estudio.

#### **1.2.2.2.- GEOTÉCNICOS**

- Caracterización desde el punto de vista geotécnico de las unidades litológicas, aplicando diversas clasificaciones de macizos rocosos.
- Estudio de los factores geológicos asociados a la estabilidad de taludes.
- Análisis de los parámetros que controlan las propiedades de resistencia al corte de las rocas.
- Análisis de la estabilidad de los taludes mediante el método de las discontinuidades.

#### **1.3.- ALCANCES**

Mediante el levantamiento de campo se pretende identificar los tipos litológicos que afloran en el área de estudio, realizando a la vez el muestreo necesario para aplicar las diversas técnicas de laboratorio a fin de caracterizar geológicamente la roca y de estudiar sus propiedades geotécnicas.

Dentro de estas propiedades se encuentran:

- Grado de meteorización de las rocas: esto se realiza midiendo índices de meteorización, tanto petrográficos como físicos.
- Propiedades mecánicas de las rocas: tales como ángulo de fricción interna, peso unitario y resistencia a la compresión.

Entre los factores geológicos asociados a la estabilidad de taludes en los macizos rocosos estudiados, se encuentran, la composición mineralógica de la roca, la geometría y demás características propias de las discontinuidades.

Una vez establecidas y analizadas las características geológicas y geotécnicas de las rocas, se elaboraran una serie de correlaciones que permitirán hacer conclusiones sobre los tipos litológicos, la calidad de la roca y sobre algunos de los factores de los

cuales ésta depende, además de modelar los taludes según los modos de falla interpretados.

#### **1.4.- UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

La zona de estudio la cual presenta un área aproximada de 25 km<sup>2</sup> (ver Figura 1), se encuentra en la localidad de Carenero, Municipio Brión, en el sector más noreste del Estado Miranda, Venezuela (véase la Tabla 1).

**Tabla 1:** Coordenadas de la zona de estudio.

|          | UTM       |           | GEOGRÁFICAS     |                 |
|----------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|
| Latitud  | 1.167.000 | 1.171.000 | 10° 32' 36,52'' | 10° 34' 47,77'' |
| Longitud | 815.000   | 823.000   | 66° 07' 30''    | 66° 02' 58,19'' |

#### **1.5.- MAPAS, FOTOGRAFÍAS AÉREAS E IMÁGENES DE RADAR**

En la Tabla 2 se listan los mapas, fotografías aéreas e imágenes de radar utilizados en la realización de este estudio.

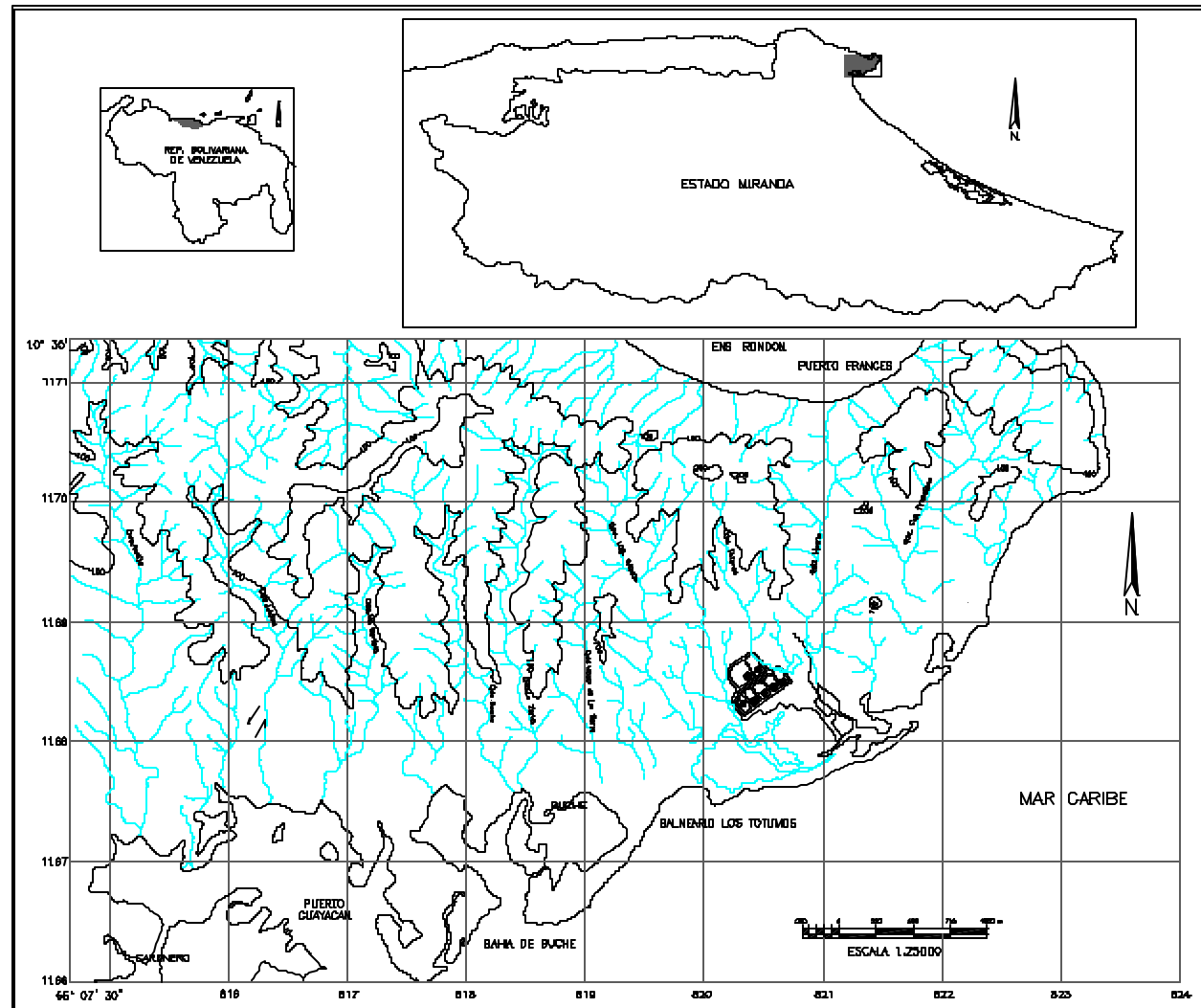


Figura 1: Ubicación de la zona de estudio

**Tabla 2:** Lista de mapas, fotos e imágenes de radar usados durante este trabajo.

| MAPAS Y CARTAS TOPOGRÁFICAS, E IMÁGENES DE RADAR |                         |           |                                                                                    |                      |
|--------------------------------------------------|-------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Descripción                                      | Código                  | Escala    | Año                                                                                | Fuente               |
| Carta Topográfica                                | 6947-I-SE<br>(Carenero) | 1:25.000  | 1979                                                                               | Cartografía Nacional |
| Carta Topográfica                                | D 22                    | 1:5.000   | 1980                                                                               | Cartografía Nacional |
| Carta Topográfica                                | D 23                    | 1:5.000   | 1980                                                                               | Cartografía Nacional |
| Carta Topográfica                                | D 24                    | 1:5.000   | 1980                                                                               | Cartografía Nacional |
| Carta Topográfica                                | E 22                    | 1:5.000   | 1980                                                                               | Cartografía Nacional |
| Carta Topográfica                                | E 23                    | 1:5.000   | 1980                                                                               | Cartografía Nacional |
| Carta Topográfica                                | E 24                    | 1:5.000   | 1980                                                                               | Cartografía Nacional |
| Ortofotomapa                                     | 6947-I-SE<br>(Carenero) | 1:25.000  | 1995                                                                               | Cartografía Nacional |
| Geológico                                        | 6947-I-SE<br>(Carenero) | 1:25.000  | 2000                                                                               | FUNVISIS             |
| Imagen de Radar                                  | NC-19-8                 | 1:250.000 | 1995                                                                               | Cartografía Nacional |
| FOTOGRAFÍAS AÉREAS                               |                         |           |                                                                                    |                      |
| Misión                                           | Escala                  | Año       | Fotos                                                                              |                      |
| Zona 2<br>Proyecto 172                           | 1:50.000                | 1961      | 7237A-7238A-7239A<br>7861A-7862A-7863A                                             |                      |
| 030198                                           | 1:25.000                | 1975      | 3124-3125-3126-3127-3128-3129-3130<br>3150-3151-3152-3153-3154-3155-3156-3157-3158 |                      |
| 0303203                                          | 1:25.000                | 1992      | 010-011-012-013-014-015<br>017-018-019-020-021-022<br>030-031-032-033              |                      |

## 1.6.- VÍAS DE ACCESO

Existen dos vías de acceso a la zona, ambas van de oeste a este desde la carretera que comunica a Carenero con Chirimena, hasta Puerto Francés, estas vías son: (a) la carretera vieja, la cual se encuentra en estado de abandono, manifestado sobre todo por la abundancia de vegetación que en ella se encuentra, lo cual imposibilita el paso,

incluso a pie, y (b) la carretera nueva, única vía transitable por la zona, la cual se encuentra asfaltada y en muy buen estado.

Además de estas vías se encuentra la pica del poliducto, la cual va de este a oeste desde la planta de combustible hasta la carretera Higuerote-Chirimena, generalmente en buen estado ya que es una vía de servicio del poliducto.

### **1.7.- AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Central de Venezuela, por permitirme pertenecer a su comunidad durante todo este tiempo, además por dejarme ir (físicamente) sin cobrar la deuda eterna que tengo para con ella, espiritualmente aun camino por tus pasillos.

Al Departamento de Geología de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de esta universidad, encargado de formarme académicamente, mostrando en forma paralela la cotidianidad de las cosas a través de la Geología.

A la familia de Ingenieros De Santis, C.A. y muy especialmente al Ingeniero Feliciano De Santis, por darme la oportunidad de realizar este trabajo con ellos. A Elio Marimon, compañero de campo quien con sus frases “por lo menos estamos vivos” y “lo que usted diga” permitió que recorriéramos íntegramente la zona de campo; Omar Pari quien me ayudará en la fase de laboratorio; Williams González quien hizo lo propio con todas y cada una de las figuras que se encuentran en este trabajo (especialmente el mapa geológico). Gracias en general a todo el personal de la empresa, siempre con una sonrisa en la cara y con la buena pro de extender su mano ofreciendo ayuda.

Al Profesor Herbert Fournier, quien apenas si me conocía cuando en el pasillo de la Escuela le propuse fuera cotutor de este trabajo, y sin pensarlo acepto, gracias por la

confianza, espero no haberlo desilusionado, fue un placer haber realizado este trabajo con usted.

A las niñas Norita y Mile, dos amigas de las que me siento orgulloso y gracias a las cuales fue mucho más fácil completar esta etapa de mi vida. Disculpen por trasnocharme solo una noche durante todo este tiempo, pero ustedes saben tenía que dormir. Me siento bien al decir que siempre estaré allí para las dos.

A mi familia y en especial al núcleo principal, quienes a su modo muy especial siempre me dieron ánimos para continuar en esta lucha, sobretodo cuando tome aquella difícil decisión (acertada además).

A Gesmaly, compañera desde el principio. Gracias por madurar tu paciencia y por ser consecuente con tus sentimientos, bellos además, “yo también te quiero”.

A los amigos de siempre, por estar ahí, con poca comunicación pero ahí, ustedes son mis amigos: Tayron Pandozzi (†), Miguel Angel Figueroa, Angel Zea, Ramón García, Wilmer Guerrero, Juan Bastidas, Nora Cueto, Milena Quijada, Hugo Santos, Johnny Carvajal, Erika González, Luzángela Fernández, Rodolfo Pimentel, Lenin Colina.

A Katherine, siempre presente, gracias.

A Vanessa Kertznuz, con quien comencé y termine la carrera. Espero que continúes por siempre siendo esa persona enfocada en su norte sin perderlo, razón por la cual me siento muy orgulloso de ti, me alegra de sobremanera haberte conocido, que orgullo poder decir eso.

A todas las personas que me ofrecieron hospedaje en aquellos días que no podía regresar a casa, estas son: Familia Zea (angelito), Familia Navarro (navegadas),

Familia García (ramoncito), Erika y Maria Noel, Nora y Milena, Familia De Santis, Familia Blanco (marianita), Familia Guerrero (el flaco), Familia Fernández (Sra. Carmen y Luzángela).

A las personas que de alguna u otra manera colaboraron en el lleva y trae de esta persona, es decir, los que me dieron aquellos aventones (colas). Al principio la mayoría solo desconocidos en la Plaza Venezuela o en la avenida en la casa, al final algunos compañeros de la universidad y vecinos. En especial quisiera agradecer a la Familia Velázquez con quien baje de lunes a viernes durante tantas madrugadas, y al Profesor Guillermo Domínguez con quien subí en otras no mucho menos noches después de largas jornadas de trabajo.

Al Profesor Guillermo Domínguez, jefe, compañero de trabajo, amigo y transporte durante mucho tiempo, siempre pendiente de mi situación académica, sobre todo en esta última fase de la carrera, con su típica frase “como va la tesis”, hoy te puedo decir que va bien.

A la Profesora María Itriago, con quien tuve la gran suerte de compartir mucho tiempo haciendo trabajo en y para la Universidad, y de quien me acuerdo cada vez que escucho la palabra ucevista, su nombre es sinónimo de esta, mi admiración hacia usted es directamente proporcional al cariño que usted le entrega a la Universidad. Además por su lectura crítica de este trabajo, desde su fase de anteproyecto.

A los Profesores Marta Zerpa, Angela Hernández y Freddy Di Simone, buenos amigos que hicieron más agradable el paso por la Escuela Básica, gracias por siempre estar pendientes.

A un grupo de personas con quien tuve la oportunidad de compartir la salida de campo más espectacular de todas, aquella al Cerro Santa Ana, de la cual me acuerdo muy a menudo: Mariela Noguera, Adrian Castillo, Juan Carlos Suárez, Luis Melo,

Victor Cano, Juan Michelangelli, Jesus Padilla y Eduardo Rojas, “y todavía me acuerdo”.

A todas las personas que insistentemente me presionaron (cada uno a su estilo) para culminar este trabajo: Nora y Milena, Feliciano De Santis, Herbert Fournier, Ricardo Alezones, Frank Audemard, Guillermo Domínguez, Belzit González, Robustiano Gorgal, María Itriago, María Esculpi, y muy especialmente a Leonor Montilva quien como compañera de oficina se encargo de recordármelo a diario.

A Rodolfo y Karim, dos seres humanos hermosos, especialmente Rodolfo con quien compartí largos días de trabajo, los cuales siempre terminábamos cantando. Como decía Alí “solo se mojarón y en la orilla están...”, vamos a salir a delante Rodo.

A mis compañeros de trabajo en la División de Control de Estudios. Gracias por soportarme durante 5 largos años. A las personas que me hacían el quite en el trabajo mientras yo estudiaba: Jackeline Morffe, Josmar Blanco y Mariana Blanco, Isabel Navarro, Miguel Angel Molina, sin ustedes no hubieran sido posible ambas cosas.

A todos los profesores y preparadores (algunos profesores ya) con quienes compartí tantas horas de buenas clases. Recuerdo especialmente a Lilian Navarro, Ramón García y Aitor Ichazo, quienes siempre tenían tiempo para una consulta, sin importar de cual rama de la geología viniera.

A los estudiante a los cuales tuve la oportunidad de darles alguna preparaduría, quiero decirles que aprendí de más con ustedes. Gracias especialmente al último grupo de Mineralogía y Petrología, siempre me detuvieron en los pasillos para saber de mi, pendientes de este trabajo, aquí esta.

A las personas con quien compartí poco en la Escuela y sin embargo siento que hay que agradecer, a los Profesores: Sebastian Grande, Alfredo Mederos, Victor Padrón,

Peter Motiska, Paul Romero, Omar Rojas (†), Marino Ostos, Eglee Zapata, Olga Rey, Alejandro Escalona, Orlando Méndez, Gianfranco Perri, Andrés Singer, Virgil Winkler, Armando Diaz Quintero, Franco Urbaní, Jorge Mora, María Eugenia Sandoval, Pietro Di Marco, Omar Marquéz, a los compañeros Luis Camposano y Nahysa Martinez, al personal de servicio y administrativo, y muy especialmente al flaco Eduardo.

A Isa, Anita y Carmen Lucia, gracias por la hospitalidad, la solidaridad y el afecto que me brindaron, es grato para mí compartir momentos con ustedes, este es uno de ellos, por cierto “tenemos que hablar”.

A la Familia Falcón, siempre de buen humor y con un trato especial para mí. Gracias a la Sra. Gladys por todos los favores recibidos y por permitirme disfrutar de la compañía de su hija.

A Luigi (Cafetín de Ingeniería) quien se encargo de mi alimentación en tiempo de crisis, gracias por la confianza.

A Luzángela, por ser tú.

Alí (†), gracias por siempre estar ahí, desde aquella tarde en Yacambú.

## METODOLOGÍA

### 2.1.- GENERALIDADES

El trabajo esta dividido en cuatro etapas independientes, las cuales son:

- Recopilación de información.
- Trabajo de campo.
- Trabajo de laboratorio.
- Trabajo de oficina.

Estas etapas no están listadas en un estricto orden cronológico, puesto que es práctica común trabajar en simultaneo varias de ellas, para lograr con mejor éxito los objetivos trazados.

En cuanto a los ensayos geotécnicos aplicados tanto en campo como en laboratorio se siguió la normativa establecida tanto en la *American Society for Testing and Materials* (ASTM), como en la *International Society for Rock Mechanics* (ISRM).

La ASTM, creada en 1898, tiene la finalidad de desarrollar y proveer normas técnicas que:

- Promuevan la seguridad y la calidad en la totalidad de los aspectos de la vida.
- Contribuyan con la fiabilidad de materiales, productos, sistemas y servicios.
- Faciliten el comercio regional, nacional e internacional.

Por su parte la ISRM, fundada en 1962, nace como una necesidad de desarrollar una terminología común para las propiedades de las rocas y los ensayos con los cuales estas pueden ser medidas, en función de los procesos de globalización que desde ya hace tiempo se vienen presentando.

## **2.2.- RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN**

Durante esta etapa se recopiló toda clase de información relacionada tanto con el área de estudio como con los ensayos realizados; estas referencias constituyeron el punto de partida de este estudio y por tanto fueron de gran importancia para la consecución de los objetivos planteados al inicio del mismo. Dentro de las referencias recopiladas se encuentra la información relativa a:

- Geología regional y local.
- Informes técnicos.
- Mapas.
- Fotografías aéreas e imágenes de radar.
- Referencias y normas técnicas relacionadas con los ensayos geotécnicos a realizar tanto en campo como en el laboratorio.

Durante esta etapa además, se comenzó el análisis e interpretación de fotografías aéreas e imágenes de radar con el fin de reconocer:

- Vías de acceso y potenciales afloramientos.
- Formas del relieve.
- Características del drenaje.
- Estructuras geológicas, primarias y/o secundarias.
- Geodinámica superficial.

En la Tabla AIII-1 del Anexo III se encuentran los resúmenes realizados a partir de las referencias encontradas relacionadas con los tipos litológicos que afloran en la zona de estudio.

## **2.3.- TRABAJO DE CAMPO**

El trabajo de campo consistió, en hacer un levantamiento geológico de las rocas que afloran en toda la zona y una caracterización geotécnica de los afloramientos en roca dentro de la planta de distribución de combustible, incluyendo la caracterización y estudio del grado de meteorización de la roca a partir del análisis de muestras obtenidas de perforaciones realizadas en los taludes inestables dentro de la planta, realizando además el levantamiento de las principales estructuras geológicas. A pesar de no ser actividades independientes a continuación se describirán como tal, a fin de facilitar la comprensión de cada una de ellas.

### **2.3.1.- MÉTODOS GEOLÓGICOS DE CAMPO**

En esta etapa, se realizó el levantamiento litológico-estructural de la zona. Este levantamiento se realizó tanto dentro de la planta de combustible como fuera de ella, y consistió en la descripción de los diversos afloramientos encontrados, ubicados en su mayoría a lo largo de los cauces de las diferentes quebradas presentes en la zona, a excepción de unos pocos que se levantaron en cortes de carretera, y en las diversas vías de acceso a balnearios, además se realizó la caracterización de la roca obtenida de las perforaciones.

A partir de los resultados de este levantamiento junto con la información obtenida de la interpretación de las fotografías aéreas e imágenes de radar, así como de las referencias consultadas, se elaboró un mapa geológico a escala 1:25.000 de la zona de estudio (ver Mapa 1, en Anexo I), en el cual están representados los tipos litológicos

reportados en campo, los contactos entre ellos, los rasgos estructurales vistos tanto en campo como fotointerpretados y los puntos del levantamiento de campo, los cuales coinciden con los puntos de muestreo en aquellos lugares donde se tomaron muestras.

### **2.3.2.- MÉTODOS GEOTÉCNICOS DE CAMPO**

Se evaluaron las propiedades de las rocas que permitieron realizar la caracterización de las mismas, tales como:

- Mineralogía, litología y meteorización.
- Discontinuidades: orientación, espaciamiento, persistencia, rugosidad, abertura, relleno, número de familias, tamaño de bloques.
- Resistencia de las rocas por medio del esclerómetro o Martillo de *Schmidt*.
- Capacidad portante y caracterización del subsuelo, mediante el ensayo del SPT.

El tipo de roca, su composición mineralógica y su grado de meteorización son factores asociados a la estabilidad de los macizos rocosos. Debido a la heterogeneidad de los tipos litológicos, de su mineralogía y de su grado de meteorización, unas rocas son más competentes que otras, contribuyendo de forma distinta a la estabilidad de los taludes, por esta razón, es importante conocer la mineralogía, el tipo de roca y el grado de meteorización de ésta, lo cual se logra realizando un levantamiento detallado de campo junto con el análisis petrográfico obtenido a partir de las muestras tomadas.

El tipo de discontinuidad, su geometría y su relación espacial con el talud son criterios fundamentales a la hora de estudiar la estabilidad de macizos rocosos. El levantamiento en campo de las discontinuidades debe ser detallado, exhaustivo y sumamente cuidadoso dada la importante influencia de este parámetro en la estabilidad de los taludes en roca, este levantamiento se realizó siguiendo el

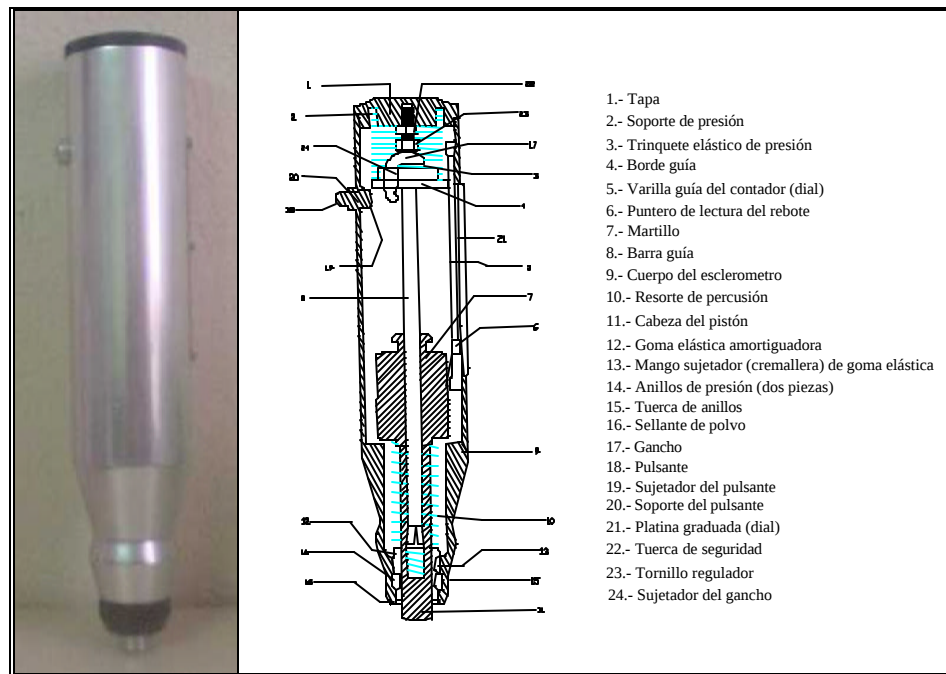
procedimiento establecido por la ISRM (1981), el cual se describirá en el punto 2.3.2.2, estos resultados a su vez fueron representados según la norma ASTM 5878-95, y se encuentran plasmados en las respectivas planillas del Anexo IV.

La norma técnica ASTM 5878-95, en particular, es una guía que permite aplicar diferentes sistemas de clasificación para caracterizar geomecánicamente las rocas, como por ejemplo el RMR o *Rock Mass Rating System*, permitiendo además representar de forma adecuada los resultados de las mediciones y estimaciones hechas en campo para los diversos parámetros estudiados.

#### **2.3.2.1.- MARTILLO DE SCHMIDT**

El Martillo de *Schmidt* o esclerómetro, es una herramienta de mano usada en campo con la finalidad de estimar la resistencia a la compresión de la roca intacta de forma indirecta, según la resistencia al rebote de esta. El modelo usado en campo fue tipo M, el cual se muestra en la Figura 2.

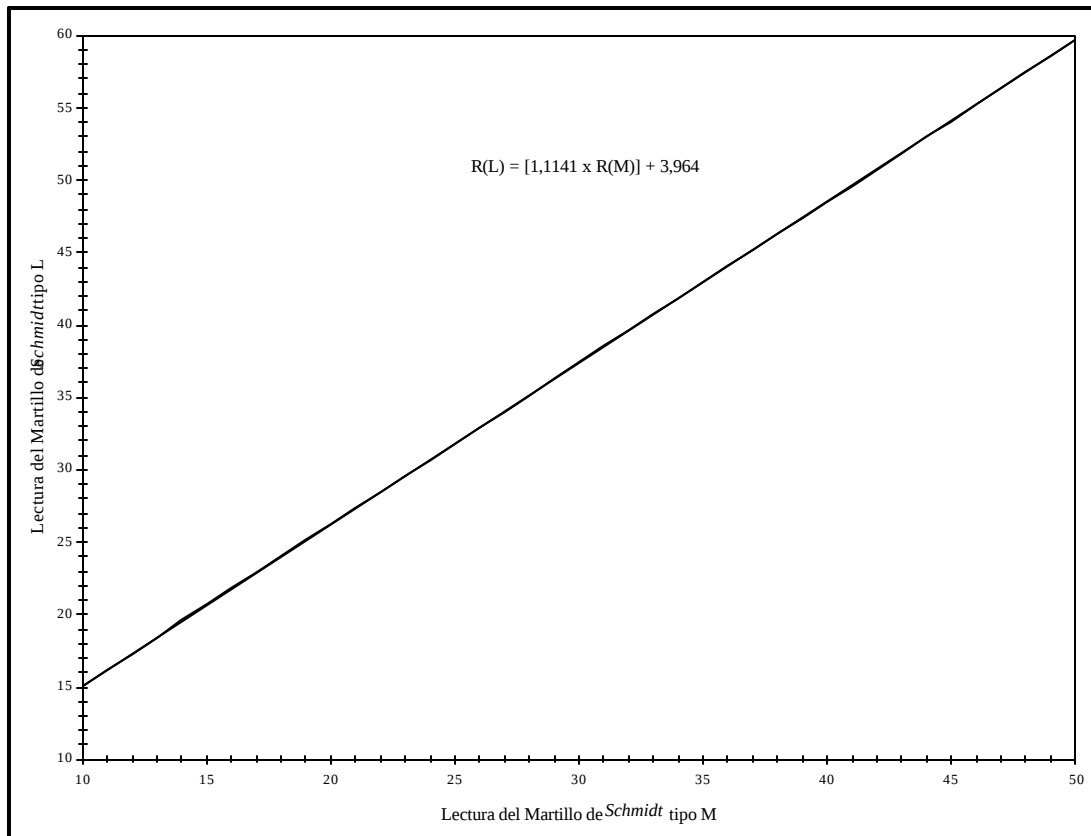
Este dispositivo desarrollado originalmente para ensayar la resistencia del concreto fraguado; consiste esencialmente en un resorte cargado con un pistón el cual es colocado en la superficie de la roca, midiendo posteriormente la altura de rebote del resorte haciendo la lectura en el dial. Existen varios modelos de Martillo de *Schmidt*, según la energía que este proporciona a la superficie de ensayo estos pueden ser: (a) tipo L, (b) tipo M, (c) tipo N y (d) tipo P, siendo el primero recomendado por la ISRM (1981) para ensayar roca por ser una herramienta de baja energía (0,74 Nm). El procedimiento usado para estimar el valor de resistencia a la compresión mediante el uso del Martillo se muestra a continuación, el cual se ajusta al procedimiento descrito en la norma ASTM D 5873-95:



**Figura 2:** Martillo de *Schmidt* usado en campo y partes del mismo  
 (Modificada de las especificaciones del fabricante)

- Se toma la medida en campo haciendo rebotar el pistón del Martillo sobre la superficie de discontinuidad en dirección perpendicular a esta, y sobre puntos firmes (rígidos) de la misma. En este trabajo se tomaron un total de 10 lecturas sobre la misma discontinuidad, anotando en la libreta estos valores junto con inclinación del martillo respecto a un plano horizontal al momento de aplicar los impactos con el pistón. Los puntos de aplicación deben estar separados por lo menos por una distancia equivalente al diámetro del pistón, 1,5 cm.
- De acuerdo a la ISRM (1981), se eliminan los 5 valores más bajos y se promedian los restantes.

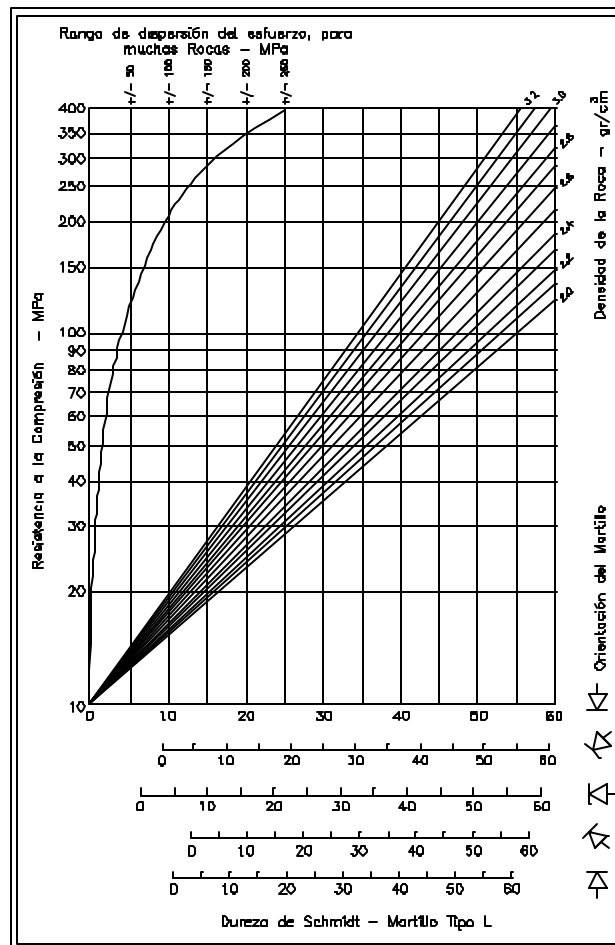
- Como el martillo utilizado en campo era tipo M, se convirtieron estos valores a valores para martillo tipo L, según la Figura 3, obtenida a partir de la relación teórica:  $R(L) = [1,1141 \cdot R(M)] + 3,964$  (Comunicación personal, Profesor Feliciano De Santis), en donde  $R(M)$  representa el promedio de los valores tomados en campo después de haber eliminado los 5 más bajos.



**Figura 3:** Relación entre el Martillo de *Schmidt* tipo L y el tipo M  
(Modificada de comunicación personal, Profesor Feliciano De Santis)

- Cada valor  $R(L)$  calculado, es plotado sobre la Figura 4 en el eje de las abscisas, debe tomarse en cuenta la inclinación del Martillo con respecto al plano horizontal para cada caso.

- Se trazan a continuación líneas paralelas al eje de las ordenadas y se interceptan con las líneas equivalentes a las densidades de las rocas, obtenidas en el laboratorio.
- A partir de estos puntos de intersección se trazan líneas paralelas al eje de las abscisas las cuales se interceptan con el eje de las ordenadas.
- Esta última intersección representa el valor de la resistencia a la compresión (indirecta) según mediciones en campo con el Martillo de *Schmidt*.



**Figura 4:** Resistencia a la compresión a partir de valores de Martillo de *Schmidt*  
(Modificada de HOEK, 1998)

### **2.3.2.2.- CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS**

La caracterización geotécnica de los macizos rocosos se realizó para los taludes dentro de la planta, esta consistió en la descripción de los siguientes aspectos:

- Espaciamiento.
- Persistencia.
- Abertura.
- Rugosidad.
- Relleno.
- Grado de meteorización de la roca.
- Condiciones de flujo.
- Grado de meteorización del macizo rocoso.

#### **2.3.2.2.1.- ESPACIAMIENTO**

El espaciamiento, es una medida de la distancia entre dos discontinuidades y tiene peculiar importancia ya que controla de alguna manera la formación de bloques en el macizo rocoso. Este también puede tener influencia sobre las condiciones de permeabilidad, filtrado de aguas y circulación de la misma, en líneas generales el espaciamiento es inversamente proporcional a estos parámetros.

El método para medir el espaciamiento de las discontinuidades, sugerido por la ISRM (1981) consiste en:

- Colocar una cinta métrica de longitud apropiada (de acuerdo a las dimensiones del afloramiento, por lo menos 10 veces mayor que el espaciamiento medido), de la forma más perpendicular posible al sistema de discontinuidad que se quiere medir.

- Medir las distancias (d), entre las discontinuidades adyacentes, a lo largo de la longitud previamente establecida, según la necesidad y características del levantamiento.
- Medir el ángulo agudo  $\alpha$ , entre las discontinuidades y la cinta métrica. Esta medida puede realizarse tanto con una brújula como con un transportador y un compás.
- Se determina el espaciamiento modal según la siguiente ecuación:

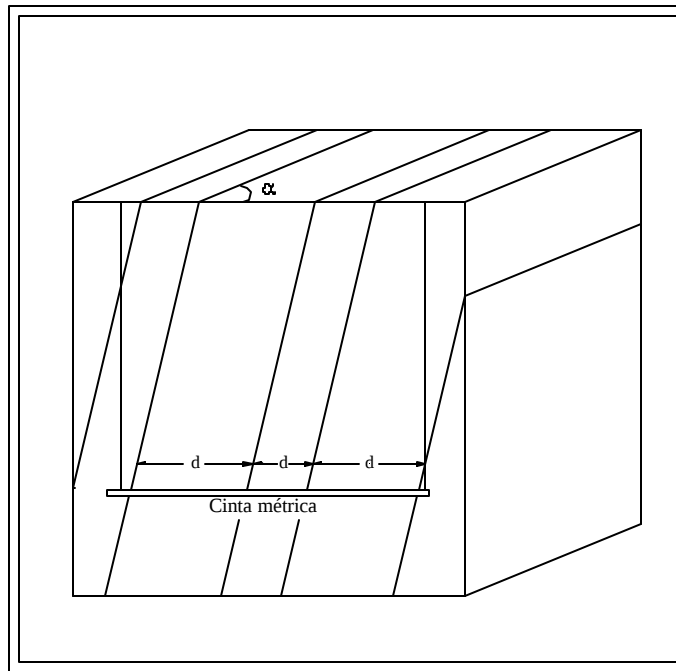
$$S = d_m \cdot \sin(\alpha); \text{ Tomada de ISRM (1981)}$$

En donde  $d_m$  es un promedio de las distancias (d) medidas entre las discontinuidades. La Figura 5 muestra la forma de medir el espaciamiento para familias de discontinuidades.

- Por último los resultados deben acompañarse de una descripción según la Tabla 3, recomendada por la ISRM (1981):

**Tabla 3:** Terminología relacionada con el espaciamiento de las discontinuidades  
(Modificada de ISRM, 1981)

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



**Figura 5:** Medición de espaciamiento para familias de discontinuidades  
(Modificada de ISRM, 1981)

#### 2.3.2.2.2.- PERSISTENCIA

La persistencia se refiere a la extensión areal o tamaño de la discontinuidad en un plano. Esta puede ser cuantificada *grosso modo*, observando la longitud de las trazas de las discontinuidades expuestas en la cara del talud. A pesar de lo subjetivo que pueda ser la medida de la persistencia, este parámetro se considera de gran importancia en la caracterización de macizos rocosos. En los casos de taludes en roca, la estimación de la persistencia es de especial importancia, en particular aquellas orientadas en forma desfavorable en relación a la estabilidad del talud, ya que el grado de persistencia determinará la magnitud de la rotura de la roca intacta a lo largo de la superficie de falla.

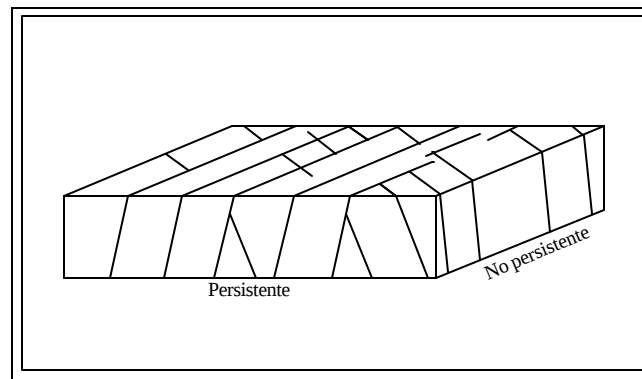
El método para medir la persistencia de las discontinuidades, sugerido por la ISRM (1981) consiste en:

- Describir la persistencia relativa de los diferentes sistemas (familias) de discontinuidades presentes. Esta persistencia relativa debe ser expresada en los siguientes términos: persistente, sub-persistente y no-persistente. Además se recomienda realizar diagramas de campo como el de la Figura 6, los cuales pueden ser de gran ayuda a la hora de hacer las interpretaciones en la oficina.
- Se debe hacer el esfuerzo de medir las longitudes de las discontinuidades, tanto en la dirección del rumbo, como en la dirección del buzamiento. Dado que esta es una tarea difícil, generalmente siempre solo es posible hacer las medidas de las discontinuidades en la dirección de su buzamiento.
- Se determina la persistencia promedio de los distintos sistemas (familias) de discontinuidades.
- Por último los resultados deben acompañarse de una descripción según la Tabla 4, recomendada por la ISRM (1981):

**Tabla 4:** Terminología relacionada con la persistencia de las discontinuidades  
(Modificada de ISRM, 1981)

| DESCRIPCIÓN           | PERSISTENCIA |
|-----------------------|--------------|
| 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       |

- Es de mucha ayuda si además se describe el tipo de terminación de la discontinuidad, de acuerdo a la siguiente nomenclatura: (x) para discontinuidades que se extienden fuera del talud; (r) para aquellas que terminan en la roca expuesta (talud) y (d) para las discontinuidades que terminan en otras discontinuidades.
- Esta información para cada extremo de la discontinuidad debe ser anotada junto con la longitud de la persistencia medida en metros, por ejemplo: 8 (dx), para una discontinuidad de 8 m con una de sus terminaciones en discontinuidad y otra en roca.



**Figura 6:** Tipos de persistencia relativa (Modificada de ISRM, 1981)

#### 2.3.2.2.3.- ABERTURA

La abertura en discontinuidades se define como la mínima distancia entre las paredes adyacentes de una discontinuidad abierta, es decir, la distancia perpendicular entre estas, y se diferencia del ancho de relleno dado que el espacio intermedio contiene agua o aire.

El método para medir la abertura de las discontinuidades, sugerido por la ISRM (1981) consiste en:

- Medir la distancia entre las paredes adyacentes de una discontinuidad abierta, en una dirección perpendicular a estas.
- Seguidamente los resultados deben acompañarse de una descripción según la Tabla 5, recomendada por la ISRM (1981):

**Tabla 5:** Terminología relacionada con la abertura de las discontinuidades  
(Modificada de ISRM, 1981)

| DESCRIPCIÓN |                      | PERSISTENCIA  |
|-------------|----------------------|---------------|
| Cerradas    | Muy cerrada          | < 0,1 mm      |
|             | Cerrada              | 0,1 – 0,25 mm |
|             | Parcialmente abierta | 0,25 – 0,5 mm |
| Espaciadas  | Abierta              | 0,5 – 2,5 mm  |
|             | Moderadamente ancha  | 2,5 – 10 mm   |
|             | Ancha                | 10 mm         |
| Abiertas    | Muy ancha            | 1 – 10 cm     |
|             | Extremadamente ancha | 10 – 100 cm   |
|             | Cavernosa            | > 1 m         |

Nota: La ISRM (1981), restringe el término abertura a discontinuidades abiertas en donde el espacio relleno es aire o agua; cuando este espacio esta relleno por otro material este espacio es denominado ancho (ver Figura 7).

#### 2.3.2.2.4.- RUGOSIDAD

La rugosidad en discontinuidades se refiere a las irregularidades de las paredes de las mismas, y su estimación y/o cuantificación es de gran importancia ya que estas afectan parámetros importantes como la resistencia al corte, la cual disminuye al aumentar la abertura, el ancho de relleno o cualquier desplazamiento sufrido con anterioridad.

SALCEDO (1983), identifica dos tipos de rugosidades:

- Las rugosidades mayores o de escala de primer orden, denominadas ondulaciones, consideradas como de una sola dimensión tal que es poco probable que sean cizalladas.
- Las rugosidades propiamente dichas, de segundo orden, denominadas asperezas, las cuales son suficientemente pequeñas como para ser cizalladas durante un movimiento a lo largo del plano de la discontinuidad.

Los métodos sugeridos por la ISRM (1981) para medir la rugosidad de las discontinuidades, son los siguientes:

- Método del perfil lineal.
- Método del compás y disco-clinometro.
- Método fotogramétrico.

Uno de los métodos más usados sin embargo, es el del Copiador de Formas o Medidor de Rugosidades, el cual es muy popular por su practicidad y economía. SALCEDO (1983) describe esta herramienta como dos laminas de metal de 15 cm de largo y 1 cm de ancho, acopladas una a la otra, conteniendo en su interior numerosos alambres rígidos de aproximadamente 1 mm de diámetro y de 5 cm de largo, los cuales tienen libre movimiento en el sentido de su longitud. El procedimiento de

ensayo mediante esta herramienta es muy sencillo ya que solo debe ajustarse una de las caras de los alambres contra la superficie de la discontinuidad, lo cual produce una “Copia de las Formas” de las irregularidades en estas superficies, rugosidad.

La Tabla 6, muestra los términos descriptivos usados por la ISRM (1981) para referirse a la rugosidad de las discontinuidades.

**Tabla 6:** Terminología relacionada con la rugosidad de las discontinuidades  
(Modificada de ISRM, 1981)

| DESCRIPCIÓN |        |      |
|-------------|--------|------|
| Escalonada  | Rugosa | I    |
|             | Lisa   | II   |
|             | Pulida | III  |
| Ondulada    | Rugosa | IV   |
|             | Lisa   | V    |
|             | Pulida | VI   |
| Plana       | Rugosa | VII  |
|             | Lisa   | VIII |
|             | Pulida | IX   |

#### 2.3.2.2.5.- RELLENO

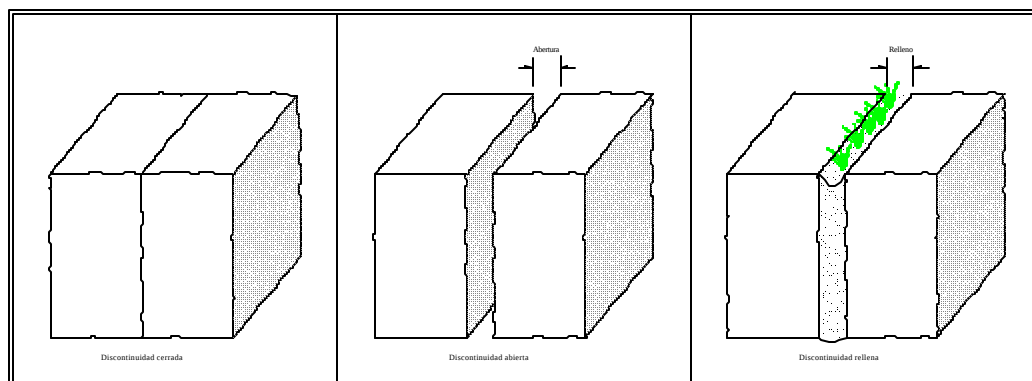
El término relleno según la ISRM (1981), se refiere al material que se encuentra separando las paredes adyacentes de una discontinuidad, como por ejemplo: calcita, clorita, arcilla, limo, *gouge*, brechas. Cuando las discontinuidades están rellenas, la mínima distancia entre las paredes de las mismas se denomina ancho de una discontinuidad rellena. La Figura 7 muestra la diferencia entre abertura y ancho en discontinuidades.

La ISRM (1981) sugiere la descripción de los siguientes aspectos para los rellenos de las discontinuidades:

- Ancho: se deben medir los anchos mínimos y máximos, para luego hacer una estimación modal del ancho.
- Grado de meteorización: según el estado del material de relleno este puede ser descompuesto o desintegrado según sea el caso, para aquellas rocas que han sido convertidas en suelos, y en las cuales aun se conservan las estructuras, como fábrica o foliación, con algunos o todos los minerales descompuestos para los primeros, mientras que para los segundos no.
- Mineralogía: se debe hacer hincapié en la fracción fina ya que esta controla de alguna manera la resistencia al corte de las discontinuidades, tal es el caso de las arcillas expansivas.
- Tamaño de la partícula: esta puede ser una medida estimada de los porcentajes de arcillas, limos, arenas y gravas, ya que en la mayoría de los casos no es posible obtener material suficiente para la granulometría completa.
- Contenido de agua (humedad) y permeabilidad: se recomienda usar la Tabla 7 para la descripción de estas características en el relleno de las discontinuidades.

**Tabla 7:** Clasificación de los niveles de humedad y permeabilidad en los rellenos de las discontinuidades (Modificada de ISRM, 1981)

| CLASIFICACIÓN | DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                                                       |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| W1            | Los materiales de relleno están fuertemente preconsolidados y secos, un flujo significativo parece poco probable dada la baja permeabilidad.                                                      |
| W2            | Los materiales de relleno están mojados, pero no existe agua libre.                                                                                                                               |
| W3            | Los materiales de relleno están húmedos, y ocasionalmente hay goteras de agua.                                                                                                                    |
| W4            | Los materiales de relleno muestran signos de lavado, con continuo flujo de agua (el cual se debe estimar en litros por minuto)                                                                    |
| W5            | Los materiales de relleno están lavados localmente, con considerable flujo de agua a lo largo de los canales de lavado (estimar en litros por minuto)                                             |
| W6            | Los materiales de relleno están completamente lavados, y se presenta elevada presión de agua, especialmente en la discontinuidad expuesta (estimar en litros por minutos, y describir la presión) |



**Figura 7:** Diferencias entre abertura y relleno (Modificada de ISRM, 1981)

#### 2.3.2.2.6.- GRADO DE METEORIZACIÓN DE LA ROCA

Este parámetro se refiere al grado de meteorización (o alteración) del material rocoso presente entre las paredes de discontinuidades individuales o de una familia en particular.

La Tabla 8, muestra los términos descriptivos usados por la ISRM (1981) para referirse al grado de meteorización de la roca, los cuales pueden ser a su vez subdivididos usando términos cualitativos tales como ligera, moderada y/o fuertemente, por ejemplo ligeramente descompuesta o moderadamente decolorada.

**Tabla 8:** Grado de meteorización de la roca (Modificada de ISRM, 1981)

| TÉRMINO      | DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                                                          |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fresca       | Material rocoso sin señales visibles de meteorización.                                                                                                                                               |
| Decolorada   | El color original de la roca fresca ha cambiado. El grado del cambio de color original debe ser indicado. Se debe mencionar si el color cambiado se refiere a constituyentes minerales particulares. |
| Descompuesta | La roca se ha meteorizado a la condición de un suelo en el cual la estructura original se mantiene intacta, pero algunos o todos los granos minerales se han descompuesto.                           |
| Desintegrada | La roca se ha meteorizado a la condición de un suelo en el cual la estructura original se mantiene intacta. La roca es friable, pero los granos minerales no se han descompuesto.                    |

#### 2.3.2.2.7.- CONDICIONES DE FLUJO

Según la ISRM (1981), el flujo a través del macizo rocoso ocurre principalmente como resultado de la conducción de fluidos por las discontinuidades (permeabilidad secundaria), siendo la rata de flujo aproximadamente proporcional al gradiente hidráulico local. Para discontinuidades individuales abiertas o rellenas, se debe describir las condiciones de flujo según la Tabla 9.

**Tabla 9:** Condiciones de flujo del macizo rocoso (Modificada de ISRM, 1981)

| GRADO | DESCRIPCIÓN                                                                                                                        |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I     | La discontinuidad es muy cerrada y esta seca; no parece posible el flujo de aguas a lo largo de ella.                              |
| II    | La discontinuidad está seca sin evidencia de flujo de agua.                                                                        |
| III   | La discontinuidad está seca pero muestra evidencia de flujo de agua, por ejemplo manchas de oxidación.                             |
| IV    | La discontinuidad está mojada pero no se presenta agua libre.                                                                      |
| V     | La discontinuidad muestra flujo de agua; ocasionalmente hay gotas de agua, pero sin flujo continuo.                                |
| VI    | La discontinuidad muestra flujo continuo de agua (estimar litros por minuto y describir la presión, por ejemplo baja, media, alta) |

#### **2.3.2.2.8.- GRADO DE METEORIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO**

Este parámetro intenta calificar de alguna manera el grado de meteorización mecánica y química de la roca en general, como un macizo. Los procedimientos y los concernientes grados de meteorización del macizo rocoso son solo parámetros descriptivos, la ISRM (1981) sugiere los términos de la Tabla 10 para tal fin.

**Tabla 10:** Terminología relacionada con el grado de meteorización del macizo rocoso  
(Modificada de ISRM, 1981)

| TÉRMINO                   | DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                                               | GRADO |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Fresco                    | No hay señales visibles de meteorización: tal vez una leve decoloración en las superficies de las discontinuidades más desarrolladas.                                                     | I     |
| Levemente meteorizado     | La decoloración indica meteorización de la roca y de superficies de discontinuidad. Todo la roca puede estar decolorada por meteorización, así como más débil que en condiciones frescas. | II    |
| Moderadamente meteorizado | Menos de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo. La roca se puede presentar fresca o decolorada tanto como una estructura o como un núcleo.                       | III   |
| Altamente meteorizado     | Más de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo. La roca se puede presentar fresca o decolorada tanto como una estructura o como un núcleo.                         | IV    |
| Completamente meteorizado | Todo la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo. La estructura original del macizo original se mantiene prácticamente intacta.                                                    | V     |
| Suelo residual            | Todo la roca se ha convertido en suelo. La estructura original y su fábrica ha sido destruida. Hay un gran cambio de volumen, pero el suelo no ha sufrido un transporte significativo.    | VI    |

### 2.3.2.3.- ENSAYO DE SPT

El ensayo del SPT (*Standard Penetration Test*) se realizó según la norma ASTM 1586-84, este tiene como objetivo determinar la resistencia del subsuelo a la penetración de la barra muestreadora (cuchara partida), la cual a su vez muestrea el subsuelo lo que permite realizar una caracterización del mismo a partir de la recuperación de material cada cierta profundidad, en el caso de este trabajo cada metro. Las perforaciones o sondeos se realizaron a percusión a excepción de los lugares en los cuales la roca era demasiado competente para este tipo de penetración en cuyo caso se perforó a rotación para limpiar hasta la profundidad de muestreo y luego se golpeó para recuperar la muestra.

El ensayo consiste en dejar caer un martillo de 63,5 kg, sobre un cabezal, desde una altura constante de 0,76 m, mediante un mecate de 7/8 pulg, que se encuentra enrollado a un carrete, a una rata de 30 golpes por minuto, siendo el número de golpes necesarios para hincar los últimos 0,30 m de cada intervalo de 1,00 m la resistencia a la penetración normal ( $N_{SPT}$ ). Los primeros 0,55m de cada intervalo se realizan con un ensanchador y no se consideran para el SPT. En los siguientes 0,45 m, los primeros 0,15 m de penetración no se toman en cuenta por considerarse no representativos, debido a factores tales como el derrumbe de las paredes de la perforación con la progresiva acumulación de material.

El procedimiento de ensayo consiste en (ver Figura 8):

- Seleccionar el punto de ensayo.
- Para cada intervalo de 1,00 m se debe:
  - 1) Limpiar con el ensanchador hincando la barra hasta una profundidad de 0,55 m.
  - 2) Recuperar los siguientes 0,45 m, hincando la barra a percusión hasta el final del intervalo de 1,00 m, contando y anotando los números de golpes del martillo al cabezal para cada 0,15 m, hasta que ocurra uno de los siguientes casos:
    - a) Un total de 50 golpes se han aplicado durante cualquiera de los tres incrementos de 0,15 m.
    - b) Un total de 100 golpes se han aplicado.
    - c) No se registra ningún adelanto del muestreador durante la aplicación de 10 golpes sucesivos con el martillo.
    - d) El muestreador avanza los 0,45 m completos sin que ocurra alguno de los límites de golpes descritos anteriormente en (a, b o c).
  - 3) Repetir hasta completar la profundidad deseada, para cada metro de perforación.

La recuperación de la muestra, es decir a partir del metro 0,55 hasta el metro 1,00 de avance (después de haber limpiado 0,55 m), debe hacerse contando los golpes. El numero de golpes necesarios para hincar la barra los últimos 0,30 m se conoce como resistencia a la penetración  $N_{SPT}$ .



**Figura 8:** Sondeo con corrida SPT.

Si la roca en el subsuelo se torna muy competente impidiendo limpiar a percusión, entonces se debe limpiar rotando, al limpiar los 0,55 m entonces se recupera a percusión si es posible.

Los puntos seleccionados para la realización de este ensayo fueron escogidos de tal manera de garantizar:

- 1) Cobertura que garantice una buena identificación del subsuelo.
- 2) La más completa interpretación del perfil del subsuelo en o cerca de los taludes fallados.

En tal sentido se seleccionaron un total de 10 puntos, distribuidos a lo largo del tope de los taludes, ubicando las perforaciones preferiblemente cerca de zonas falladas para una mejor caracterización de la roca en el punto de la falla (del talud), la distribución espacial de estos puntos de perforación se encuentran en Plano 1 del Anexo II.

## **2.4.- TRABAJO DE LABORATORIO**

Una vez obtenidas las muestras del levantamiento de campo, se seleccionaron sin ningún criterio en particular aquellas a las cuales se les aplicaron los diversos ensayos de laboratorio. Con la única precaución de tratar de cubrir homogéneamente la mayor cantidad posible de la zona de estudio, a fin de establecer mejores correlaciones.

El trabajo de laboratorio al igual que el trabajo de campo consistió en dos fases separadas en aspectos geológicos y geotécnicos. A su vez los ensayos geotécnicos de laboratorio se pueden dividir en aquellos aplicados a suelos para muestras recuperadas en las perforaciones realizadas dentro de la planta de distribución de combustible, de aquellos aplicados a rocas realizados a las muestras tomadas en los diversos afloramientos levantados en toda la zona de estudio.

### **2.4.1.- MÉTODOS GEOLÓGICOS**

En esta etapa, se elaboraron estudios petrográficos de las muestras tomadas en campo con la finalidad de clasificar la roca, así como evaluar el grado de alteración de ciertos minerales, a modo de estimar el grado de meteorización de las rocas.

#### **2.4.1.1.- PETROGRAFÍA**

La petrografía de las secciones finas se realizó en su totalidad en el Laboratorio de Petrología Ígnea y Metamórfica de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela, desde el proceso de elaboración, hasta el reconocimiento, estudio, discusión y revisión de las mismas.

El proceso de petrografiar las secciones finas consistió en:

- Observación general de las secciones finas.
- Identificación de los minerales de fácil reconocimiento.
- Identificación de minerales mayoritarios no fácilmente identificables.
- Descripción de las propiedades petrográficas de los minerales reconocidos, esto es: distribución, tamaño, forma y hábito, transparencia, color y pleocroismo, colores de interferencia, clivaje, bordes, contactos, textura superficial, maclado, extinción, asociación y alteración.
- Identificación de los minerales minoritarios o accesorios.
- Descripción de texturas, tanto de minerales como de la sección.
- Determinación de la composición mineralógica relativa de los minerales identificados.
- Clasificación mineralógica textural de la roca.

## 2.4.2.- MÉTODOS GEOTÉCNICOS

Los ensayos relacionados con el área de Geotecnia se realizaron en el Laboratorio de Ingenieros De Santis C.A., la Tabla 11 lista los ensayos realizados y el tipo de material (roca o suelo) para el los cuales se aplicaron.

**Tabla 11:** Lista de ensayos realizados.

| ENSAYO                                                      | TIPO DE MATERIAL |
|-------------------------------------------------------------|------------------|
| Clasificación visual                                        | Suelo            |
| Granulometría por lavado                                    | Suelo            |
| Límites de consistencia                                     | Suelo            |
| Contenido de humedad natural                                | Suelo y roca     |
| Compresión uniaxial                                         | Roca             |
| Corte directo                                               | Roca             |
| Densidad o peso unitario, mediante el método de la parafina | Roca             |

### 2.4.2.1.- ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS

Para las muestras de suelos recuperadas en los primeros metros de las perforaciones realizadas dentro de las instalaciones de la planta de distribución de combustible, se realizaron una serie de ensayos de caracterización, los cuales son de suma importancia ya que ayudan a interpretar el comportamiento de los mismos a partir de alguna de sus propiedades índices, además de permitir la clasificación de los mismos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), clasificación que se explica en el punto 2.4.2.2.

#### 2.4.2.1.1.- DESCRIPCIÓN VISUAL

Hacer una primera descripción visual de las muestras es de suma importancia en la caracterización de suelos, esta clasificación según la norma ASTM D 2488 – 93, consiste en la descripción de ciertas propiedades de los suelos tales como:

- Angularidad: es un término independiente de la forma, y se refiere a la agudeza de las aristas y de los vértices de los suelos granulares, esta se describe de acuerdo a los términos de la Tabla 12.

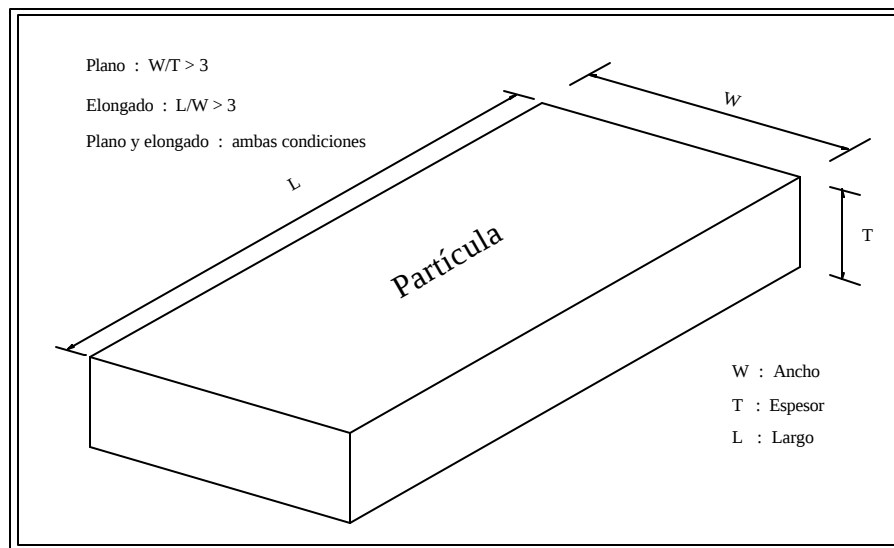
**Tabla 12:** Terminología relacionada con la angularidad de las partículas en los suelos granulares (Modificada de ASTM D 2488 - 93, 1998)

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

- Forma: se refiere a la forma en sí de las partículas de suelo, esta debe expresarse según la terminología de la Tabla 13, ver Figura 9.

**Tabla 13:** Terminología relacionada con la forma de las partículas (Modificada de ASTM D 2488 - 93, 1998)

| DESCRIPCIÓN      | CRITERIO                                                |
|------------------|---------------------------------------------------------|
| Plana            | Partícula de relación ancho/espesor mayor que 3         |
| Elongada         | Partícula de relación largo/ancho mayor que 3           |
| Plana y elongada | Partícula que cumple con las dos condiciones anteriores |



**Figura 9:** Parámetros que definen la forma de una partícula.

- Color: de gran utilidad para identificar suelos orgánicos. Otra utilidad se refiere a la posibilidad de interpretar materiales de similar fuente.
- Olor: La descomposición de la materia orgánica presente en los suelos con el calor da un olor muy característico, de igual forma los suelos inorgánicos (sobre todo cuando están húmedos) presentan olor terroso, ambos olores permiten hacer identificable la presencia o no de materia orgánica en los suelos.
- Humedad: se refiere a las condiciones de humedad de la muestra, esta debe ser descrita según la siguiente terminología: mojada, húmeda o seca, según el criterio de la Tabla 14.

**Tabla 14:** Terminología relacionada con la humedad de las muestras  
(Modificada de ASTM D 2488 - 93, 1998)

| DESCRIPCIÓN | CRITERIO                                                       |
|-------------|----------------------------------------------------------------|
| Seca        | Ausencia de humedad, seca al tacto.                            |
| Húmeda      | Húmeda, pero no es visible el agua.                            |
| Mojada      | Agua visible, usualmente suelos por debajo del nivel freático. |

- Reacción frente al ácido clorhídrico (HCL): describe la reacción de las muestras de suelo frente al HCL, esta debe expresarse según la terminología de la Tabla 15.

**Tabla 15:** Terminología relacionada con la reacción de los suelos frente al HCL  
(Modificada de ASTM D 2488 - 93, 1998)

| DESCRIPCIÓN | CRITERIO                                                   |
|-------------|------------------------------------------------------------|
| Ninguna     | Sin reacción.                                              |
| Débil       | Algo de reacción, con burbujeo lento.                      |
| Fuerte      | Reacción violenta, con burbujas formándose inmediatamente. |

- Consistencia: se determina al tratar de romper o deformar una muestra de suelo con los dedos, es un término que debe ser aplicado a suelos que no contengan cantidades significativas de gravas, este debe ser descrito según la Tabla 16.

**Tabla 16:** Terminología relacionada con consistencia del suelo  
(Modificada de ASTM D 2488 - 93, 1998)

| DESCRIPCIÓN | CRITERIO                                                                       |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Muy suave   | Penetración del pulgar en más de 1 pulgada.                                    |
| Suave       | Penetración del pulgar en 1 pulgada.                                           |
| Firme       | Penetración del pulgar en ¼ pulgada.                                           |
| Duro        | El pulgar no hace muescas en la muestra, pero esta ya tienes algunas pequeñas. |
| Muy duro    | El pulgar no hace muescas en la muestra.                                       |

- Cementación: describe la cementación de los granos gruesos del suelo, esta debe hacerse según la Tabla 17.

**Tabla 17:** Terminología relacionada con la cementación de la fracción gruesa de las muestras (Modificada de ASTM D 2488 - 93, 1998)

| DESCRIPCIÓN | CRITERIO                                                              |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Débil       | Se desmenuza o se quiebra con una pequeña presión con los dedos.      |
| Moderada    | Se desmenuza o se quiebra con una considerable presión con los dedos. |
| Fuerte      | No se desmenuza ni se quiebra con la presión de los dedos.            |

- Estructura: se debe describir la estructura de los suelos según la terminología de la Tabla 18.

**Tabla 18:** Terminología relacionada con la estructura de los suelos  
(Modificada de ASTM D 2488 - 93, 1998)

| DESCRIPCIÓN   | CRITERIO                                                                                                                    |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estratificado | Cuando el perfil del suelo esta formado por capas alternantes de tipos de suelos o de color, con espesores mayores de 6 mm. |
| Laminado      | Cuando el perfil del suelo esta formado por capas alternantes de tipos de suelos o de color, con espesores menores de 6 mm. |
| Fisurado      | Quiebres a lo largo de planos definidos de fractura de poca resistencia debido al fracturamiento.                           |
| Fracturados   | Planos de fracturas pulidos, alisados o lustrosos, aveces estriados.                                                        |
| En bloques    | Suelos cohesivos que pueden ser quebrados en pequeños terrones.                                                             |
| En lentes     | Capas en formas de lentes dentro del perfil de suelo.                                                                       |
| Homogéneo     | Mismo color y apariencia a lo largo del perfil del suelo.                                                                   |

- Granulometría: los suelos *grosso* modo deben clasificarse según su granulometría en: gravas, arenas, limos y arcillas, clasificación que debe perfeccionarse en el laboratorio al realizar los ensayos destinados para tal fin.
- Plasticidad: para la fracción fina de los suelos además se debe indicar la plasticidad, esto debe hacerse según la terminología de la Tabla 19.

**Tabla 19:** Terminología relacionada con la plasticidad de la fracción fina de las muestras (Modificada de ASTM D 2488 - 93, 1998)

| DESCRIPCIÓN | CRITERIO                                              |
|-------------|-------------------------------------------------------|
| No plástica | No se pueden hacer hebras con el suelo.               |
| Baja        | Se amasa pero no se pueden hacer hebras con el suelo. |
| Media       | Se hacen hebras en varias oportunidades.              |
| Alta        | Siempre se logra hacer hebras.                        |

#### **2.4.2.1.2.- CONTENIDO DE HUMEDAD**

El contenido de humedad (% w) se define como la relación entre el peso húmedo de la muestra ( $W_w$ ) y el peso de la misma cantidad de muestra secada al horno ( $W_s$ ) por cien. La determinación de la humedad de las muestras tomadas en campo se determinó según la norma ASTM D 2216 – 92.

$$\% w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 ; \text{ Tomada de ASTM D 2216 (1998)}$$

#### **2.4.2.1.3.- GRANULOMETRÍA POR LAVADO**

Un análisis granulométrico consiste en separar y cuantificar por tamaño las partículas que componen una muestra de suelo, a fin de determinar a manera de porcentajes los distintos tamaños de las partículas que lo conforman. El tamaño de una partícula de suelo se define como la abertura del tamiz más cerrado por el cual pasa dicha partícula.

Con miras a clasificar las muestras de suelo según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), se efectuó una granulometría por lavado, según la norma ASTM C 117 – 95, procedimiento mediante el cual es posible separar el porcentaje en peso de la fracción gruesa de la fina, este procedimiento consiste en:

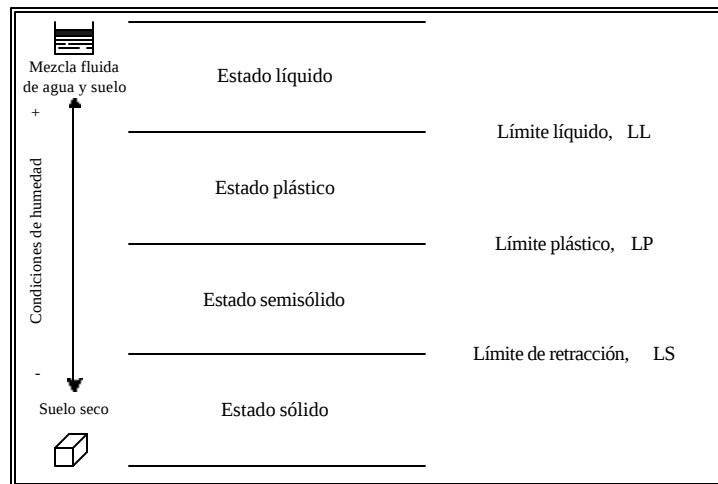
- Tomar 200 gr de material seco pasante del tamiz 10.
- Colocar el material en un *beaker*, poniéndolo en remojo durante 24 h.
- Lavar el contenido del *beaker* sobre el tamiz 200 hasta que el agua pase completamente limpia a través del mismo.
- Colocar el material retenido en el tamiz 200 en una tara y secarlo al horno a temperatura constante de  $110 \pm 5$  °C.
- Calcular la fracción pasante del tamiz # 200 de la siguiente manera:

$$\% \text{ Pasante tamiz 200} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso retenido seco}}{\text{Peso inicial}} \times 100, \text{ Tomada de}$$

ASTM C 117-95

#### 2.4.2.1.4.- LÍMITES DE CONSISTENCIA

Los límites de consistencia son valores de humedad para los cuales una muestra de suelo al aumentar o disminuir estos, cambia de estado. La Figura 10 muestra claramente el significado de estos límites, en ella se puede apreciar que:



**Figura 10:** Significado de los límites de consistencia.

- El límite líquido representa la humedad para la cual por encima de esta el suelo se comporta como un líquido, y por debajo de la misma el suelo esta en estado plástico.
- El límite plástico representa la humedad para la cual por encima de esta el suelo esta en estado plástico, y por debajo de la misma el suelo esta en estado semisólido.
- El límite de retracción representa la humedad para la cual por encima de esta el suelo esta en estado semisólido, y por debajo de la misma el suelo esta en estado sólido.

Los límites de consistencia fueron determinados según la norma ASTM D 4318–95a, los procedimientos se describen a continuación.

#### **2.4.2.1.4.1.- LÍMITE LÍQUIDO**

Para de determinar el límite líquido (LL) de una muestra de suelo se debe proceder de la siguiente manera:

- Colocar una porción de suelo en la Cuchara de Casagrande.
- Enrasar hasta generar una superficie horizontal.
- Generar una ranura en el medio de la muestra a todo lo largo de la misma.
- Girar la manivela de la cuchara y contar el número de golpes para los cuales las muestras de suelo previamente separadas se unen en una distancia de 13 mm.
- Remover el material y repetir el ensayo para otros valores de humedad, incrementando esta añadiendo agua destilada o disminuyéndola secándola al aire. Se recomienda hacer por lo menos tres puntos para rangos de golpes entre 5-7, 15-20 y 25-30.

- La humedad de la muestra para 25 golpes se define como el límite líquido. Esta se obtiene si se completa el ensayo para 25 golpes o construyendo una gráfica de número de golpes y humedad.

#### **2.4.2.1.4.2.- LÍMITE PLÁSTICO**

Para de determinar el límite plástico (LP) de una muestra de suelo se debe proceder de la siguiente manera:

- Seleccionar 20 gr de muestra de suelo.
- Moldear el suelo en rollitos de diámetro de 3 mm.
- La humedad de la muestra para la cual estos rollitos se agrietan sin desmoronares se define como el límite plástico.

#### **2.4.2.1.4.3.- ÍNDICE DE PLASTICIDAD**

Por último se determina el índice de plasticidad IP, según la siguiente ecuación:

$$IP = LL - LP ; \text{ Tomada de ASTM D 4318-95a.}$$

#### **2.4.2.2.- SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)**

Una vez realizados los ensayos de caracterización para las muestras de suelo recuperadas en las perforaciones, estas se clasificaron según el sistema unificado de clasificación de suelos, de acuerdo a la norma ASTM D 2487 – 93. La Tabla 20, presenta en forma resumida el procedimiento para la clasificación de suelos según este sistema.

**Tabla 20:** Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)  
(Modificado de ASTM D 2487 - 93, 1998)

|                                                                   |                                                                       |                                                                                      |                                                    |         |                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------|---------------------------------------------------------------------------|
| Suelos de grano grueso.<br>Más de 50% retenido en el tamiz N° 200 | Gravas, más de 50% de la fracción<br>gruesa retenida en el tamiz N° 4 | Gravas limpias, menos de<br>5 % de finos                                             | Cu >= 4 y 1 =< Cc <= 3                             | GW      | Grava bien gradada                                                        |
|                                                                   |                                                                       |                                                                                      | Cu < 4 y/o 1 > Cc > 3                              | GP      | Grava pobremente gradada                                                  |
|                                                                   |                                                                       | Gravas con finos, más de<br>12 % de finos                                            | Los finos son ML o MH                              | GM      | Grava limosa                                                              |
|                                                                   |                                                                       |                                                                                      | Los finos son CL o CH                              | GC      | Grava arcillosa                                                           |
|                                                                   | Arenas, 50% o más de la fracción<br>gruesa pasa el tamiz N° 4         | Arenas limpias, menos de<br>5 % de finos                                             | Cu >= 6 y 1 =< Cc <= 3                             | SW      | Arena bien gradada                                                        |
|                                                                   |                                                                       |                                                                                      | Cu < 6 y/o 1 > Cc > 3                              | SP      | Arena pobremente gradada                                                  |
|                                                                   |                                                                       | Arenas con finos, más de<br>12 % de finos                                            | Los finos son ML o MH                              | SM      | Arena limosa                                                              |
|                                                                   |                                                                       |                                                                                      | Los finos son CL o CH                              | SC      | Arena arcillosa                                                           |
| Suelos de grano fino.<br>50% o más pasa el tamiz N° 200           | Limos y arcillas, LL < 50                                             | Inógeno                                                                              | IP > 7                                             | CL      | Arcilla de baja plasticidad                                               |
|                                                                   |                                                                       |                                                                                      | IP < 4                                             | ML      | Limo de baja plasticidad                                                  |
|                                                                   |                                                                       | Orgánico                                                                             | $\frac{LL \text{ seco}}{LL \text{ humedo}} < 0,75$ | OL      | Arcilla orgánica de baja plasticidad<br>Limo orgánico de baja plasticidad |
|                                                                   |                                                                       |                                                                                      | Limos y arcillas, LL > 50                          | Inógeno | LL > 50 y IP > 20                                                         |
|                                                                   | LL > 50 y IP < 20                                                     | MH                                                                                   |                                                    |         | Limo de alta plasticidad                                                  |
|                                                                   | Orgánico                                                              | $\frac{LL \text{ seco}}{LL \text{ humedo}} < 0,75$                                   |                                                    | OH      | Arcilla orgánica de alta plasticidad<br>Limo orgánico de alta plasticidad |
|                                                                   |                                                                       | Suelos altamente orgánicos. Materia orgánica primaria, color oscuro, y olor orgánico |                                                    |         | Pt                                                                        |

Cc: Coeficiente de uniformidad; Cc: Coeficiente de curvatura (ambos tomados de la curva granulométrica); IP: Índice de plasticidad y LL: Límite líquido

#### **2.4.2.3.- ENSAYO DE CARACTERIZACIÓN DE ROCAS**

A partir de las muestras de roca tomadas en los diversos afloramientos de la zona de estudio se seleccionaron algunas a las cuales se aplicaron los ensayos de caracterización, lo que condujo a obtener interesantes correlaciones entre las propiedades de las mismas, además de permitir la obtención de los parámetros de resistencia al corte, los cuales fueron utilizados en el análisis de estabilidad de los taludes. Los ensayos realizados a las muestras de roca fueron los siguientes:

- Ensayo de Compresión Uniaxial.
- Ensayo de Corte Directo.
- Ensayo de Densidad, mediante el método de la parafina.

##### **2.4.2.3.1.- ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIL**

Mediante el Ensayo de Compresión Uniaxial a diferencia del Martillo de *Schmidt*, se obtienen de forma directa los valores de resistencia a la compresión de las rocas, sobre testigos de geometría regular, siendo la situación necesaria a reproducir en laboratorio aquella donde se aplique un estado de esfuerzos uniforme y en una sola dirección en una sección del testigo de roca, esta resistencia a la compresión representa el estado de sollicitación máxima que cada muestra de roca es capaz de soportar antes de ocurrir la rotura. Este ensayo principalmente esta destinado a la caracterización de la roca a través de su resistencia a la compresión.

El equipo utilizado de fabricación casera (normalizado), es un equipo sencillo que consiste de una bomba hidráulica encargada de bombear aceite a la prensa que aplica la carga sobre e testigo de roca, Figura 11.

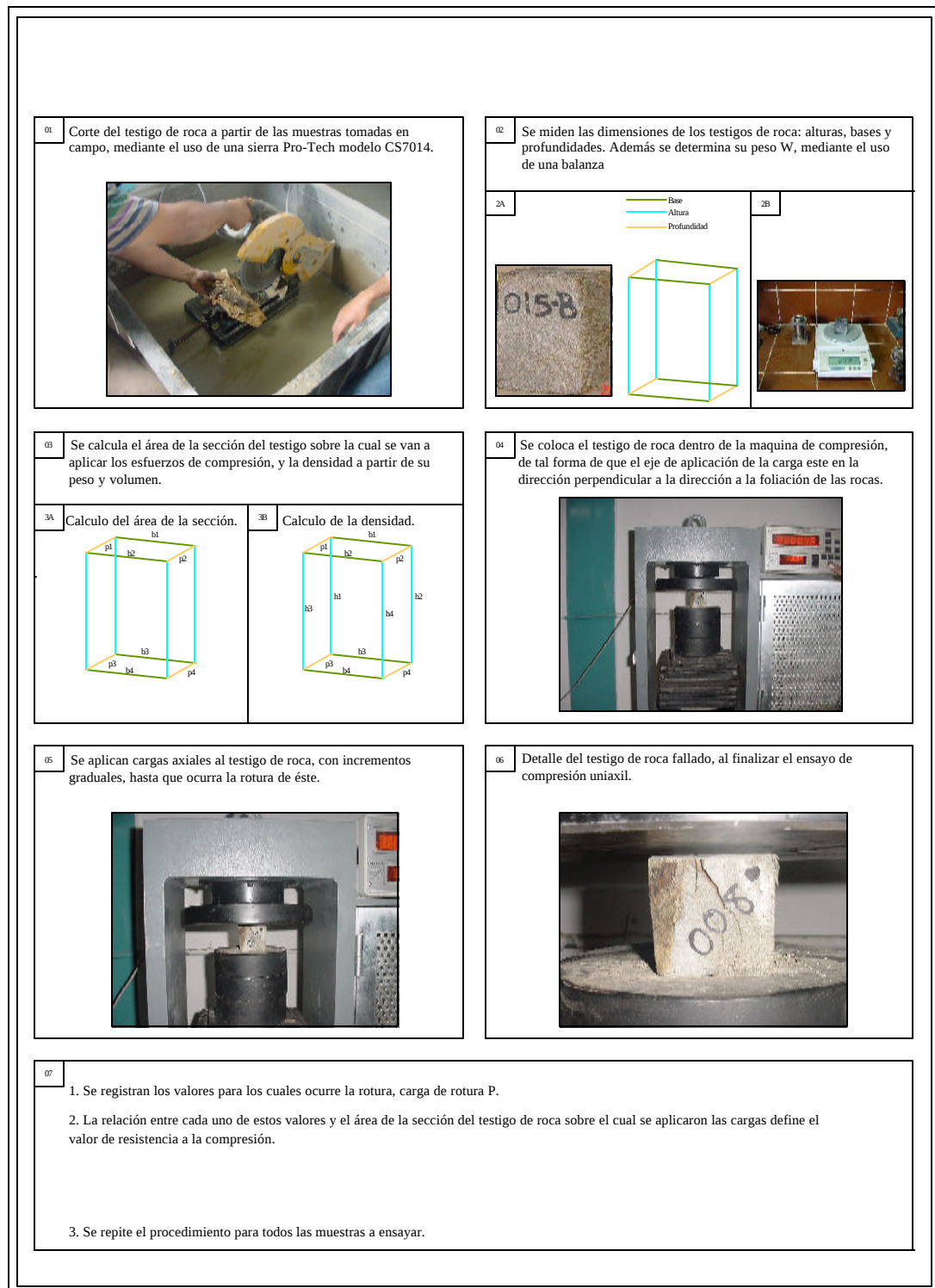


**Figura 11:** Maquina de Compresión Uniaxial.

El procedimiento de ensayo que se describe a continuación se presenta en forma esquemática en la Figura 12:

- Se calcula el área (A) aproximada de la sección de muestra sobre la cual se aplicará la carga, esto se realiza midiendo las aristas de los testigos de roca.
- Se coloca el testigo de roca de tal forma de que el eje de aplicación de la carga este en la dirección perpendicular a la dirección del plano de foliación de las rocas.
- Se aplican cargas con incrementos constantes, en este caso  $550 \text{ kg/cm}^2 \times \text{seg.}$
- Se registran los valores para los cuales ocurre la rotura (P).
- La relación entre cada uno de estos valores y el área (A) de la sección del testigo correspondiente sobre la cual se aplicaron las cargas, es el valor de esfuerzo a la compresión ( $\sigma$ ):

$$\sigma = \frac{P}{A}; \text{ Tomada de ISRM (1981)}$$



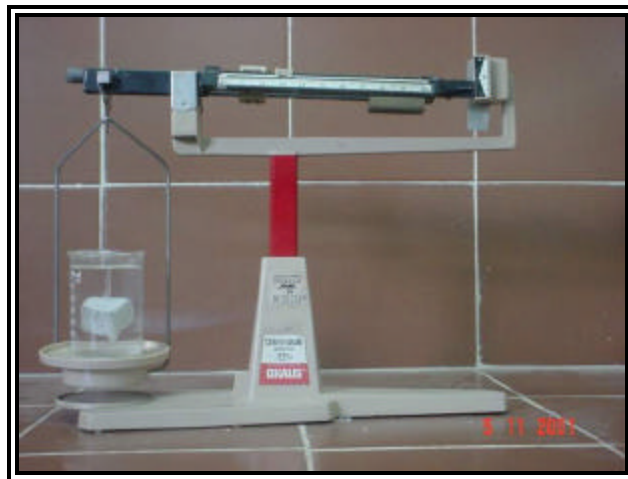
**Figura 12:** Procedimiento del ensayo de compresión uniaxial.

En donde  $P$  es la carga máxima de rotura y  $A$  es el área de la sección transversal del testigo de roca sobre la cual se aplicó el esfuerzo normal.

Los ensayos de compresión uniaxial se realizaron tanto para muestras en estado natural como para testigos de rocas sometidos a 5, 10 y 15 ciclos de secado y humedecimiento. Estos ciclos de secado y humedecimiento consistieron en sumergir los testigos de roca bajo agua durante 24 horas para después someterlos a secado en un horno a temperatura constante de  $110^{\circ}\text{C}$  durante otras 24 horas; esto se realizó con la finalidad de simular un proceso de meteorización acelerada en los testigos de rocas, para luego observar el comportamiento de la resistencia a la compresión para distintas condiciones de meteorización de una misma roca.

#### 2.4.2.3.2.- ENSAYO DE DENSIDAD

La densidad o peso unitario de la roca se determinó mediante el método de la parafina (ver Figura 13) descrito por CRESPO (1985).



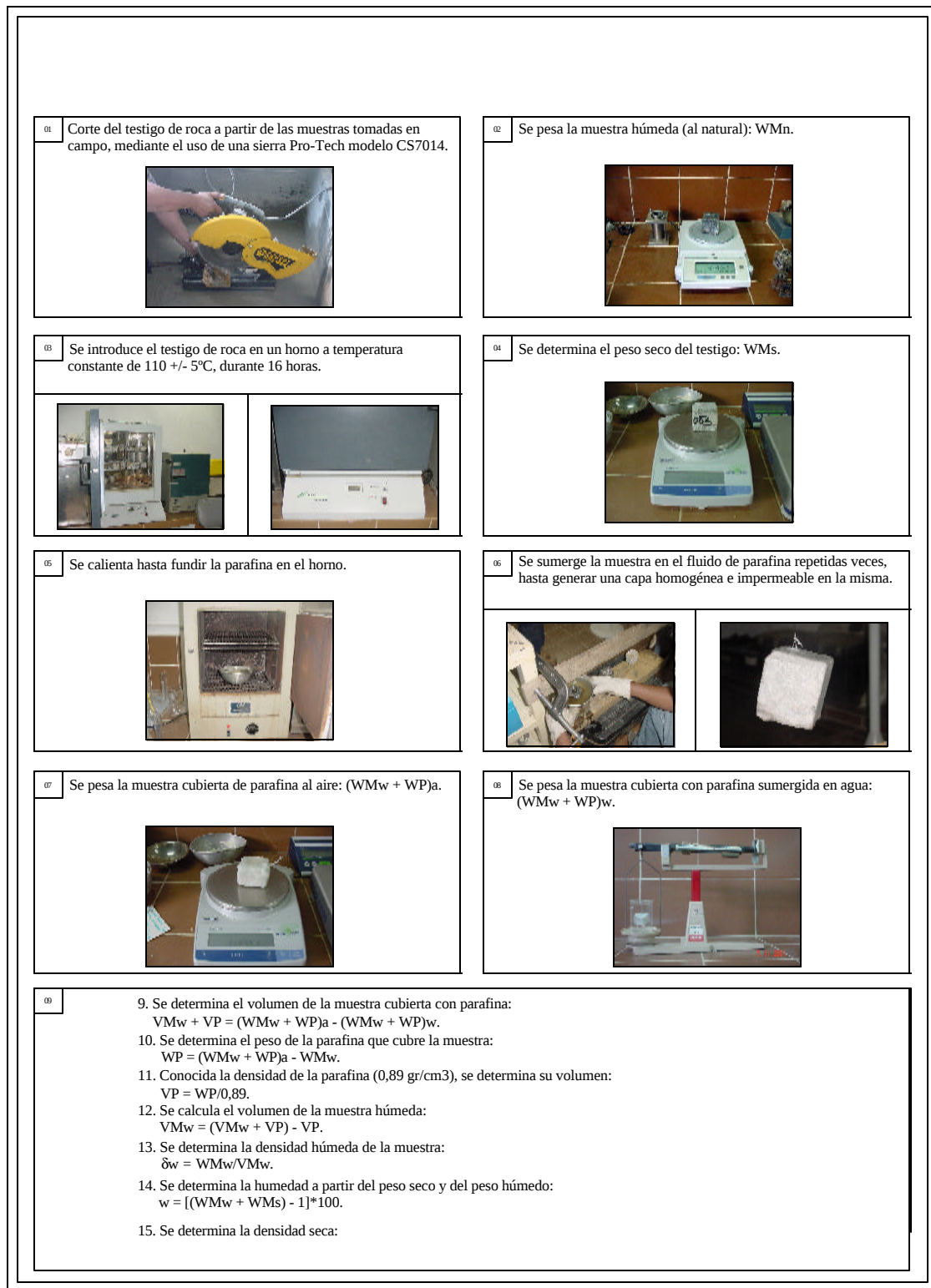
**Figura 13:** Ensayo de densidad.

La metodología de ensayo se muestra resumida en la Figura 14, y consiste en:

- Pesar la muestra húmeda (al natural):  $W_{Mw}$
- Determinar el peso seco de la muestra, introduciéndola en un horno dejándola secar por 16 horas a una temperatura de 110 °C:  $W_{Ms}$
- Cubrir la muestra con parafina y pesar al aire:  $(W_{Mw} + W_P)_a$
- Pesar la muestra cubierta en parafina sumergida en agua:  $(W_{Mw} + W_P)_w$
- Determinar el volumen de la muestra cubierta con parafina:  $V_{Mw} + V_P = (W_{Mw} + W_P)_a - (W_{Mw} + W_P)_w$
- Determinar el peso de la parafina que cubre la muestra:  $W_P = (W_{Mw} + W_P)_a - W_{Mw}$
- Conocida la densidad de la parafina (0,89 gr/cm<sup>3</sup>), determinar su volumen:  $V_P = W_P / 0,89$
- Calcular el volumen de la muestra húmeda:  $V_{Mw} = (V_{Mw} + V_P) - V_P$
- Calcular la densidad húmeda:  $\delta_w = W_{Mw} / V_{Mw}$
- Con la humedad calculada a partir del peso húmedo y el peso seco:  $w = ((W_{Mw} - W_{Ms}) - 1) * 100$
- Se determina la densidad seca:  $\gamma_d = W_{Mw} / (1 + (w/100))$

#### 2.4.2.3.3.- ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Los ensayos de corte directo se realizaron en una maquina *Controls* (Figura 15), cuya cámara de corte tiene un área de 36 cm<sup>2</sup>, el ensayo se realizó en discontinuidades abiertas, de dirección paralela al sistema de foliación de la roca.



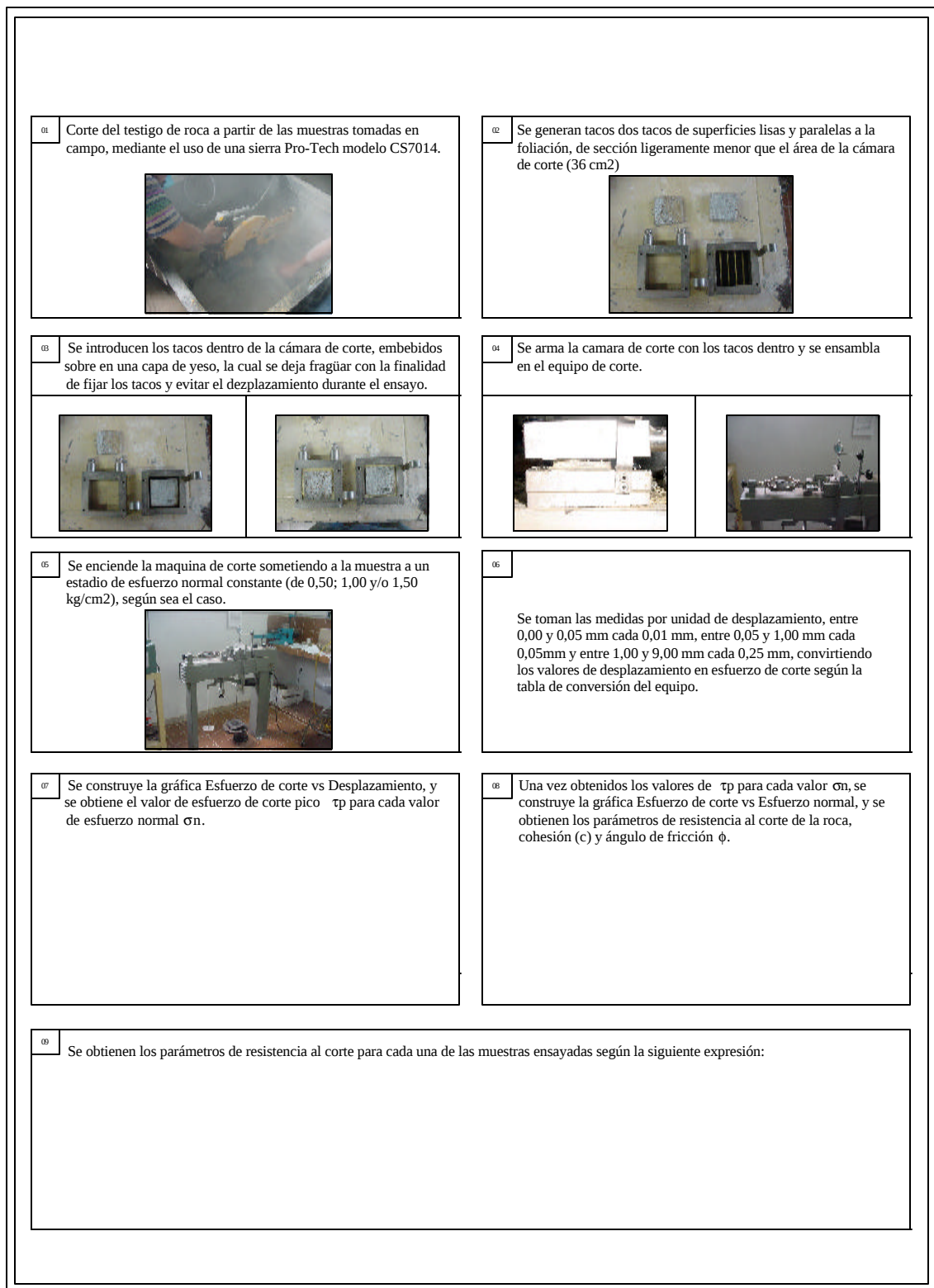
**Figura 14:** Procedimiento del ensayo de densidad.



**Figura 15:** Equipo de corte directo.

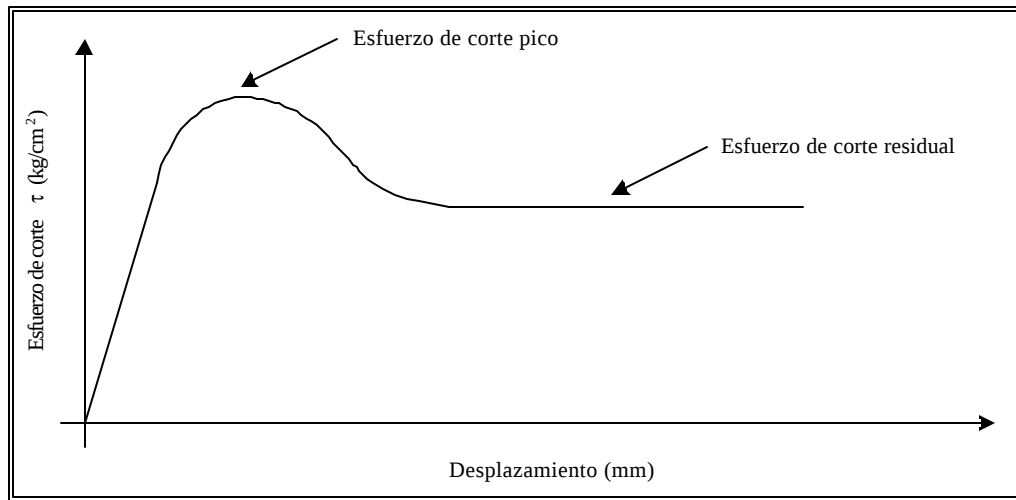
La metodología de ensayo se encuentra a continuación, además la Figura 16 resume este procedimiento:

- Se generan tacos de superficies lisas paralelas a la foliación, esto se realiza con el uso de un disco diamantado *Pro-Tech Contractor*. Estos tacos deben tener dimensiones ligeramente menores a la cámara de corte, es decir secciones menores  $36 \text{ cm}^2$ .
- Se ubican los tacos dentro de la cámara y sobre una capa de yeso, se espera a que fragüe este último, con la finalidad de fijar los tacos y evitar cualquier desplazamiento durante la ejecución del ensayo.
- Se corre el ensayo para los diferentes valores de esfuerzo normal ( $\sigma_n$ ), en este caso 0,50, 1,00 y 1,50  $\text{kg/cm}^2$ , aplicando los esfuerzos de corte ( $\tau$ ) en dirección perpendicular a la carga axial (esfuerzo normal) y paralelos a la dirección de las discontinuidades.
- Se estiman las deformaciones horizontales (desplazamientos), mediante un dial de lectura.



**Figura 16:** Procedimiento del ensayo de corte directo.

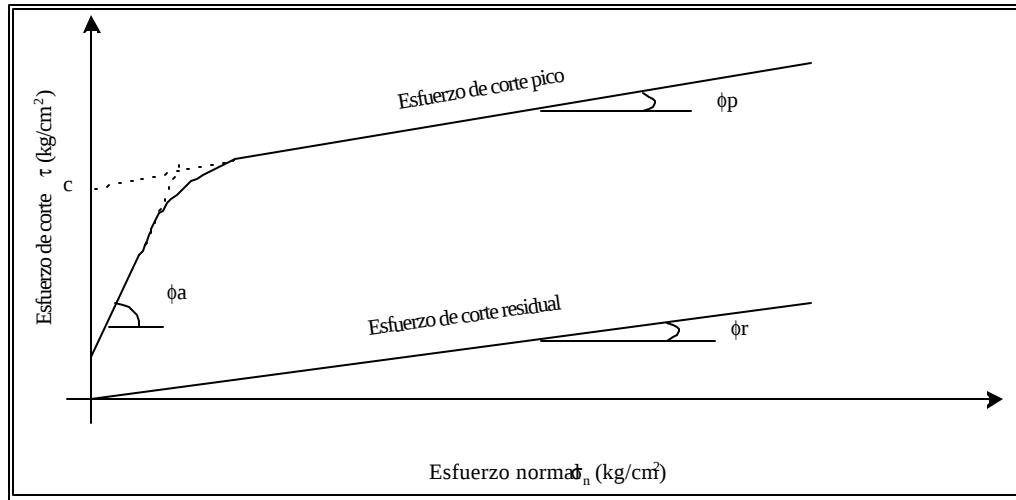
Para obtener los parámetros de resistencia al corte cohesión ( $c$ ) y ángulo de fricción ( $\phi$ ) se deben graficar los valores de resistencia al corte *versus* los desplazamientos según la Figura 17 de la cual se obtiene el esfuerzo de corte para el esfuerzo normal aplicado, siendo este el punto de inflexión (resistencia pico) de la curva como lo muestra la misma figura.



**Figura 17:** Curva típica de esfuerzo de corte *versus* desplazamiento.

La figura anterior indica que para los primeros instantes del ensayo el testigo de roca se comporta elásticamente, esto es evidenciado por el aumento de la resistencia al corte en poco desplazamiento, según se va superando la resistencia al movimiento (al esfuerzo cortante) la curva se aleja del comportamiento lineal hasta alcanzar el valor máximo de resistencia al corte, en el cual se obtiene el valor de resistencia al corte pico ( $\tau_p$ ), momento en el cual la curva desciende rápidamente hasta alcanzar un valor constante de resistencia al corte denominado resistencia al corte residual, el cual no varía con el desplazamiento.

Al obtener los puntos de esfuerzos de corte para cada valor de esfuerzo aplicado para los cuales se corrió el ensayo (por lo menos tres puntos) se construye la gráfica de la Figura 18 de Esfuerzo de corte ( $\tau$ ) *versus* Esfuerzo normal ( $\sigma_n$ ), a partir de la cual se obtiene la cohesión y la fricción según el criterio de rotura de Coulumb (STAGG, 1968):



**Figura 18:** Curva típica de esfuerzo de corte *versus* esfuerzo normal.

$$\tau = c + \sigma_n \operatorname{tg} [\phi_p + (\phi_a - \phi_r)]; \text{ Tomada de STAGG (1968)}$$

En donde:

- $\tau$  Esfuerzo de corte
- $c$  Cohesión
- $\sigma_n$  Esfuerzo normal
- $\phi_p$  Ángulo de fricción pico
- $\phi_a$  Ángulo de fricción aparente
- $\phi_r$  Ángulo de fricción residual

La expresión  $\phi_a - \phi_r$  en la ecuación anterior es lo que muchos autores incluyendo STAGG (1968) denominan rugosidad (i).

Como se vio en la Figura 18, al representar gráficamente los valores de resistencia la corte pico con los valores de esfuerzo normal aplicados se obtiene una curva casi recta, a partir de la cual es posible obtener los parámetros de resistencia al corte de la roca: la resistencia al esfuerzo de corte o cohesión ( $c$ ) y el ángulo de fricción ( $\phi$ ) o resistencia al esfuerzo de corte debido a la fricción entre las paredes de las discontinuidad.

## **2.5.- TRABAJO DE OFICINA**

En esta etapa, se realizó la recopilación y ordenamiento de la información obtenida en campo, en el laboratorio y en las referencias consultadas, así como también se realizó el análisis y procesamiento de la información de las fotografías aéreas e imágenes de radar, y de los resultados de los ensayos de laboratorio.

La revisión de los trabajos previos realizados, tanto en la zona como aquellos relacionados con los ensayos realizados durante este estudio, fue de gran importancia ya que contribuyó al establecimiento de estrategias tanto para el levantamiento de campo como para los ensayos de laboratorio realizados a partir de las muestras tomadas en campo.

### **2.5.1.- REPRESENTACIONES GRÁFICAS**

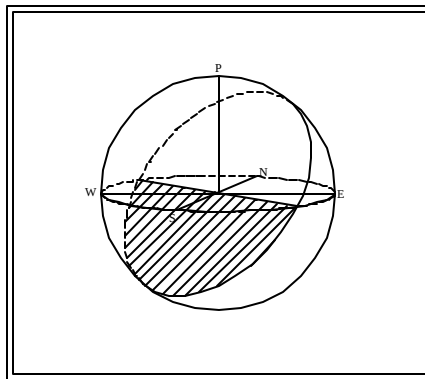
Una de las herramientas usadas durante el estudio de la estabilidad de los taludes, fue la representación gráfica de las discontinuidades levantadas en campo, esta se realizó según las especificaciones de la ISRM (1981), en los métodos sugeridos para la descripción cuantitativa de las discontinuidades en los macizos rocosos (*Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Mass*).

De las representaciones gráficas propuestas por la ISRM (1981), se utilizaron en este estudio las siguientes:

- Aquellas relacionadas con la simbología de los rumbos y buzamientos, cuya notación se muestra en la leyenda del Mapa 1 (Anexo I).
- La proyección hemisférica, sistema gráfico de amplio uso en la geología y en la geotecnia, mediante el cual es posible representar entre otras cosas la orientación espacial de planos geológicos.

Como lo indica PHILLIPS (1975), la proyección estereográfica se obtiene, en el plano ecuatorial de una esfera, uniendo los puntos del semicírculo de la mitad inferior de un círculo máximo con el cenit P de la esfera, marcando las intersecciones de estas uniones en el plano ecuatorial, ver Figura 19.

Estas proyecciones se utilizaron en particular para representar los rumbos y buzamientos de las discontinuidades en su presentación simple, así como también en diagramas de polos y en rosetas de discontinuidades, estas dos últimas usadas en particular para representar un gran número de discontinuidades, permitiendo agruparlas en familias, haciendo más sencillo los cálculos y las interpretaciones que se realizan a partir de los elementos estructurales.



**Figura 19:** Principios de la proyección estereográfica  
(Tomada de PHILLIPS, 1975)

## CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

### 3.1.- GENERALIDADES

La zona de estudio es considerada dentro de las Areas Bajo Régimen Ambiental Especial como Zona Protectora desde 1983, por tanto, las labores que pueden efectuarse son las que contemplen las leyes respectivas y las que determinan las normas técnicas que dicte el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR). En particular, pertenece a la Zona Protectora del Litoral Central, la cual fue creada con fines conservacionistas, recreacionales, educativos y de investigación como principales objetivos, para lograr un mejor aprovechamiento de los recursos naturales por parte de la colectividad.

### 3.2.- CLIMA

La zona climática de estudio es considerada como de sabana lluviosa con estación seca, caracterizada por la presencia de temperaturas altas durante todo el año. Según el sistema de clasificación de *Koeppen*, ZAMBRANO (1970), asigna una zona climática del tipo  $A_1w''(m)g'h$  al sur y  $A_1w''g'h_{-1}$  al norte, lo que se traduce en las siguientes condiciones climatológicas (ver Figura 20):

- A1: Temperatura media anual sobre 26 °C. Correspondiente a los climas tropicales cálidos (cálidos lluviosos). En donde el subíndice 1 según Freile (1968) representa al piso térmico clima tropical extremo de climas tropicales, ubicados en el caso de Venezuela, a alturas entre 0 y 300 m.
- w": Estación lluviosa en posición alta del sol, interrumpida por un período de sequía, se crean así dos periodos de lluvia y dos de sequía por año.
- m: Tipo monzónico; es decir con una corta estación seca (uno o dos meses), y un total de lluvias suficiente para que existan bosques húmedos.
- g': Tipo Sudan; es decir meses más cálidos después del solsticio de verano, con una temporada de lluvias en este solsticio.
- $i_0$  y  $i_{0-1}$ : Diferencia entre las temperaturas medias de los meses más fríos y más cálidos que se presentan en el curso de un año inferiores a 5 °C (Isotermos). Además el subíndice 0 indica que la temperatura media anual en °C esta entre 26 y 28 (para alturas entre 0 y 300 msnm), mientras que para el subíndice 1 esta entre 26 y 24.

Cabe destacar que la clasificación de *Koeppe*n es un sistema en el cual se identifican valores fijos de temperatura y precipitación, no teniéndose en cuenta parámetros como la presión atmosférica, los vientos, las masas de aire y los frentes.

Dentro de los factores más determinantes sobre estas condiciones climáticas en la zona de estudio se encuentran:

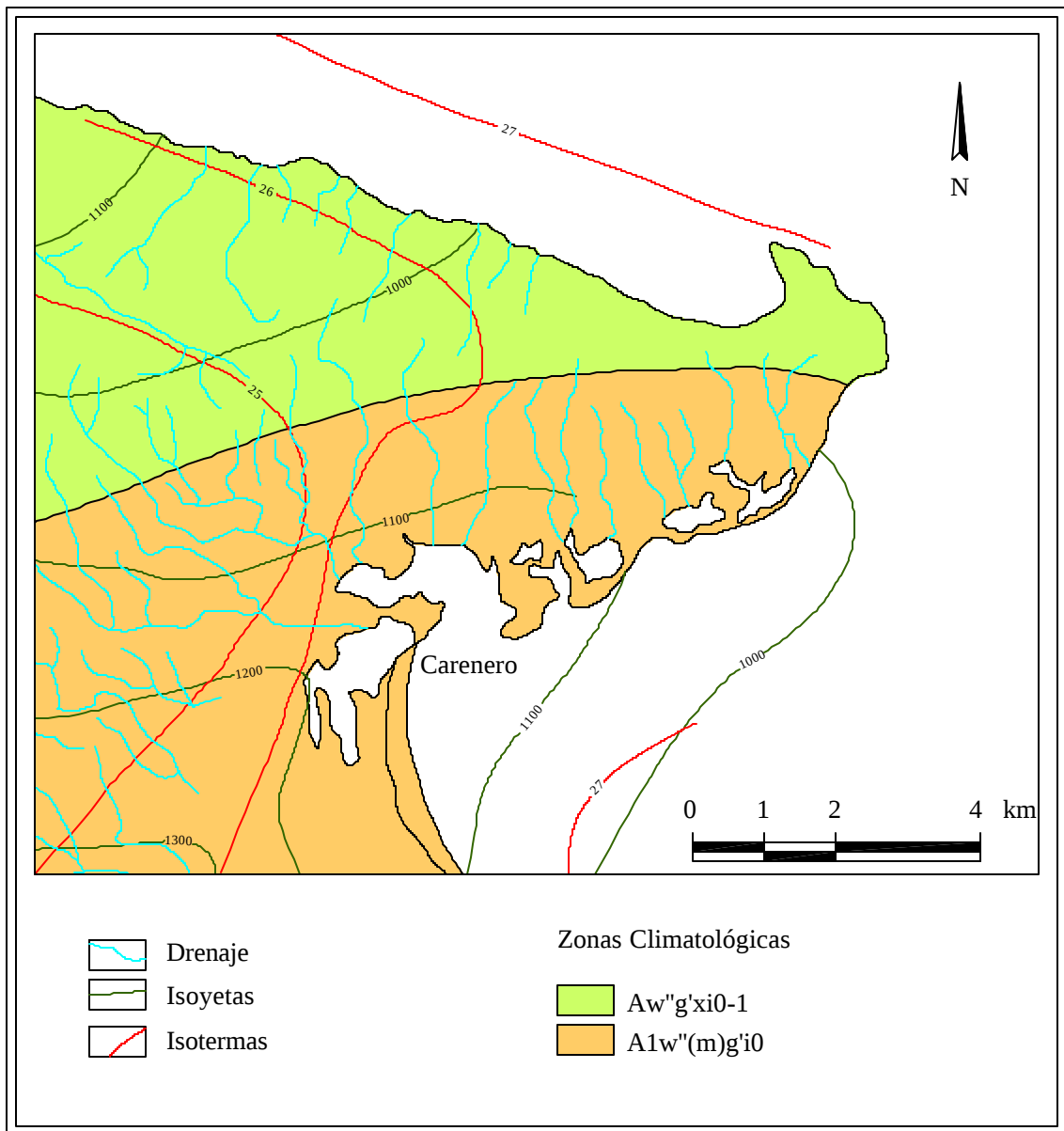
- La temperatura, influenciada por la latitud y la altitud.
- El vapor de agua, debido a las fuentes de evaporación de agua.
- Intervenciones antrópicas, más que todo en lo referente a la vegetación.

Para el MARNR (1985), el piso altitudinal correspondiente al de zona tropical con alturas entre 0 y 300 msnm, determina una temperatura bastante cálida durante todo el año, manteniéndose en promedio entre 26 y 28 °C; con un valor medio anual por encima de los 26 °C, ver Figura 20. Los climas tropicales húmedos se distinguen de otras regiones por el hecho de no presentar en el año una variación térmica de acuerdo a las estaciones; por lo menos en la temperatura media anual o mensual.

Según ZAMBRANO (1970), la precipitación media anual en la zona esta entre 1.000 y 1.200 mm (ver isoyetas, curvas de precipitación media anual en la Figura 20), siendo el promedio entre los años 1951 y 1996 de 1.142 mm según datos del MARNR, en la estación meteorológica ubicada propiamente en Carenero, con dos máximos de precipitación anual correspondientes con las posiciones solsticiales del sol (junio-diciembre). La torrencialidad de las lluvias alcanza valores entre 50 y 150 mm de lluvia en 24 horas; la cual es intensamente afectada por particularidades locales. Lo más importante de la precipitación de acuerdo al piso altitudinal de zona tropical es su variabilidad, tanto estacional como anual o mensual.

Datos del MARNR (1985), establecen una humedad relativa media anual de 78 %, la cual presenta una variación anual en relación íntima e inversa con las variaciones de temperatura; es decir, que se deben de presentar los mínimos de humedad en los meses equinocciales y los máximos en los meses solsticiales, especialmente en el solsticio de las lluvias.

Según FREILE (1968), por regla general, la nubosidad en las zonas tropicales es abundante todo el año; guardando estrecha relación con la época de lluvias, aunque la presencia cotidiana de cúmulos (nubes abundantes en cielos tropicales) no guarde relación con la precipitación.



**Figura 20:** Características físicas de la zona (Modificada de ZAMBRANO, 1970)

### **3.3.- RELIEVE**

Las formas topográficas presentes en la zona de estudio fueron identificadas a partir de las fotografías aéreas, además el trabajo de campo permitió dar un mejor entendimiento acerca del modelado de tales geoformas.

La zona de estudio representa una Unidad de Montañas de bajo relieve, con alturas no mayores de 300 msnm. La característica principal de esta unidad es la presencia de una fila de dirección oeste-este predominantemente, la cual va desde la carretera que comunica a Carenero con Chirimena, hasta la carretera que va a Puerto Francés, doblando bruscamente hacia el sur justo antes de llegar a este punto y tomando una dirección aproximada de S65E, con crestas redondeadas y de pendientes y laderas asimétricas, siendo el declive de estas, hacia el norte mayor que hacia el sur, en general a lo largo de toda su extensión mantiene una altura constante.

El drenaje que las corta es correspondiente con la topografía, y de moderada densidad, encontrándose poco entallado. La vegetación es moderadamente densa.

A partir de esta fila principal se desprenden hacia el sur, una serie de estribaciones con dirección preferencial norte-sur, de laderas y pendientes simétricas de suave declive, tanto al oeste como al este de las mismas. Presentan crestas redondeadas, con poca a moderada densidad de drenaje, poco entallados. La altura de estas estribaciones disminuye de norte a sur de manera poco significativa, estas estribaciones representan verdaderos interfluvios.

Entre estas estribaciones se presentan un conjunto de valles de orientación paralela a la línea de cresta de estas, con laderas de pendientes suaves y de anchura poco variable a lo largo de toda su ocupación.

Las diferencias más contrastantes en lo que a formas topográficas se refiere, se observan a lo largo de toda la línea de costa, en especial al norte de la zona, en donde generalmente la unidad culmina de forma abrupta contra el mar, sin la presencia de terrazas aluviales.

### **3.4.- DRENAJE**

Al igual que el relieve el sistema de drenaje fue interpretado a partir de las fotografías aéreas, a continuación se presenta una descripción de las características más resaltantes observadas durante la fotointerpretación.

En la zona de estudio se distinguen claramente dos cuencas de drenaje, representadas ambas por la línea de costa, al sur y al norte. La cuenca sur es la de más importancia ya que es la que cubre mayor superficie y además recolecta las aguas de mayor cantidad de quebradas que la cuenca norte.

La dirección y el sentido general de la corriente de las quebradas principales en la cuenca sur como ya se ha mencionado, de aguas arriba hacia aguas abajo es norte-sur, con una trayectoria generalmente rectilínea a lo largo de todo su cauce. Estas quebradas en su mayoría y a lo largo de todo su trayecto, generan valles aluviales de poco anchura, con excepciones, por ejemplo la Quebrada Laguna Grande, en la cual se han generado valles con anchuras superiores al promedio observado en otras quebradas. Estos valles están formados por una sola terraza de material reciente. Las quebradas se desplazan de forma irregular a lo largo de estos valles, recostándose de ambas laderas o fluyendo por el centro de este.

El patrón de drenaje en esta cuenca a nivel general es subparalelo, caracterizado por la presencia de quebradas principales de dirección norte-sur, las cuales presentan numerosos tributarios que vierten sus aguas en esta de manera oblicua (casi ortogonales) a la dirección de la quebrada principal, es decir en dirección este-oeste.

Por su parte la cuenca norte esta conformada por una serie de pequeñas quebradas de poco trayecto que corren en sentido sur-norte desde la línea de cresta principal, con una trayectoria rectilínea desde este punto hasta la línea de costa. El corto trayecto que recorren estas quebradas no permite la formación de valles aluviales, por el contrario y a diferencias de las quebradas principales de la cuenca sur, estas se encuentran levemente entalladas. La poca densidad de drenaje en esta cuenca no permite definir algún patrón de drenaje en especial.

La uniformidad de la red de drenaje en la zona predice la homogeneidad de la litología presente en esta, por su parte la moderada densidad observada puede ser el resultado de la poca competencia de las rocas presentes o del alto nivel de fracturamiento, el cual puede ser ocasionado por su ubicación dentro del marco tectónico del Caribe, o por ambas. En términos generales los drenajes presentes en la zona se encuentran claramente adaptados a la topografía.

### **3.5.- EROSIÓN Y METEORIZACIÓN**

En la zona de estudio los procesos de erosión y meteorización son especialmente intensos y acelerados debido principalmente a:

- Las constantes elevadas temperaturas.
- Aguas meteóricas y fluviales.
- Cercanía a la costa.

Las zonas más susceptibles a estos procesos son aquellas de mayor pendiente, de menor cubierta vegetal, más cercanas a la línea de costa y en especial aquellas que combinen cualquiera de estas condiciones.

### **3.6.- SUELOS Y VEGETACION**

De acuerdo con ZAMBRANO (1970), los tipos de suelos presentes en la zona corresponden a los siguientes subórdenes basados en el sistema de clasificación de la *Soil Taxonomi*:

- 1O o *Orthents*: del orden *Entisols*, representan suelos muy recientes, usualmente aluvionales de río, de variable textura y mineralogía, que ocurren principalmente en zonas áridas o áreas sujetas a fuerte erosión.
- 2T o *Tropepts*: del orden *Inceptisols*, son suelos recientes, con características afectadas por mal drenaje y/o con formación estructural, con amplia variación mineralógica.
- 5Us o *Ustalfs*: del orden *Alfisols*, generalmente son suelos bien drenados, comunes en antiguas terrazas aluviales, de moderada a baja erosión.
- 6Us o *Ustults*: del orden *Ultisols*, son suelos que se caracterizan por estar saturados con agua por largos períodos, húmedos gran parte del año y con larga estación seca.
- 7Us o *Ustoxs*: del orden *Oxisols*, representan a suelos antiguos con extremo grado de meteorización, estando generalmente bajo vegetación boscosa.

La formación de los suelos esta controlada por las condiciones climáticas y de humedad presentes en la zona de estudio, unido de forma estrecha con el tipo de vegetación. Debido a estas condiciones los suelos se encuentran muy evolucionados, con una mediana acumulación de materia orgánica, enriquecimiento de arcilla en el horizonte B y acidificación de los perfiles de suelo por lavado, lo que según MOGOLLÓN & COMERMA (1994) corresponde a suelos de los subórdenes *Tropepts* y *Ustults*.

De acuerdo a ZAMBRANO (1970), la diversidad de suelos presentes en la zona guarda especial correspondencia con la variabilidad del clima tropical, explicado esto por el aumento progresivo de las precipitaciones desde la costa hacia el continente, así como también a problemas locales de drenaje asociados con inundaciones o por el alto nivel freático que afecta en gran parte de esta zona.

Según el MARNR (1985), la vegetación que se desarrolla en esta zona corresponde a bosques tropófilos, debido a la elevada precipitación, a las altas temperaturas y a la evaporación; al igual que la correspondencia entre la vegetación y los tipos climáticos de *Koeppen* la cual indica que para una zona climática de sabana lluviosa corresponden bosques húmedos tropófilos, con 6 y 9 meses de lluvia.

Los bosques tropicales tropófilos no son verdes durante todo el año, pues debido al régimen pluviométrico se origina un tipo de vegetación similar a la caducifolia. El factor determinante en este tipo de vegetación es el número de meses de lluvia y sequía (de la designación de climas de sabana), el cual puede variar entre 6 y 9 meses.

## **GEOLOGÍA REGIONAL**

### **4.1.- GENERALIDADES**

En términos geológicos, la zona de estudio se puede considerar complicada debido a que esta forma parte del Sistema Montañoso del Caribe, sistema tectónico enmarcado en la zona limítrofe de dos placas tectónicas como lo son la Placa Caribe al norte y la Placa Suramericana al sur. Como consecuencia de esto, la zona cuenta con una gran variedad de tipos litológicos, los cuales han sufrido diferentes procesos de deformación y metamorfismo.

### **4.2.- LITOLOGÍA**

A grandes rasgos se puede decir que existen dos tipos litológicos en la zona, un grupo de rocas metamórficas y otro de rocas sedimentarias y sedimentos recientes, dentro de los cuales se encuentran una serie de tipos litológicos con características distintivas entre ellos que los hacen diferenciables unos con otros, tanto en campo como en laboratorio. Estos tipos litológicos serán descritos a continuación a partir de estudios previos realizados donde han sido reportados.

Por su parte la Tabla III-1 del Anexo III, resume los principales aportes realizados por diversos autores en cuanto a las unidades litodémicas que afloran en la zona de estudio, es decir el Complejo de San Julián y el Esquisto de Las Mercedes.

#### 4.2.1.- COMPLEJO DE SAN JULIÁN

URBANI & OSTOS (1988) proponen este nombre para incluir al esquisto cuarzo-plagioclásico-micáceo que rodea a las rocas graníticas del Augengneis de Peña de Mora. Esta unidad recibe el nombre de su localidad tipo que se encuentra en la quebrada de San Julián, al sur de Caraballeda, y se extiende desde Cabo Codera hasta la zona de Puerto Cruz, continuando hasta la zona de Valencia-Maracay.

La litología preponderante según estos autores es el esquisto cuarzo-plagioclásico-micáceo que a veces pasa gradacionalmente a una granulometría más gruesa adquiriendo un carácter claramente gnéisico. Una característica resaltante en ciertos afloramientos del esquisto, es que la plagioclasa (albita-oligoclasa) desarrolla una textura marcadamente porfidoblástica, y cuando su concentración es alta puede enmascarar a la foliación, impartiendo a la roca un aspecto moteado.

Según las características texturales, mineralógicas y la composición química, URBANI & OSTOS (1988) concluyen que los esquistos son de origen sedimentario (pelíticas y psamíticas), mientras que los gneises presentan afinidad ígnea; ambos tipos litológicos metamorfizados en un régimen de P/T intermedia a baja, alcanzando las zonas de la biotita y del almandino. Por último consideran que las rocas de esta unidad representan un conjunto de facies plataformales, de talud y pie de talud.

URBANI *et al.* (1989a y 1989b), incluyen en sus trabajos asociaciones mineralógicas metamórficas para los diferentes tipos litológicos reportados, lo cual indica un metamorfismo de bajo grado en la facies de los esquistos verdes, zona de la clorita, con relación P/T baja.

A pesar de los escasos datos geocronológicos existentes, URBANI (1982) realiza un recalcu de la edad del Complejo de San Julián asignándole una edad genérica de Paleozoico-Precámbrico al Complejo Ávila, dentro del cual se incluye al Complejo de San Julián.

#### 4.2.2.- ESQUISTO DE LAS MERCEDES

AGUERREVERE & ZULOAGA (1937), presentan el primer estudio formal de las rocas metamórficas de la Cordillera de la Costa, como resultado del reconocimiento en ellas de antiguas series sedimentarias, estudio realizado en principio con la intención de aportar información a la Estratigrafía General de Venezuela, pero que además sirvió de base para los posteriores trabajos que sobre estas rocas se hicieran. Para esa fecha se describe el Esquisto de Las Mercedes como esquistos principalmente calcáreos con zonas grafitosas y localmente micáceas, de color rosado debido a la oxidación de la pirita, formados por un alto porcentaje de calcita y proporciones variables de grafito, mica, cuarzo y pirita, pertenecientes a la Serie de Caracas, además incluyen en esta una fase calcárea llamada Fase Los Colorados, constituida por calizas oscuras interestratificadas con capas de esquistos micáceos y arcillosos. Posteriormente en 1938 y ajustándose al Comité de Nomenclatura, estos autores definen este esquisto como Formación Las Mercedes dentro del Grupo Caracas.

DENGO (1951) por su parte, la describe como un esquisto calcáreo consistente de entre 25 y 50 % de calcita recrystalizada, con mucho cuarzo, muscovita, clorita y grafito, con capas de caliza en la base (Fase Los Colorados en AGUERREVERE & ZULOAGA, 1938). En este trabajo el autor incluye características petrológicas de las rocas de la Cordillera de la Costa y concluye diciendo que, estas han sido afectadas por un metamorfismo dinamotermal, con deformaciones ocurridas bajo presiones dirigidas tangencialmente, acompañadas probablemente por invasiones de material granítico y granodiorítico, además plantea que una sucesión de rocas, que consistía de sedimentos arenáceos, calcáreos y pelíticos y de rocas ígneas basálticas, fue transformada durante el metamorfismo en gneises, esquistos, mármoles y anfibolitas.

La localidad tipo propuesta originalmente por AGUERREVERE & ZULOAGA (1937), se encuentra en la antigua Hacienda Las Mercedes, hoy día convertida en las estructuradas urbanizaciones de Las Mercedes y Valle Arriba, lo cual según WEHRMANN (1972) ocasiona la pérdida de esta localidad del carácter de tipificar al

Esquisto, proponiendo como sección de referencia la carretera Petare-Santa Lucía, en donde se presentan afloramientos casi continuos en una sección completa, por otro lado URBANI (1999) menciona la ubicación de secciones bien expuestas en el tramo de Hoyo de La Puerta-Charallave, así como en la Quebrada Las Canoas, al sureste de Hoyo de La Puerta.

En cuanto a la edad del Esquisto, son muchos los autores que han expresado su punto de vista, todos ellos se agrupan en cualquiera de estas tendencias: (a) correlación o ausencia de correlación entre el Grupo Caracas y rocas metamorfizadas de edad conocida en áreas de estudio diferente a la propia de cada uno de ellos; (b) correlación del Grupo Caracas con rocas no metamorfizadas de edad conocida; (c) transiciones de rocas no metamorfizadas de edad conocida a rocas del Grupo Caracas y (d) evidencias paleontológicas basadas en fósiles encontrados en rocas metamorfizadas correlacionadas con el Grupo Caracas.

AGUERREVERE & ZULOAGA (1937) sugieren la correlación de este complejo metamórfico tanto con rocas no metamorfizadas pero con edades Cretácicas bien establecidas en el occidente del país, como con rocas de la Cordillera Norte en Trinidad (con fósiles encontrados en estas de edad Cretácica). Por su parte WOLCOTT (1943) basado en la identificación de varios macrofósiles (conchas de Pelecípodos y Gasterópodos) encontrados en algunos lentes de caliza interestratificados con los esquistos de la Formación Las Mercedes, sugiere edad Jurásico-Cretácico para la Formación.

En su trabajo sobre la geología estructural de Venezuela BUCHER (1952), determinó que el Grupo Caracas no incluía unidades estratigráficas típicas del Pre-Cretáceo en los Andes, y debido a que él consideraba el metamorfismo de la Cordillera de la Costa como de bajo grado, no le pareció que este pudiera borrar características de estas formaciones, lo cual le sugirió que el Grupo Caracas no contenía rocas paleozoicas. Sin embargo y basándose en un análisis estructural y litológico propuso correlacionar a la Formación Las Mercedes con la Formación La Luna (Turonense-Coniacense).

Haciendo un análisis de las correlaciones realizadas por otros autores y asumiendo que las evidencias paleontológicas encontradas para la época eran correctas, SMITH (1952) estableció una correlación que pone en contacto a las formaciones Las Brisas y Las Mercedes cerca del tope del Albiense (Cretácico Medio), además sugiere que esta última continuó su depositación hasta el Turoniense Inferior (a finales del Cretácico Medio), cuando la secuencia fue parcialmente levantada, y las rocas se vieron afectadas por el primer metamorfismo.

#### **4.2.3.- FORMACIÓN ARAMINA**

BUCHER (1952) menciona una gruesa secuencia de conglomerados de origen marino de edad Mioceno Medio, que se encuentra discordantemente sobre rocas del Eoceno, del Cretácico y rocas ígneas básicas, con un espesor que aparenta ser mayor de 5.000 pies.

YOUNG *et al.* (1956), le asigna una edad Mioceno Medio, y describe la Formación como un conglomerado basal, calizas impuras con fragmentos de esquistos, lutitas y areniscas limosas, pobremente consolidadas, con un espesor de 1.600 m.

En su trabajo FEO CODECIDO (1962), además de una buena revisión y discusión de informes previos, incluye un mapa con la distribución de los afloramientos de la Formación. La describe como un conglomerado basal de 30 a 50 m de espesor, con fragmentos angulares de esquistos, con alguna calizas impuras y con intercalaciones de arcillas lutíticas grises verdosas, arcillas y areniscas, con ocasionales calizas limosas hacia la base de la Formación, estimando un espesor máximo de 1.656 m, medido en la quebrada Aramina (localidad tipo).

BERMÚDEZ (1966), la describe como una secuencia sedimentaria con conglomerados en la base, arenas, margas, lutitas, arcillas verdosas y areniscas intercaladas, con calizas limolíticas en la parte superior, que yace discordantemente sobre las rocas metamórficas y que es infrayacente a la Formación Mamporal. Según su estudio del conjunto faunal encontrado le asigna una edad Mioceno Superior. En

base a un estudio de foraminíferos propone elevar a rango formacional a las Capas de Carenero, descritas como lutitas fosilíferas, explicando que la conveniencia de nombrar esta unidad estriba en su litología y contenido faunal característicos de ambientes de aguas profundas, que la diferencian de otras unidades en la cuenca.

MACSOTAY (1971) asigna a la Formación Aramina a las zonas de la *Turritella gatunesis*, *Turritella berjadinensis*, del Mioceno Medio, y las zonas de la *Turritella planigyrata* y la *Turritella caronensis*, del Mioceno Superior.

URBANI (1977), define la secuencia como un conglomerado basal de 50 a 60 m de espesor con estratificación gruesa, con cemento calcáreo y fragmentos angulares de esquistos, sobre este conglomerado describe una interestratificación de areniscas, conglomerados y calizas impuras con pequeños fragmentos angulares, subangulares y redondeados de esquistos, cuarzo y mármol, con una sección suprayacente al conglomerado la cual consiste principalmente de arcillas lutíticas, arcillitas y areniscas.

#### **4.3.- MARCO TECTÓNICO**

Son muchos los autores que han estudiado la tectónica del Sistema Montañoso del Caribe en Venezuela, y en la mayoría de los casos estos pueden ser agrupados en dos claras tendencias: (I) los que coinciden en dividir el Sistema en 4 Fajas Tectónicas, y (II) los que lo dividen en 2 Cinturones Tectónicos subdivididos a la vez en 8 Fajas Tectónicas.

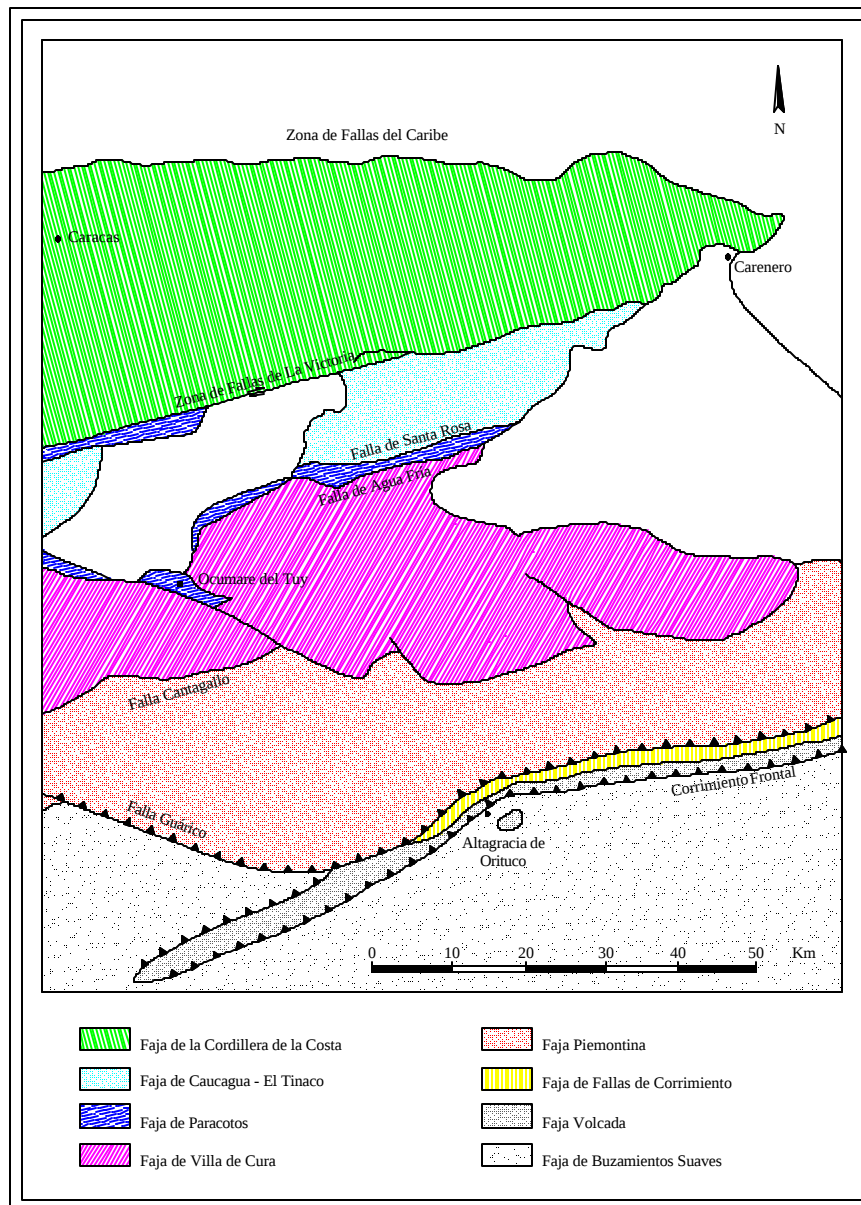
MENÉNDEZ (1966), fue el primero en dividir formalmente el del Sistema Montañoso del Caribe en Venezuela en 4 Fajas Tectónicas, basado en criterios estructurales que se presentan a través de las montañas, separados entre sí por tres fallas principales de extensión regional con rumbo generalizado este-oeste, estas fajas tectónicas de norte a sur son: Faja Tectónica de la Cordillera de la Costa, Faja Tectónica de Caucagua-El Tinaco, Faja Tectónica de Paracotos, y el Bloque alóctono de Villa de Cura.

Como resultado de su investigación hecha en la región de Camatagua, BELL (1968), agrega al Sistema Montañoso del Caribe en Venezuela cuatro fajas tectónicas adicionales a las previamente establecidas por el autor anterior, las cuales de sur a norte denominó de la siguiente forma: Faja de Buzamientos Suaves, Faja Volcada, Zona de Fallas de Corrimiento y Faja Piemontina. Todas estas fajas son paralelas al eje de la Cordillera de la Costa, y se extienden por distancias de 230 a 370 km a lo largo del rumbo estructural.

BELLIZZIA (1972), integra las fajas tectónicas ya definidas y divide el Sistema Montañoso del Caribe en ocho fajas tectónicas bien definidas desde el punto de vista estratigráfico-estructural: Faja de la Cordillera de la Costa; Faja de Caucagua-El Tinaco; Faja de Paracotos; Faja de Villa de Cura; Faja Piemontina; Faja de Fallas de Corrimiento; Faja Volcada y Faja de Buzamientos Suaves, ver Figura 21.

#### **4.3.1.- FAJA TECTÓNICA DE LA CORDILLERA DE LA COSTA**

La Faja Tectónica de la Cordillera de la Costa según la definió MENÉNDEZ (1966), ocupa la parte más septentrional del Sistema Montañoso del Caribe en Venezuela, limitada al sur por la zona de fallas de La Victoria y al norte por la zona de fallas del Caribe, litológicamente esta constituida por rocas del Grupo Caracas y el complejo Granítico de Sebastopol, aumentando el grado de metamorfismo de sur a norte. La foliación en esta faja es principalmente paralela a la estratificación. El anticlinal completamente fallado del Avila se encuentra en la parte más septentrional de la faja, en el núcleo de este pliegue aflora el basamento granítico, el flanco norte esta cortado por varias fallas de corrimiento que buzan hacia el sur, el flanco sur por su parte está cortado por varias fallas en *échelon* (zona de Fallas del Avila).



**Figura 21: Marco Tectónico regional**  
(Modificado de BELL, 1968 y BELLIZZIA, 1972).

URBANI & OSTOS (1988) y URBANI (1988), dividen la Cordillera de la Costa en tres fajas según asociaciones litológicas, las cuales son: (1) una faja septentrional donde predominan las rocas metaígneas máficas y ultramáficas, (2) una faja central donde las litologías características son los gneises graníticos, usualmente rodeado por un esquisto cuarzo-plagioclásico micáceo de alto grado metamórfico, caracterizado por la presencia del mineral metamórfico biotita en coexistencia con el almandino (asociación biotita-granate, índice de alto grado metamórfico), y (3) una faja generalmente ubicada al sur de la zona de Fallas de El Ávila, La Victoria y Las Trincheras-Mariara, donde aflora una secuencia de rocas metasedimentarias pertenecientes al Grupo Caracas, fundamentalmente constituida por sedimentos pelíticos y psamíticos metamorizados a la facie de los esquistos verdes.

Según OSTOS (1990) los cinturones tectónicos del Sistema Montañoso del Caribe han sido fuertemente deformados, en cuatro fases de plegamientos reconocidas, las primeras dos fases de deformación fueron identificadas en el cinturón tectónico Cauagua-El Tinaco y ellas probablemente fueron el resultado de una orogénesis ocurrida durante el Pérmico, la cual debió afectar también al cinturón de la Cordillera de la Costa, mientras que las dos últimas fases de deformación fueron reconocidas en todos los cinturones, y probablemente se generaron durante la orogénesis del Cretácico Tardío-Terciario. En el Sistema montañosos del Caribe fueron reconocidas tres generaciones de fallas las cuales son: fallas transcurrentes dextrales y de corrimiento de orientación este-oeste, fallas transcurrentes dextrales orientadas noroeste-sureste, además fallas normales con rumbo este-oeste, las cuales son interpretadas como posteriores a las anteriores y son en la actualidad activas.

#### 4.3.2.- METAMORFISMO

Según BELL (1968), en la Faja de la Cordillera de la Costa, la mineralogía del Grupo Caracas indica que, para la época de su metamorfismo, se encontraba enterrada a una profundidad de unos 30 kilómetros, lo que representa una evidencia de un considerable combamiento hacia abajo en esta zona, adicionalmente, existen evidencias de que el grado metamórfico disminuye hacia el sur en esta faja.

BELL (1971), demuestra mediante un esquema como ha ido incrementado la intensidad de la actividad tectónica a través del tiempo. En el área de la Cordillera de la Costa durante el Jurásico y el Cretácico, mientras la subsidencia y el levantamiento ocurrían al mismo tiempo. De acuerdo al modelo presentado por el autor, los sedimentos fueron enterrados a profundidades entre 20 y 30 km, y metamorfizados a facies del epidoto-anfibolita, esquistos azules y esquistos verdes.

MARESCH (1974) describe una distribución de las facies en el Sistema Montañoso del Caribe mostrando una clara zonación de facies metamórficas, que va de sur a norte desde rocas no metamorfizadas de edad Cretácica hasta rocas metamorfizadas en la facies de epidoto-anfibolita en la Faja Tectónica de La Cordillera de la Costa, apartando la faja de Villa de Cura, interpretada por el autor como un *klippe*, pasando por la Faja de Paracotos en la facies de zeolita a prehnita-pumpellita y por la Faja de Caucagua-El Tinaco, en la facies de los esquistos verdes.

En relación al metamorfismo de la Faja Tectónica de la Cordillera de la Costa, OSTOS (1990) menciona que, varios períodos de metamorfismo han ocurrido en el norte de Venezuela durante el Precámbrico y el Paleozoico, además de un importante evento durante el Cretácico, y que en particular esta Faja fue afectada por un metamorfismo de relación P/T intermedia, probablemente debido a la poca profundidad que pudieron alcanzar estas rocas, estos eventos los relaciono con un proceso de subducción y posterior levantamiento en un borde convergente, lo cual ubica a sus litologías en las facies de los esquistos verdes, anfibolita epidótica y anfibolita.

#### **4.4.- AMENAZA SÍSMICA**

Según la Norma de Edificaciones Sismoresistentes COVENIN-FUNVISIS 1756-1998, del año 1998 (revisada en el 2001), la zona de estudio se encuentra en una zona sísmica 5, lo que según esta norma se traduce en una zona en la cual la peligrosidad sísmica es elevada, en donde se espera una aceleración ( $a_0$ ) en suelo de 0,3 g, con un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años.

A partir de la caracterización geotécnica del terreno y de acuerdo con esta norma, el perfil del subsuelo puede clasificarse como un S1, ya que el perfil del subsuelo de la zona se caracteriza por la presencia de la roca meteorizada a distintos niveles, disminuyendo este junto con la profundización de la roca en el subsuelo.

## **GEOLOGÍA LOCAL**

### **5.1.- GENERALIDADES**

Esta etapa consistió en un levantamiento geológico convencional en toda la zona de estudio, cuyo objetivo fue el de identificar las unidades litológicas que afloran en la zona de estudio así como las relaciones estructurales entre ellas.

### **5.2.- MÉTODOS GEOLÓGICOS DE CAMPO**

Como ya se ha mencionado el levantamiento geológico realizado, consistió en:

- Identificación de la mineralogía y de los litotipos que afloran en el área de estudio, describiendo en cada punto: rumbo y buzamiento de la foliación, color fresco y color meteorizado, reacción al ácido clorhídrico, rebote del pistón del Martillo de *Schmidt*, litología.
- Identificación de estructuras de deformación tales como: fallas, espejos de falla, contactos de falla, pliegues, budines.

Con la finalidad de realizar la identificación petrográfica de la roca y los ensayos de laboratorio de caracterización geotécnica, se recolectaron en campo un total de 43 muestras, distribuidas en toda la zona de estudio, dentro de las cuales se encuentra por lo menos una de cada litotipo observado en campo. Los puntos de muestreo se encuentran ubicados en el Mapa 1 (Anexo I).

### **5.2.1.- UNIDADES LITOLÓGICAS**

De acuerdo a la mineralogía y a la textura de las rocas vistas en campo se pudieron identificar 6 tipos litológicos a saber:

- Unidad sedimentaria
- Esquisto cuarzo plagioclásico
- Serpentinita
- Mármol
- Esquisto cuarzo micáceo
- Gneis feldespático

Estos litotipos afloran en áreas muy específicas dentro de la zona de estudio, lo cual permite hacer una primera separación en unidades litológicas independientes, las cuales posteriormente y una vez realizada petrografía de las secciones finas, serán correlacionadas con las unidades litodémicas definidas en la zona.

Los contactos entre las diferentes unidades litológicas no fueron reportados en campo debido a los pocos afloramientos vistos, y a la no muy buena calidad de exposición de los mismos, sin embargo este fue interpretado a partir del levantamiento geológico junto con la fotointerpretación. La distribución de estas unidades litológicas y los contactos inferidos se pueden observar en el Mapa 1 del Anexo I.

#### **5.2.1.1.- UNIDAD SEDIMENTARIA**

La unidad sedimentaria se encuentra suprayacente a las rocas metamórficas vistas en campo, y esta constituida por una secuencia de conglomerados principalmente, compuesta de fragmentos angulares de esquistos y de fragmentos redondeados a subredondeados de cuarzo, intercalados con capas limosas, arenolimosas y arcillo

limosas, en algunos afloramientos es posible observar capas de calizas fosilíferas con presencia de conchas de ostras de gran tamaño, así como también lutitas yesíferas de considerable espesor, la Figura 22 muestra un afloramiento típico de esta unidad.



**Figura 22:** Unidad sedimentaria.

Hacia el oeste de la zona de estudio no fue posible diferenciar en campo el contacto de estas rocas con las metamórficas, mientras que hacia el este, el contacto entre estas dos litologías aflora en varias localidades. Este contacto es litológica y geométricamente discordante, aunque en algunos lugares la foliación de las metamórficas pareciera ser paralela a la estratificación de estas rocas sedimentarias, ver Figura 23.



**Figura 23:** Contacto litológico entre las metamórficas y las sedimentarias.

#### **5.2.1.2.- UNIDAD I: UNIDAD DE ESQUISTOS CUARZO PLAGIOCLÁSICOS**

La unidad aflora en la parte este de la zona de estudio (ver Mapa 1, Anexo I), todos los afloramientos dentro de la planta pertenecen a ella. Se caracteriza por ser una roca de foliación buena a moderada, compuesta principalmente por cuarzo, micas y pequeños cristales de plagioclasas. La foliación disminuye de sur a norte en esta unidad, mientras que el contenido de plagioclasas aumenta en este sentido. Debido al grado de deformación de la zona no se identifica un patrón de foliación, sin embargo en la mayoría de los casos estos buzcan hacia el sur.

Los esquistos al sur de la unidad en principio fueron descritos como un esquisto micáceo con cuarzo y grafito, principalmente por la foliación que este presenta, sin embargo al realizar la inspección con una lupa se logran ver pequeños cristales de plagioclase, los cuales se van haciendo más comunes como ya se dijo, hacia el norte. Hacia la zona central de la zona es posible identificar, además de la mineralogía ya mencionada, la presencia en estos esquistos de cristales de granate.

En ninguna de las localidades dentro de esta unidad hubo reacción de la roca frente al ácido clorhídrico, lo cual implica la ausencia de carbonatos en la misma.

Una característica importante de esta unidad, es que es común observar como se intercalan bandas de la misma roca con diferentes granulometrías, siendo las de grano más grueso más competentes y generalmente de mayor espesor. La Figura 24 muestra el afloramiento típico de esta unidad, y un detalle del mismo, en la cual es posible observar la intercalación de bandas de diferentes granulometrías.



a.- Afloramiento de la unidad dentro de la planta de combustible

b.- Detalle

**Figura 24:** Unidad de esquistos cuarzo plagioclásicos.

#### **5.2.1.2.1.- UNIDAD II: SUBUNIDAD DE SERPENTINITAS**

El cuerpo de serpentinita reportado en campo se encuentra el punto 026 del levantamiento geológico (ver Mapa 1, Anexo I), aflorando en un pequeño afluente de la Quebrada Horno, y es considerado como una subunidad dentro de la unidad de esquistos cuarzo plagioclásicos debido a su corta extensión y a su ubicación dentro de los esquistos de esta unidad. Esta unidad no aflora en la planta.

Este cuerpo serpentínico en particular posee una muy buena foliación y se aleja mucho al aspecto masivo característico de este tipo de roca en otras localidades de la Cordillera de la Costa, es por esta razón que en campo se describió en principio como un esquisto clorítico, debido a su color verde y la buena foliación exhibida. Sin embargo al plotear este cuerpo en el mapa geológico condujo a identificarlo más bien como un cuerpo de serpentinita, ya que es más común encontrar estas litologías con esta geometría de lentes.

En campo, esta roca se presenta con un color fresco verde oscuro y color meteorizado verde claro y no reacciona al ácido clorhídrico. Los contactos de esta roca con otros tipos litológicos no fueron reportados en campo, esta parece simplemente desaparecer hacia subsuelo, para no aparecer más en ninguna de las quebradas adyacentes.

#### **5.2.1.2.2.- UNIDAD III: SUBUNIDAD DE MÁRMOL**

Se presenta en forma de lente y a pesar de su extensión lateral (comprobada entre dos quebradas), este cuerpo calcáreo (mármol) es considerado como una subunidad dentro de la unidad de esquistos cuarzo plagioclásicos, más que todo por su ubicación relativa dentro de la zona de estudio. Esta subunidad fue reportada en campo en los puntos 027 y 050, en las quebradas Laguna Grande y La Zorra respectivamente (ver Mapa 1, Anexo I). Al igual que la subunidad anterior este litotipo no aflora dentro de la planta de combustible.

Existen varias características de campo que permiten identificar fácilmente esta subunidad, estas son:

- Textura superficial *karstica*, producida por la meteorización por aguas meteóricas (ver Figura 25).
- Color gris oscuro.
- Aspecto masivo en bandas de colores grises intercalados con bandas de color blanquecino mucho más delgadas que las primeras.
- Reacción frente al ácido clorhídrico.

Es importante mencionar que la ocurrencia de cantos rodados de mármol, en la quebrada Laguna Grande es bastante mayor que en la quebrada La Zorra, siendo en esta última escasos, reportándose cantos de este tipo a tan solo unos pocos metros del afloramiento. En las otras quebradas por su parte no fueron vistos en ningún momento cantos de esta subunidad.



**Figura 25:** Textura kárstica de la subunidad de mármol.

#### **5.2.1.3.- UNIDAD IV: UNIDAD DE ESQUISTOS CUARZO MICÁCEOS**

La unidad de esquistos cuarzo micáceos aflora en la parte sur-central de la zona de estudio, a lo largo de casi todo recorrido de las quebradas principales de dirección norte sur descritas en el capítulo 2 de este trabajo. Esta unidad se caracteriza por ser una roca de buena foliación, compuesta principalmente por cuarzo y micas, siendo esta composición homogénea en toda la unidad. Se encuentra en contacto con la unidad de esquistos cuarzo plagioclásicos que afloran en la planta, sin embargo no se reportaron estas rocas dentro de la misma.

En la mayoría de los casos esta roca fue descrita en campo como un esquisto micáceo con cuarzo y grafito, debido a su color generalmente verde oscuro, y a su marcada foliación, lo que da a la roca una marcada textura lepidoblástica.

Al igual que la unidad de esquistos cuarzo plagioclásicos, no hubo reacción de la roca frente al ácido clorhídrico, en ninguna de las localidades del levantamiento, lo que implica la ausencia de carbonatos en esta unidad.

En términos de composición mineralógica y de textura, esta roca se comporta de forma homogénea en toda la unidad, siendo la única diferencia en campo entre estos esquistos que hacia el oeste de la unidad estos se presentan mucho más competentes y en mejor calidad de afloramientos que los encontrados hacia el este de la unidad, la Figura 26 muestra el afloramiento típico de esta unidad.



**Figura 26:** Unidad de esquistos cuarzo micáceos.

#### **5.2.1.4.- UNIDAD V: UNIDAD DE GNEIS FELDESPÁTICO**

Esta unidad aflora solo en la parte más oeste de la zona de estudio (ver Mapa 1, Anexo I), en el sector más alejado de la planta de suministro de combustible dentro de la zona de estudio, y se diferencia del resto de las unidades litológicas descritas por su granulometría más gruesa, lo que le proporciona a la roca una característica textura gneísica, de mala foliación, impartida esta por los minerales que conforman la matriz en la cual están embebidos los granoblastos de feldespatos, de tamaño relativo mucho mayor que los primeros.

Esta roca en campo fue descrita como un gneis cuarzo feldespático de color fresco blanco grisáceo y color meteorizado ocre oscuro, el cual no presenta reacción al ácido clorhídrico. Como ya se mencionó esta roca se caracteriza por su textura gneísica la cual disminuye de sur a norte, hasta casi desaparecer en el punto 046, mientras que aguas abajo en la quebrada Radita en el punto 044, es posible observar casi una textura de aungengneis. El contacto de esta roca con otros tipos litológicos no pudo ser reportado no solo por la calidad de los afloramientos, si no además que

posiblemente pudiera tratarse de un contacto gradacional entre tipos litológicos de composición mineralógica semejante.

Este tipo de roca tanto en afloramiento como en cantos rodados, solo fue encontrado en la quebrada Radita.

### **5.2.2.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

Como ya se ha mencionado la zona de estudio se encuentra enmarcada dentro del Sistema Montañoso del Caribe, como respuesta a la interacción de las placas tectónicas del Caribe y de Suramérica. Es por esta razón que las rocas de la zona se encuentran altamente deformadas como consecuencia de los diversos eventos de deformación ocurridos durante el transcurso de la historia geológica de la zona, evidencias de estos procesos, reportados en campos son los siguientes:

- Foliación.
- Diaclasas.
- Pliegues.
- Fallas.

La zona de estudio se encuentra fuertemente deformada, es por esta razón que no existe un patrón de foliación único para las rocas, éste varía en cortas distancias sobre todo en las rocas que presentan menor granulometría y mayor cantidad de minerales micáceos.

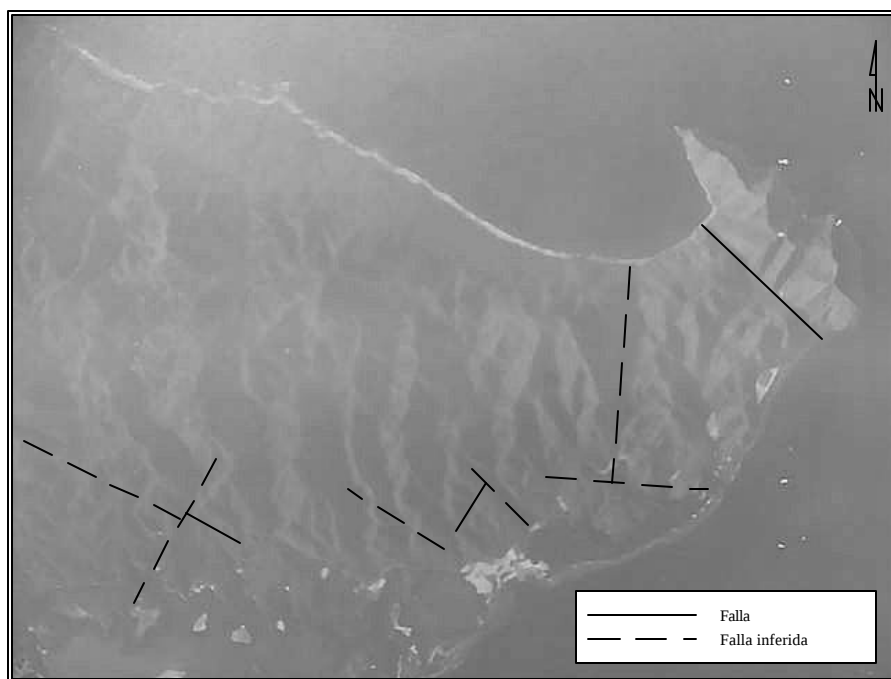
Los sistemas de diaclasas, solo se levantaron dentro de la planta de combustible, ya que esta información servirá de entrada para el análisis de estabilidad de los taludes fallados dentro de la misma. Los resultados de este levantamiento se encuentran en las Tablas IV-1, IV-2, IV-3 y IV-4, del Anexo IV, planilla generada según la norma ASTM 5878-95. Por otro lado estas serán descritas en este mismo capítulo, en el tema relacionado con la caracterización geotécnica de los macizos rocosos.

Como consecuencia de la deformación dúctil sufrida por la roca estas se encuentran sumamente plegadas, cambiando de rumbo y buzamiento constantemente en distancias muy cortas en campo. Este plegamiento puede ser visto con mayor claridad en los afloramientos en los cuales las rocas presentan vetas de cuarzo paralelas a la foliación. Otra evidencia de deformación en estado dúctil fue la presencia de budines, como los mostrados en la Figura 27.



**Figura 27:** Budines encontrados en algunos afloramientos.

Con las evidencias de campo tales como espejos de falla, contactos de falla y algunos rasgos geomorfológicos como ensilladuras, se determinaron dos sistemas de fallas bien definidos, los cuales fueron corroborados a partir de los análisis previos realizados de la fotointerpretación. Estos sistemas de fallas son (ver Figura 28):



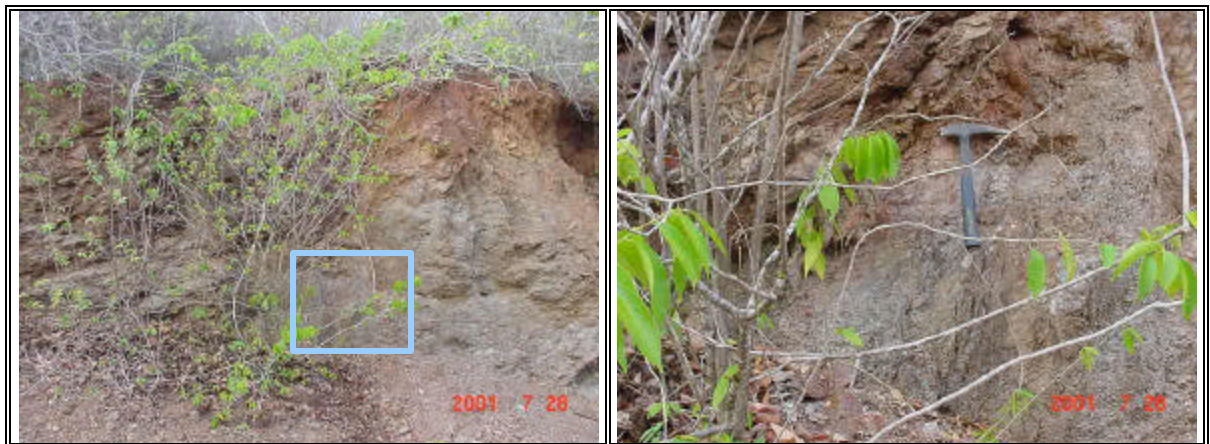
**Figura 28:** Esquema de los sistemas de falla (Foto 7862A)

- Uno en dirección NW-SE (N45W), el cual fue medido en campo en los puntos 008 y 051, en el primero se observó un espejo de falla, y en el segundo se observaron planos de falla cortando una secuencia sedimentaria, ver Figura 29.



**Figura 29:** Espejos de falla reportados en campo.

- Otro en dirección NE-SW (N7E), el cual solo fue levantado en campo en el punto 015, y donde se encontró un contacto litológico de falla, Figura 30.



a.- Vista general del afloramiento

b.- Detalle del afloramiento

**Figura 30:** Contactos de falla reportados en campo, evidenciado por el cambio del rumbo y buzamiento de las rocas.

### **5.3.- ENSAYOS DE LABORATORIO**

Los ensayos de laboratorio en el área de geología, se realizaron en su totalidad en la Universidad Central de Venezuela. El objetivo primordial de estos fue el de realizar la caracterización geológica de la roca determinando su composición mineralógica porcentual.

Con la finalidad de complementar el levantamiento geológico de campo, se realizó la petrografía de 30 secciones finas, seleccionando para este estudio petrográfico la cantidad y distribución de muestras que permitieran obtener el mayor control litológico de la zona, de esta manera se cubrió en su totalidad toda la zona de estudio además se garantizó el estudio de por lo menos una muestra de cada uno de los tipos litológicos reportados en campo, en el mapa geológico del Anexo I, se pueden encontrar los puntos correspondientes a la ubicación de estas muestras.

#### **5.3.1.- PETROGRAFÍA**

A fin de reconocer las asociaciones mineralógicas de las diferentes litologías y el grado de alteración de ciertos minerales, para definir facies metamórficas y grado de meteorización, respectivamente, se realizó el estudio petrográfico a 30 secciones finas de muestras distribuidas en toda la zona de estudio, la Tabla 21 presenta el resultado de la petrografía de las mismas.

**Tabla 21:** Composición mineralógica porcentual obtenida a partir de las secciones finas.

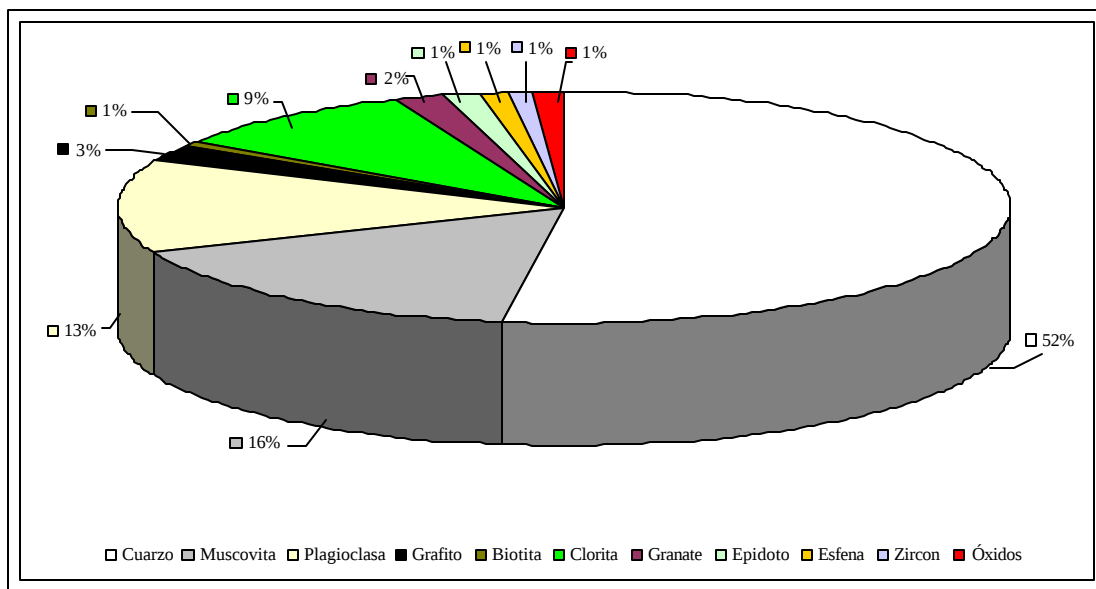
| Muestra  | Unidad | Cuarzo | Muscovita | Plagioclasa | Grafito | Biotita | Clorita | Microclino | Calcita | Serpentina | Granate | Epidoto | Esfera | Zircon | Talco | Óxidos |
|----------|--------|--------|-----------|-------------|---------|---------|---------|------------|---------|------------|---------|---------|--------|--------|-------|--------|
| TGD-001  | I      | 60     | 18        | 17          |         |         |         |            |         |            |         | 1       | 1      | 1      |       | 2      |
| TGD-002  | I      | 60     | 11        | 28          |         |         |         |            |         |            |         | Traza   |        |        |       | Traza  |
| TGD-003  | I      | 65     | 16        | 15          |         |         |         |            |         |            |         | Traza   |        | Traza  |       | 3      |
| TGD-004  | I      | 41     | 36        | 9           | 9       |         |         |            |         |            |         |         | 3      |        |       | 2      |
| TGD-005  | I      | 73     | 15        | 10          |         | 1       |         |            |         |            |         | 1       |        |        |       |        |
| TGD-006  | I      | 45     | 18        | 33          | 2       |         |         |            |         |            |         |         |        | 1      |       | 1      |
| TGD-007  | I      | 42     | 14        | 22          |         |         | 20      |            |         |            |         |         |        | 1      |       | 1      |
| TGD-009  | I      | 68     | 22        | 5           | 1       | 1       |         |            |         |            | 2       |         | Traza  |        |       |        |
| TGD-011  | I      | 88     | 4         | 5           |         |         | 2       |            |         |            |         |         | Traza  |        |       |        |
| TGD-014  | I      | 80     | 9         | 10          |         |         |         |            |         |            |         | Traza   |        | Traza  |       |        |
| TGD-015a | IV     | 70     | 29        |             |         | Traza   |         |            |         |            |         | Traza   |        |        |       |        |
| TGD-020  | IV     | 80     | 18        |             |         |         | Traza   |            |         |            |         | Traza   |        |        |       | 1      |
| TGD-022  | I      | 64     | 35        |             | Traza   |         |         |            |         |            |         |         |        |        |       | Traza  |
| TGD-023  | IV     | 90     | 8         |             |         | 1       |         |            |         |            |         | Traza   |        | Traza  |       |        |
| TGD-024  | IV     | 60     | 34        |             |         |         |         |            |         |            |         |         | 3      |        |       | 3      |
| TGD-025  | IV     | 78     | 18        |             |         | 2       |         |            |         |            |         | 1       |        | Traza  |       |        |
| TGD-026  | II     |        | 2         |             |         |         |         |            |         | 97         |         |         |        |        |       | Traza  |
| TGD-027  | III    | 2      |           |             |         |         |         |            | 96      |            |         |         |        |        | 1     | Traza  |
| TGD-029  | IV     | 72     | 22        |             | 5       |         |         |            |         |            |         |         |        | Traza  |       | Traza  |
| TGD-031  | IV     | 84     | 15        |             |         |         |         |            |         |            |         |         | Traza  | Traza  |       |        |
| TGD-032  | IV     | 7      | 93        |             |         |         |         |            |         |            |         |         |        |        |       |        |
| TGD-034  | IV     | 76     | 22        |             |         |         |         |            |         |            |         |         | Traza  |        |       | 1      |
| TGD-035  | I      | 78     | 14        |             |         | 1       |         |            |         |            |         | 5       | 2      |        |       |        |
| TGD-036  | I      | 55     | 40        |             |         |         |         |            |         |            |         | 2       | 2      |        |       | Traza  |
| TGD-038  | IV     | 60     | 38        |             |         |         |         |            |         |            |         |         | 1      |        |       | Traza  |
| TGD-043  | IV     | 58     | 39        |             |         | 1       |         |            |         |            |         | 1       | 1      |        |       | Traza  |
| TGD-044  | V      | 42     |           | 20          |         | 1       |         | 35         |         |            |         | 1       |        | Traza  |       |        |
| TGD-046  | V      | 76     | 1         | 18          |         | 2       |         | 2          |         |            |         | 1       |        |        |       |        |
| TGD-047  | IV     | 68     | 27        |             |         | 2       |         |            |         |            |         | Traza   | 2      |        |       |        |

Con la composición mineralógica expresada en porcentaje de minerales observados en las secciones finas se puede decir que, se presentan cinco tipos litológicos bien definidos, equivalentes además a los tipos litológicos reportados en campo, los cuales son:

- Esquistos cuarzo muscovítico plagioclásicos
- Serpentina
- Marmol
- Esquistos cuarzo muscovíticos
- Gneis microclínico

#### 5.3.1.1.- ESQUISTOS CUARZO MUSCOVÍTICO PLAGIOCLÁSICOS

Esta compuesta por esquistos de moderada a buena foliación, apreciada tanto en campo como en secciones finas, la cual es impartida por la presencia de los filosilicatos y por la elongación de los cristales de cuarzo en la dirección de su eje mayor. En la Figura 31 se puede apreciar la composición porcentual de la mineralogía en esta unidad.



**Figura 31:** Composición mineralógica porcentual de los esquistos cuarzo muscovítico plagiclásicos.

Los cristales de cuarzo mineral mayoritario, generalmente se encuentran en bandas paralelas a bandas de muscovita, elongados además en una dirección preferencial también paralela a esta, en contactos suturados entre ellos y tangenciales con los cristales de muscovita. Estos cristales se presentan en forma subhedral a anhedral, definida por la presencia de escasas caras cristalinas, con algunos bordes rectos.

Las plagioclasas por su parte generalmente se encuentran agrupadas en ciertos sectores de las secciones finas, además se presentan con características petrográficas similares al cuarzo, solo distinguibles entre sí por la figura de interferencia, biaxial para las plagioclasas. Los cristales se presentan con hábitos xenomórficos, con bordes irregulares. Algunas hoquedades presentes en las secciones finas presentan formas pseudogeométricas, estos huecos pudieron estar ocupados por cristales de plagioclasas antes de la elaboración de la sección fina.

Los cristales de muscovita, se encuentran generalmente agrupados en bandas orientadas, paralelas como ya se mencionó a las bandas de cuarzo. Bajo nícoles paralelos son apenas incoloros, no pleocroícos, y se distinguen del resto de los minerales por su característico hábito micáceo. Los colores de interferencia generalmente son amarillentos, aunque también es posible encontrarlos azules, azules verdosos y raras veces rojos a morados rojizos.

Los cristales de granate solo apreciados en estos esquistos, representan minerales accesorios en algunas de estas secciones, y por lo general se encuentran circundados por bandas de minerales micáceos, como muscovita y biotita, en contactos suturados. Estos cristales se presentan en forma euhedral, caracterizada por la presencia de secciones hexagonales de bordes regulares. Bajo nícoles cruzados son transparentes e incoloros a neutro, a excepción de las partes donde ya ha sido sustituido por otro mineral levemente pleocroíco, biotita, bajo nícoles cruzados por ser un mineral isótropo, desaparece, y solo se reconoce por su sección hexagonal.

Otros minerales menos comunes en estos esquistos son el grafito, generalmente distribuido en bandas paralelas a la foliación, reconocido por su aspecto translúcido a opaco bajo nícoles paralelos, epidoto, los cuales generalmente no representan más del 1% de la composición mineralógica total de la sección, biotita, clorita, esfena, circón, piritita y hematita. Las Figuras 32 y 33, muestran un testigo y una sección fina típica de estos esquistos, y características petrográficas de esta unidad bajo nícoles cruzados y paralelos, respectivamente.

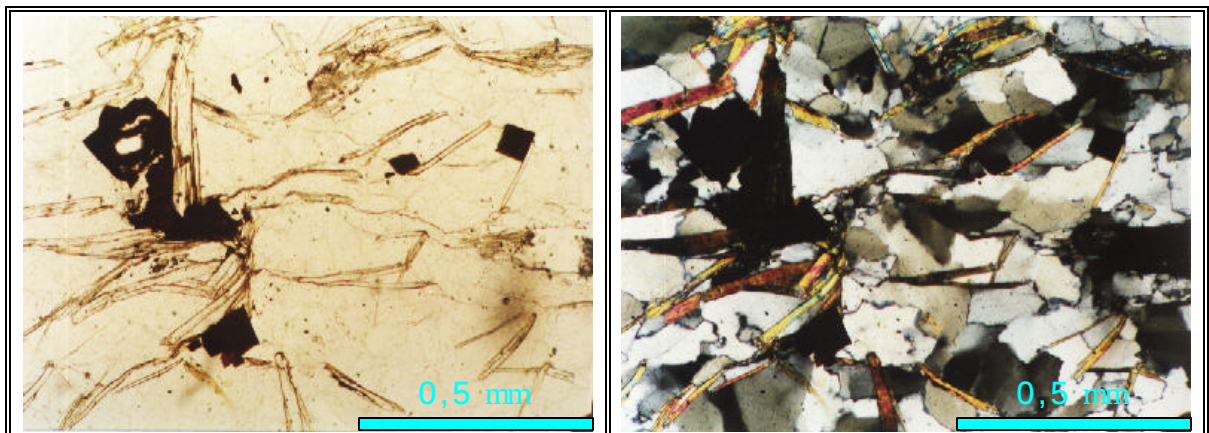


|         |         |          |        |
|---------|---------|----------|--------|
| Nícoles | X       | Objetivo | 2,5    |
| Muestra | TGD-001 | Ocular   | 12,5 x |

a.- Testigo de roca

b.- Sección fina

**Figura 32:** Testigo y sección fina típico de los esquistos cuarzo muscovítico plagioclásicos, muestra TGD-001.



|         |         |          |        |
|---------|---------|----------|--------|
| Nícoles | //      | Objetivo | 10     |
| Muestra | TGD-001 | Ocular   | 12,5 x |

|         |         |          |        |
|---------|---------|----------|--------|
| Nícoles | X       | Objetivo | 10     |
| Muestra | TGD-001 | Ocular   | 12,5 x |

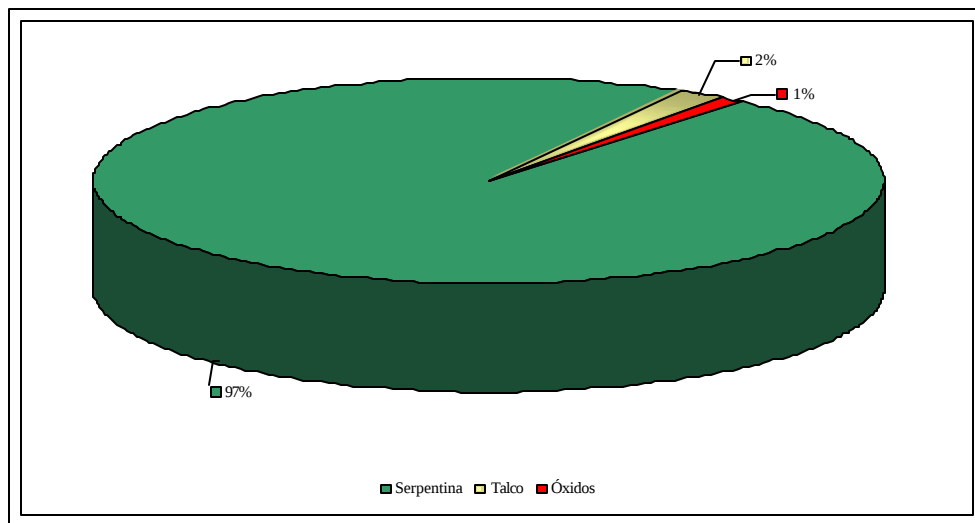
a.- Nícoles paralelos

b.- Nícoles cruzados

**Figura 33:** Muestra TGD-001 perteneciente a la unidad de esquito cuarzo muscovítico plagioclásicos.

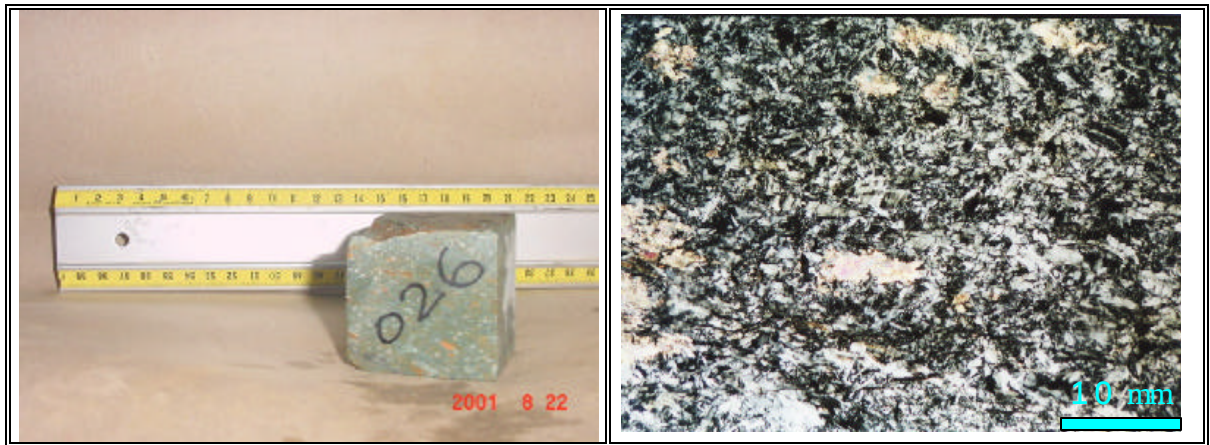
### 5.3.1.2.- SERPENTINITA

La serpentinita se caracteriza por presenciar casi en su totalidad minerales del grupo de la serpentina (97%), este se presenta en variedad de tamaños, en granos de hábito alotriomorfo, generalmente con dos caras cristalinas que dan apariencia de mica a los cristales, orientados en sentido preferencial, lo que da una cierta foliación a la muestra. Bajo nícoles paralelos son incoloros y transparentes, mientras que bajo nícoles cruzados son de colores grises del primer orden, con extinción ondulatoria. Los otros minerales presentes en la sección son talco (2%) y óxidos (<1%, Traza), la Figura 34 muestra la composición mineralógica porcentual de este tipo litológico.



**Figura 34:** Composición mineralógica porcentual las serpentinitas.

La única muestra correspondiente a este litotipo es la TGD-026. Las Figuras 35 y 36, muestran un testigo y las características petrográficas de esta unidad bajo nícoles cruzados y paralelos.

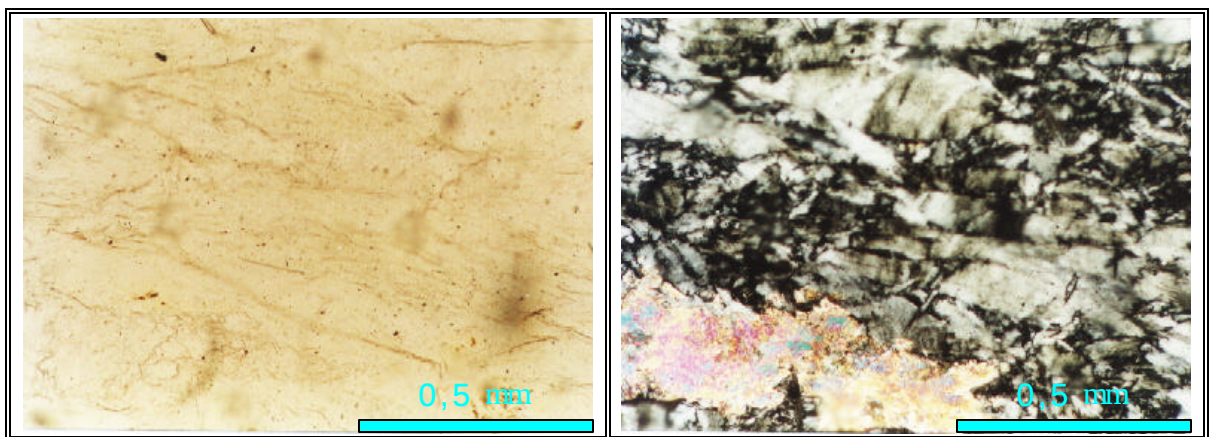


|         |         |          |        |
|---------|---------|----------|--------|
| Nícoles | X       | Objetivo | 2,5    |
| Muestra | TGD-026 | Ocular   | 12,5 x |

a.- Testigo de roca

b.- Sección fina

**Figura 35:** Testigo y sección fina típico de serpentinita, muestra TGD-026.



|         |         |          |        |
|---------|---------|----------|--------|
| Nícoles | //      | Objetivo | 10     |
| Muestra | TGD-026 | Ocular   | 12,5 x |

|         |         |          |        |
|---------|---------|----------|--------|
| Nícoles | X       | Objetivo | 10     |
| Muestra | TGD-026 | Ocular   | 12,5 x |

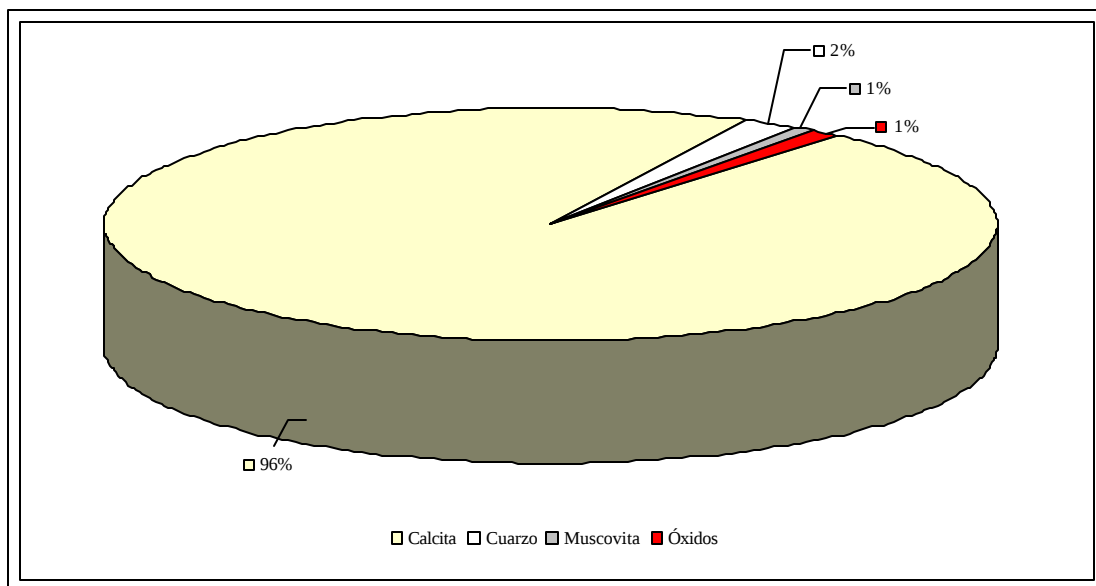
a.- Nícoles paralelos

b.- Nícoles cruzados

**Figura 36:** Muestra TGD-026 perteneciente a la unidad serpentinita.

### 5.3.1.3.- MÁRMOL

Esta compuesto en un 96% de calcita, la cual se presenta como un mosaico de granos de forma anhedral, en contactos suturados con otros cristales. Bajo nícoles paralelos los cristales son incoloros y translúcidos, además se aprecia el sistema de clivaje en dos direcciones formando secciones rómbicas en el interior de éstos, bajo nícoles cruzados presenta colores de interferencia entre grises y marrones, con extinción recta y un característico maclado polisintético común, en la Figura 37 se puede apreciar la composición mineralógica porcentual de esta roca.



**Figura 37:** Composición mineralógica porcentual del mármol.

La única muestra perteneciente a este unidad corresponde a la TGD-027. Las Figuras 38 y 39, muestran un testigo y una sección fina típica del mármol, y características petrográficas de esta unidad bajo nícoles cruzados y paralelos, respectivamente.

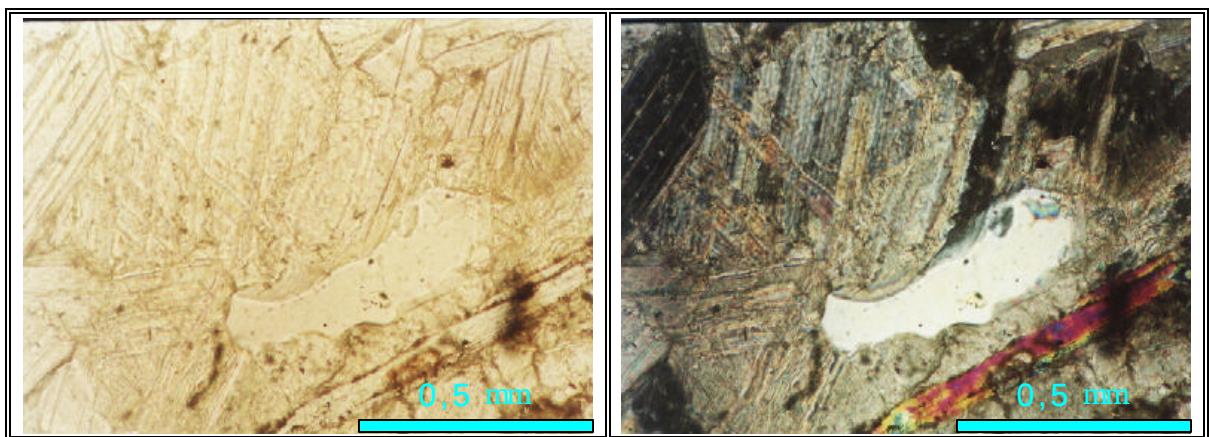


|         |         |          |        |
|---------|---------|----------|--------|
| Nícoles | X       | Objetivo | 2,5    |
| Muestra | TGD-027 | Ocular   | 12,5 x |

a.- Testigo de roca

b.- Sección fina

**Figura 38:** Testigo y sección fina típico del mármol, muestra TGD-027.



|         |         |          |        |
|---------|---------|----------|--------|
| Nícoles | //      | Objetivo | 10     |
| Muestra | TGD-027 | Ocular   | 12,5 x |

|         |         |          |        |
|---------|---------|----------|--------|
| Nícoles | X       | Objetivo | 10     |
| Muestra | TGD-027 | Ocular   | 12,5 x |

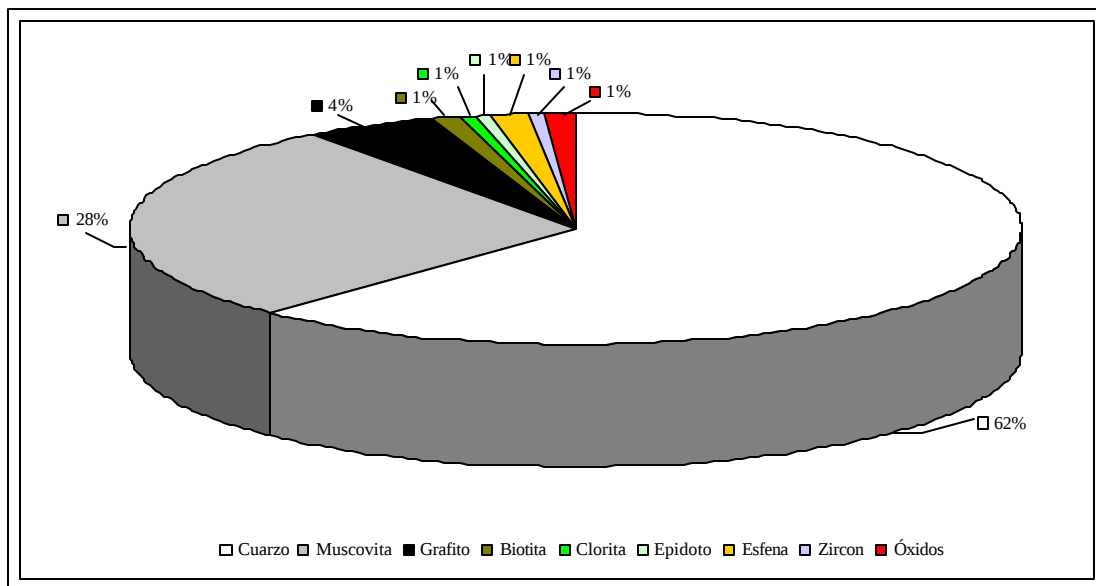
a.- Nícoles paralelos

b.- Nícoles cruzados

**Figura 39:** Muestra TGD-027 perteneciente a la unidad de mámol.

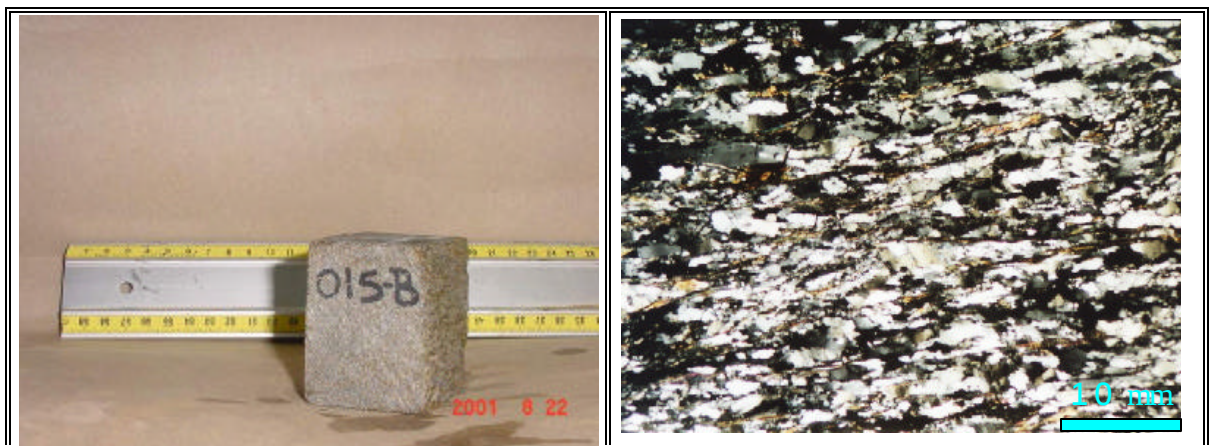
#### 5.3.1.4.- ESQUISTOS CUARZO MUSCOVÍTICOS

Esta compuesta por esquistos de foliación bien desarrollada, impartida mayoritariamente por el alto porcentaje de minerales micáceos presentes, junto con los cristales prismáticos de cuarzo, elongados según esta dirección. La Figura 40 representa la mineralogía promedio de estos esquistos, normalizada al 100%.



**Figura 40:** Composición mineralógica porcentual de los esquistos cuarzo muscovíticos.

Las características petrográficas de los minerales presentes en estos esquistos son muy similares a las observadas en los esquistos cuarzo plagioclásicos, la diferencia esta en la presencia o ausencia de las plagioclase. Texturalmente, estas son rocas en las que se puede observar un mayor grado de foliación debida a la presencia de mayor cantidad de filosilicatos en sustitución (en términos de composición porcentual) de las plagioclases. Algunos detalles petrográficos de esta unidad se muestran en las Figuras 41 y 42.

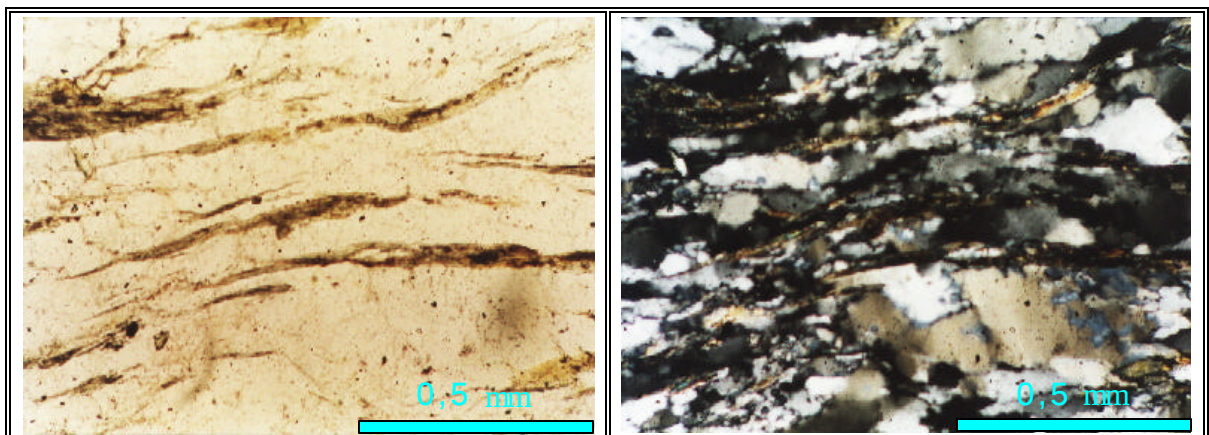


|         |         |          |        |
|---------|---------|----------|--------|
| Nícoles | X       | Objetivo | 2,5    |
| Muestra | TGD-015 | Ocular   | 12,5 x |

a.- Testigo de roca

b.- Sección fina

**Figura 41:** Testigo y sección fina típico de los esquistos cuarzo muscovíticos, muestra TGD-015.



|         |         |          |        |
|---------|---------|----------|--------|
| Nícoles | //      | Objetivo | 10     |
| Muestra | TGD-015 | Ocular   | 12,5 x |

|         |         |          |        |
|---------|---------|----------|--------|
| Nícoles | X       | Objetivo | 10     |
| Muestra | TGD-015 | Ocular   | 12,5 x |

a.- Nícoles paralelos

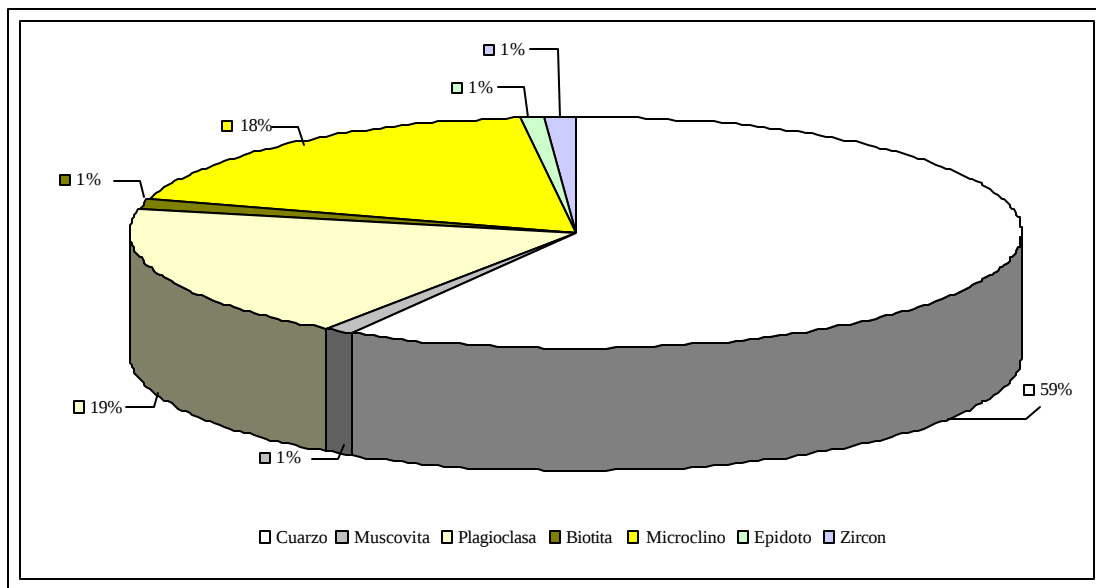
b.- Nícoles cruzados

**Figura 42:** Muestra TGD-015 perteneciente a la unidad de esquistos cuarzo muscovíticos.

### 5.3.1.5.- GNEIS MICROCLÍNICO

Esta roca, se caracteriza por la ausencia casi total de los cristales de muscovita, y la presencia de porfidoblastos de feldespato potásico, microclino.

El microclino se presenta por lo general como porfidoblastos de gran tamaño en relación a los granos de otros minerales presentes en la sección, generalmente con hábito xenomorfo (granudo), bajo nícoles paralelos se observan transparentes e incoloros, además en esta posición es posible observar de manera clara una buena dirección de clivaje, bajo nícoles cruzados se presentan de colores blancos a grises del primer orden, y se caracteriza y diferencia del resto de los minerales presentes en la sección por su particular maclado en forma de malla, la Figura 43 muestra la composición mineralógica porcentual de esta roca.



**Figura 43:** Composición mineralógica porcentual del gneis microclínico.

Además de los cristales de microclino, en la matriz en la cual están embebidos es posible observar cristales de cuarzo y plagioclasas, distinguibles unos de otros por la figura de interferencia, uniaxil y biaxil, respectivamente, junto con otros minerales minoritarios como el epidoto y el circón.

Las Figuras 44 y 45, muestran un testigo algunas características petrográficas de esta unidad bajo nicoles cruzados y paralelos, respectivamente.

#### **5.4.- CORRELACIONES**

Las correlaciones se hicieron en base a tres aspectos de la geología de la zona, como lo son la geología regional investigada en trabajos previos, la geología local obtenida del levantamiento de campo y la petrografía de las secciones finas realizadas a muestras recuperadas en campo; a partir de estos tres elementos se obtuvieron las siguientes correlaciones para las unidades litológicas observadas en campo, descritas en este mismo capítulo.

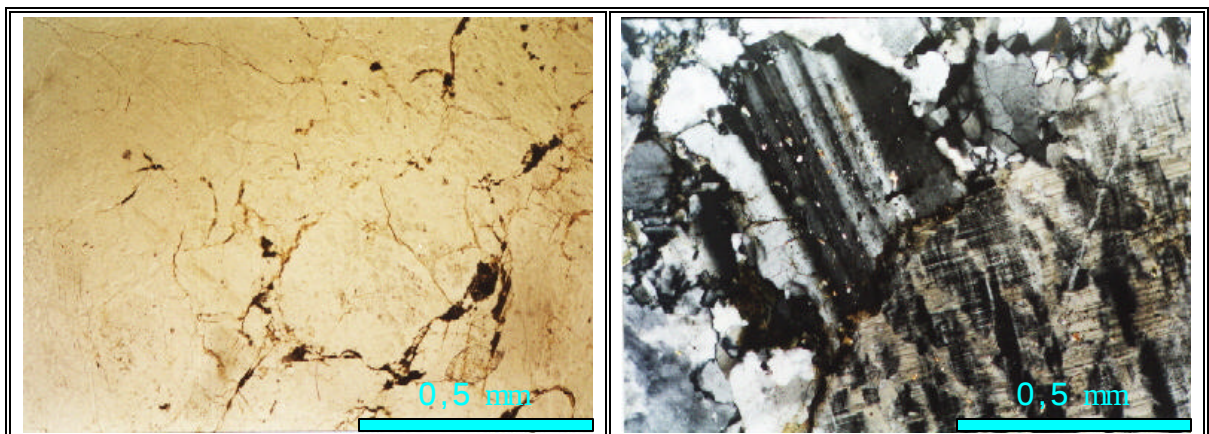


|         |         |          |        |
|---------|---------|----------|--------|
| Nícoles | X       | Objetivo | 2,5    |
| Muestra | TGD-044 | Ocular   | 12,5 x |

a.- Testigo de roca

b.- Sección fina

**Figura 44:** Testigo y sección fina típico del gneis microclínico, muestra TGD-044.



|         |         |          |        |
|---------|---------|----------|--------|
| Nícoles | //      | Objetivo | 10     |
| Muestra | TGD-044 | Ocular   | 12,5 x |

|         |         |          |        |
|---------|---------|----------|--------|
| Nícoles | X       | Objetivo | 10     |
| Muestra | TGD-044 | Ocular   | 12,5 x |

a.- Nícoles paralelos

b.- Nícoles cruzados

**Figura 45:** Muestra TGD-044 perteneciente a la unidad de gneis microclínico.

#### **5.4.1.- UNIDAD SEDIMENTARIA**

Esta unidad sedimentaria tal cual fue observada y descrita en campo, se correlaciona con la Formación Aramina descrita muy bien por URBANI (1977). Sin embargo es posible que las capas de lutitas yesíferas de espesor considerable, correspondan a la Formación Carenero, esta afirmación debe corroborarse haciendo un lavado a las lutitas y determinando la asociación faunal (si existe) de estas, que indiquen como lo explica BERMUDEZ (1966) que se trate de una facies marina profunda de la Formación Aramina.

#### **5.4.2.- UNIDAD DE ESQUISTOS CUARZO MICÁCEOS PLAGIOCLÁSICOS Y UNIDAD DE GNEIS MICROCLÍNICO**

Las unidades de esquistos cuarzo plagioclásicos y gneis microclínico, definidas a partir de la petrografía, se correlacionan con la unidad de esquistos cuarzo plagioclásicos y unidad de gneis feldespático, respectivamente, descritas en campo. Estas unidades se sugiere se encuentre en contacto transicional, ubicándose la zona de contacto posiblemente al noroeste de la zona de estudio; por tanto estas dos unidades pueden ser interpretadas como dos subunidades, diferenciadas por su granulometría y por la desaparición de los cristales de microclino en los esquistos y la ausencia o poca presencia de plagioclasas en los gneises.

Ambas unidades, consideradas como tal o como subunidades, se correlacionan con el Complejo de San Julián, de la Asociación Metamórfica Ávila, mucho más cuando URBANI (1999) describe esta variación de facies en otras localidades.

Dentro de esta unidad además se incluyen los cuerpos de serpentinita y mármol reportados en campo y corroborados como tal con la petrografía.

#### **5.4.3.- UNIDAD DE ESQUISTOS CUARZO MUSCOVÍTICOS**

Esta unidad se correlaciona con los esquistos cuarzo micáceos descritos en campo, y en base a su textura y a la asociación mineralógica descritas ambas en campo y en laboratorio, se correlaciona con el Esquisto de Las Mercedes, de la Asociación Metasedimentaria Caracas.

A diferencia de la mayoría de los esquistos descritos en la literatura asociados al Esquisto de Las Mercedes, estos no presentan fases mineralógicas calcáreas, esto se puede decir tanto por la inexistente reacción al ácido clorhídrico en campo como por la ausencia de carbonatos en la composición mineral, obtenida a partir del análisis petrográfico.

## **METAMORFISMO**

### **6.1.- GENERALIDADES**

Como se ha mencionado en varias oportunidades, la zona de estudio pertenece al Sistema Montañoso del Caribe, específicamente a la Faja Tectónica de la Cordillera de la Costa, compuesta por rocas metamórficas producto del metamorfismo regional de rocas sedimentarias depositadas sobre un basamento granítico y de rocas ígneas máficas a félsicas.

A continuación se describirán las características más resaltantes del metamorfismo experimentado por las rocas que afloran en la zona, tales como:

- Texturas metamórficas.
- Facies metamórficas.
- Clasificación de las rocas.
- Petrogénesis.

### **6.2.- TEXTURAS METAMÓRFICAS**

Este es un criterio de reconocimiento visual de rocas metamórficas el cual permite inferir: (a) la textura y la composición mineralógica original de la roca, y (b) el crecimiento y la deformación de los cristales durante el metamorfismo.

De las texturas metamórficas observadas durante la petrografía, la lepidoblástica es la predominante en líneas generales. Esta textura se caracteriza por darle a la roca una marcada foliación, generalmente atribuida a la abundancia de minerales

micáceos, pero que en algunos casos también se debe a la presencia de cristales de cuarzo visiblemente (en el microscopio) elongados según una dirección preferencial, paralela a la foliación, lo que da a la roca cierta textura nematoblástica, estos dos factores son los responsables de la foliación marcada observada en la mayoría de las rocas, sobre todo aquellas correlacionadas con el Esquisto de Las Mercedes, más que aquellas correlacionadas con el Complejo de San Julián.

Un aspecto interesante observado al hacer la petrografía de las secciones finas fue el mayor crecimiento de algunos minerales en relación con otros, lo cual no solo ocurrió con los porfidoblastos de microclino o granate, si no que además algunos cristales de cuarzo también presentaban esta característica, que aunque no tan notable como los anteriores, se manifestaba como una diferencia de crecimiento también propia de los cristales, los cuales tienen una dirección de crecimiento preferencial en uno de sus ejes, la cual coincidía a su vez con la dirección de foliación de las rocas. Por tanto se observa como el crecimiento de cristales no solo depende de su velocidad de crecimiento en relación con otros, si no que también depende de la diferencia de velocidades de crecimiento entre sus ejes cristalinos.

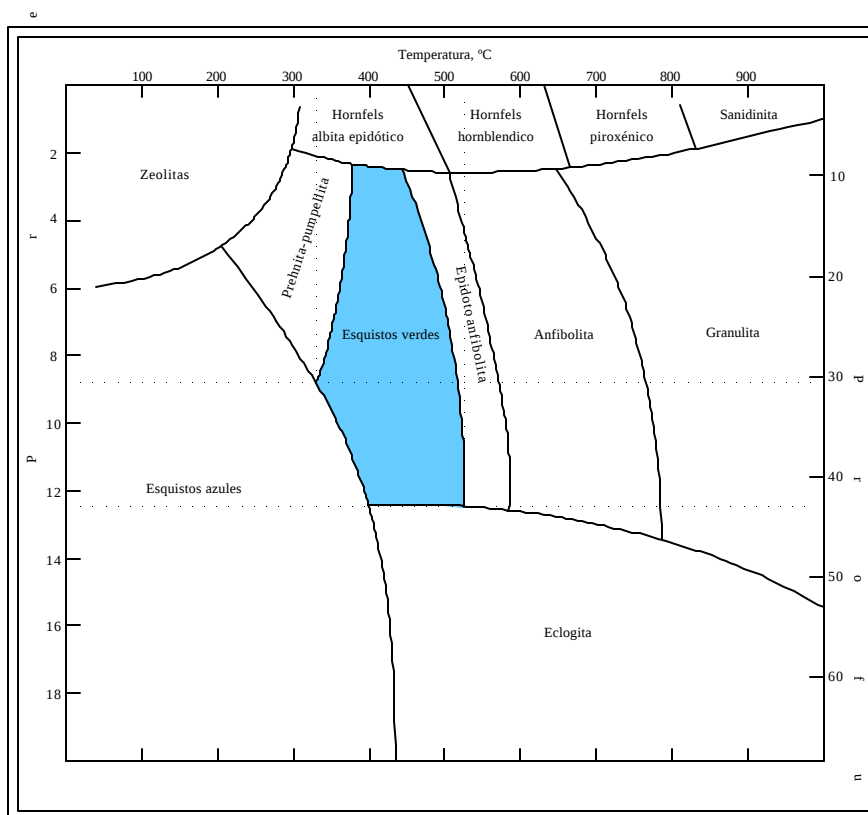
Esta característica estructural que se manifiesta texturalmente se denomina blástesis o crecimiento de cristales en medio sólido, típica de los procesos metamórficos, la cual se aprecia de manera especial en la Unidad de gneis microclínico correlacionado con el Complejo de San Julián, al oeste de la zona, en la cual los granoblastos de feldespato potásico (microclino) presentan tamaños considerablemente mayores que los granos minerales que los circundan y que conforman la matriz (generalmente compuesta por cristales de cuarzo). Otro ejemplo de blástesis, menos significativo en términos de texturas, se presenta en las rocas de la Unidad de esquistos cuarzo plagioclásicos, en donde granoblastos de granate pueden ser observados, generalmente dentro de bandas de muscovita, con parcial o total recrystalización de biotita, reconocida por su hábito micáceo y leve pleocroismo bajo nícoles paralelos.

### **6.3.- FACIES METAMÓRFICAS**

Para cada uno de los litotipos descritos en capítulos anteriores, se ha definido una asociación mineralógica a partir de minerales índices de facies metamórficas, los cuales se han producido como ya se ha dicho, como resultado de la composición mineralógica original de los protolitos que originaron estas rocas, así como de las condiciones de presión y temperatura que alcanzaron las rocas, las cuales permitieron la estabilidad de estos minerales.

De las diversas asociaciones mineralógicas realizadas para las diferentes unidades litológicas, se puede decir que todas pertenecen a la facies de los esquistos verdes, caracterizada por la presencia de la asociación de los minerales cuarzo, albita y epidoto, sin la presencia de otros minerales como los anfíboles que pudieran indicar un grado mayor o de las zeolitas que indicasen uno menor.

La facies de los esquistos, típica de cinturones orogénicos como la Cordillera de la Costa, se caracteriza principalmente por la desaparición de las zeolitas y de los silicatos cálcicos y por la presencia de minerales de color verde como: clorita, epidoto, actinolita. Los rangos de temperatura y de presión de esta facies se pueden observar en la Figura 46, estos están aproximadamente entre 300 y 500 °C, y 3 y 12 Kbar, respectivamente. La Tabla 22 indica las principales características de estas facies según varios autores.



**Figura 46:** Facies metamórficas (Modificado de BLATT, 1997)

**Tabla 22:** Características de las facie de los esquistos verdes según varios autores.

|                     | Williams<br><i>et al</i><br>(1968) | Hyndman<br>(1972) | Winkler<br>(1976) | Blatt<br><i>et al.</i><br>(1982) | Mason<br>(1990) | Shelley<br>(1993) | Grande<br>(1998)      |
|---------------------|------------------------------------|-------------------|-------------------|----------------------------------|-----------------|-------------------|-----------------------|
| Presión<br>(Kbar)   | Moderada                           | 3 - 10            | 5 - 6             | 3 - 12                           | Intermedia      | 3 - 9             | Intermedia<br>(5 - 8) |
| Temperatura<br>(°C) | Baja                               | 350 - 550         | Bajo grado        | 300 - 500                        | Bajo grado      | 300 - 500         | Bajo grado            |

HYDNMAN (1972) define la facies de los esquistos verdes como la más extendida dentro del metamorfismo regional, la cual aparentemente se desarrolla en condiciones de gradientes geotérmicos normales. Las rocas típicas formadas en esta facies incluyen pizarras, filitas y esquistos de grano fino formados a partir de rocas pelíticas, y esquistos magnesianos (serpentinitas) formados a partir de peridotitas, todas estas rocas caracterizadas por una esquistosidad bien marcada definida por la orientación preferencial de minerales micáceos.

Según este autor la facie de los esquistos verdes comprende tres zonas definidas por la aparición y/o desaparición de especies minerales índices, con una amplia gama de ensambles mineralógicos, estas zonas y sus ensambles más comunes son :

- Zona de la Clorita:
  - ♦ Muscovita-clorita-cuarzo-albita
  - ♦ Muscovita-clorita-cuarzo-microclino
  - ♦ Calcita-clorita-epidoto-albita
  
- Zona de la Biotita:
  - ♦ Muscovita-biotita-cuarzo
  - ♦ Muscovita-biotita-clorita-cuarzo-albita
  - ♦ Muscovita-biotita-clorita-cuarzo-albita-oligoclasa-carbonatos
  - ♦ Actinolita-biotita-clorita-cuarzo-oligoclasa-epidoto
  
- Zona del Granates (almandino):
  - ♦ Muscovita-biotita-cuarzo-albita-almandino-clorita
  - ♦ Muscovita-biotita-cuarzo-oligoclasa-carbonato-±almandino
  - ♦ Muscovita-biotita-cuarzo-andesina-calcita-ankerita-clorita
  - ♦ Hornblenda-biotita-cuarzo-albita-clinozoisita-clorita

Los minerales zeolita, prehnita y pumpelita típicos de metamorfismo de bajo grado y baja presión, definen el límite inferior de baja temperatura de esta facie; mientras que minerales como lawsonita, jadeita, onfacita, aragonito y glaucofano minerales de baja temperatura y alta presión definen el límite superior.

#### **6.4.- CLASIFICACIÓN DE LA ROCA**

En los capítulos 4 y 5, se clasificaron las rocas en base al contenido mineralógico y a las texturas exhibidas por estas, para los diversos tipos litológicos reportados tanto en campo como en la petrografía. En este punto se integra esta información junto con la facies metamórficas definidas anteriormente, para obtener una clasificación más precisa de las rocas de la zona.

Como se mencionó en el párrafo anterior hasta ahora solo se habían clasificado las rocas según su composición mineralógica y su textura en un único criterio mineralógico textural, en la Tabla 24 se incluye además de esta clasificación la clase química de la roca, la cual se refiere a la composición química general de la roca, asociada directamente con el protolito o roca original y a la composición mineralógica de este. Las clases químicas según WILLIAMS *et al.* (1968) se muestran en la Tabla 23.

**Tabla 23:** Clases químicas de rocas metamórficas (WILLIAMS *et al*, 1968)

| TIPO DE ROCA        | PROTOLITO                                                                                                   |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pelítica            | Sedimentos pelíticos (alumínicos)                                                                           |
| Cuarzo feldespática | Rocas inicialmente cuarzo feldespáticas: areniscas, granitos                                                |
| Calcárea            | Calizas y dolomias                                                                                          |
| Máfica              | Ígneas máficas e intermedias y de algunos sedimentos (tales como arenas tufaceas) ricos en Ca, Al, Mg y Fe. |
| Magnesiána          | Peridotitas y algunos sedimentos magnesianos (montmorillonita)                                              |
| Ferruginosa         | Sedimentos ricos en hierro (cherts)                                                                         |

Según este criterio las rocas de la zona se clasifican entre rocas cuarzo feldespáticas y rocas pelíticas, a excepción de la serpentinita y del mármol, los cuales pertenecen a las clases químicas de rocas máficas y carbonáticas, respectivamente.

Las rocas de la zona de estudio se agrupan preferiblemente en este rango de clases químicas debido a su composición cuarzo micácea, con abundancia de minerales félsicos, con buena foliación. Por su parte el mármol y la serpentinita son el producto del metamorfismo de rocas carbonáticas y rocas máficas, respectivamente, es por ello que se clasifican en sus correspondientes clases.

**Tabla 24:** Clasificación de las rocas metamórficas.

| Unidad | Mineralogía                                                                                            | Textura                                           | Clasificación mineralógico-textural | Protolito                                   | Clase química                    | Minerales índices                                                            | Facies metamórficas según Hyndman (1972) |         |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------|
|        |                                                                                                        |                                                   |                                     |                                             |                                  |                                                                              | Facie                                    | Zona    |
| I      | Cuarzo, muscovita, plagioclasa, clorita, grafito, pirita, granate, epidoto, esfena, biotita y hematita | Nematoblástica a lepidoblástica (de norte a sur)  | Esquisto cuarzo plagioclásico       | Sedimentario (psamítico)                    | Cuarzo feldespáticas a pelíticas | Cuarzo, muscovita, plagioclasa, clorita, grafito, granate, epidoto y biotita | Esquistos verdes                         | Granate |
| IV     | Cuarzo, muscovita, grafito, biotita, epidoto, esfena, circón, clorita y hematita                       | Lepidoblástica                                    | Esquisto cuarzo muscovítico         | Sedimentario (pelítico)                     | Cuarzo feldespáticas a pelíticas | Cuarzo, muscovita, biotita, epidoto y clorita                                |                                          | Biotita |
| V      | Cuarzo, microclino, plagioclasa, biotita, epidoto, muscovita y circón                                  | Nematoblástica a porfidoblástica (de norte a sur) | Gneis microclínico                  | Ígneo (félsico)<br>Sedimentario (psamítico) | Cuarzo feldespáticas a pelíticas | Cuarzo, plagioclasa, biotita, epidoto y muscovita                            |                                          | Biotita |

Como se aprecia la Tabla 24 no incluye las rocas de las unidades II y III unidad de serpentinita y de mármol, respectivamente, sin embargo estas unidades también se consideran que alcanzaron un metamorfismo de esquistos verdes. Esta suposición se basa en el hecho de su ubicación dentro de las rocas que pertenecen a la unidad I o unidad de esquistos cuarzo plagioclásicos, de hecho ya se había considerado a estos dos grupos de rocas como subunidades dentro de esta unidad. La razón de no presentar estas dos unidades dentro de la Tabla 24 se debe a que su composición mineralógica se basa en dos o tres minerales, los cuales no constituyen un ensamble mineralógico característico de ninguna facie metamórfica y mucho menos de una zona en específico.

#### **6.5.- PETROGÉNESIS**

A partir de las características texturales, de las asociaciones mineralógicas que definieron la facies metamórfica y de la clasificación de las rocas metamórficas de la zona, se puede decir lo siguiente acerca de su génesis y la de los minerales que la componen:

- El tipo de metamorfismo que afectó a la zona fue regional, típico de cinturones orogénicos como el de la Cordillera de la Costa.
- Las condiciones de presión y temperatura, 3-12 Kbar y 300-500 °C, llevaron las rocas a la facies de los esquistos verdes, en diferentes zonas o subfacies.
- El protolito original consistía de una secuencia sedimentaria, compuesta por sedimentos pelíticos y psámíticos, intrusionados por cuerpos ígneos, la cual se encontraba posiblemente sobre un basamento granítico.
- La presencia de biotita en asociación con la muscovita en varias muestras analizadas, puede indicar un aumento localizado en la temperatura, lo cual indicaría un cambio de subfacies, dentro de la misma facies metamórfica.

- El origen de las serpentinitas reportadas en campo se debe al hecho de que las peridotitas son muy susceptibles al metamorfismo en la presencia de agua y a temperaturas metamórficas bajas y moderadas. Generalmente es la antigorita el resultado del metamorfismo de estas rocas bajo las condiciones de presión y temperaturas interpretadas.
- Los mármoles se presentan como resultado del metamorfismo de rocas sedimentarias cálcarea (calizas), los cuales originalmente debieron ser lentes dentro de la secuencia sedimentaria.
- La clorita presente en algunas secciones puede ser el resultado del metamorfismo de silicatos magnesianos aluminicos, como por ejemplo la augita.
- El crecimiento de los porfidoblastos puede ser interpretado como respuesta a estados de esfuerzos, para minerales de mayor velocidad de crecimiento y/o con velocidades relativas de crecimiento diferentes para sus propios ejes cristalográficos, en este último caso en particular el crecimiento guarda especial relación con la foliación de la roca, ya que este crecimiento preferencial de uno de los ejes es en una dirección paralela a esta.
- En condiciones favorables de composición de los fluidos, presión y temperatura, las arcillas, micas y cloritas en los sedimentos, se convirtieron en muscovita y clorita aluminica, y las zeolitas en plagioclasas sódicas.
- Los cristales de microclino en el gneis microclínico, pudieran estar asociados directamente a la roca original, por tanto estos pudieron haber sufrido deformaciones en menor grado que otros minerales, a pesar de su gran tamaño en relación al resto.
- Caso contrario, los cristales de cuarzo (elongados) y las micas (en especial la muscovita) debieron haber sufrido varias etapas de deformación, que permitieran deformarse más que otros minerales, ya que estos poseen baja velocidad de crecimiento en relación con otros minerales según la serie cristalográfica de WILLIAMS *et al* (1968) de la Tabla 25, a pesar de esto se encuentran visiblemente de mayor tamaño que otros granos minerales.

**Tabla 25:** Serie cristaloblástica según WILLIAMS *et al* (1968)

| MINERALES EN ORDEN IDIOBLÁSTICO                      |
|------------------------------------------------------|
| Rutilo, esfena, magnetita                            |
| Turmalina, cianita, estaurolita, granate, andalucita |
| Epidoto, zoisita, forsterita                         |
| Piroxenos, anfíboles, wollastonita                   |
| Micas, cloritas, talco, estilpnomelano               |
| Dolomita, clacita                                    |
| Escapolita, cordierita, feldespatos                  |
| Cuarzo                                               |

WILLIAMS *et al* (1968) aclaran que la serie granoblástica esta ordenada de tal forma de que los minerales que se encuentran primero que otros en la misma tabla tienden a desarrollar superficies idioblásticas contra cualquier otro mineral situado en un lugar inferior en la serie.

## **GEOTECNIA LOCAL**

### **7.1.- GENERALIDADES**

Con la finalidad de obtener los parámetros de resistencia al corte de la roca, además de realizar la caracterización geotécnica completa de los taludes en roca que afloran dentro y fuera de la planta de suministro de combustible, se realizaron ensayos de campo y de laboratorio, obteniendo de esta manera una amplia percepción de las características geotécnicas de la roca que aflora en estos taludes en especial aquellos fallados dentro de la planta, con lo cual se estudio la estabilidad de los mismos.

### **7.2.- MÉTODOS GEOTÉCNICOS DE CAMPO**

Los métodos geotécnicos aplicados en campo, fueron usados básicamente para los análisis de la estabilidad de los taludes dentro de la planta, estos fueron:

- Perforaciones con corrida SPT.
- Caracterización de los macizos rocosos.
- Determinación de la resistencia a la compresión de forma indirecta mediante el uso del Martillo de *Schmidt*.

### 7.2.1.- ENSAYO DE SPT

El ensayo de SPT tiene como principal objetivo hacer una prospección del subsuelo, realizando la caracterización de las muestras recuperadas a partir de las perforaciones, además de esto, sirve para estimar la capacidad portante en este caso de la roca. La Figura 47 muestra la maquina perforadora en plena corrida del ensayo.

Se realizaron un total de 10 perforaciones todas dentro de la planta de suministro de combustible, cuyas ubicaciones se presentan en el Plano 1 del Anexo II. Estas perforaciones se encuentran ubicadas a lo largo de los taludes alrededor de los tanques de almacenamiento de combustible, lo más cerca posible a los deslizamientos observados en dichos taludes, la Tabla 26 muestra la longitud de las distintas perforaciones.

**Tabla 26:** Longitud de las perforaciones

| PERFORACIÓN | LONGITUD (m) |
|-------------|--------------|
| 1           | 6,00         |
| 2           | 4,00         |
| 3           | 5,00         |
| 4           | 6,00         |
| 5           | 6,00         |
| 6           | 6,00         |
| 7           | 6,00         |
| 8           | 6,00         |
| 9           | 6,00         |
| 10          | 6,00         |

La caracterización del perfil del subsuelo se realizó analizando las muestras recuperadas a cada metro de perforación con corrida SPT. Estas perforaciones fueron realizadas en seco a fin de no modificar las condiciones de humedad natural de las muestras. En su totalidad los sondeos fueron realizados a percusión, usando un martillo de 140 lbs, dejándolo golpear en caída libre desde una altura de 0,76 m como lo indica la norma (ASTM 1586-84). Las planillas de perforación resultado de estos sondeos se encuentran en el Anexo V.



**Figura 47:** Ensayo de SPT, sobre talud fallado dentro de la planta.

#### **7.2.1.1.- NIVEL FREÁTICO**

De las diez perforaciones que se realizaron y hasta una profundidad máxima explorada de 6 m, no se reportó la presencia de nivel freático, así como tampoco agua emperchada o entrampada.

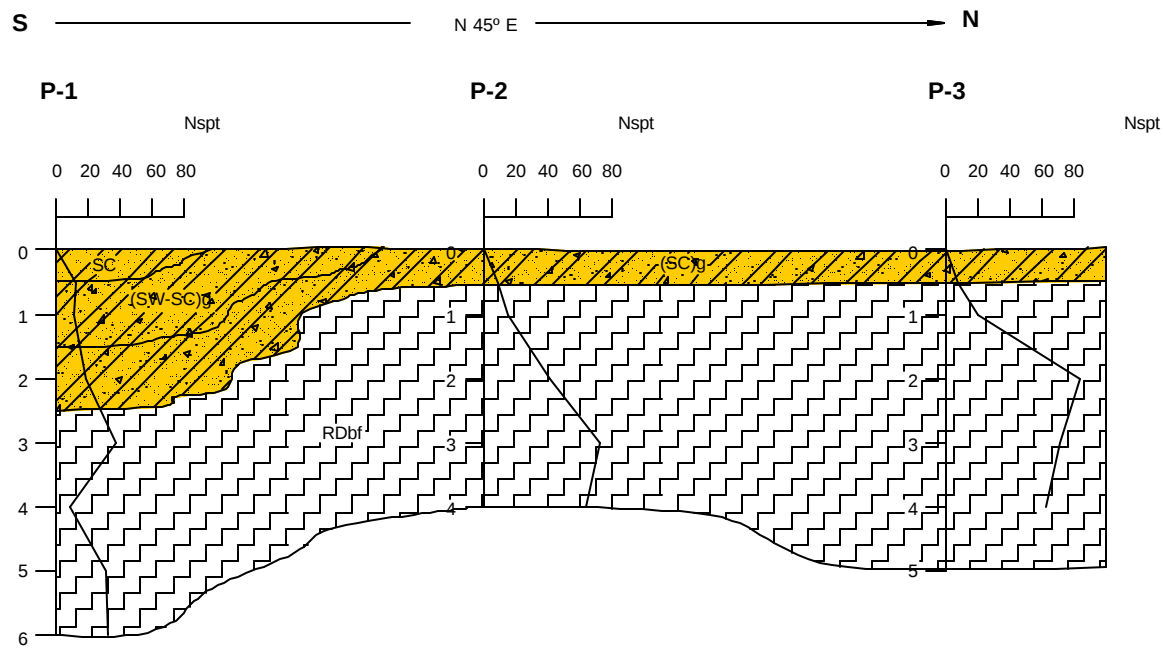
#### **7.2.1.2.- CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL PERFIL DEL SUBSUELO**

Después de haber realizado los ensayos de caracterización geotécnica de las muestras recuperadas de las perforaciones correspondientes a suelos, tales como descripción visual, contenido de humedad natural, granulometría por lavado y límites de consistencia, se procedió a clasificarlas de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos (SUCS) según la Norma ASTM D-2487-93. Por otra parte las muestras de roca fueron llevadas al laboratorio a fin de aplicarles ensayos de compresión uniaxial, densidad y corte directo. Los resultados de todos los ensayos se encuentran en este mismo capítulo en el punto 7.3 relacionado con los ensayos de laboratorio. En el Anexo V además se presentan las planillas de perforación donde se muestran los diferentes estratos presentes en el perfil del suelo.

##### **7.2.1.2.1.- PERFIL GEOTÉCNICO P-1, P-2, P-3**

El perfil que se muestra en la Figura 48, tiene una orientación de N 45° E, en general el perfil consta de una roca descompuesta blanda fracturada con excepción de los primeros metros. En el caso de la perforación P-1 se presenta una capa de relleno de más de 2,00 m formada básicamente por arena arcillosa con grava (SC)g y arena bien gradada con arcilla y grava (SW-SC)g, mientras que hacia las perforaciones P-2 y P-3 se presenta la misma arena arcillosa con grava en el primer metro de profundidad. Este relleno presentó un color naranja con algunos tonos grisáceos y compacidad media.

Por debajo de este relleno se presenta la roca descompuesta blanda fracturada (RDbf), con un color que varía de marrón claro a grisáceo con vetas de cuarzo paralelas y perpendiculares a la foliación y una elevada resistencia a la penetración que se evidencian por el elevado número de golpes en el ensayo S.P.T.



| Categoría | Arena (S)  | Color | Arcillas (C) | Color |
|-----------|------------|-------|--------------|-------|
| 1         | Muy suelta |       | Muy blanda   |       |
| 2         | Suelta     |       | Blanda       |       |
| 3         | Media      |       | Media        |       |
| 4         | Densa      |       | Semidura     |       |
| 5         | Muy densa  |       | Dura         |       |
| 6         |            |       | Rígida       |       |

SC = Arena arcillosa  
 (SC)g = Arena arcillosa con grava  
 (SW-SC)g = Arena bien gradada con arcilla y grava  
 RDbf = Roca Descompuesta blanda fracturada

Escala horizontal 1:1250  
 Escala vertical 1:100

**Figura 48:** Perfil geotécnico P1-P2-P3.

#### **7.2.1.2.2.- PERFIL GEOTÉCNICO P-4, P-5**

El perfil de la Figura 49 correlaciona a las perforaciones P-4 y P-5, su orientación es N 45° E. De manera general se observa un perfil compuesto por roca descompuesta blanda fracturada (RDbf), sin presencia de relleno, constituido por esquisto cuarzo plagioclásico, de alta resistencia a la penetración. El esquisto se presenta de color marrón claro a grisáceo con vetas de cuarzo paralelas y perpendiculares a la foliación. Este perfil es una continuidad lateral hacia el este del perfil anterior.

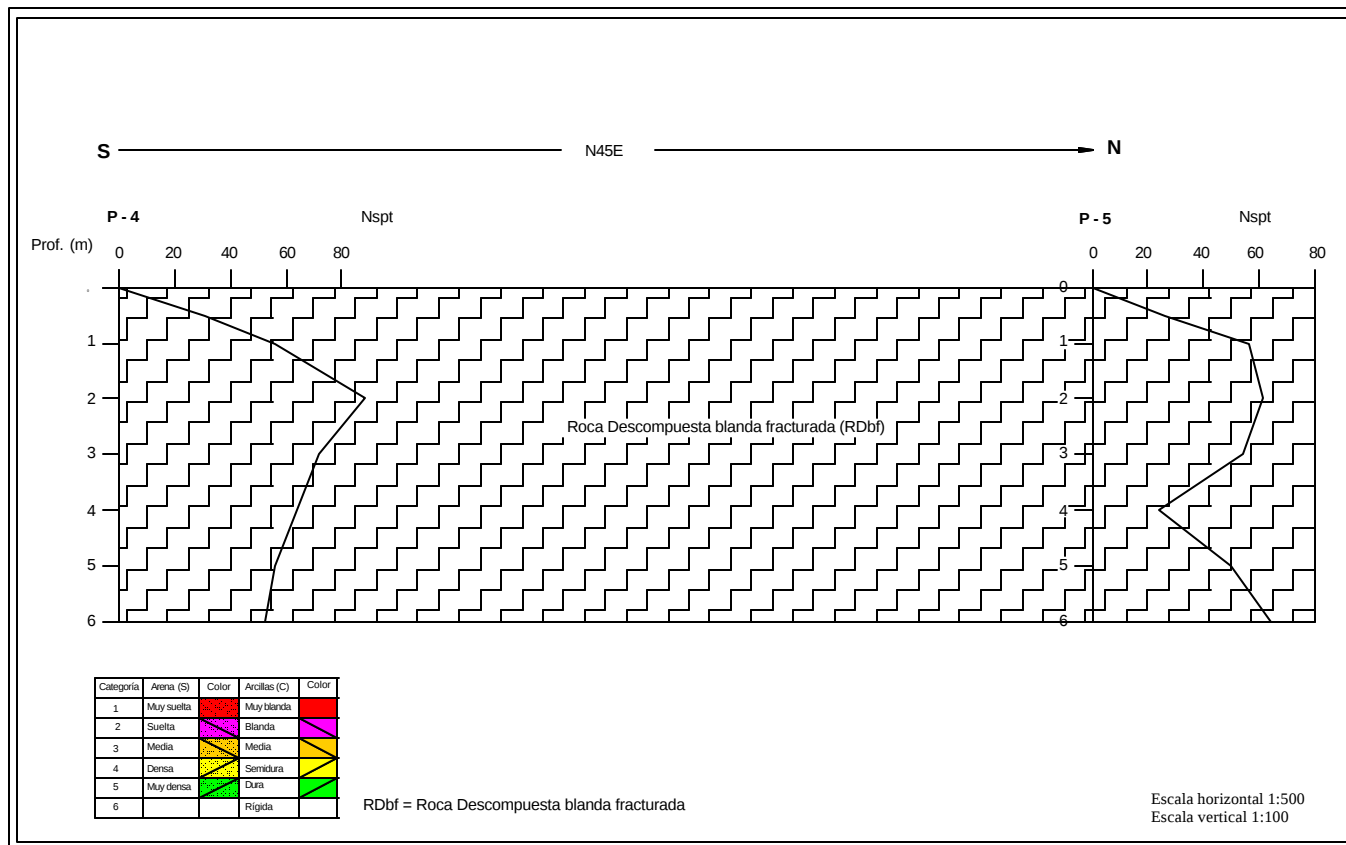
#### **7.2.1.2.3.- PERFIL GEOTÉCNICO P-6, P-7, P-8**

Por su parte el perfil representado por las perforaciones P6, P7 y P8 mostrado en la Figura 50, está constituido básicamente por roca descompuesta blanda fracturada (RDbf), de tipo esquisto cuarzo plagioclásico, el cual se presenta de color marrón claro a grisáceo y posee una elevada resistencia a la penetración.

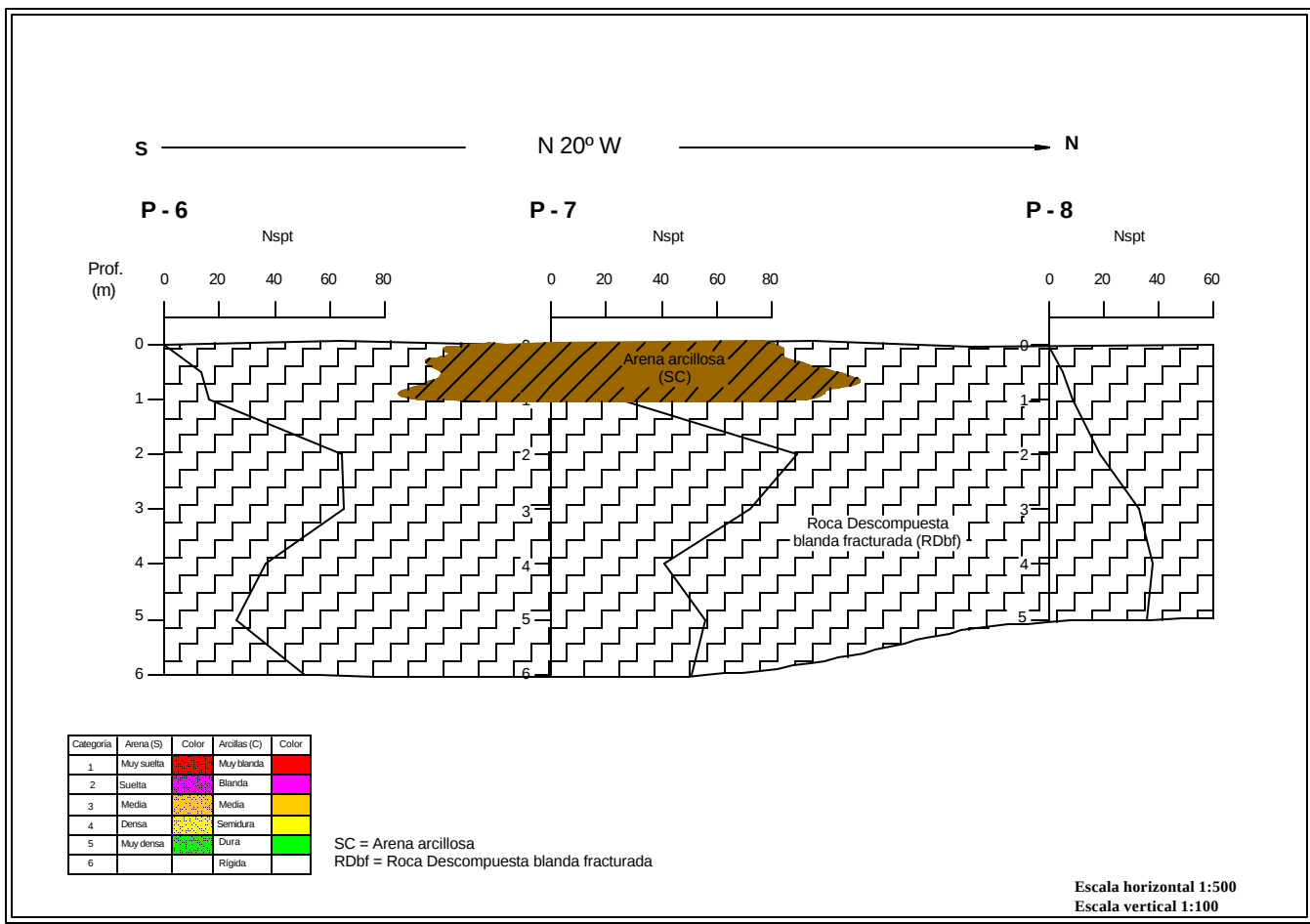
En el centro del perfil donde se realizó la perforación P-7, se pudo observar la presencia de un metro de relleno superficialmente de naturaleza areno arcillosa (SC), de color marrón rojizo a marrón, de compactación media, con un contenido de finos entre 25 y 33% y mediana resistencia a la penetración.

#### **7.2.1.2.4.- PERFIL GEOTÉCNICO P-9, P-10**

La Figura 51 muestra el perfil del subsuelo de los diques de seguridad de los tanques de almacenamiento 3 y 4. En él puede apreciarse la existencia de dos estratos claramente diferenciados: superficialmente un estrato de relleno y a partir de un metro de profundidad el estrato rocoso.



**Figura 49:** Perfil geotécnico P4-P5.



**Figura 50:** Perfil geotécnico P6-P7-P8

El estrato de relleno está formado hacia el oeste por arena arcillosa (SC) en los primeros 50 centímetros de profundidad y para los siguientes 0,5 metros de profundidad se incrementa su contenido de grava de 10,78% a 16,63%, por lo que se presenta como arena arcillosa con grava (SC)<sub>g</sub>. Hacia el este del perfil, la arena arcillosa es sustituida por completo por grava arcillosa (GC) y sólo se presenta en el primer medio metro de perforación. El estrato de relleno en la perforación P-10 presenta un contenido de grava de 45,10% y 14,06% de finos. El estrato de relleno se presenta de color marrón rojizo a amarillo ocre oscuro, posee compacidad media a baja y mediana resistencia a la penetración.

Por debajo del estrato de relleno se presenta el estrato rocoso formado por esquistos cuarzo plagioclásico, que por las características de la roca aflorante se ha clasificado como roca descompuesta blanda fracturada (RD<sub>bf</sub>), posee un color marrón claro a grisáceo y una elevada resistencia a la penetración.

Según la caracterización de las muestras extraídas de las diversas perforaciones realizados se puede concluir que, el perfil del subsuelo en este lugar hasta unos 5 m aproximadamente, está constituido por dos materiales a saber:

- Un estrato de material de relleno, conformado por un material denominado arena arcillosa con grava (SC)<sub>g</sub> (según el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS, ASTM 2487-93), el cual se presenta con mayor espesor en los taludes hacia el oeste de la planta. Este estrato de relleno no se encontró en todas las perforaciones.
- Otro estrato por debajo del anterior, conformado por la roca *in situ*, clasificada como una roca descompuesta blanda fracturada (RD<sub>bf</sub>).

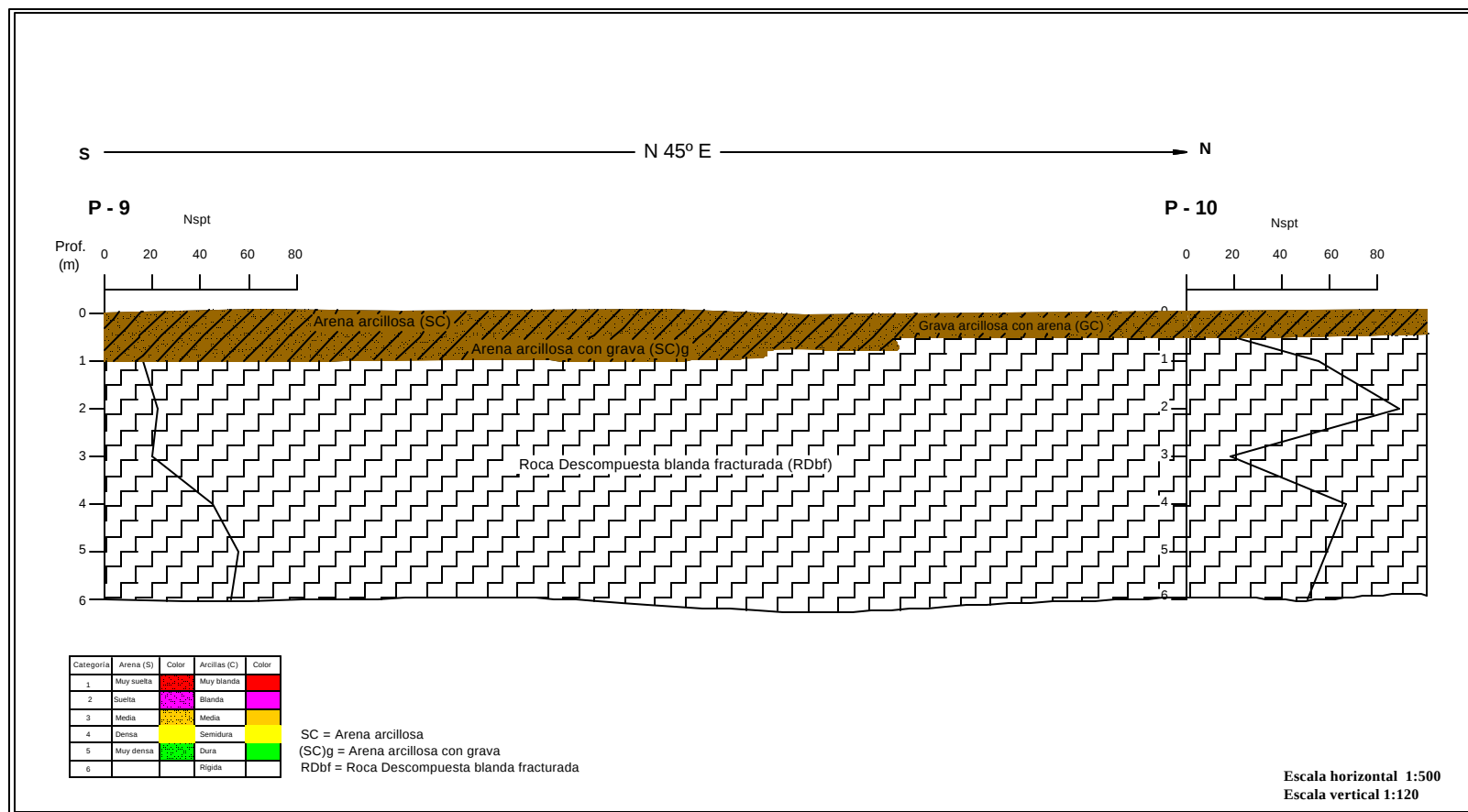


Figura 51: Perfil geotécnico P9-P10.

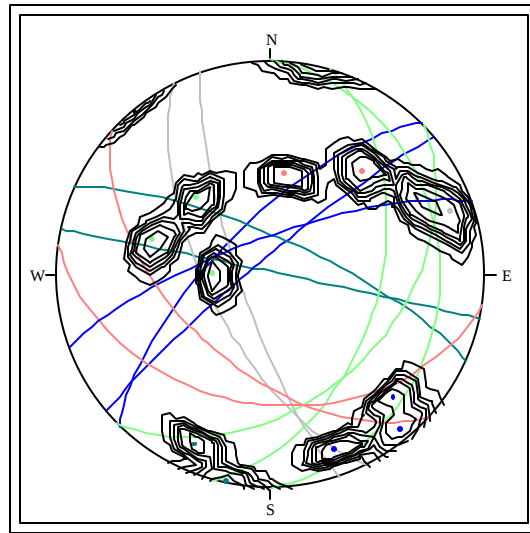
### 7.2.2.- CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS

Hacer la caracterización geotécnica de los macizos rocosos dentro de la planta de combustible consistió en describir a detalle principalmente dos características de los mismos:

- Su mineralogía y por tanto la litología.
- Los sistemas de discontinuidades presentes.

De esta información se puede concluir a nivel general que:

- En cuanto a la mineralogía y litología:
  - ◆ Los afloramientos observados son taludes en roca metamórfica, compuesta por cuarzo, plagioclasas y minerales micáceos, esta se definió en campo como un esquisto cuarzo plagioclásico.
- En relación con las discontinuidades:
  - ◆ Se observaron dos tipos de discontinuidades básicas, la foliación y las diaclasas, estas últimas rellenas o no.
  - ◆ Se presentan por lo menos 5 familias de diaclasas, las cuales afloran indistintamente en diversos taludes dentro de la planta, más la foliación que varía según el grado de plegamiento de la roca. En la Figura 52 se representan en proyección estereográfica las diaclasas levantadas en campo.



**Figura 52:** Representación gráfica (estereografía) de las diaclasas levantadas en campo.

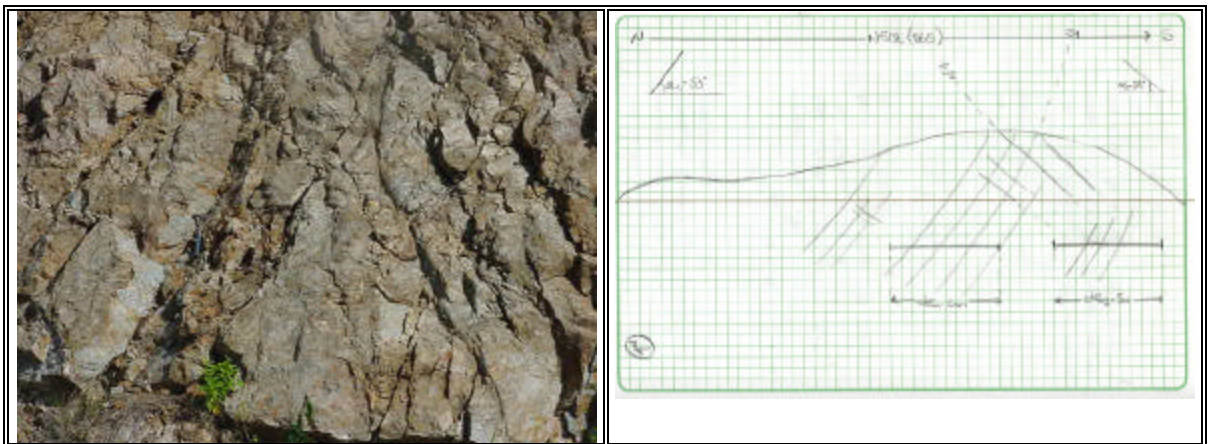
En la figura anterior se pueden apreciar las 5 familias de diaclasas presentes en la zona, identificadas con colores distintos y por los diagramas de polos superpuestos a la estereografía.

- ◆ El espaciamiento es moderado, entre 206 y 584 mm.
- ◆ En términos relativos se puede decir que las discontinuidades son persistentes a subpersistentes, con persistencia medida media a baja.
- ◆ Presentan abertura generalmente  $< 10$  mm, es decir abiertas.
- ◆ Las superficies de las discontinuidades se observan ligeramente rugosas.
- ◆ Generalmente sin relleno, a excepción de vetas de cuarzo reportadas, tanto paralelas a la foliación como ortogonales a esta.
- ◆ La roca se encuentra en grado de meteorización II-III (según ISRM, 1981), es decir, decolorada a descompuesta.
- ◆ El macizo rocoso se encuentra en grado de meteorización III (según ISRM, 1981), es decir, moderadamente meteorizado.

Los resultados de estos levantamientos por punto de afloramiento se encuentran en las planillas del Anexo IV. Las Figuras 53, 54, 55 y 56, son composiciones de los afloramientos levantados dentro de la planta, en los cuales se hicieron las mediciones reflejadas en las planillas del Anexo IV.



a.- Imagen digital, vista panorámica



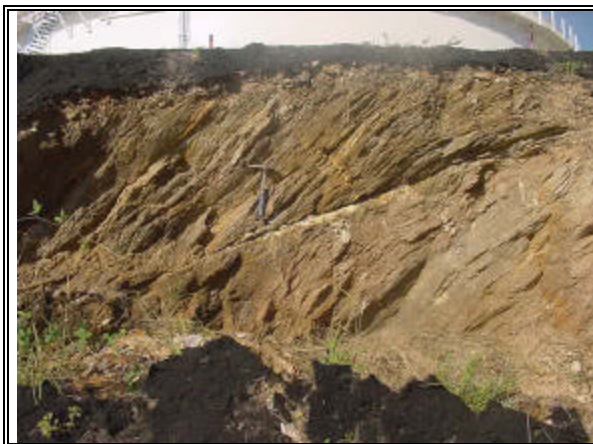
b.- Imagen digital, detalle

c.- Esquema de campo

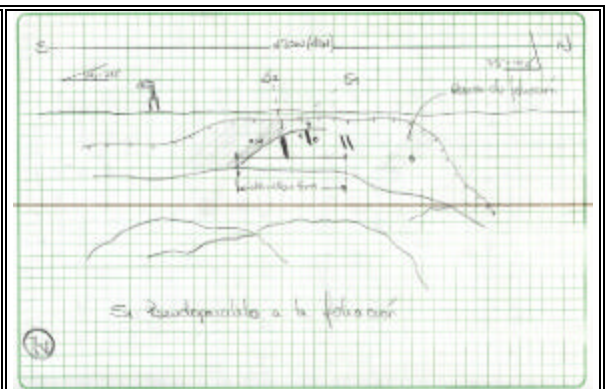
**Figura 53:** Afloramiento del punto 005



a.- Imagen digital, vista panorámica



b.- Imagen digital, detalle

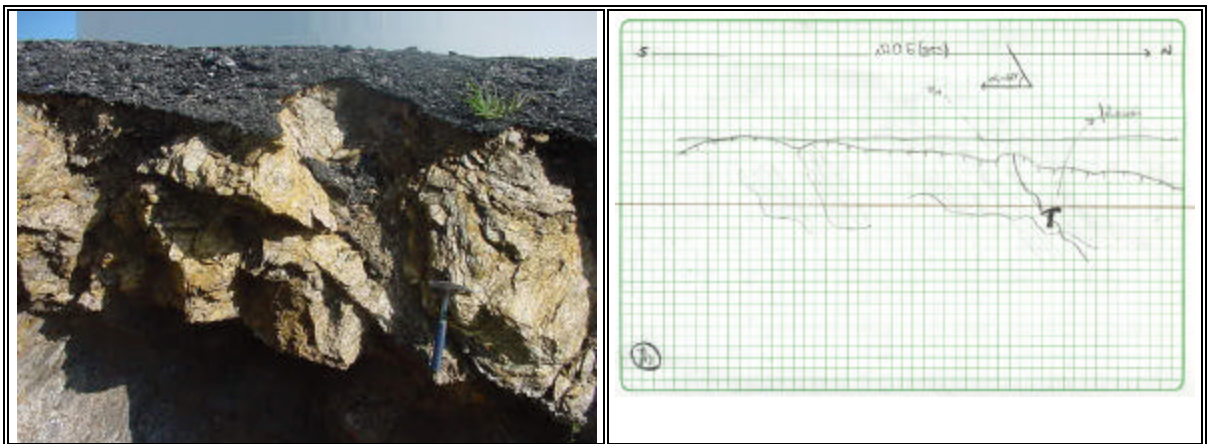


c.- Esquema de campo

**Figura 54:** Afloramiento del punto 007



a.- Imagen digital, vista panorámica



b.- Imagen digital, detalle

c.- Esquema de campo

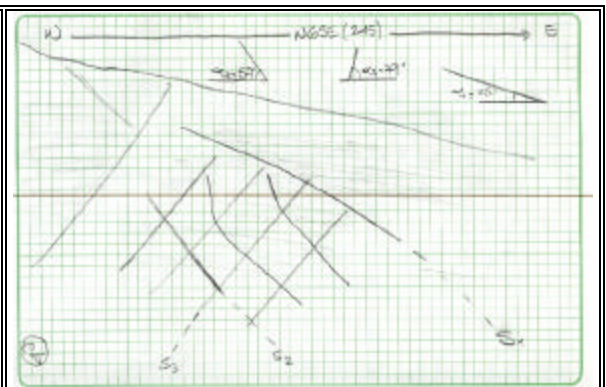
**Figura 55:** Afloramiento del punto 004



a.- Imagen digital, vista panorámica



b.- Imagen digital, detalle



c.- Esquema de campo

**Figura 56:** Afloramiento del punto 003

### 7.2.3.- MARTILLO DE *SCHMIDT*

Las mediciones con el Martillo de *Schmidt* se realizaron en todos los puntos de muestreo, los cuales se muestran en el Mapa 1 del Anexo I.

En el Anexo VI, se encuentra la Tabla AVI-1, con todos los valores del Martillo de *Schmidt*, tomados en campo, así como, el valor corregido según se explicó en el capítulo 1 para el martillo tipo M, el valor para el martillo tipo L corregido según la Figura 3 y la resistencia a la compresión determinada a partir de la Figura 4.

Al observar los datos de la Tabla AVI-1, se puede apreciar como los valores más altos se obtienen para las rocas pertenecientes a la unidad de gneis microclínico y para las unidades de serpentinita y mármol, a excepción de algunos casos pertenecientes sobre todo a la unidad de esquistos cuarzo muscovíticos plagioclásicos. Los valores más bajos por su parte, a grandes rasgos están relacionados con la unidad de esquistos muscovíticos.

La Tabla 27 muestra un resumen de los valores de resistencia a la compresión obtenidos de forma indirecta mediante el uso del martillo, para todos los puntos tomados en campo.

**Tabla 27:** Valores del Martillo de *Schmidt* para todos los puntos de ensayo.

| Muestra  | Unidad litológica | Valor del Martillo de Schmidt (Tipo L) | Resistencia a la Compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|----------|-------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------|
| TGD-OO1  | I                 | 13,78                                  | 270                                               |
| TGD-OO2  | I                 | 33,63                                  | 490                                               |
| TGD-OO3  | I                 | 29,29                                  | 540                                               |
| TGD-OO4  | I                 | 17,88                                  | 460                                               |
| TGD-OO5  | I                 | 31,80                                  | 630                                               |
| TGD-OO6  | I                 | 15,15                                  | 290                                               |
| TGD-OO7  | I                 | 15,60                                  | 290                                               |
| TGD-OO8  | I                 | 23,13                                  | 380                                               |
| TGD-OO9  | I                 | 23,82                                  | 430                                               |
| TGD-O10  | I                 | 21,31                                  | 380                                               |
| TGD-O11  | I                 | 25,41                                  | 430                                               |
| TGD-O12A | I                 | 11,04                                  | 240                                               |
| TGD-O13  | I                 | 11,95                                  | 260                                               |
| TGD-O15A | IV                | 19,03                                  | 340                                               |
| TGD-O16  | IV                | 22,90                                  | 330                                               |
| TGD-O18  | IV                | 9,67                                   | 220                                               |
| TGD-O21  | IV                | 21,31                                  | 350                                               |
| TGD-O22  | I                 | 9,67                                   | 240                                               |
| TGD-O23  | IV                | 35,91                                  | 750                                               |
| TGD-O25  | IV                | 19,25                                  | 340                                               |
| TGD-O26  | II                | 35,91                                  | 680                                               |
| TGD-O27  | III               | 40,93                                  | 950                                               |
| TGD-O29  | IV                | 9,67                                   | 220                                               |
| TGD-O30  | IV                | 16,74                                  | 300                                               |
| TGD-O31  | IV                | 38,88                                  | 700                                               |
| TGD-O32  | IV                | 9,67                                   | 230                                               |
| TGD-O34  | IV                | 22,90                                  | 380                                               |
| TGD-O35  | I                 | 22,22                                  | 380                                               |
| TGD-O36  | I                 | 9,67                                   | 220                                               |
| TGD-O38  | IV                | 23,82                                  | 350                                               |
| TGD-O40  | IV                | 26,56                                  | 500                                               |
| TGD-O41  | IV                | 26,78                                  | 500                                               |
| TGD-O42  | IV                | 9,67                                   | 220                                               |
| TGD-O43  | IV                | 37,51                                  | 700                                               |
| TGD-O44  | V                 | 35,46                                  | 620                                               |
| TGD-O46  | V                 | 33,63                                  | 600                                               |
| TGD-O47  | IV                | 18,80                                  | 350                                               |
| TGD-O49  | IV                | 18,80                                  | 300                                               |

Por su parte la Tabla 28 muestra algunas comparaciones de los valores del Martillo de *Schmidt* tomados en campo para las distintas unidades litológicas identificadas.

**Tabla 28:** Valores del Martillo de *Schmidt* por unidades litológicas.

| UNIDAD |                                              | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INDIRECTA<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |            |          |
|--------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------|----------|
|        |                                              | VALOR MÁX.                                                     | VALOR MÍN. | PROMEDIO |
| I      | Esquistos cuarzo muscovíticos plagioclásicos | 630                                                            | 270        | 370      |
| II     | Subunidad de serpentinita                    | 680                                                            | 680        | 680      |
| III    | Subunidad de mármol                          | 950                                                            | 950        | 950      |
| IV     | Esquistos cuarzo muscovíticos                | 750                                                            | 220        | 393      |
| V      | Gneis microclínico                           | 620                                                            | 600        | 610      |

En esta tabla se puede apreciar como en promedio las unidades esquistosas incluyendo la unidad de esquistos cuarzo muscovítico plagioclásicos descritos en los afloramientos dentro de la planta, presentan menor resistencia a la compresión, según las medidas del martillo, siendo el promedio de las medidas hechas en los afloramientos propiamente en la planta de 424 kg/cm<sup>2</sup>, esto es para las muestras TGD-001 al TGD-007.

### 7.3.- ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos relacionados con el área de geotecnia se realizaron en el Laboratorio de Ingenieros De Santis C.A., estos estuvieron a cargo del suscrito, junto con la colaboración del personal que labora en el laboratorio. Los ensayos realizados fueron los siguientes:

- Ensayo de Compresión Uniaxial
- Ensayo de Densidad (mediante el método de la parafina)
- Ensayo de Corte Directo

#### **7.3.1.- ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL**

Los ensayos de compresión se realizaron para cuatro condiciones distintas de los testigos de roca, estas condiciones son: en estado natural y después de 5, 10 y 15 ciclos de secado y humedecimiento. Los ciclos de secado y humedecimiento, se realizaron a las muestras de las cuales se pudo extraer los cuatro testigos correspondientes, una para cada ensayo, cada ciclo consistió en sumergir los testigos de roca en agua durante un periodo de 24 horas para posteriormente someterlos a secado en un horno a temperatura constante de 110 °C por otras 24 horas, con lo cual se intento simular un proceso de meteorización acelerada. La Tabla 29 resume los resultados de estos ensayos.

**Tabla 29:** Resultados de la compresión uniaxial, para las diversas Condiciones de los testigos de rocas.

| Muestra   | Testigos al natural |             |                                | Seca y humedecimiento |             |                                |                        |             |                                |                        |             |                                |
|-----------|---------------------|-------------|--------------------------------|-----------------------|-------------|--------------------------------|------------------------|-------------|--------------------------------|------------------------|-------------|--------------------------------|
|           |                     |             |                                | Testigos con 5 ciclos |             |                                | Testigos con 10 ciclos |             |                                | Testigos con 15 ciclos |             |                                |
|           | Área de la sección  | Carga (Ton) | Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Área de la sección    | Carga (Ton) | Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Área de la sección     | Carga (Ton) | Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Área de la sección     | Carga (Ton) | Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
| TGD-OO1   | 30,09               | 6,56        | 218,013                        | 29,32                 | 3,67        | 125,192                        | 25,58                  | 3,72        | 145,426                        |                        |             |                                |
| TGD-OO2   | 16,68               | 3,75        | 224,888                        | 28,41                 | 2,55        | 89,762                         | 18,07                  | 1,38        | 76,375                         | 18,45                  | 3,48        | 188,669                        |
| TGD-OO3   | 42,45               | 11,80       | 277,954                        | 30,00                 | 7,36        | 245,344                        | 26,73                  | 4,03        | 150,773                        | 136,15                 | 6,98        | 241,857                        |
| TGD-OO4   | 26,01               | 2,34        | 89,974                         | 19,17                 | 2,34        | 122,043                        | 27,02                  | 0,88        | 32,565                         | 75,64                  | 0,55        | 27,049                         |
| TGD-OO5   | 25,11               | 10,97       | 436,878                        | 27,96                 | 14,87       | 531,748                        | 31,99                  | 3,99        | 124,722                        | 86,62                  | 1,60        | 85,343                         |
| TGD-OO6   | 37,98               | 5,35        | 140,879                        | 28,87                 | 2,57        | 89,009                         | 33,28                  | 1,32        | 39,660                         |                        |             |                                |
| TGD-OO7   | 33,11               | 2,27        | 68,570                         | 31,29                 | 1,24        | 39,633                         | 20,62                  | 1,27        | 61,603                         | 170,75                 | 1,40        | 41,898                         |
| TGD-OO8   | 27,34               | 2,51        | 91,802                         |                       |             |                                |                        |             |                                |                        |             |                                |
| TGD-OO9   | 26,71               | 2,00        | 74,880                         |                       |             |                                |                        |             |                                |                        |             |                                |
| TGD-OO10  | 30,18               | 4,85        | 160,717                        |                       |             |                                |                        |             |                                |                        |             |                                |
| TGD-OO11  | 30,93               | 4,74        | 153,228                        |                       |             |                                |                        |             |                                |                        |             |                                |
| TGD-OO12a | 34,04               | 1,96        | 57,580                         |                       |             |                                | 17,66                  | 0,91        | 51,528                         | 65,84                  | 1,36        | 81,542                         |
| TGD-OO12b | 26,97               | 3,17        | 117,548                        |                       |             |                                | 11,89                  | 3,88        | 326,329                        |                        |             |                                |
| TGD-OO13  | 26,45               | 2,47        | 93,392                         |                       |             |                                | 28,83                  | 4,69        | 162,657                        | 123,54                 | 1,40        | 54,624                         |
| TGD-OO14  | 31,23               | 7,85        | 251,372                        |                       |             |                                | 36,77                  | 3,83        | 104,165                        |                        |             |                                |
| TGD-OO15a | 21,93               | 3,05        | 139,063                        | 12,29                 | 3,73        | 303,590                        | 13,16                  | 1,28        | 97,290                         | 57,17                  | 1,20        | 63,965                         |
| TGD-OO15b | 25,46               | 2,81        | 110,382                        | 21,13                 | 1,84        | 87,062                         | 30,28                  | 3,02        | 99,748                         | 106,43                 | 2,12        | 86,746                         |
| TGD-OO16  | 24,64               | 2,56        | 103,907                        |                       |             |                                |                        |             |                                |                        |             |                                |
| TGD-OO18  | 22,65               | 2,79        | 123,167                        |                       |             |                                |                        |             |                                |                        |             |                                |
| TGD-OO20  | 18,30               | 0,88        | 48,097                         |                       |             |                                |                        |             |                                |                        |             |                                |
| TGD-OO21  | 25,82               | 1,74        | 67,393                         |                       |             |                                |                        |             |                                |                        |             |                                |
| TGD-OO22  | 19,75               | 1,21        | 61,276                         | 24,10                 | 3,75        | 155,589                        | 34,62                  | 1,89        | 54,597                         | 104,30                 | 1,86        | 81,319                         |
| TGD-OO23  | 25,94               | 11,36       | 437,986                        |                       |             |                                |                        |             |                                |                        |             |                                |
| TGD-OO24  | 26,24               | 2,29        | 87,259                         |                       |             |                                |                        |             |                                |                        |             |                                |
| TGD-OO25  | 18,32               | 0,91        | 49,672                         |                       |             |                                |                        |             |                                |                        |             |                                |
| TGD-OO26  | 23,10               | 11,43       | 494,805                        | 25,07                 | 2,54        | 101,298                        | 28,01                  | 15,92       | 568,295                        | 67,13                  | 3,15        | 168,327                        |
| TGD-OO27  | 29,87               | 15,96       | 534,237                        |                       |             |                                |                        |             |                                |                        |             |                                |
| TGD-OO30  | 26,48               | 2,05        | 77,413                         | 12,40                 | 1,08        | 87,079                         | 21,35                  | 2,05        | 96,010                         | 158,45                 | 1,26        | 36,519                         |
| TGD-OO31  | 22,92               | 4,04        | 176,251                        |                       |             |                                |                        |             |                                |                        |             |                                |
| TGD-OO32  | 27,42               | 2,79        | 101,744                        |                       |             |                                |                        |             |                                |                        |             |                                |
| TGD-OO34  | 28,20               | 3,12        | 110,626                        |                       |             |                                |                        |             |                                |                        |             |                                |
| TGD-OO35  | 28,53               | 12,87       | 451,084                        | 26,17                 | 8,31        | 317,495                        | 28,52                  | 9,77        | 342,566                        | 139,64                 | 2,35        | 87,300                         |
| TGD-OO36  | 15,98               | 2,30        | 143,975                        | 24,33                 | 2,00        | 82,217                         | 21,55                  | 1,25        | 57,994                         | 69,67                  | 2,30        | 85,169                         |
| TGD-OO38  | 34,08               | 0,76        | 22,303                         |                       |             |                                |                        |             |                                |                        |             |                                |
| TGD-OO40  | 24,51               | 2,95        | 120,384                        |                       |             |                                |                        |             |                                |                        |             |                                |
| TGD-OO41  | 28,61               | 4,85        | 169,522                        | 29,25                 | 4,37        | 149,426                        | 30,49                  | 3,52        | 115,432                        | 83,48                  | 3,00        | 122,910                        |
| TGD-OO42  | 18,37               | 1,42        | 77,303                         |                       |             |                                |                        |             |                                |                        |             |                                |
| TGD-OO43  | 22,08               | 2,53        | 114,606                        | 21,41                 | 4,46        | 208,283                        | 21,73                  | 4,05        | 186,342                        | 85,95                  | 1,89        | 101,204                        |
| TGD-OO44  | 25,80               | 4,28        | 165,886                        | 18,68                 | 4,57        | 244,602                        | 25,29                  | 5,06        | 200,086                        | 76,13                  | 1,89        | 111,834                        |
| TGD-OO46  | 32,86               | 1,94        | 59,033                         |                       |             |                                |                        |             |                                |                        |             |                                |
| TGD-OO47  | 20,76               | 2,95        | 142,126                        |                       |             |                                |                        |             |                                |                        |             |                                |
| TGD-OO49  | 29,87               | 17,77       | 595,007                        | 27,18                 | 13,65       | 502,157                        | 25,20                  | 10,81       | 429,029                        | 136,68                 | 2,20        | 101,686                        |

### **7.3.2.- ENSAYO DE DENSIDAD**

Por su parte los ensayos de densidad se realizaron a todas las muestras traídas al laboratorio, ya que no solo se realizaban para un solo testigo de roca, sino que además este era utilizado posteriormente para cualquier otro ensayo. Los resultados de todos estos ensayos se muestran en la Tabla 30, las planillas con los datos completos de los ensayos se encuentran en el Anexo VIII.

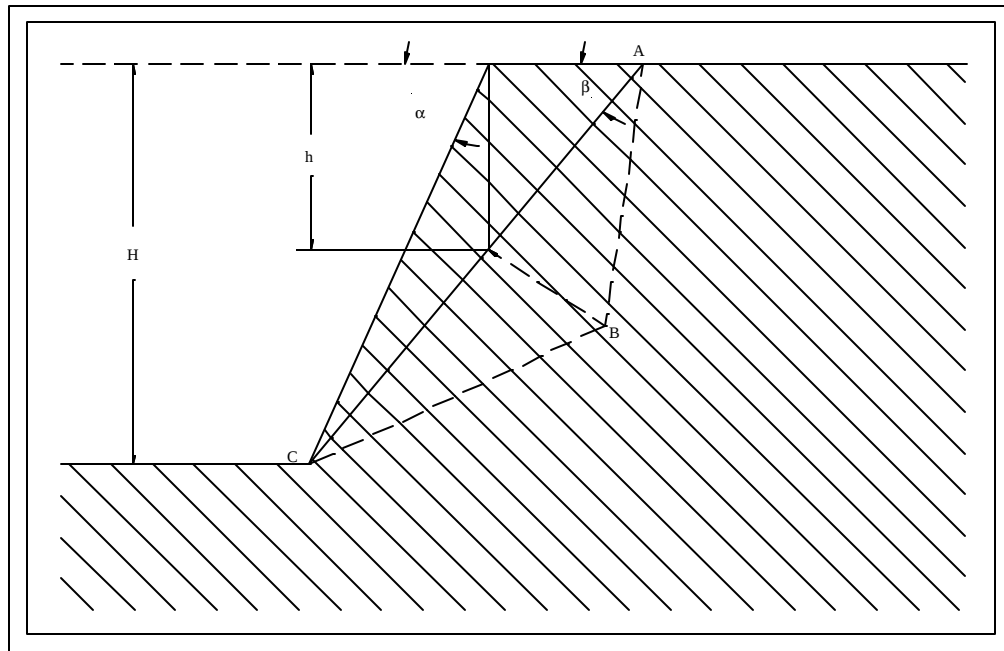
### **7.3.3.- ENSAYO DE CORTE DIRECTO**

Los ensayos de corte directo se realizaron a las muestras de las cuales se pudo traer al laboratorio mayor cantidad, ya que para este ensayo se requirieron 4 o 5 tacos a partir de los cuales se generaron las superficies lisas sobre las cuales se corrieron los ensayos. En este sentido las muestras seleccionadas para tal fin fueron aquellas encontradas en afloramientos de fácil acceso ya que en algunos casos hubo que volver a campo a tomar más muestras para poder terminar el ensayo. Los resultados de estos ensayos se muestran en la Tabla 32, las planillas con los datos completos de los ensayos se encuentran en el Anexo IX.

Para este ensayo se escogieron valores de esfuerzo normal de 0,50, 1,00 y 1,50 kg/cm<sup>2</sup>, los cuales son parámetros conservadores si se consideran los valores de esfuerzo normal para la geometría de los taludes analizados. La Figura 57 muestra la geometría básica de un talud junto con los parámetros involucrados en la determinación del esfuerzo normal.

**Tabla 30:** Resultados del ensayo de densidad.

| Muestra  | Peso Muestra<br>Húmeda (gr) | Volumen Muestra<br>Húmeda (cm <sup>3</sup> ) | Densidad Húmeda<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) | Humedad<br>(%) | Densidad Seca<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) |
|----------|-----------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------|----------------|----------------------------------------|
| TGD-001  | 86,09                       | 33,93                                        | 2,537                                    | 0,10           | 2,535                                  |
| TGD-002  | 175,69                      | 69,37                                        | 2,533                                    | 0,51           | 2,520                                  |
| TGD-003  | 143,74                      | 55,18                                        | 2,605                                    | 0,09           | 2,602                                  |
| TGD-004  | 314,47                      | 136,16                                       | 2,310                                    | 0,85           | 2,290                                  |
| TGD-005  | 366,94                      | 139,03                                       | 2,639                                    | 0,17           | 2,635                                  |
| TGD-006  | 243,98                      | 97,86                                        | 2,493                                    | 0,37           | 2,484                                  |
| TGD-007  | 309,84                      | 126,11                                       | 2,457                                    | 0,26           | 2,451                                  |
| TGD-008  | 94,33                       | 40,84                                        | 2,310                                    | 0,44           | 2,300                                  |
| TGD-009  | 217,25                      | 83,97                                        | 2,587                                    | 0,71           | 2,569                                  |
| TGD-010  | 133,91                      | 53,02                                        | 2,525                                    | 0,11           | 2,523                                  |
| TGD-011  | 217,56                      | 86,23                                        | 2,523                                    | 0,68           | 2,506                                  |
| TGD-012a | 140,45                      | 57,27                                        | 2,452                                    | 0,15           | 2,449                                  |
| TGD-012b | 194,44                      | 74,18                                        | 2,621                                    | 0,09           | 2,619                                  |
| TGD-013  | 52,04                       | 21,07                                        | 2,469                                    | 0,23           | 2,464                                  |
| TGD-014  | 172,38                      | 68,51                                        | 2,516                                    | 0,35           | 2,507                                  |
| TGD-015a | 104,17                      | 41,72                                        | 2,497                                    | 0,28           | 2,490                                  |
| TGD-015b | 262,70                      | 109,53                                       | 2,398                                    | 0,49           | 2,387                                  |
| TGD-016  | 220,44                      | 90,43                                        | 2,438                                    | 0,45           | 2,427                                  |
| TGD-018  | 51,56                       | 22,23                                        | 2,319                                    | 0,59           | 2,306                                  |
| TGD-020  | 109,60                      | 49,11                                        | 2,232                                    | 0,23           | 2,227                                  |
| TGD-021  | 126,42                      | 53,65                                        | 2,356                                    | 0,17           | 2,352                                  |
| TGD-022  | 256,38                      | 99,20                                        | 2,585                                    | 0,56           | 2,570                                  |
| TGD-023  | 272,55                      | 104,20                                       | 2,616                                    | 0,23           | 2,610                                  |
| TGD-024  | 149,90                      | 64,99                                        | 2,306                                    | 1,45           | 2,274                                  |
| TGD-025  | 125,48                      | 51,94                                        | 2,416                                    | 0,38           | 2,407                                  |
| TGD-026  | 296,35                      | 117,48                                       | 2,523                                    | 0,34           | 2,514                                  |
| TGD-027  | 386,04                      | 145,42                                       | 2,655                                    | 0,05           | 2,653                                  |
| TGD-029  | 69,68                       | 30,53                                        | 2,283                                    | 0,66           | 2,267                                  |
| TGD-030  | 340,94                      | 137,02                                       | 2,488                                    | 0,36           | 2,479                                  |
| TGD-031  | 173,88                      | 71,33                                        | 2,438                                    | 0,12           | 2,435                                  |
| TGD-032  | 339,07                      | 136,34                                       | 2,487                                    | 0,98           | 2,463                                  |
| TGD-034  | 236,36                      | 93,47                                        | 2,529                                    | 0,31           | 2,521                                  |
| TGD-035  | 325,34                      | 129,44                                       | 2,513                                    | 0,26           | 2,507                                  |
| TGD-036  | 125,08                      | 53,60                                        | 2,334                                    | 1,06           | 2,309                                  |
| TGD-038  | 178,87                      | 80,14                                        | 2,232                                    | 0,61           | 2,218                                  |
| TGD-040  | 184,14                      | 70,03                                        | 2,629                                    | 0,36           | 2,620                                  |
| TGD-041  | 226,85                      | 90,40                                        | 2,510                                    | 0,29           | 2,502                                  |
| TGD-042  | 142,31                      | 59,86                                        | 2,377                                    | 0,41           | 2,368                                  |
| TGD-043  | 319,54                      | 126,28                                       | 2,530                                    | 0,24           | 2,525                                  |
| TGD-044  | 244,65                      | 95,08                                        | 2,573                                    | 0,13           | 2,570                                  |
| TGD-046  | 74,56                       | 29,29                                        | 2,546                                    | 0,17           | 2,541                                  |
| TGD-047  | 205,73                      | 78,93                                        | 2,607                                    | 0,11           | 2,604                                  |
| TGD-049  | 306,71                      | 132,81                                       | 2,309                                    | 0,08           | 2,625                                  |



**Figura 57:** Determinación del esfuerzo normal, según las condiciones del talud,  
(Modificada de SALCEDO, 1978)

Si se toman en cuenta las condiciones geométricas de la Tabla 31, para los taludes analizados, las cuales son más desfavorables que las condiciones reales, se tiene un esfuerzo normal máximo de  $0,781 \text{ kg/cm}^2$ , como se muestra en la misma tabla.

**Tabla 31:** Cálculo del esfuerzo normal para condiciones desfavorables  
en los taludes analizados.

|                                          |       |                  |
|------------------------------------------|-------|------------------|
| Peso unitario, $\delta$                  | 2,700 | $\text{gr/cm}^2$ |
| Altura, H                                | 7,00  | m                |
| Inclinación del talud, $\alpha$          | 50    | °                |
| Buzamiento de la discontinuidad, $\beta$ | 10    | °                |
| Esfuerzo normal, $\sigma_n$              | 0,781 | $\text{kg/cm}^2$ |

**Tabla 32:** Resultados del ensayo de corte directo.

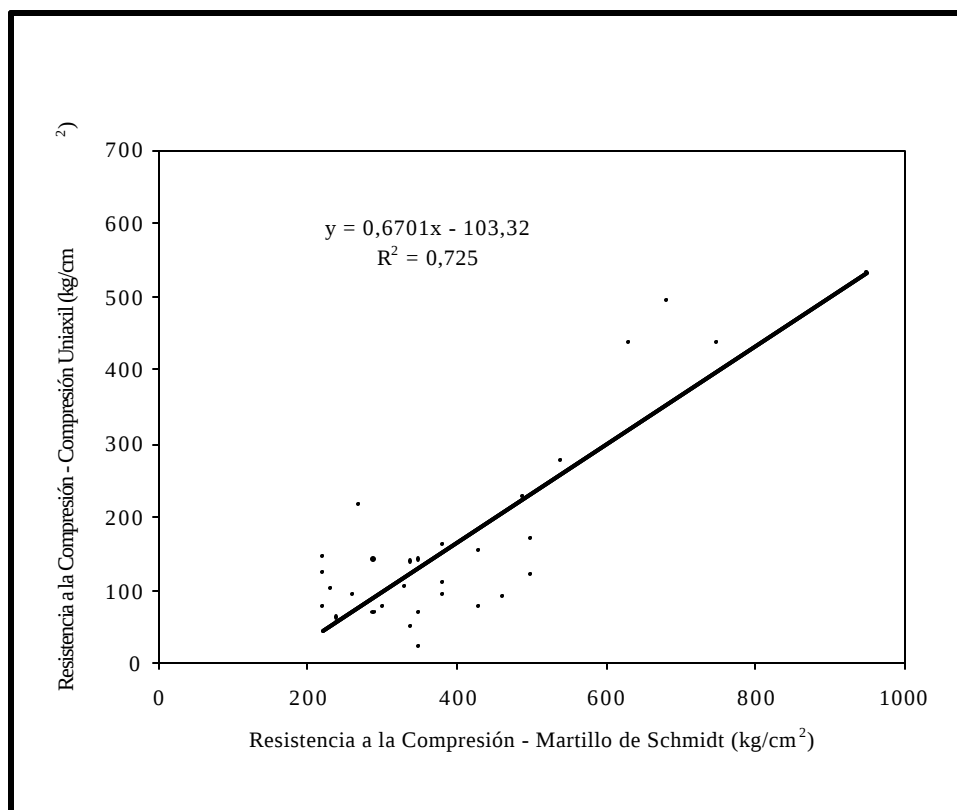
| Muestra | Esfuerzo normal<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo de corte<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | Ángulo de Fricción (°) |
|---------|------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------|
| TGD-003 | 0,50                                     | 0,281                                      | 30,78                  |
|         | 1,00                                     | 0,587                                      |                        |
|         | 1,50                                     | 0,876                                      |                        |
| TGD-003 | 0,50                                     | 0,255                                      | 36,49                  |
|         | 1,00                                     | 0,602                                      |                        |
|         | 1,50                                     | 0,995                                      |                        |
| TGD-005 | 0,50                                     | 0,288                                      | 28,16                  |
|         | 1,00                                     | 0,583                                      |                        |
|         | 1,50                                     | 0,824                                      |                        |
| TGD-005 | 0,50                                     | 0,374                                      | 39,92                  |
|         | 1,00                                     | 0,825                                      |                        |
|         | 1,50                                     | 1,211                                      |                        |
| TGD-007 | 0,50                                     | 0,232                                      | 33,27                  |
|         | 1,00                                     | 0,522                                      |                        |
|         | 1,50                                     | 0,888                                      |                        |

#### 7.4.- CORRELACIONES

Con la finalidad de estudiar las posibles relaciones entre diversas propiedades de la roca, se realizaron una serie de correlaciones entre los parámetros más significativos obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio realizados. Estas correlaciones no pretenden ser una regla aplicable a todas las situaciones, más bien son relaciones empíricas obtenidas a partir de una muestra estadística de rocas a las cuales se les aplicaron una serie de ensayos, que pueden dar idea de los valores de ciertos parámetros en función de otros conocidos.

##### 7.4.1.- COMPRESIÓN UNIAJIL VS MARTILLO DE *SCHMIDT*

Esta es una de las más importantes correlaciones realizadas ya que relaciona al parámetro de resistencia a la compresión tomado en campo en forma indirecta con el Martillo de *Schmidt* con su equivalente determinado en forma directa a partir del ensayo de resistencia a la compresión uniaxial. La Figura 58, es la representación gráfica de los valores de compresión uniaxial y martillo de *Schmidt*, tomados de las tablas correspondientes.



**Figura 58:** Compresión Uniaxil vs Martillo de *Schmidt*.

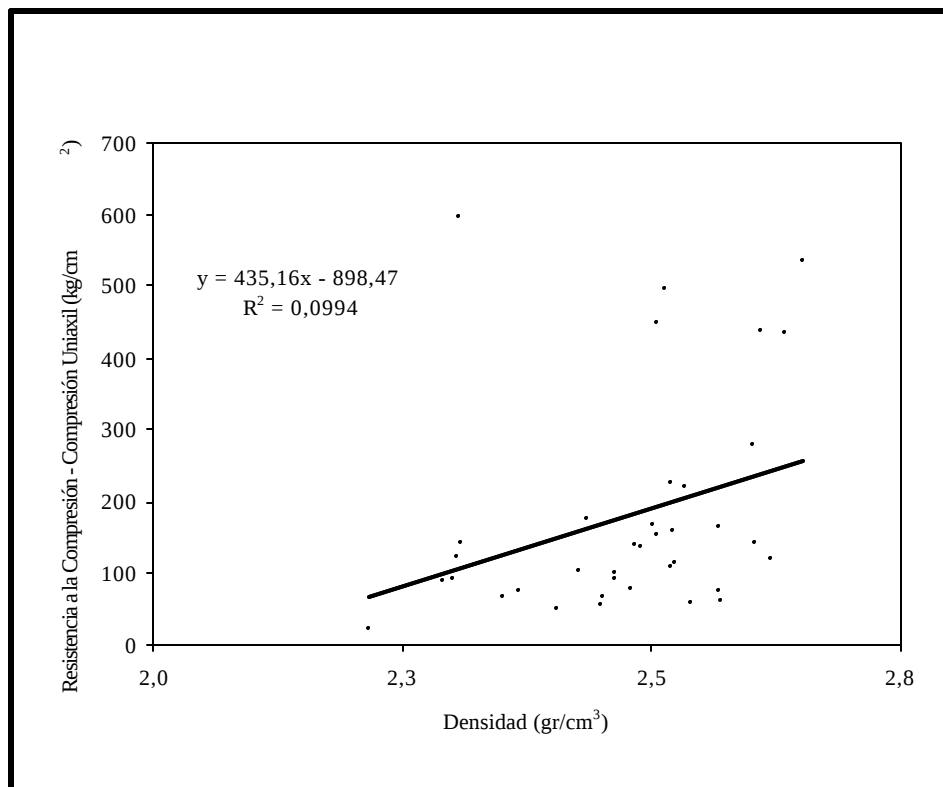
De los datos y la gráfica de correlación es importante mencionar que:

- Los valores de resistencia a la compresión obtenidos a partir del Martillo de *Schmidt*, presentan un alto error debido a la dispersión de estos inferidos a partir de la gráfica de la Figura 4 (capítulo 1).
- Los valores de la resistencia a la compresión medida con el Martillo de *Schmidt*, por lo general siempre son más altos (a excepción de las muestras TGD-035 y TGD-049) que los obtenidos a partir del ensayo de compresión uniaxil. Este aumento va desde un 23% hasta un exagerado 1469% del valor de resistencia a la compresión determinada en el laboratorio.

- A grandes rasgos se puede decir que las mejores correlaciones se encuentran asociadas a rocas pertenecientes a la Unidad de esquistos cuarzo plagioclásicos.

#### 7.4.2.- COMPRESIÓN UNIAXIL VS DENSIDAD

En particular esta correlación es significativa ya que relaciona dos parámetros comúnmente utilizados por el ingeniero geotecnista, con la salvedad de que este lo hace en la mayoría de los casos por separado, de acá la importancia de esta correlación. Tomando los valores de las tablas correspondientes para cada muestra correlacionada, se representa la correlación en la Figura 59.



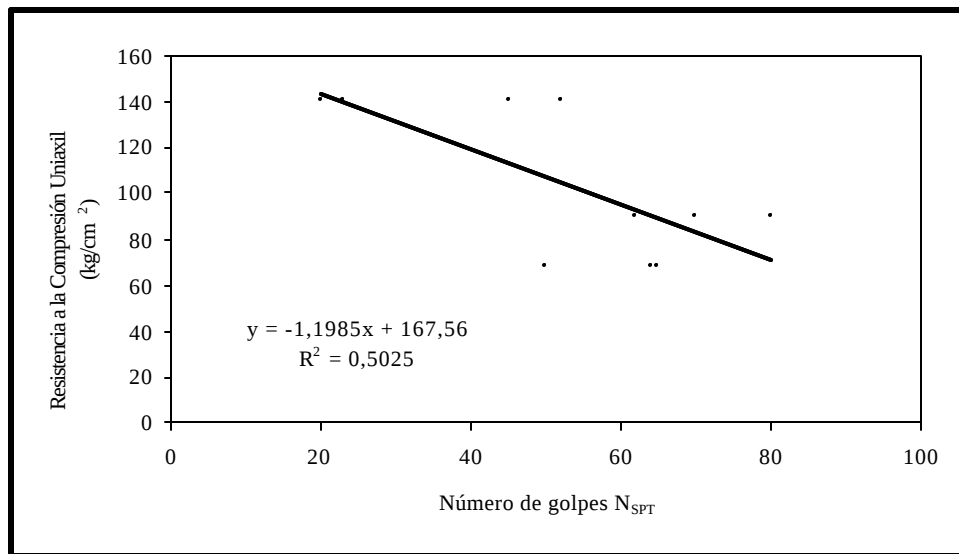
**Figura 59:** Compresión uniaxil vs Densidad.

De los datos y la gráfica de correlación es importante mencionar que:

- Al igual que la correlación anterior las mejores correlaciones se encuentran asociadas a la Unidad de esquistos cuarzo plagioclásicos.
- Existe una gran dispersión de los valores en esta correlación, sin embargo y a grandes rasgos se ve como la resistencia a la compresión es directamente proporcional con la densidad; es decir, a mayor densidad parece haber mayor resistencia a la compresión, medida esta en forma directa a partir del ensayo de resistencia a la compresión uniaxial.

#### **7.4.3.- COMPRESIÓN UNIAXIL VS SPT**

Tener una idea de la resistencia a la compresión de una roca a partir del ensayo de SPT, es de suma importancia en cualquier trabajo de geotecnia, ya que es de uso común determinar la capacidad portante del subsuelo haciendo una corrida SPT, además es bastante frecuente encontrar rocas cuando se está realizando este ensayo, por tanto poder correlacionar estos parámetros es de gran utilidad a la hora de hacer interpretaciones sobre la calidad del terreno que se está explorando. Los resultados de esta correlación se muestran en la Figura 60.



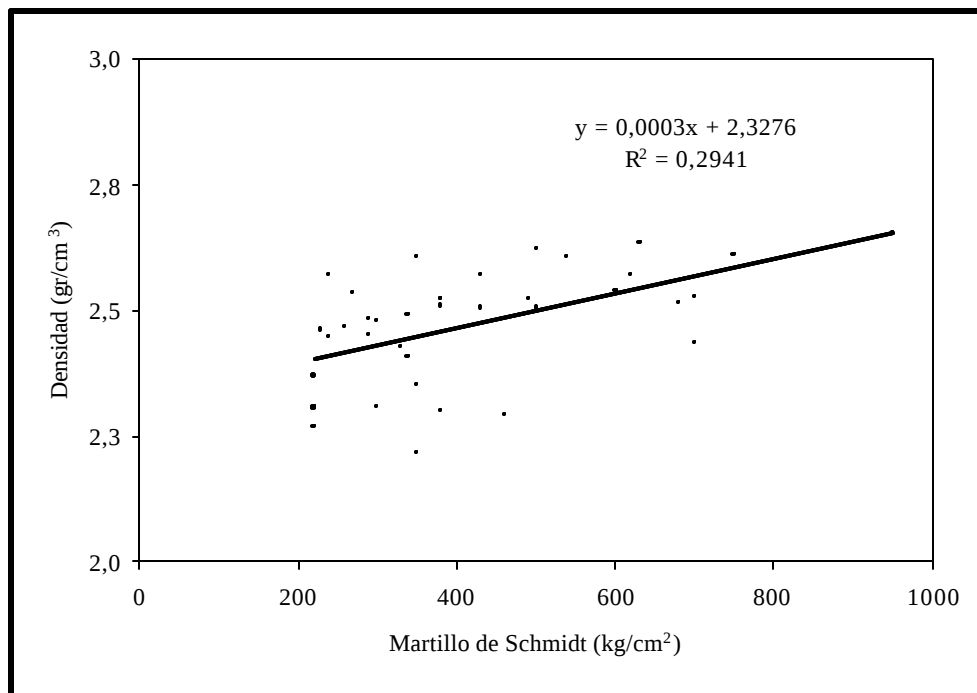
**Figura 60:** Compresión uniaxil vs SPT.

De los datos y la gráfica de correlación es importante mencionar que:

- Los datos interpretados para esta correlación corresponden a las perforaciones realizadas en las adyacencias de los afloramientos de los cuales se obtuvieron las muestras a las que se les aplicó el ensayo de compresión uniaxil. Es por esta razón que algunos puntos tienen dos valores de SPT y otros uno solo.
- La capacidad portante tomada en cuenta corresponde a la de la profundidad de 2 m, debido a que esta es la que mejor corresponde con la ubicación del lugar de donde se tomo la muestra.
- Sin restarle importancia al hecho de que se están interpretando pocos datos, se observa una muy buena correlación entre estos dos parámetros. Es importante recordar que se hicieron ensayos de SPT solo en algunos afloramientos dentro de la planta de combustible.

#### 7.4.4.- DENSIDAD VS MARTILLO DE SCHMIDT

Al igual que la anterior correlación, esta maneja parámetros de uso diario del ingeniero geotecnista, el cual en la mayoría de los casos no establece una posible correspondencia entre estos valores, a pesar de la practicidad de la determinación de ambos. Según los datos obtenidos de las diversas tablas, se obtiene la siguiente representación gráfica (ver Figura 61) de la correlación entre estos dos parámetros.



**Figura 61:** Densidad vs Martillo de Schmidt.

De los datos y la gráfica de correlación es importante mencionar que:

- En general ambos datos, los de la densidad y los del Martillo de *Schmidt* son hasta cierto punto homogéneos.
- Esta homogeneidad en los datos traen como consecuencia que la correlación entre estos parámetros sea una de las mejores, lo que es evidenciado por la poca dispersión de los puntos de la Figura 61. La poca dispersión observada en la gráfica es corroborada al evaluar la línea de tendencia con la cual solo se obtiene una diferencia máxima de 10% entre los valores reales y los obtenidos a partir de la correlación.
- Al igual que la resistencia a la compresión medida a partir del ensayo de compresión uniaxial, la resistencia a la compresión según el Martillo de *Schmidt* tiende a aumentar proporcionalmente con la densidad.
- En este caso las mejores correlaciones no están asociadas a ninguna unidad en particular.

## **ESTABILIDAD DE TALUDES**

### **8.1.- GENERALIDADES**

Los mecanismos de falla relacionados a los diversos deslizamientos en taludes en roca están asociados directamente con las discontinuidades que presenta el macizo rocoso, tales discontinuidades en este caso se tratan de: planos de foliación, diaclasas abiertas o rellenas. Con la finalidad de realizar la clasificación geomecánica de la roca y de estudiar la estabilidad de los taludes dentro de la planta y sus modos de falla, se realizó un estudio detallado del macizo rocoso y de los sistemas de discontinuidades presentes en los afloramientos dentro de la planta, en base a:

- Mineralogía, litología y grado de meteorización.
- Orientación, espaciamiento, persistencia, rugosidad, abertura, relleno y número de familias, de los diversos sistemas de discontinuidades presentes.

A partir de esta información se clasificó el macizo rocoso según los siguientes sistemas de clasificación:

- Clasificación Geomecánica del Macizo Rcoso
- Índice de Calidad de la Roca, RQD (Rock Quality Designation)
- Índice de Resistencia Geológica
- Clasificación Geomecánica, RMR (Rock Mass Rating System)

## 8.2.- CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO

Dada la homogeneidad de las características geológicas y de las propiedades geotécnicas de la roca que aflora en los diversos taludes dentro de la planta, tales como, mineralogía, textura, litología y, estado y geometría de las discontinuidades, respectivamente, se consideró para esta clasificación solo al talud del punto 007, cuya ubicación se puede ver tanto en el Mapa 1 como en el Plano 1 de los Anexos I y II, respectivamente.

### 8.2.1.- ÍNDICE DE CALIDAD DE LA ROCA, RQD (*ROCK QUALITY DESIGNATION*)

Uno de los parámetros de mayor importancia en cualquier clasificación geomecánica de roca es el RQD, el cual según la norma ASTM 6032-96, se determina a partir de la siguiente expresión:

$$RQD = \frac{\sum \text{Longitud de los núcleos de roca recuperados, de tamaños mayores a 100 mm}}{\text{Longitud total de la perforación}} \times 100$$

, Tomada de ASTM 6032-96, 1998

Esta ecuación se toma para los casos en que es posible recuperar núcleos de roca mediante perforaciones, lo cual no fue posible durante este estudio, sin embargo muchos autores usan el Índice de Control Volumétrico de Diaclasas ( $J_v$ ), definido como la suma del número de diaclasas por metro cúbico, para cada sistema presente en el macizo. La fórmula que relaciona este parámetro con el RQD propuesta por PALMSTRÖM (en HOEK, 1998) es la siguiente:

$$RQD = 115 - 3.3 \cdot J_v ; \text{ Tomada de HOEK (1998)}$$

Si bien este es un valor menos directo que cualquiera estimado a partir de las perforaciones, es totalmente válido para servir de entrada (*input*) en los diversos sistemas de clasificación que se presentarán adelante.

El cálculo del índice de control volumétrico  $J_v$ , para el talud ubicado en el punto 007 es el siguiente:

$$J_v = J_{vs1} + J_{vs2} + J_{vs3} = \frac{10}{1} + \frac{18}{1} + \frac{1}{10} = 28,1, \text{ discontinuidades por metro cúbico,}$$

Tomada de HOEK (1998)

En donde  $J_{vsi}$ , (para  $i=1, 2$  y  $3$ ), representa el número de discontinuidades presentes por metro cúbico para cada sistema de discontinuidad presente en el macizo.

Dado un  $J_v = 28,1$ , se calcula el RQD:

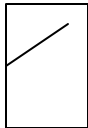
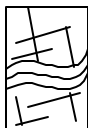
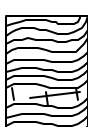
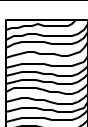
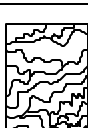
$$RQD = 115 - 3.3 \cdot (28,1) = 22,27\%$$

### 8.2.2.- ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA, GSI

Este índice de resistencia geológica fue determinado a partir de la Clasificación original modificada por TRUZMAN (1999), y adaptada a las rocas metamórficas de la Cordillera de la Costa. La clasificación de la roca según este índice se muestra en la Tabla 33.

Según esta clasificación se obtuvo un GSI entre 25 y 35, correspondiente a una roca muy foliada, altamente fracturada, con superficies de discontinuidades planas, moderadamente meteorizadas.

**Tabla 33: Clasificación según el Índice de resistencia geológica**  
(Modificado de TRUZMAN, 1999)

| <p>ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI) PARA LAS ROCAS METAMÓRFICAS DE LA CORDILLERA DE LA COSTA</p> <p>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 36 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 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.</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                         | CONDICIONES DE LA SUPERFICIE                                 |                                                                            |                                                                                      |                                                                                                             |                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| ESTRUCTURA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                         | MUY BUENA<br>Rugosa, superficies cerradas sin meteorización. | BUENA<br>Rugosa, ligeramente meteorizada, abertura < 1 mm, rellenos duros. | MEDIA<br>Plana, moderadamente meteorizada, abertura 1-5 mm, rellenos duros y blandos | MALA<br>Espejos de falla, superficies muy meteorizadas con abertura > 5 mm, predominan los rellenos blandos | MUY MALA<br>Espejos de falla, superficies muy meteorizadas y abiertas con rellenos blandos |
| AUMENTO EN LA PRESENCIA DE ROCAS FOLIADAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                         | DISMINUCIÓN EN CALIDAD DE SUPERFICIE                         |                                                                            |                                                                                      |                                                                                                             |                                                                                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <p>INTACTA O MASIVA - macizo rocoso con pocas discontinuidades, carentes de planos de foliación.</p> <p>Ej.: Cuarcitas, anfibolitas o mármoles.</p>                                                                                                                     | 90                                                           | 80                                                                         | N / A                                                                                | N / A                                                                                                       | N / A                                                                                      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <p>POCO FOLIADA - macizo rocoso parcialmente fracturado con hasta tres sistemas de discontinuidades. Pueden contener intercalaciones delgadas de rocas foliadas.</p> <p>Ej.: Cuarcita fracturada intercalada ocasionalmente con esquistos y/o filitas.</p>              |                                                              | 70                                                                         |                                                                                      |                                                                                                             |                                                                                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>MODERADAMENTE FOLIADA - macizo rocoso fracturado constituido por intercalaciones de rocas foliadas y foliadas en proporciones semejantes.</p> <p>Ej.: Intercalaciones de esquistos y/o filitas con mármoles fracturados en proporción similar.</p>                   |                                                              | 60                                                                         |                                                                                      |                                                                                                             |                                                                                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>FOLIADA - macizo rocoso plegado y/o fallado, muy fracturado, donde predominan las rocas foliadas, con ocasionales intercalaciones de rocas no foliadas.</p> <p>Ej.: Esquistos y/o filitas muy fracturadas intercaladas ocasionalmente con mármoles lenticulares.</p> |                                                              | 50                                                                         | 40                                                                                   |                                                                                                             |                                                                                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>MUY FOLIADA - macizo rocoso plegado, altamente fracturado, constituido únicamente por rocas muy foliadas.</p> <p>Ej.: Esquistos y/o filitas muy fracturadas sin la presencia de mármoles, gneises o cuarcitas.</p>                                                   |                                                              |                                                                            |                                                                                      | 30                                                                                                          |                                                                                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>BRECHADA/CIZALLADA - macizo rocoso muy plegado, alterado tectónicamente, con aspecto brechoide.</p> <p>Ej.: BBrecha de falla o zona influenciada por fallas cercanas.</p>                                                                                            | N / A                                                        | N / A                                                                      |                                                                                      | 20                                                                                                          | 10                                                                                         |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                              |                                                                            |                                                                                      |                                                                                                             | 5                                                                                          |

### 8.2.3.- CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA, RMR (*ROCK MASS RATING SYSTEM*)

A partir de los datos obtenidos en campo y con el valor de resistencia a la compresión obtenido de los ensayos de laboratorio se clasificó la roca mediante la Clasificación Geomecánica o RMR, según la norma ASTM 5878-95.

A continuación se muestran en la Tabla 34, las diversas valuaciones para los parámetros que permiten clasificar la roca según este sistema. Estos parámetros fueron considerados para las propiedades de la roca que aflora en el punto 007 del levantamiento geológico.

**Tabla 34:** Valuaciones de las propiedades de la roca en el punto 007 del levantamiento geológico

| PARÁMETRO                             | VALOR                                                         | VALUACIÓN |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------|
| Resistencia a la compresión           | 6,85 MPa                                                      | 2         |
| Índice de calidad de la roca          | 22,27 %                                                       | 3         |
| Espaciamiento de las discontinuidades | (206 – 247) mm                                                | 10        |
| Condición de las discontinuidades     | Superficies ligeramente rugosas con abertura entre 2,5 y 5 mm | 20        |
| Agua subterránea                      | Completamente seca                                            | 15        |

Además se evaluaron los rumbos y buzamientos del sistema de foliación de la roca en el punto 007, con los cuales se obtuvo un valor de –25 de ajuste a los valores obtenidos anteriormente. Este valor corresponde a orientaciones consideradas en situación regular ya que el rumbo de las mismas es perpendicular a la dirección del talud, con buzamientos mayores de 45°.

Por tanto al sumar algebraicamente los valores productos esta valuación produce el siguiente resultado:

$$\sum \text{Valuación} = 2 + 3 + 10 + 20 + 15 + (-15) = 35$$

Valor que se traduce en una roca mala de grado IV. La Tabla 35 resume en forma esquemática el resultado de la clasificación según este sistema.

Tabla 35: Clasificación según el RMR (Modificado de ASTM 5878-95, 1998)

| A.- CLASIFICACIÓN DE LOS PARAMETROS Y SU EVALUACIÓN         |                                                                     |                                                                                                  |                                                                                            |                                                                                               |                                                                                               |                                                                                            |                                                                                         |           |         |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------|
| Parámetro                                                   |                                                                     |                                                                                                  | Escala de valores                                                                          |                                                                                               |                                                                                               |                                                                                            |                                                                                         |           |         |
| 1                                                           | Resistencia a la compresión de la roca intacta                      | Índice de carga puntual                                                                          | > 10 MPa                                                                                   | 4 - 10 MPa                                                                                    | 2 - 4 MPa                                                                                     | 1 - 2 MPa                                                                                  | Para esta escala tan baja se prefiere el ensayo de resistencia a la compresión uniaxial |           |         |
|                                                             |                                                                     | Resistencia a la compresión uniaxial                                                             | > 250 MPa                                                                                  | 100 - 250 MPa                                                                                 | 50 - 100 MPa                                                                                  | 25 - 50 MPa                                                                                | 5 - 25 MPa                                                                              | 1 - 5 MPa | < 1 MPa |
|                                                             | Valuación                                                           |                                                                                                  | 15                                                                                         | 12                                                                                            | 7                                                                                             | 4                                                                                          | 2                                                                                       | 1         | 0       |
| 2                                                           | Índice de calidad de la roca, RQD                                   |                                                                                                  | 90 - 100 %                                                                                 | 75 - 90 %                                                                                     | 50 - 75 %                                                                                     | 25 - 50 %                                                                                  | < 25 %                                                                                  |           |         |
|                                                             | Valuación                                                           |                                                                                                  | 20                                                                                         | 17                                                                                            | 13                                                                                            | 8                                                                                          | 3                                                                                       |           |         |
| 3                                                           | Espaciamientos de las discontinuidades                              |                                                                                                  | > 2 m                                                                                      | 0,6 - 2 m                                                                                     | 200 - 600 mm                                                                                  | 60 - 200 mm                                                                                | < 60 mm                                                                                 |           |         |
|                                                             | Valuación                                                           |                                                                                                  | 20                                                                                         | 15                                                                                            | 10                                                                                            | 8                                                                                          | 5                                                                                       |           |         |
| 4                                                           | Condición de las discontinuidades                                   |                                                                                                  | Superficies muy rugosas. Sin continuidad. Sin separación. Paredes de roca no meteorizadas. | Superficies ligeramente rugosas. Separación < 1 mm. Paredes de roca ligeramente meteorizadas. | Superficies ligeramente rugosas. Separación < 1 mm. Paredes de roca fuertemente meteorizadas. | Superficies pulidas o, relleno < 5 mm o, separación entre 1 - 5 mm. Superficies continuas. | Relleno blando de espesor > 5 mm o, Separación > 5 mm. Superficies continuas.           |           |         |
|                                                             | Valuación                                                           |                                                                                                  | 30                                                                                         | 25                                                                                            | 20                                                                                            | 10                                                                                         | 0                                                                                       |           |         |
| 5                                                           | Agua subterránea                                                    | Flujo interno por cada 10 m de longitud de la excavación                                         | Ninguna                                                                                    | < 10 lt/min                                                                                   | 10 - 25 lt/min                                                                                | 25 - 125 lt/min                                                                            | > 125 lt/min                                                                            |           |         |
|                                                             |                                                                     | Relación $\frac{\text{Presión de agua en la discontinuidad}}{\text{Esfuerzo principal (mayor)}}$ | 0                                                                                          | 0,0 - 0,1                                                                                     | 0,1 - 0,2                                                                                     | 0,2 - 0,5                                                                                  | > 0,5                                                                                   |           |         |
|                                                             |                                                                     | Condición general                                                                                | Completamente seco                                                                         | Humedo                                                                                        | Mojado                                                                                        | Goteando                                                                                   | Fluyendo                                                                                |           |         |
|                                                             |                                                                     | Valuación                                                                                        | 15                                                                                         | 10                                                                                            | 7                                                                                             | 4                                                                                          | 0                                                                                       |           |         |
|                                                             | B.- AJUSTE EN LA EVALUACIÓN POR ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES |                                                                                                  |                                                                                            |                                                                                               |                                                                                               |                                                                                            |                                                                                         |           |         |
| Rumbo y buzamiento de las discontinuidades                  |                                                                     |                                                                                                  | Muy favorable                                                                              | Favorable                                                                                     | Regular                                                                                       | Desfavorable                                                                               | Muy desfavorable                                                                        |           |         |
| Valuación                                                   | Túneles                                                             |                                                                                                  | 0                                                                                          | - 2                                                                                           | - 5                                                                                           | - 10                                                                                       | - 12                                                                                    |           |         |
|                                                             | Fundaciones                                                         |                                                                                                  | 0                                                                                          | - 2                                                                                           | - 7                                                                                           | - 15                                                                                       | - 25                                                                                    |           |         |
|                                                             | Taludes                                                             |                                                                                                  | 0                                                                                          | - 5                                                                                           | - 25                                                                                          | - 50                                                                                       | - 60                                                                                    |           |         |
| C.- CLASIFICACIÓN DE LA ROCA SEGÚN EL TOTAL DE LA VALUACIÓN |                                                                     |                                                                                                  |                                                                                            |                                                                                               |                                                                                               |                                                                                            |                                                                                         |           |         |
| Valuación                                                   |                                                                     |                                                                                                  | 100 - 81                                                                                   | 80 - 61                                                                                       | 60 - 41                                                                                       | 40 - 21                                                                                    | < 20                                                                                    |           |         |
| Número de Clasificación                                     |                                                                     |                                                                                                  | I                                                                                          | II                                                                                            | III                                                                                           | IV                                                                                         | V                                                                                       |           |         |
| Descripción                                                 |                                                                     |                                                                                                  | Roca muy buena                                                                             | Roca buena                                                                                    | Roca regular                                                                                  | Roca mala                                                                                  | Roca muy mala                                                                           |           |         |
| D.- SIGNIFICADO DE LA CLASIFICACIÓN DE LA ROCA              |                                                                     |                                                                                                  |                                                                                            |                                                                                               |                                                                                               |                                                                                            |                                                                                         |           |         |
| Número de Clasificación                                     |                                                                     |                                                                                                  | I                                                                                          | II                                                                                            | III                                                                                           | IV                                                                                         | V                                                                                       |           |         |
| Tiempo de medio de sostenimiento                            |                                                                     |                                                                                                  | 10 años para un claro de 5 m                                                               | 6 meses para un claro de 5 m                                                                  | 1 semana para un claro de 5 m                                                                 | 10 horas para un claro de 2,5 m                                                            | 30 minutos para un claro de 1 m                                                         |           |         |
| Cohesión de la roca                                         |                                                                     |                                                                                                  | > 400 kPa                                                                                  | 300 - 400 kPa                                                                                 | 200 - 300 kPa                                                                                 | 100 - 200 kPa                                                                              | < 100 kPa                                                                               |           |         |
| Ángulo de fricción de la roca                               |                                                                     |                                                                                                  | > 45°                                                                                      | 35° - 45°                                                                                     | 25° - 35°                                                                                     | 15° - 25°                                                                                  | < 15°                                                                                   |           |         |
| EFECTO DEL RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES       |                                                                     |                                                                                                  |                                                                                            |                                                                                               |                                                                                               |                                                                                            |                                                                                         |           |         |
| Rumbo perpendicular al eje del tunel                        |                                                                     |                                                                                                  |                                                                                            |                                                                                               |                                                                                               |                                                                                            |                                                                                         |           |         |
| Penetración en el sentido del buzamiento                    |                                                                     |                                                                                                  |                                                                                            |                                                                                               | Penetración en el sentido contrario del buzamiento                                            |                                                                                            |                                                                                         |           |         |
| Buzamiento entre 45° - 90°                                  |                                                                     |                                                                                                  | Buzamiento entre 20° - 45°                                                                 |                                                                                               | Buzamiento entre 45° - 90°                                                                    |                                                                                            | Buzamiento entre 20° - 45°                                                              |           |         |
| Muy favorable                                               |                                                                     |                                                                                                  | Favorable                                                                                  |                                                                                               | Regular                                                                                       |                                                                                            | Desfavorable                                                                            |           |         |
| Rumbo paralelo al eje del tunel                             |                                                                     |                                                                                                  |                                                                                            |                                                                                               | Rumbo independiente                                                                           |                                                                                            |                                                                                         |           |         |
| Buzamiento entre 20° - 45°                                  |                                                                     |                                                                                                  | Buzamiento entre 45° - 90°                                                                 |                                                                                               | Buzamiento entre 0° - 20°                                                                     |                                                                                            |                                                                                         |           |         |
| Regular                                                     |                                                                     |                                                                                                  | Muy desfavorable                                                                           |                                                                                               | Regular                                                                                       |                                                                                            |                                                                                         |           |         |

Planilla de clasificación geomecánica de rocas, modificada de ASTM 5878-95

### **8.3.- ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS TALUDES AFECTADOS**

Para analizar la estabilidad del talud se utilizó el método de las discontinuidades aprovechando las mediciones de los planos de debilidad de la roca.

#### **8.3.1.- MÉTODO DE LAS DISCONTINUIDADES**

El método de las discontinuidades permite analizar la estabilidad de macizo rocoso asumiendo como hipótesis principal que los modos de falla se generan a través de discontinuidades preexistentes; es decir, no se producen fallas a través de la roca sana. En este sentido la presencia de discontinuidades en la roca, tales como planos de foliación, fracturas o diaclasas, representan planos que en forma aislada o por la intersección de ellos entre sí, pueden generar fallas en forma planar, por cuñas o por volcamiento.

En los dos primeros casos, estos modos de fallas están controlados por el ángulo de fricción interno ( $\phi$ ) de la roca y la cohesión ( $c$ ) o puentes de roca presentes en las discontinuidades. En este sentido se tienen dos formas de describir la estabilidad de una discontinuidad aislada o por la intersección de dos o más planos estructurales.

Existe una categoría de estabilidad denominada mecánica la cual es garantizada por una geometría o arreglo de las discontinuidades que no permite el movimiento de bloques por fuerzas gravitacionales sin que haya ruptura de roca sana. Por otra parte, se denomina estabilidad cinemática aquella que habiendo los mecanismos geométricos para el movimiento de algún bloque, éste sea impedido por fuerzas friccionantes o de cohesión en la roca.

El análisis de estabilidad se enfocó estimando los parámetros que controlan la resistencia al corte, tales como cohesión y ángulo de fricción interna (ambos determinados a partir de los ensayos de corte directo) para permitir el estimado de un factor de seguridad.

### **8.3.2.- ASPECTO GENERAL DE LAS MASAS DE ROCAS COLAPSADAS**

Una de las primeras observaciones efectuadas durante las primeras visitas a la planta de combustible, es la forma o los modos de falla contemplados en los taludes derrumbados.

La roca que aflora en los diversos taludes ya ha sido clasificada en el capítulo de Geología Local como una roca descompuesta blanda fracturada (RDbf). Sin embargo, cuando se observan los materiales al pie del talud colapsado, su aspecto es de flujos conformados por roca muy triturada; es decir, no existe una correspondencia entre lo observado en la cara del talud y los materiales desprendidos por lo menos en su textura.

Esta simple observación puede tener dos connotaciones:

- La primera tiene que ver con rocas superficiales muy expuestas a los procesos de intemperismo, los cuales una vez remoldeadas por el colapso y transportadas al pie del talud, se pulverizan y pierden su fábrica y textura.
- La segunda explicación tiene que ver con el hecho que estos colapsos se han producido en condiciones de alta saturación de agua coadyuvada por el tipo de protección utilizada para acorazar los taludes de los diques de protección de los tanques, las cuales impermeabilizan las caras de los taludes no dejando drenar el agua que entra por la parte superior del mismo.

Esta última interpretación es la más convincente, ya que puede ser explicada a partir de presiones hidrostáticas en las grietas por presencia de flujos de agua sobre la roca, los cuales a su vez aceleran su meteorización. Además el aspecto de flujo denso de las masas colapsadas sugiere alta presencia de agua, la cual no puede sino venir de agua infiltrada superficialmente. Este punto será visto con claridad cuando se valore

el factor de seguridad  $F_s$  de los taludes en función de la ubicación de la grieta de tracción.

### **8.3.3.- MODOS DE FALLA**

Los modos de falla fueron interpretados a partir de la representación estereográfica de la geometría del talud con los sistemas de discontinuidades, escogiéndose para cada caso las situaciones más desfavorables y determinando el factor de seguridad ( $F_s$ ) en tales situaciones. Este factor de seguridad fue de suma importancia en el desarrollo del proyecto de estabilización de los taludes fallados, ya que a partir de este valor se calculo la fuerza de anclaje necesaria para la contención de los taludes.

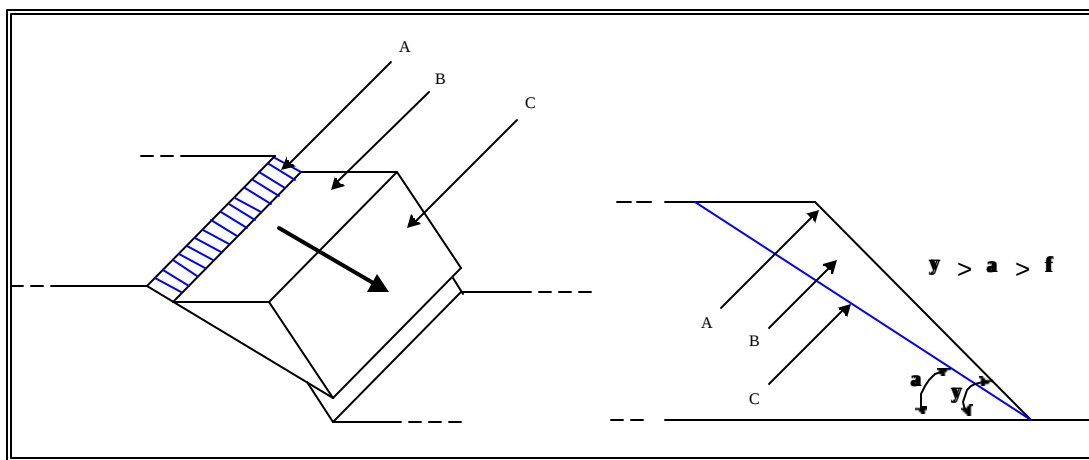
La ubicación de los taludes fallados estudiados se encuentra en el Plano 1 del Anexo II, estas están referidas a los puntos del levantamiento geológico, en tal sentido se tiene:

- Talud sur, equivalente al punto 004 del levantamiento geológico.
- Talud norte, equivalente al punto 007 del levantamiento geológico.

#### **8.3.3.1.- TALUD SUR**

El talud denominado Sur ubicado en el punto 004 del levantamiento geológico (ver Mapa 1, Anexo I), se considera que presenta un modo de falla planar, dado que se cumplen las siguientes condiciones de acuerdo a la Figura 62:

- La dirección del talud y de las discontinuidades levantadas especialmente la foliación, son subparalelas.
- Los posibles planos de falla (discontinuidades) interceptan el plano del talud, esto es: afloran en la cara del talud dado que su buzamiento es menor que la inclinación del talud.
- El buzamiento de los posibles planos de falla es mayor (en cualquiera de los casos) que el ángulo de fricción en cualquiera de esos planos.



**Figura 62:** Condiciones de falla planar (Tomada de SUÁREZ, 1998)

En donde:

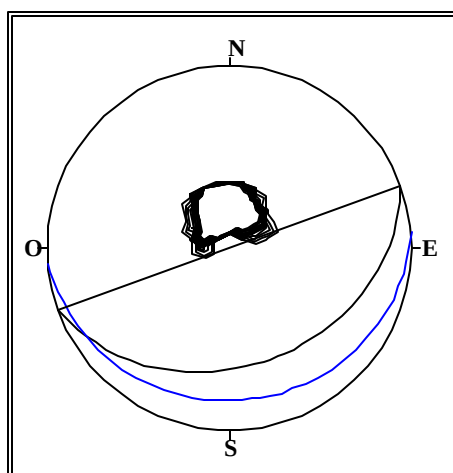
- A Superficie de deslizamiento
- B Bloque deslizante
- C Cara del talud
- $\psi$  Buzamiento de la superficie (plano) de falla, tomado en campo
- $\alpha$  Inclinación del talud, tomado en campo
- $\phi$  Ángulo de fricción, determinado a partir de los ensayos de corte directo

En el caso particular del talud sur las condiciones geométricas y geológicas presentes se listan en la Tabla 36.

**Tabla 36:** Condiciones geométricas y geológicas del talud sur

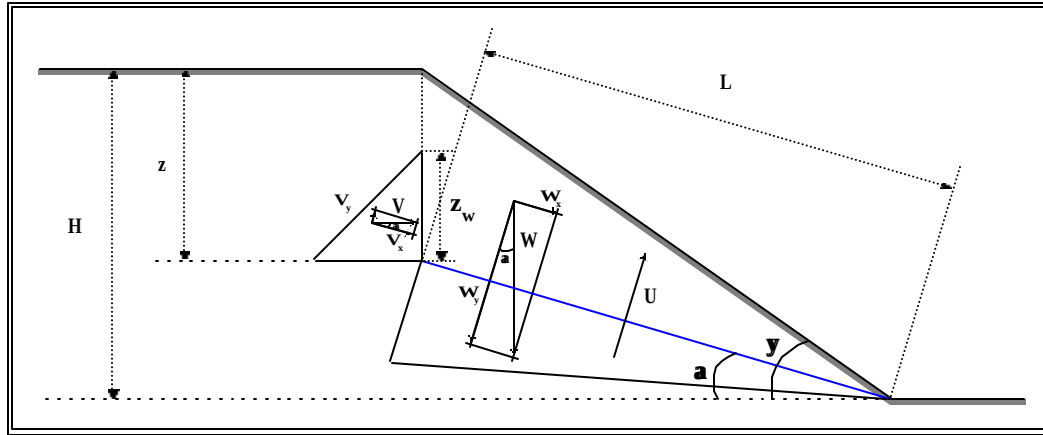
| PARÁMETRO                           | VALOR      |                         | FUENTE                  |
|-------------------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|
| Cohesión                            | c          | 0,00 ton/m <sup>2</sup> | Ensayo de corte directo |
| Orientación del talud               | N70E       |                         | Campo                   |
| Inclinación del talud               | $\psi$     | 35 °                    | Campo                   |
| Orientación de la discontinuidad    | N85E 17S   |                         | Campo                   |
| Inclinación plano de discontinuidad | $\alpha$   | 17 °                    | Campo                   |
| Ángulo de fricción                  | $\phi$     | 28 °                    | Ensayo de corte directo |
| Peso específico de la roca          | $\gamma$   | 2,29 ton/m <sup>2</sup> | Ensayo de densidad      |
| Peso específico del agua            | $\gamma_w$ | 1,00 ton/m <sup>2</sup> | Teórico                 |
| Altura del talud                    | H          | 4,50 m                  | Campo                   |
| Prof. de la grieta de tracción      | Z          | 2,50 m                  | Campo                   |
| Prof. de saturación                 | $Z_w$      | 0,00 m                  | Campo                   |

Al representar en la red estereográfica el talud y la discontinuidad se obtiene una gráfica como la de la Figura 63.



**Figura 63:** Condiciones geométricas del talud sur representadas en la red estereográfica.

En esta figura se puede apreciar como se cumplen las condiciones de falla planar, por tanto se prosigue con la determinación del factor de seguridad  $F_s$  según las condiciones geométricas y geológicas representadas en la Figura 64.



**Figura 64:** Condiciones geológicas y geométricas del talud sur.

$$F_s = \frac{\sum F_R}{\sum F_D} = \frac{c \cdot A + (W_y - U - V_y) \cdot \operatorname{tg}(\phi)}{W_x + V_x}, \text{ Tomada de SUÁREZ (1998)}$$

En donde:

|          |                                              |
|----------|----------------------------------------------|
| $F_s$    | Factor de seguridad                          |
| $F_R$    | Fuerzas Resistentes                          |
| $F_D$    | Fuerzas Deslizantes                          |
| $c$      | Cohesión                                     |
| $A$      | Área de la masa deslizante                   |
| $W$      | Peso de la masa deslizante                   |
| $U$      | Presión de agua en el plano de deslizamiento |
| $V$      | Presión de agua en la grieta de tracción     |
| $\phi$   | Ángulo de fricción                           |
| $H$      | Altura del talud                             |
| $z$      | Profundidad de la grieta de tracción         |
| $L$      | Longitud de la superficie de deslizamiento   |
| $\alpha$ | Inclinación del plano de discontinuidad      |
| $\psi$   | Inclinación del talud                        |

### 8.3.3.1.1.- CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD PARA CONDICIONES SECAS ( $z_w=0$ )

A continuación se determinó el valor del factor de seguridad  $F_s$  para condiciones secas, es decir para  $z_w$  igual a cero:

$$F_s = \frac{c \cdot A + (W_y - U - V_y) \operatorname{tg}(\phi)}{W_x + V_x}, \text{ en donde } c, U \text{ y } V \text{ son igual a } 0, \text{ por tanto:}$$

$$F_s = \frac{W \cos \alpha \cdot \operatorname{tag} \phi}{W \operatorname{sen} \alpha} = \operatorname{cotag} \alpha \cdot \operatorname{tag} \phi = \operatorname{cotag}(17^\circ) \cdot \operatorname{tag}(28^\circ) = 1,739$$

### 8.3.2.1.2.- CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD PARA CONDICIONES SATURADAS ( $z_w=z$ )

En condiciones saturadas por su parte  $z_w$  es igual a  $z$  por tanto el valor del factor de seguridad se determinó haciendo las sustituciones correspondientes:

$$F_s = \frac{c \cdot A + (W_y - U - V_y) \cdot \operatorname{tg}(\phi)}{W_x + V_x} = \frac{(W \cos \alpha - U - V \operatorname{sen} \alpha) \operatorname{tag} \phi}{W \operatorname{sen} \alpha + V \cos \alpha}, \text{ en donde } c \text{ es igual a } 0$$

y:

$$V = \frac{1}{2} \tilde{a}_w (z_w \cdot z_w) = \frac{1}{2} \tilde{a}_w z_w^2 = \frac{1}{2} (1 \operatorname{ton/m}^2) (2,50 \operatorname{m})^2 = 3,125 \operatorname{ton}$$

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w (L \cdot z_w) = \frac{1}{2} \gamma_w \left( \frac{H - z}{\operatorname{sen} \alpha} \right) z_w = \frac{1}{2} (1 \operatorname{Ton/m}^2) \left[ \frac{4,50 \operatorname{m} - 2,50 \operatorname{m}}{\operatorname{sen}(17^\circ)} \right] (2,50 \operatorname{m}) = 8,551 \operatorname{ton}$$

$$W = \frac{1}{2} \gamma \left( \frac{H}{\sin \emptyset} \right) [L \cdot \sin(\emptyset - \acute{\alpha})] = \frac{1}{2} \gamma \left( \frac{H}{\sin \emptyset} \right) \left( \frac{H - z}{\sin \acute{\alpha}} \right) \cdot \sin(\emptyset - \acute{\alpha})$$

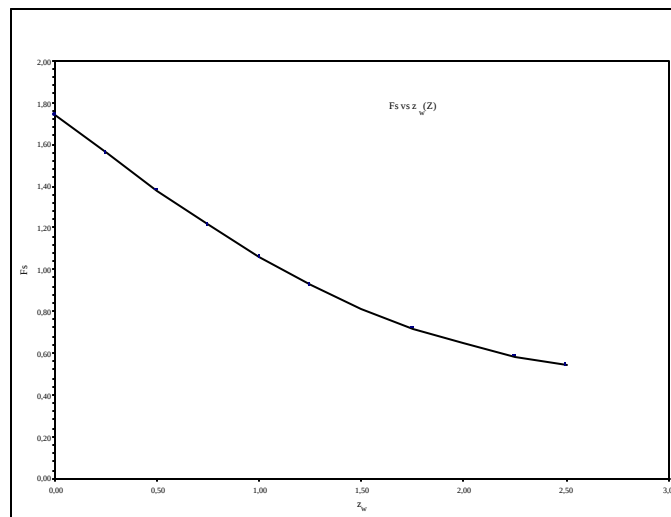
$$W = \frac{1}{2} (2,29 \text{ ton/m}^2) \left[ \frac{4,50 \text{ m}}{\sin(35^\circ)} \right] \left[ \frac{4,50 \text{ m} - 2,50 \text{ m}}{\sin(17^\circ)} \right] [\sin(35^\circ - 17^\circ)] = 18,989 \text{ ton} ,$$

por tanto:

$$F_s = \frac{\{[(18,989 \text{ Ton})(\cos(17^\circ))] - [8,551 \text{ Ton}] - [(3,125 \text{ Ton})(\sin(17^\circ))]\}(\tan(28^\circ))}{\{[(18,89 \text{ Ton})(\sin(17^\circ))] - [(3,125 \text{ Ton})(\cos(17^\circ))]\}} = 0,541$$

#### 8.3.3.1.3.- VARIACIONES DEL FS SEGÚN $f$ Y $z_w$

La Figura 65 y la Tabla 37 y, muestran como varía el  $F_s$  según se modifiquen las condiciones de profundidad de la grieta de tracción ( $z_w$ ), es decir las condiciones de saturación del talud.

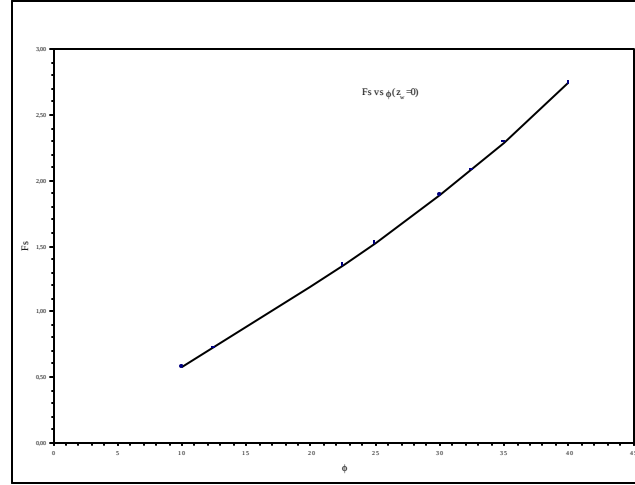


**Figura 65:** Variación del  $F_s$  para distintos valores de  $z_w$ , con  $\phi$  constante.

**Tabla 37:** Variación de  $F_s$  según la geometría de la grieta de tracción.

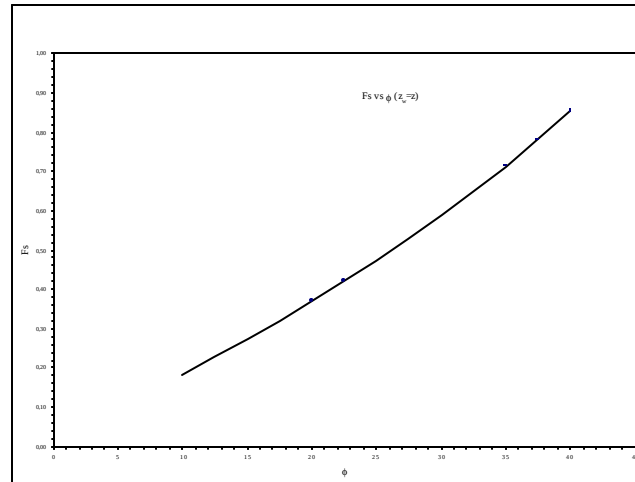
|         |      | c    | $\psi$ | $\alpha$ | $\phi$ | $\gamma$ | $\gamma_w$ | H    | Z    | $Z_w$ | V     | U     | W      | $F_R$ | $F_D$ | FS    |
|---------|------|------|--------|----------|--------|----------|------------|------|------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| $Z_w$   | 2,50 | 0,00 | 35     | 17       | 28     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 2,50  | 3,125 | 8,551 | 18,989 | 4,623 | 8,540 | 0,541 |
| (0,9) Z | 2,25 | 0,00 | 35     | 17       | 28     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 2,25  | 2,531 | 8,658 | 18,989 | 4,659 | 7,973 | 0,584 |
| (0,8) Z | 2    | 0,00 | 35     | 17       | 28     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 2,00  | 2,000 | 8,551 | 18,989 | 4,798 | 7,464 | 0,643 |
| (0,7) Z | 1,75 | 0,00 | 35     | 17       | 28     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 1,75  | 1,531 | 8,230 | 18,989 | 5,041 | 7,016 | 0,719 |
| (0,6) Z | 1,5  | 0,00 | 35     | 17       | 28     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 1,50  | 1,125 | 7,696 | 18,989 | 5,389 | 6,628 | 0,813 |
| (0,5) Z | 1,25 | 0,00 | 35     | 17       | 28     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 1,25  | 0,781 | 6,947 | 18,989 | 5,840 | 6,299 | 0,927 |
| (0,4) Z | 1    | 0,00 | 35     | 17       | 28     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 1,00  | 0,500 | 5,986 | 18,989 | 6,395 | 6,030 | 1,061 |
| (0,3) Z | 0,75 | 0,00 | 35     | 17       | 28     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 0,75  | 0,281 | 4,810 | 18,989 | 7,054 | 5,821 | 1,212 |
| (0,2) Z | 0,5  | 0,00 | 35     | 17       | 28     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 0,50  | 0,125 | 3,420 | 18,989 | 7,817 | 5,671 | 1,378 |
| (0,1) Z | 0,25 | 0,00 | 35     | 17       | 28     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 0,25  | 0,031 | 1,817 | 18,989 | 8,684 | 5,582 | 1,556 |
| (0,0) Z | 0    | 0,00 | 35     | 17       | 28     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 0,00  | 0,000 | 0,000 | 18,989 | 9,655 | 5,552 | 1,739 |

La Figura 66 y la Tabla 38, muestran como varía el  $F_s$  según se modifique el ángulo de fricción para  $z_w = 0$ , es decir para condiciones secas.



**Figura 66:** Variación del  $F_s$  para distintos valores de  $\phi$ , en condiciones secas  $z_w = 0$ .

La Figura 67 y la Tabla 39, muestran como varía el  $F_s$  según se modifique el ángulo de fricción para  $z_w = z$ , es decir para condiciones saturadas.



**Figura 67:** Variación del  $F_s$  para distintos valores de  $\phi$ , en condiciones saturadas  $z_w = z$ .

**Tabla 38:** Variación de  $F_s$  para distintos valores de  $\phi$ , en condiciones secas ( $z_w=0$ ).

| $\phi$ | c    | $\psi$ | $\alpha$ | $\phi$ | $\gamma$ | $\gamma_w$ | H    | Z    | $Z_w$ | V     | U     | W      | $F_R$ | $F_D$ | $F_S$ |
|--------|------|--------|----------|--------|----------|------------|------|------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 10     | 0,00 | 35     | 17       | 10     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 2,50  | 3,125 | 8,551 | 18,989 | 1,533 | 8,540 | 0,180 |
| 12,5   | 0,00 | 35     | 17       | 12,5   | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 2,50  | 3,125 | 8,551 | 18,989 | 1,928 | 8,540 | 0,226 |
| 15     | 0,00 | 35     | 17       | 15     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 2,50  | 3,125 | 8,551 | 18,989 | 2,330 | 8,540 | 0,273 |
| 17,5   | 0,00 | 35     | 17       | 17,5   | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 2,50  | 3,125 | 8,551 | 18,989 | 2,741 | 8,540 | 0,321 |
| 20     | 0,00 | 35     | 17       | 20     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 2,50  | 3,125 | 8,551 | 18,989 | 3,165 | 8,540 | 0,371 |
| 22,5   | 0,00 | 35     | 17       | 22,5   | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 2,50  | 3,125 | 8,551 | 18,989 | 3,602 | 8,540 | 0,422 |
| 25     | 0,00 | 35     | 17       | 25     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 2,50  | 3,125 | 8,551 | 18,989 | 4,055 | 8,540 | 0,475 |
| 27,5   | 0,00 | 35     | 17       | 27,5   | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 2,50  | 3,125 | 8,551 | 18,989 | 4,526 | 8,540 | 0,530 |
| 30     | 0,00 | 35     | 17       | 30     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 2,50  | 3,125 | 8,551 | 18,989 | 5,020 | 8,540 | 0,588 |
| 32,5   | 0,00 | 35     | 17       | 32,5   | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 2,50  | 3,125 | 8,551 | 18,989 | 5,539 | 8,540 | 0,649 |
| 35     | 0,00 | 35     | 17       | 35     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 2,50  | 3,125 | 8,551 | 18,989 | 6,088 | 8,540 | 0,713 |
| 37,5   | 0,00 | 35     | 17       | 37,5   | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 2,50  | 3,125 | 8,551 | 18,989 | 6,672 | 8,540 | 0,781 |
| 40     | 0,00 | 35     | 17       | 40     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 2,50  | 3,125 | 8,551 | 18,989 | 7,296 | 8,540 | 0,854 |

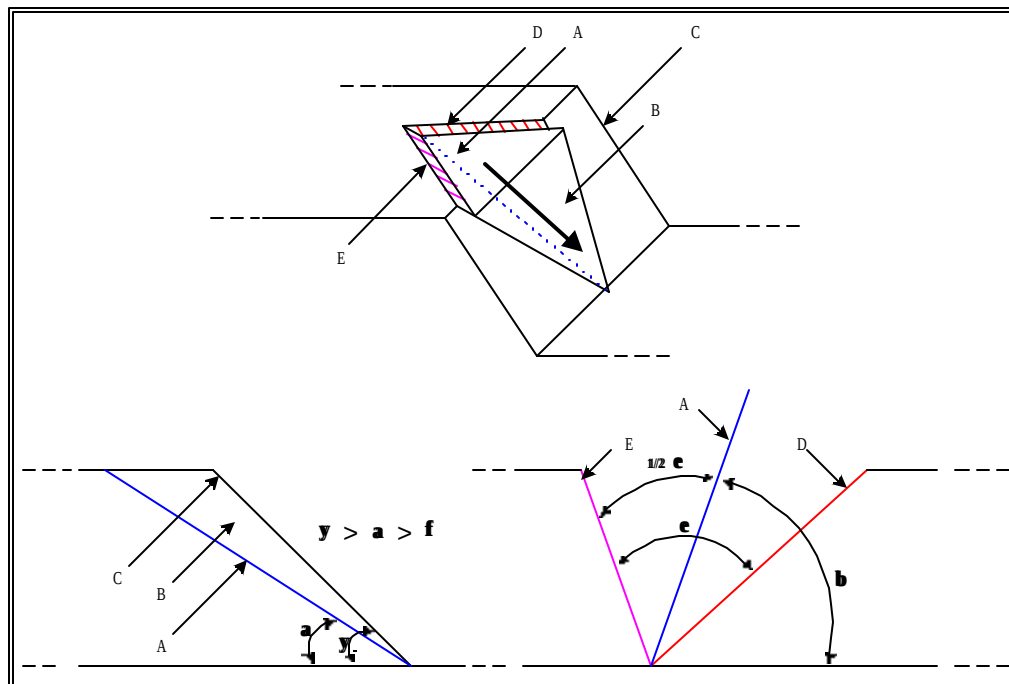
**Tabla 39:** Variación de  $F_s$  para distintos valores de  $\phi$ , en condiciones saturadas ( $z_w=z$ ).

| $\phi$ | c    | $\psi$ | $\alpha$ | $\phi$ | $\gamma$ | $\gamma_w$ | H    | Z    | $Z_w$ | V     | U     | W      | $F_R$  | $F_D$ | FS    |
|--------|------|--------|----------|--------|----------|------------|------|------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|
| 10     | 0,00 | 35     | 17       | 10     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 0,00  | 0,000 | 0,000 | 18,989 | 3,202  | 5,552 | 0,577 |
| 12,5   | 0,00 | 35     | 17       | 12,5   | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 0,00  | 0,000 | 0,000 | 18,989 | 4,026  | 5,552 | 0,725 |
| 15     | 0,00 | 35     | 17       | 15     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 0,00  | 0,000 | 0,000 | 18,989 | 4,866  | 5,552 | 0,876 |
| 17,5   | 0,00 | 35     | 17       | 17,5   | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 0,00  | 0,000 | 0,000 | 18,989 | 5,726  | 5,552 | 1,031 |
| 20     | 0,00 | 35     | 17       | 20     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 0,00  | 0,000 | 0,000 | 18,989 | 6,609  | 5,552 | 1,190 |
| 22,5   | 0,00 | 35     | 17       | 22,5   | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 0,00  | 0,000 | 0,000 | 18,989 | 7,522  | 5,552 | 1,355 |
| 25     | 0,00 | 35     | 17       | 25     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 0,00  | 0,000 | 0,000 | 18,989 | 8,468  | 5,552 | 1,525 |
| 27,5   | 0,00 | 35     | 17       | 27,5   | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 0,00  | 0,000 | 0,000 | 18,989 | 9,453  | 5,552 | 1,703 |
| 30     | 0,00 | 35     | 17       | 30     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 0,00  | 0,000 | 0,000 | 18,989 | 10,484 | 5,552 | 1,888 |
| 32,5   | 0,00 | 35     | 17       | 32,5   | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 0,00  | 0,000 | 0,000 | 18,989 | 11,569 | 5,552 | 2,084 |
| 35     | 0,00 | 35     | 17       | 35     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 0,00  | 0,000 | 0,000 | 18,989 | 12,715 | 5,552 | 2,290 |
| 37,5   | 0,00 | 35     | 17       | 37,5   | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 0,00  | 0,000 | 0,000 | 18,989 | 13,934 | 5,552 | 2,510 |
| 40     | 0,00 | 35     | 17       | 40     | 2,29     | 1,00       | 4,50 | 2,50 | 0,00  | 0,000 | 0,000 | 18,989 | 15,237 | 5,552 | 2,745 |

### 8.3.3.2.- TALUD ESTE

Por su parte se considera que el modo de falla del talud este ubicado en el punto del levantamiento geológico 007 (ver Mapa 1, Anexo I), es cuneiforme (en cuña) dado que dos discontinuidades de rumbo oblicuo (entre ellas) atraviesan la cara del talud y su línea de intersección además aflora en la cara del talud. Las condiciones que se deben cumplir para que ocurra entonces este tipo de falla son las siguientes, Figura 68:

- Deben existir dos discontinuidades de rumbo oblicuo entre ellas (D y E).
- La pendiente del talud en la dirección de la línea intersección ( $\psi$ ) debe ser mayor que la inclinación de esta última ( $\alpha$ ).
- El sentido (rumbo) de la línea intersección debe ser pseudoperpendicular a la dirección del talud.



**Figura 68:** Condiciones de falla en cuña (Tomada de SUÁREZ, 1998)

En donde:

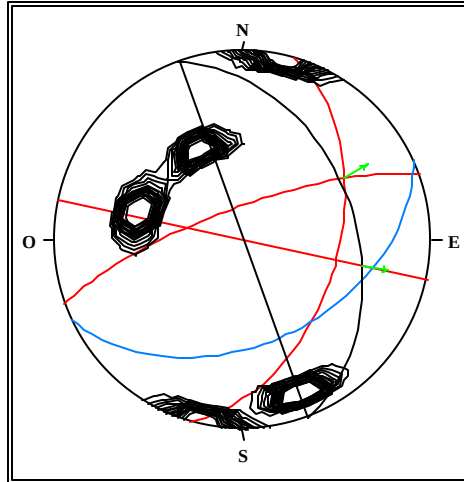
- A Línea de intersección de las discontinuidades
- B Bloque deslizando
- C Cara del talud
- D y E Planos de discontinuidad
- $\psi$  Inclinación del talud, tomado en campo
- $\alpha$  Inclinación de la línea intersección
- $\phi$  Ángulo de fricción, determinado a partir de los ensayos de corte directo
- $\varepsilon$  Ángulo interno entre las discontinuidades
- $\beta$  Inclinación de la línea intersección

Para el caso del talud este las condiciones geométricas y geológicas presentes para dos cuñas se listan en la Tabla 40.

**Tabla 40:** Condiciones geométricas y geológicas del talud este

| PARÁMETRO                  |                                 | VALOR              |                          | FUENTE                  |
|----------------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------------|-------------------------|
| Cohesión                   |                                 | c                  | 0,00 Ton/m <sup>2</sup>  | Ensayo de corte directo |
| Ángulo de Fricción         |                                 | $\phi$             | 28 °                     | Ensayo de corte directo |
| Peso específico de la Roca |                                 | $\gamma$           | 2,45 ton/m <sup>2</sup>  | Ensayo de densidad      |
| Peso específico del agua   |                                 | $\gamma_w$         | 1,00 ton/m <sup>2</sup>  | Teórico                 |
| Altura del Talud           |                                 | H                  | 4,77 m                   | Campo                   |
| Cuña                       | Talud                           | Rumbo y Buzamiento | N20°W 40°N<br>(70 ; 40)  | Campo                   |
|                            |                                 | Tope               | Horizontal               | Campo                   |
| I                          | Discontinuidad A<br>(Diaclasa)  | Rumbo y Buzamiento | N16°E 48°S<br>(106 ; 48) | Campo                   |
|                            | Discontinuidad B<br>(Diaclasa)  | Rumbo y Buzamiento | N70°E 72°N<br>(340 ; 76) | Campo                   |
| II                         | Discontinuidad C<br>(Foliación) | Rumbo y Buzamiento | N65°E 44°S<br>(155 ; 44) | Campo                   |
|                            | Discontinuidad D<br>(Diaclasa)  | Rumbo y Buzamiento | N78°W SV<br>(12 ; 90)    | Campo                   |

Al representar en la red estereográfica el talud y las discontinuidades se obtiene una gráfica como la de la Figura 69.



**Figura 69:** Condiciones geométricas del talud este representadas en la red estereográfica.

En esta figura están representadas las discontinuidades que probablemente generen el fallamiento en cuña de este talud, ya que en ambos casos se cumplen las condiciones necesarias para ello, por tanto se determinará el factor de seguridad  $F_s$  según las condiciones geométricas y geológicas establecidas en la Tabla 35, haciendo uso de la ecuación siguiente:

$$F_s = k \frac{\text{tg}(\phi)}{\text{tg}(\theta)}; \text{ en donde } k = \frac{\text{sen}(\hat{a})}{\text{sen}\left(\frac{1}{2}\hat{a}\right)}, \text{ Tomada de SUÁREZ (1998)}$$

A partir de la representación gráfica (estereografía) del talud y las discontinuidades, se obtiene:

|                                                   | I        | II       |
|---------------------------------------------------|----------|----------|
| Línea de intersección de las discontinuidades (i) | 37°N60°E | 32°S78°E |
| $\epsilon$                                        | 74°      | 59°      |
| $\frac{1}{2}\epsilon$                             | 37°      | 29.5°    |
| $\beta$                                           | 58°      | 50°      |

Con lo cual se calcula los respectivos factores de seguridad:

$$\text{I.- } F_s = k \frac{\text{tg}(\phi)}{\text{tg}(\emptyset)}; \text{ en donde } k = \frac{\text{sen}(\hat{\alpha})}{\text{sen}\left(\frac{1}{2}\hat{\alpha}\right)} \Rightarrow F_s = \frac{\text{sen}(58)}{\text{sen}(37)} \cdot \frac{\text{tg}(28)}{\text{tg}(40)} = 0,893$$

$$\text{II.- } F_s = k \frac{\text{tg}(\phi)}{\text{tg}(\emptyset)}; \text{ en donde } k = \frac{\text{sen}(\hat{\alpha})}{\text{sen}\left(\frac{1}{2}\hat{\alpha}\right)} \Rightarrow F_s = \frac{\text{sen}(50)}{\text{sen}(29.5)} \cdot \frac{\text{tg}(28)}{\text{tg}(40)} = 0,986$$

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 9.1.- GENERALES

- La zona de estudio se considera como de sabana lluviosa con estación seca, cuya característica principal es la de poseer temperaturas altas todo el año, con temperatura media anual de 26 °C y humedad relativa de 78%.
- Topográficamente la zona representa una Unidad de Montañas de bajo relieve, caracterizada por la presencia de una fila principal de dirección este-oeste, de crestas redondeadas, con declives suaves hacia el sur y fuertes hacia el norte.
- El patrón de drenaje a nivel general se considera subparalelo, en el cual los afluentes de las quebradas principales vierten sus aguas de manera oblicua (pseudo-ortogonalmente) hacia las últimas a lo largo de todo su recorrido.
- La formación de suelos controlada por las condiciones climáticas y de humedad de la zona, se hace más marcada hacia las zonas de menores alturas, las cuales a su vez están relacionadas con rocas sedimentarias que afloran en la zona.

## 9.2.- GEOLOGÍA

Se identificaron 6 tipos litológicos diferentes en campo, los cuales fueron correlacionados con las unidades estratigráficas y litodémicas de la zona en base a, observaciones de campo y estudios petrográfico de secciones finas, esta correlación es la siguiente:

- Unidad Sedimentaria: cuerpo de rocas sedimentarias constituida principalmente por capas de conglomerados, compuesta de fragmentos de rocas metamórficas (esquistos) junto con fragmentos redondeados a subredondeados de cuarzo, las cuales se encuentran en intercalación con capas de limos y arenas limosas, en algunos afloramientos en especial se encontraron capas de calizas fosilíferas, en otros capas espesas de lutitas yesíferas. Esta unidad fue correlacionada con la Formación Aramina. Además se considera que las capas espesas de lutitas deben corresponder al Miembro Carenero de esta misma Formación, lo cual se establecería con una datación detallada a partir de microfósiles. La unidad aflora en los cortes de carretera al sur de la zona de estudio, sobretodo hacia el sur-oeste.
- Unidad I o Unidad de Esquistos cuarzo muscovítico plagioclásicos, se caracteriza por ser una roca de textura esquistosa de foliación lepidoblástica a nematoblástica, dependiendo una y otra de la relación entre el % de cuarzo y el % de micas presentes en la roca. Esta unidad es la única en aflorar dentro de la planta de distribución de combustible y se extiende de norte a sur a lo largo de la franja más este de la zona de estudio, ocupando aproximadamente un 26 % del área total de la zona de estudio. Esta compuesta principalmente por cuarzo (52 %) muscovita (16%) y plagioclasas (13 %), con minerales accesorios tales como grafito, biotita, clorita y granate. La asociación mineralógica muscovita-

biotita-cuarzo-plagioclasa-granate-clorita la ubica dentro de la facies de los esquistos verdes, en la zona del granate. Esta unidad se correlaciona con el Complejo de San Julián.

- Unidad II o Subunidad de Serpentinitas: aflora en un punto muy específico dentro de la Unidad I esta unidad se presenta como una serpentinita poco meteorizada en campo con muy buena foliación. Solo se reporto en uno de los afluentes norte de la Quebrada El Horno.
- Unidad III o Subunidad de Mármol: se caracteriza por presentarse en campo como una unidad de buena extensión lateral cartografiable a través de dos quebradas (La Zorra y Laguna Grande), además con rasgos geomorfológicos claros apreciados tanto en fotografías aéreas como en la base topográfica, los cuales se corroboraron con las observaciones de campo. Esta unidad aflora dentro de la Unidad I como un lente de dirección aproximada sureste-noroeste.
- Unidad IV o Unidad de Esquistos cuarzo muscovíticos: aflora en la parte central de la zona de estudio, y se caracteriza por ser un esquisto con foliación lepidoblástica compuesta principalmente por cuarzo y muscovita, con suficiente cantidad de grafito como para brindarle a la roca tonos bien oscuros en campo. Esta compuesta principalmente por cuarzo (62 %) muscovita (28%) y grafito (5%), la asociación mineralógica muscovita-clorita-cuarzo la ubica dentro de la facies de los esquistos verdes en la zona de la clorita. En esta unidad además se observaron los rasgos más importantes de deformación tales como budines, micropliegues e incluso creanulaciones apreciadas en algunas secciones finas. Ocupa un 30 % del área total de la zona de estudio, y se correlaciona con el Esquisto de Las Mercedes.

- Unidad V o Unidad de Gneis microclínico: aflora en el extremo más oeste de la zona de estudio, los afloramientos solo se observaron a lo largo del tramo inicial aguas arriba de la Quebrada Radita. Esta roca se caracteriza por su granulometría considerablemente mayor que otros tipos litológicos observados en campo, la cual inclusive tiende a ser de augengneis. Esta compuesta por grandes porfidoblastos de microclino (18%) en una matriz cuarzo (59%) plagioclásica (18%), la asociación mineralógica muscovita-clorita-cuarzo-microclino la ubica en la facies de los esquistos verdes, específicamente en la zona de la clorita. Esta unidad ocupa aproximadamente un 15% del área total de la zona de estudio, y al igual que la Unidad I se correlaciona con el Complejo de San Julián reportado por varios autores.

Dada las condiciones de presión y temperatura inferidas a partir de las asociaciones mineralógicas se puede decir que:

- Todas las rocas metamórficas reportadas en campo alcanzaron un metamorfismo en la facies de los esquistos verdes en diferentes zonas según la ausencia o presencia de ciertos minerales índices. Las rocas pertenecientes a las subunidades de Serpentinita y de Mármol, también debieron alcanzar esta facie, ya que estos son cuerpos que se encuentran dentro secuencias de rocas metamorfizadas en estas facies, Unidad I.
- Las plagioclasas presentes raramente contendrán más de 15% de anortita, por tanto estas deberían ser albita-oligoclasa.
- Para estas mismas condiciones, si se analizará la composición química porcentual de las rocas, se podría determinar si los granates reportados son almandino o espesartita, con más contenido de Fe o Mg, respectivamente.

Al norte de la zona no se pudo tener acceso durante este trabajo, por tanto no se posee información de campo de estas rocas, las cuales han sido identificadas como Asociación Metamórfica Ávila (sin diferenciar).

Los contactos entre estos tipos litológicos no fueron reportados en campo. Sin embargo el levantamiento de campo junto con la fotointerpretación permitió interpretar el contacto entre estos los cuales en su mayoría son de tipo transicional, a excepción del contacto de falla entre la Unidad I y la Asociación Metamórfica Ávila (sin diferenciar) al este de la zona, reportado en el punto 008 del levantamiento, y los diferentes contactos de las metamórficas con las rocas sedimentarias, vistos a lo largo de la vía que comunica la carretera Higuerote-Chirimena con Puerto Francés.

La ubicación de la zona dentro del marco tectónico del Caribe produjo una serie de deformaciones en las rocas que afloran en la zona, dentro de estas deformaciones las más notables son el amplio rango de direcciones de rumbos y buzamiento de los planos de foliación, los cuales varían constantemente en solo metros de afloramiento, la presencia de micropliegues y de budines, un complejo sistema de falla reportado en campo y confirmado con la fotointerpretación el cual esta constituido por dos familias de fallas una de dirección N 45 W y otro de dirección N 7 E.

### 9.3.- GEOTECNIA

Los taludes que constituyen los diques de seguridad de los tanques de almacenamiento de combustible en la planta de distribución, han venido presentado derrumbes como consecuencias de fallas planares y cuneiformes, ocasionadas entre otras cosas por la disposición de las discontinuidades en la roca, agravadas por las condiciones de meteorización y de preseiones de agua no drenadas.

A partir de las perforaciones con corrida SPT realizadas dentro de las instalaciones de la planta de combustible se identifico en el subsuelo dos tipos litológicos a saber:

- Una capa superficial, ausente en algunas perforaciones constituida por material de relleno compuesto por arenas arcillosas (SC) principalmente.
- Una capa rocosa la cual se presenta a lo largo de todas las perforaciones a profundidades variables compuesta por el esquisto cuarzo micáceo plagioclásico de la Unidad I, en base a la observación visual y a la resistencia a la penetración  $N_{SPT}$ , esta roca se considero como una roca esquistosa descompuesta blanda fracturada (RDbf).

En cuanto a los sistemas de discontinuidades estudiados en campo y sobre los cuales se realizó la caracterización geotécnica de los macizos rocosos se puede decir que:

- La roca es un esquisto compuesto por cuarzo muscovita y plagioclasea como minerales mayoritarios.
- Se presentan dos discontinuidades elementales, foliación y diaclasas, las primeras en por lo menos 10 familias, las segundas en 5 familias bien definidas a partir de la estereografía.

- El espaciamiento es moderado, entre 206 y 584 mm.
- Las discontinuidades se consideran persistentes a subpersistentes.
- Presentan aberturas menores de 10 mm, por lo cual se les considera como modernamente anchas.
- Generalmente se presentan sin relleno.
- El grado de meteorización de la roca a nivel general esta entre las clases II y III, es decir decolorada a descompuesta.
- Por su parte el macizo rocoso se considera como moderadamente meteorizado, clase III.

Los valores del Martillo de *Schmidt* y por consiguiente de la resistencia a la compresión simple (indirecta) se muestran heterogéneos, con valores entre 270 y 950 kg/cm<sup>2</sup>, obteniéndose en líneas generales los valores más bajos para las rocas pertenecientes a la Unidad I, con un promedio de 370 kg/cm<sup>2</sup>.

Los ensayos de compresión uniaxial se realizaron para cuatro condiciones distintas de los testigos de rocas, al natural y con 5, 10 y 15 ciclos de secado y humedecimiento, estos últimos a modo de simular procesos de meteorización acelerada. De los resultados de estos ensayos se puede decir que:

- Se obtuvieron valores altos de resistencia a la compresión, lo cual puede ser consecuencia de la velocidad de carga con que se aplicaron los esfuerzos de compresión. Al disminuir la velocidad de aplicación de la carga, también disminuye la velocidad de deslizamiento de las

superficies de las microfisuras ya cerradas, con lo cual aumenta su resistencia a la fricción y como consecuencia de ello, aumenta la concentración de tensiones en los extremos de las microfisuras. De este modo la propagación de las microfisuras es más rápida, haciendo que la resistencia de la roca sea menor. Procesos que no se permitieron a los testigos de roca al ensayarlos a altas velocidades.

- En líneas generales a medida que la roca fue sometida a ciclos de secados y humedecimiento, a pesar de la velocidad de carga (siempre la misma), la resistencia a la compresión disminuyo considerablemente.

Se práctico el ensayo de corte directo para 5 muestras en condiciones de discontinuidades abiertas, aplicando esfuerzo normales perpendiculares a la dirección del plano de foliación de las mismas, a partir de los resultados de estos ensayos se puede decir que:

- Se obtuvo un ángulo de fricción promedio de  $33^\circ$  siendo los valores máximos y mínimos  $39^\circ$  y  $28^\circ$ , respectivamente, este último en particular fue utilizado como parámetro al analizar la estabilidad de los taludes fallados dentro de la planta de combustible.
- La variación de los valores del ángulo de fricción puede estar relacionada con la presencia de material residual entre las discontinuidades producidas por el desgraneamiento de estas, lo cual puede extrapolarse de la siguiente manera: para discontinuidades sin meteorizar, el nuevo material puede proporcionar mayor fricción que las superficies pulidas, pero en superficies rocosas meteorizadas y húmedas, las carga normal pude producir una película de arcilla, que origina el descenso de la fricción.

Este último punto es de especial importancia si se considera que los colapsos de los taludes dentro de la planta de distribución de combustible se han producido en condiciones de alta saturación de agua coadyuvada por el tipo de protección utilizada para acorazar los taludes de los diques de protección de los tanques, las cuales impermeabilizan las caras de los taludes no dejando drenar el agua que entra por la parte superior del mismo.

En estas condiciones se generan presiones hidrostáticas en las grietas debido a la presencia de flujos de agua sobre la roca, acelerando su meteorización. Además el aspecto de flujo denso de las masas colapsadas sugiere alta presencia de agua, la cual no puede sino venir de agua infiltrada superficialmente.

Respalda la última afirmación el hecho que los análisis de estabilidad por el método de las discontinuidades indican poca posibilidad de fallas por cuñas y planares y sólo justificables si las rocas son influidas por otras fuerzas. Al respecto se modelaron ambas influencias.

Al modelar las fuerzas hidrostáticas se calculó el factor de seguridad del talud para diferentes niveles de saturación del macizo rocoso, colocando agua desde colmatada toda la grieta de tracción hasta en condiciones secas. Los resultados muestran que taludes con factores de seguridad de 1.74 (lo cual indica clara estabilidad) se convierten en inestables con valores de  $F_s$  por debajo de 0.6, mostrando la fuerte influencia de este parámetro.

Se concluirá diciendo que:

- Los análisis de estabilidad realizados en los taludes más afectados dentro de la planta de distribución de combustible son cinemáticamente estables en condiciones secas

- Los derrumbes y las grietas de tracción presentes en estos, se deben a las presiones intersticiales del agua que se infiltra por el tope del talud, la cual no pudo drenar hacia la parte externa debido a la protección impermeable de asfalto que se lo impide.
- Como solución de estabilización se debe considerar pantallas de perfos que cubran las áreas afectadas por los derrumbes, al igual que las zonas donde se observan grietas de tracción en la capa asfáltica, las cuales indican las zonas potencialmente inestables donde pudieran presentarse derrumbes a futuro. Estas pantallas además deben permitir la salida del agua del talud.

## REFERENCIAS

- AGUERREVERE S. & ZULOAGA G. (1937a). Observaciones Geológicas de la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela. Bol. Geol. y Min., Caracas, 1(2-4):8-22. Versión en inglés: Geological notes on the Central Part of the Cordillera de la Costa, Venezuela. Bol. Geol. y Min., Caracas, 1(2-4):3-46, 1937b.
- AGUERREVERE S. & ZULOAGA G. (1938). Nomenclatura de las formaciones de la parte central de la Cordillera de la Costa. Bol. Geol. y Min., Caracas, 2(2-4):281-284. Versión en inglés: Nomenclature of the Formations of the Central Part of the Cordillera de la Costa. Bol. Geol. y Min., Caracas, 2(2-4):257-260, 1938b.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, (1998). Standard Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). ASTM D 2487-93. Anual Book of ASTM Standards, vol. 04.08, Soil and Rock (I):D420-4914.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, (1998). Standard Guide for Using Rock-Mass Classification System for Engineering Purposes. ASTM D 5878-95. Anual Book of ASTM Standards, vol. 04.08, Soil and Rock (I):D420-4914.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1998). Standard Practice for Description and Identification of soil (Visual-Manual Procedure). ASTM D 2488-93. Anual Book of ASTM Standards, vol. 04.08, Soil and Rock (I):D420-4914.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, (1998). Standard Test Method for Determination of Rock Hardness by Rebound Hammer Methos. ASTM D

- 5873-95. Anual Book of ASTM Standards, vol. 04.08, Soil and Rock (I):D420-4914.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, (1998). Standard Test Method for Determination Rock Quality Designation (RQD) of Rock Core. ASTM D 6032-96. Anual Book of ASTM Standards, vol. 04.08, Soil and Rock (I):D420-4914.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1998). Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. ASTM D 2216-98. Anual Book of ASTM Standards, vol. 04.08, Soil and Rock (I):D420-4914.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1998). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. ASTM D 4318-95a. Anual Book of ASTM Standards, vol. 04.08, Soil and Rock (I):D420-4914.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1998). Standard Test Method for Materials Finer than 75- $\mu$ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing. ASTM C 117-95. Anual Book of ASTM Standards, vol. 04.08, Soil and Rock (I):D420-4914.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, (1998). Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils. ASTM D 1586-84 (Reapproved 1992). Anual Book of ASTM Standards, vol. 04.08, Soil and Rock (I):D420-4914.
- ASUAJE, L. (1972). Geología de la región de Guatire-Cabo Codera. Bol. Geol., Caracas, Publicación Especial N° 5, Tomo (III):1289-1290.
- BELL, J. (1968). Geología de la región de Camatagua, Estado Aragua, Venezuela. Editorial Sucre. Boletín de Geología, Caracas, 9(18):291-440.
- BELL, J. (1971). Tectonic Evolution of the Central Part of the Venezuelan Coast Ranges. Geol. Soc. Amer., Mem. 130, p 107-118.
- BELLIZZIA, A. (1972). Sistema Montañoso del Caribe, borde sur de la placa Caribe. ¿Es una cordillera alóctona?. En Petzall (Editor), Mem. VI Conf. Geol. del Caribe, Margarita, p. 247-258.

- BELLIZZIA A., GAUDETTE H. & OLSEWSKY W. (1985). Nuevas dataciones en el "basamento" de la Cadena Caribe. Soc. Ven. Geol., Mem., VI Cong. Geol. Venez., Caracas, (III):1979-1994.
- BERMUDEZ, P. (1966). Consideraciones sobre los sedimentos del Mioceno Medio al Reciente de las costas central y oriental de Venezuela. Primera parte. Bol. Geol., Caracas, 7(14):333-411.
- BLATT, H. (1997). Petrology Igneous, Sedimentary, and Metamorphic. W. H. Freeman and Company, 2<sup>nd</sup> ed, USA, 529 p.
- BUCHER, W. (1952). Geologic structure and orogenic history of Venezuela. Geol. Soc. Amer., Mem. 49, 105 p.
- BUSHMAN, R (1965). Geología del área de Barquisimeto, Venezuela. Bol. Geol., Caracas, 6(11):3-111.
- CANTISANO, M. (1989). Estudio Geológico y Geotécnico de la cuenca de la Quebrada Mamera, D.F. Soc. Ven. Geol., Mem., VII Cong. Geol. Venez., Barquisimeto, (III): 1048-1070.
- COVENIN-FUNVISIS. Norma Venezolana de Edificaciones Sismorresistente. COVENIN 1756:1998, FONDONORMA, Caracas, 1998 (Rev. 2001).
- CRESPO, C. (1985). Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Editorial LIMUSA, 3<sup>ra</sup> ed, México, 588 p.
- DENGO, G. (1947). Informe Geológico sobre el Proyecto de Autopista Caracas-La Guaira. Rev. de Fomento, Min. de Fomento, Caracas, 9-10(69):133-147.
- DENGO, G. (1950). Resumen de la Geología de la Región de Caracas. ). Bol. AVGMP, Tomo II, (1):79-84.
- DENGO, G. (1951). Geología de la Región de Caracas. Bol. Geol., Caracas, 1(1):39-115. Versión en inglés: Geology of the Caracas Region, Venezuela. Geol. Soc. Amer., 64(1):7-39, 1953.
- DUSENBURY, A. (1960). Revision of the microfauna described from the Cretaceous metamorphics in Quebrada Yaguapa, eastern Miranda. Bol. AVGMP, 3(11):119-139.

- FEO CODECIDO, G. (1962). Contribución to the geology of north-central Venezuela (Contribución a la geología de Venezuela nor-central). Bol. AVGMP, 5(5):119-139.
- FREILE, A. (1968). Regiones Climáticas de Venezuela. Bol. Geol., Caracas, 10(19):3-156.
- GRATEROL, V. (1970). Estudio gravimétrico de la cuenca Guarenas-Guatire. Bol. Geol., Caracas, 11(20):319-336.
- GONZÁLEZ, L. (1972). Geología de la Cordillera de la Costa, zona centro-occidental. Bol. Geol., Caracas, Publicación Especial N° 5, Tomo (III):1549-1618.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C. (1947). Elements of diastrophic history of northeastern Venezuela. Geol. Soc. Amer., (58):689-701.
- GONZÁLEZ DE JUANA C., ITURRALDE DE A. & PICARD X. (1980). Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas. Ediciones FONINVES, Tomos I y II, 1031 p.
- GRANDE, S. (1998). Guías de Mineralogía y Petrología. U.C.V., Inédito.
- HESS H. & MAXWELL J. (1949). Geological reconnaissance of the Island of Margarita, Venezuela. Geol. Soc. Amer., 12-I(60):1857-1868.
- HOEK, E. (1998). Rock Engineering. 2000 ed, A.A. Balkema Publisher, Netherlands. 313 p.
- HYNDMAN, D. (1972). Petrology of Igneous and Metamorphic Rocks. McGraw Hill, USA, pp 240-396.
- INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS (1981). Rock Characterization Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods. Pergamon Press, Oxford, U.K., 211.
- KEHRER, L. (1937). Algunas observaciones en capas Cretáceas y Precretáceas de las partes Suroeste y Central de Venezuela. Bol. Geol. y Min., Caracas, 1(2-4):49-73. Versión en inglés: Some observations on Cretaceous and Precretaceous beds in the South-western and Northern Central Parts of Venezuela. Bol. Geol. y Min., Caracas, 1(2-4):47-70.

- KEHRER, L. (1938). Algunas observaciones sobre la estratigrafía en el estado Táchira Venezuela. Bol. Geol. y Min., Caracas, 2(2-4):45-56. Versión en inglés: Some observations on the stratigraphy in the states of Táchira and Mérida, S.W. Venezuela. Bol. Geol. y Min., Caracas, 2(2-4):44-55.
- KONIGSMARK, T. (1958). Geology of the northern Guárico - Lake Valencia area (Geología de la región de Guárico septentrional y del Lago de Valencia). Bol. AVGMP, 1(5):151-165.
- KONIGSMARK, T. (1965). Geología del área de Guárico septentrional - Lago de Valencia, Venezuela. Bol. Geol., Caracas, 6(11):209-285.
- MACKENZIE, D. (1965). Geología de la región norte-central de Cojedes. Bol. Geol., Caracas, 8(15):3-72.
- MACLACHLAN J., SHAGAM R. & HESS H. (1960a). Geology of the La Victoria area, Aragua, Venezuela. Geol. Soc. Amer., 71(3):241-247.
- MACLACHLAN J., SHAGAM R. & HESS H. (1960b). La geología de la región de La Victoria, estado Aragua - Venezuela. Bol. Geol., Caracas, Publicación Especial N° 3, Tomo II, 676-684 p.
- MACSOTAY, O. (1971). Zonación del Post-Eoceno de la Paleoprovincia Caribe-Antillana a base de Taxa de Turritella (Molusco: Gasterópodo). Bol. AVGMP, 14(2):18-60.
- MARESC, W. (1974). Plate Tectonics Origin of the Caribbean Mountain System of Northern South America: Discussion and Proposal. Geol. Soc. Amer., 85(11):669-682.
- MASON, R. (1990). Petrology of the metamorphic rocks. London UNWIN HYMAN, 2<sup>nd</sup> ed, New Zeland, 230 p.
- MENÉNDEZ, A. (1966). Tectónica de la parte central de las Montañas occidentales del Caribe, Venezuela. Bol. Geol., Caracas, 8(15):116-139.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES (1985). Atlas de la Vegetación de Venezuela. Dirección General de Información e Investigación del Ambiente. Dirección de Suelos, Vegetación y Fauna. División de Vegetación. Primera edición. 110 p.

- MOGOLLÓN L. & COMERMA J. (1994). Suelos de Venezuela. Editorial Ex Libris, 316 p.
- MORGAN, B. (1969). Geología de la región de Valencia, Carabobo, Venezuela. Bol. Geol., Caracas, 10(20):3-136.
- OSTOS, M. (1990). Evolución tectónica del margen sur-central del Caribe basado en datos geoquímicos. GEOS; UCV; Caracas, (30):1-294.
- OXBURGH, R. (1965). Geología de la región oriental del estado Carabobo, Venezuela. Bol. Geol., Caracas, 6(11):113-208.
- OXBURGH, R. (1966). Geology and Metamorphism of Cretaceous Rocks in Eastern Carabobo State, Venezuela. Geol. Soc. Amer., Mem. 68, p. 241-310.
- PHILLIPS, F. (1975). La aplicación de la Proyección Estereográfica en Geología Estructural. Editorial BLUME, 3<sup>ra</sup> ed, España, 132 p.
- PIBURN, M. (1968). Metamorfismo y estructura del Grupo de Villa de Cura, Venezuela septentrional. Bol. Geol., Caracas, 9(18):183-289.
- PICARD, X. (1968). Geología de la cuenca de Santa Lucía - Ocumare del Tuy. Bol. Geol., Caracas, 10(19):263-296.
- PICARD, X. (1976). Geología de la cuenca de Guarenas-Guatire. Sedimentación continental intracordillereana, Venezuela. Bol. Geol., Caracas, Publicación Especial N° 7, Tomo (II):965-984.
- RODRÍGUEZ, D. (1972). Geología de la región de Choroní-Colonia Tovar y Lago de Valencia. Bol. Geol., Caracas, Publicación Especial N° 5, Tomo (III):1783-1784.
- SALCEDO, D. (1978). El uso de las proyecciones hemisfericas como técnica de predicción y análisis de problemas relativos a estabilidad de taludes en macizos rocosos. U.C.V., Inédito. p 78 p.
- SALCEDO, D. (1983). Macizos rocosos: Caracterización, Resistencia al Corte y Mecanismos de Rotura. Conferencia SVMSIF, p 143-212.
- SEIDERS, V. (1965). Geología de Miranda central. Bol. Geol., Caracas, 6(12):289-416.

- SHAGAM, R. (1960a). Geología de Aragua central. Bol. Geol., Caracas, Publicación Especial N° 3, Tomo II, 574-673 p. Versión en inglés: Geology of Central Aragua, Venezuela. Geol. Soc. Amer., 71(3):249-302, 1960b.
- SHELLEY, D. (1983). Igneous and metamorphic rocks under the microscope. CHAPMAN & HALL, 1<sup>st</sup>ed, New Zeland, pp. 58-169.
- SKERLEC G. & HARGRAVES R. (1980). Tectonic significanse of paleomagnetic data from northern Venezuela. Journ. Geophy. Res., 85(B10):5303-5314.
- SMITH, R. (1952). Geología de la región de Los Teques-Cúa. Bol. Geol. Caracas, Volumen II, (6):333-406. Versión en inglés: Geology of the Los Teques Cúa region, Venezuela. Geol. Soc. Amer., 64(1):41-64, 1953.
- SMITH, R. (1957). Gravity Cross Section of hte Coast Range of Venezuela. Transaction American Geophysical Union, 38(3):372-378.
- SPENA, F. (1976). Fósiles en las rocas metamórficas de la región de Birongo - Capaya, estado Miranda. Bol. AVGMP, 19(4):169-173.
- STAGG, Z. (1968). Mecánica de rocas en la ingeniería práctica. Editorial BLUME, 1<sup>ra</sup> ed, España, 395 p.
- SUÁREZ, D. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Ediciones UIS, Colombia, 548 p.
- URBANI, F. (1969). Mineralogía de algunas "calizas" de la parte central de la Cordillera de la Costa. Bol. AVGMP, 12(11):417-423.
- URBANI, F. (1969). Notas sobre la cueva de Walter Dupouy (Mi. 2), Capaya, estado Miranda. Bol. Soc. Venezolana Espeleología, 3(3):169-178.
- URBANI, F. (1973). Notas sobre el hallazgo de fósiles en rocas metamórficas de la parte central de la Cordillera de la Costa. Bol. AVGMP, 16(4-5-6):41-53.
- URBANI, F. (1977). Geología del área de Oritapo-Cabo Codera-Capaya, D.F. y Estado Miranda. Informe 77-1, Parte II, 56-124.
- URBANI, F. (1982). Comentarios sobre algunas edades de las rocas de la parte central de la Cordillera de la Costa. GEOS; UCV; Caracas, (27):77-84.
- URBANI, F. (1988). Algunos complejos de rocas metaígneas en la Cordillera de la Costa. Revista de la Facultad de Ingeniería, UCV; Caracas, 3(2):22-31.

- URBANI, F. (1999). Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela. GEOS, UCV, Caracas, (33):1-170.
- URBANI F., CONTRERAS O. & BARRIOS F. (1989a). Reconocimiento geológico de la región de El Palito – Valencia – Mariara, Edo. Carabobo. Soc. Ven. Geol., Mem. VII Cong. Geol. Venez., Barquisimeto, (I):176-198.
- URBANI F., SANCHEZ R. & SILVA J. (1989b). Reconocimiento geológico de la región de La Sabana-Cabo Codera-Capaya, D.F. y Miranda. Soc. Ven. Geol., Mem., VII Cong. Geol. Venez., Barquisimeto, (I):224-243.
- URBANI F. & OSTOS M. (1988). El Complejo Ávila, Cordillera de la Costa, Venezuela. GEOS, UCV, Caracas, (29):205-217.
- URBANI F. & QUESADA A. (1972). Migmatitas y rocas asociadas del área de La Sabana, Cordillera de la Costa. Bol. Geol., Caracas, Publicación Especial N° 5, Tomo (IV):2375-2400.
- URBANI F., *et al.* (1997). Reconocimiento geológico del flanco sur del macizo de El Ávila, Cordillera de la Costa, Distrito Federal y estado Miranda, Venezuela. Soc. Ven. Geol., Mem. VIII Cong. Geol. Venez., Porlamar, (II):465-468.
- WERHMANN, M. (1972). Geología de la región de Guatire-Colonia Tovar. Bol. Geol., Caracas, Publicación Especial N° 5, Tomo (IV):2093-2121.
- WILLIAMS H., TURNER F. & GILBERT C. (1968). Petrografía. Compañía Editorial Continental, S.A., 1<sup>ra</sup> ed, México, pp 177-264.
- WINKLER, H. (1976). Petrogénesis de rocas metamórficas. H. Blume Ediciones, 1<sup>era</sup> ed, Madrid, 348 p.
- WOLCOTT, P. (1943). Fossils from metamorphic rocks of Coast Range of Venezuela. Bull. A.A.P.G., Volume 27, (12):1632.
- YOUNG, G. *et al* (1956). Geología de las cuencas sedimentarias de Venezuela y de sus campos petrolíferos. Bol. Geol., Caracas, Publicación Especial N° 2, Tomo (IV):2093-2121.
- ZAMBRANO, A. (1970). Estudio Fisiográfico Regional de la Cuenca del Tuy. Editorial Sucre. Boletín de Geología, Caracas, 11(21):3-206.

# **A N E X O   I**



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE GEOLOGIA, MINAS Y DROBINGA



INGENIEROS DE SANTOS D.A.

## MAPA GEOLOGICO DE LA REGION DE CARENERO

LA REFERENCIA DE ESTE MAPA ES  
HOJA 6647-I-SE  
EDICION 1-U.C.V.  
2001

### LEYENDA

#### UNIDADES LITOLOGICAS ROCKS METAMORFICAS



COMPLEJO DE SAN JUAN  
(cuarcitas, metapelitas, gneiss)



ROCKS ULTRAMYONITICAS  
SERPENTINITA



ROCKS CUARCITICAS  
MARMOL



COMPLEJO DE SAN JUAN  
(gneiss, micaesquistos)



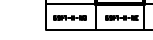
COMPLEJO METAMORFICO AVILA  
(gneiss, micaesquistos)



COMPLEJO METAMORFICO AVILA  
(gneiss, micaesquistos)



COMPLEJO METAMORFICO AVILA  
(gneiss, micaesquistos)



COMPLEJO METAMORFICO AVILA  
(gneiss, micaesquistos)



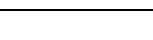
COMPLEJO METAMORFICO AVILA  
(gneiss, micaesquistos)



COMPLEJO METAMORFICO AVILA  
(gneiss, micaesquistos)



COMPLEJO METAMORFICO AVILA  
(gneiss, micaesquistos)



COMPLEJO METAMORFICO AVILA  
(gneiss, micaesquistos)



COMPLEJO METAMORFICO AVILA  
(gneiss, micaesquistos)



COMPLEJO METAMORFICO AVILA  
(gneiss, micaesquistos)

#### UNIDADES LITOLOGICAS ROCKS METAMORFICAS



COMPLEJO DE SAN JUAN  
(cuarcitas, metapelitas, gneiss)



ROCKS ULTRAMYONITICAS  
SERPENTINITA



ROCKS CUARCITICAS  
MARMOL



COMPLEJO DE SAN JUAN  
(gneiss, micaesquistos)



COMPLEJO METAMORFICO AVILA  
(gneiss, micaesquistos)



COMPLEJO METAMORFICO AVILA  
(gneiss, micaesquistos)



COMPLEJO METAMORFICO AVILA  
(gneiss, micaesquistos)



COMPLEJO METAMORFICO AVILA  
(gneiss, micaesquistos)



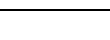
COMPLEJO METAMORFICO AVILA  
(gneiss, micaesquistos)



COMPLEJO METAMORFICO AVILA  
(gneiss, micaesquistos)



COMPLEJO METAMORFICO AVILA  
(gneiss, micaesquistos)



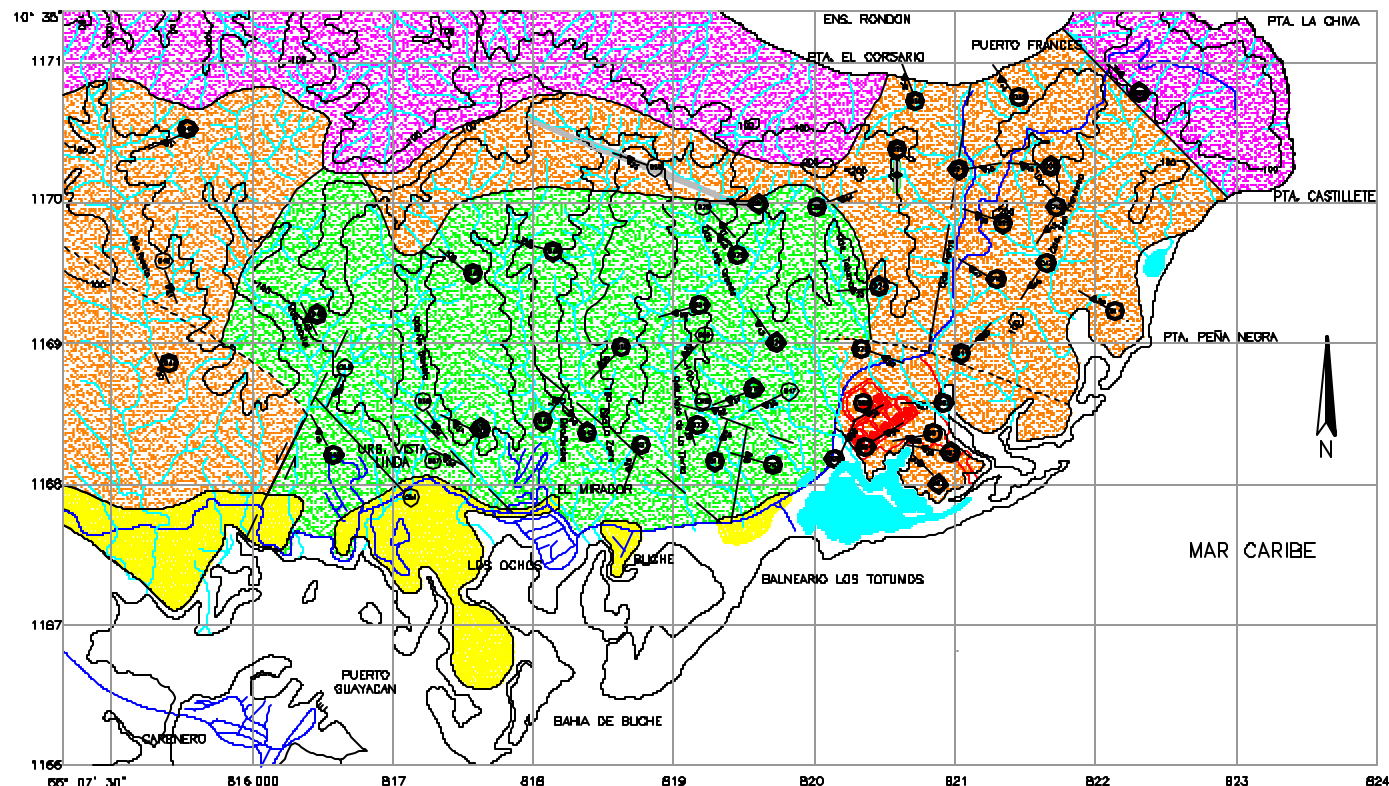
COMPLEJO METAMORFICO AVILA  
(gneiss, micaesquistos)



COMPLEJO METAMORFICO AVILA  
(gneiss, micaesquistos)



COMPLEJO METAMORFICO AVILA  
(gneiss, micaesquistos)



DELLIO V GONZALEZ, INGENIEROS DE SANTOS

REVISION ING. F. DE SANTOS  
ING. H. FURNER

VERSION MAYO 2002

ADVERTENCIA: TODOS LOS CONTACTOS ENTRE LAS UNIDADES DE ROCAS SON INFERIDOS, A  
EXCEPCION DE LOS LUGARES ESPECIFICOS DONDE APAREZCAN DATOS DE CAMPO.

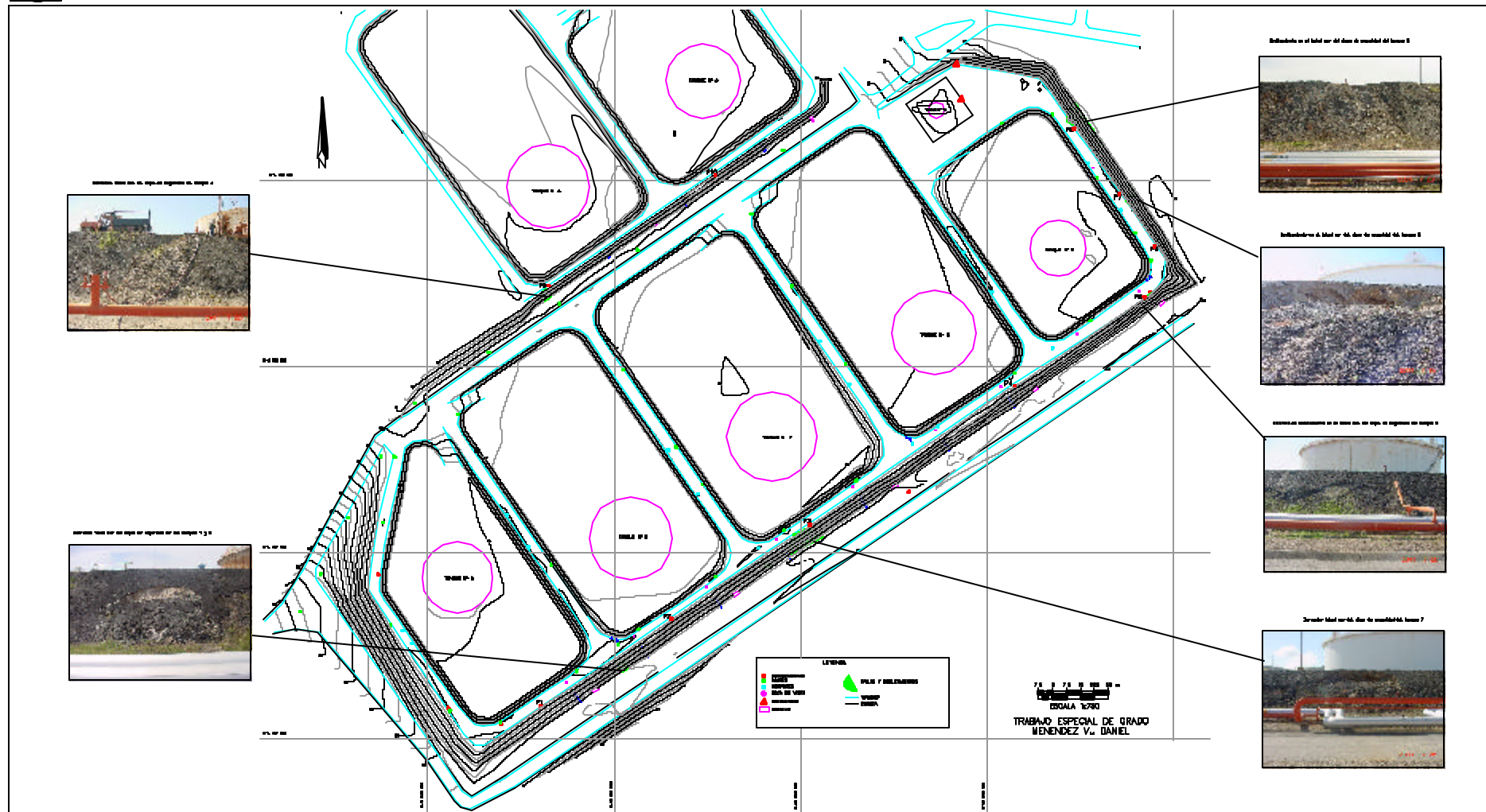
ANEXO I

# **A N E X O    I I**



1000

INGENIEROS DE SANTO LA



# **A N E X O    I I I**

[illegible]

# **A N E X O   I V**

**Tabla IV-1:** Caracterización de las discontinuidades en el punto 003

|                                                                                                                                                                      |                  |                              |               |                                                                 |                                                              |                          |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------|--|
| Nombre del Proyecto: Estudio Geológico y Geotécnico de un área ubicada en la localidad de Carenero, Estado Miranda.                                                  |                  |                              |               | Región Estructural: Faja Tectónica de la Cordillera de la Costa |                                                              |                          |  |
| Ubicación: Carenero, Municipio Brión, Estado Miranda.                                                                                                                |                  | Fecha: 23 de agosto de 2001  |               | Punto: 003                                                      |                                                              | Profundidad: Superficial |  |
| Elaborado por: Daniel Menéndez                                                                                                                                       |                  |                              |               | Tipo de Roca: Metamórfica, esquisto micáceo con poco cuarzo     |                                                              |                          |  |
| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA ROCA INTACTA                                                                                                                       |                  |                              |               | RQD, PARA NÚCLEO RECUPERADOS EN LAS PERFORACIONES               |                                                              |                          |  |
| Designación                                                                                                                                                          |                  | Compresión Uniaxial (kg/cm²) |               | Martillo de Schmidt (kg/cm²)                                    |                                                              | Designación              |  |
| Muy alta                                                                                                                                                             | > 2.500          | _____                        | > 2.500       | _____                                                           | Excelente calidad                                            | 90 - 100 % _____         |  |
| Alta                                                                                                                                                                 | 1.000 - 2.500    | _____                        | 1.000 - 2.500 | _____                                                           | Buena calidad                                                | 75 - 90% _____           |  |
| Media alta                                                                                                                                                           | 500 - 1.000      | _____                        | 500 - 1.000   | _____                                                           | Regular calidad                                              | 50 - 75% _____           |  |
| Moderada                                                                                                                                                             | 250 - 500        | X                            | 250 - 500     | X                                                               | Pobre calidad                                                | 25 - 50% _____           |  |
| Baja                                                                                                                                                                 | 50 - 250         | _____                        | 50 - 250      | _____                                                           | Muy pobre calidad                                            | < 25% _____              |  |
| Muy baja                                                                                                                                                             | 10 - 50          | _____                        | 10 - 50       | _____                                                           | RQD (Rock Quality Designation): Índice de calidad de la roca |                          |  |
| RUMBOS Y BUZAMIENTOS DE LAS DISCONTINUIDADES                                                                                                                         |                  |                              |               |                                                                 |                                                              |                          |  |
| Tipo                                                                                                                                                                 |                  | Rumbo                        |               |                                                                 |                                                              | Buzamiento               |  |
| Familia 1                                                                                                                                                            | Diadclasa        | NS                           | Rango         | 22                                                              | Dirección E                                                  |                          |  |
| Familia 2                                                                                                                                                            | Diadclasa        | N66W                         | Rango         | 76                                                              | Dirección N                                                  |                          |  |
| Familia 3                                                                                                                                                            | Diadclasa        | N19W                         | Rango         | 78                                                              | Dirección S                                                  |                          |  |
| Familia 4                                                                                                                                                            | Foliación        | N45W                         | Rango         | 37                                                              | Dirección S                                                  |                          |  |
| Familia 5                                                                                                                                                            |                  |                              | Rango         |                                                                 | Dirección                                                    |                          |  |
| Nota: Todas las direcciones referidas al norte magnético. Los valores de las familias representan un promedio de las discontinuidades pertenecientes a cada familia. |                  |                              |               |                                                                 |                                                              |                          |  |
| ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES                                                                                                                                |                  |                              |               |                                                                 |                                                              |                          |  |
| Designación                                                                                                                                                          |                  | Familia 1                    | Familia 2     | Familia 3                                                       | Familia 4                                                    | Familia 5                |  |
| Extremadamente cerrada                                                                                                                                               | < 20 mm          |                              |               |                                                                 |                                                              |                          |  |
| Muy cerrada                                                                                                                                                          | 20 - 60 mm       |                              |               |                                                                 |                                                              |                          |  |
| Cerrada                                                                                                                                                              | 60 - 200 mm      |                              |               |                                                                 |                                                              |                          |  |
| Moderada                                                                                                                                                             | 200 - 600 mm     |                              |               | X                                                               |                                                              |                          |  |
| Espaciada                                                                                                                                                            | 600 - 2.000 mm   |                              | X             |                                                                 |                                                              |                          |  |
| Muy espaciada                                                                                                                                                        | 2.000 - 6.000 mm |                              |               |                                                                 |                                                              |                          |  |
| Extremadamente espaciada                                                                                                                                             | > 6.000 mm       |                              |               |                                                                 |                                                              |                          |  |
| CONDICIONES DE FLUJO                                                                                                                                                 |                  |                              |               |                                                                 |                                                              |                          |  |
| Flujo interno por cada 10 metros de longitud de la excavación o Presión Hidráulica:                                                                                  |                  |                              |               | Litros por minuto: _____                                        |                                                              | Kp/A: _____              |  |
| Condiciones Generales: Las discontinuidades se presentan secas y sin evidencias de flujos de agua. Equivalentes a Grado II según ISRM (1981).                        |                  |                              |               |                                                                 |                                                              |                          |  |
|                                                                                                                                                                      |                  |                              |               |                                                                 |                                                              |                          |  |
|                                                                                                                                                                      |                  |                              |               |                                                                 |                                                              |                          |  |
| ESFUERZOS IN SITU                                                                                                                                                    |                  |                              |               |                                                                 |                                                              |                          |  |

| CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |              |                                 |                                 |                                 |           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------|-----------|
| Persistencia Relativa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |              | Familia 1<br><u>Persistente</u> | Familia 2<br><u>Persistente</u> | Familia 3<br><u>Persistente</u> | Familia 4 | Familia 5 |
| Persistencia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |              | Familia 1                       | Familia 2                       | Familia 3                       | Familia 4 | Familia 5 |
| Designación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |              |                                 |                                 |                                 |           |           |
| Muy baja                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | < 1 m        | _____                           | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Baja                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1 - 3 m      | _____                           | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Media                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 3 - 10 m     | X                               | X                               | X                               | _____     | _____     |
| Alta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 10 - 20 m    | _____                           | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Muy alta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | > 20 m       | _____                           | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Terminación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |              | Familia 1<br><u>(6,00)(xx)</u>  | Familia 2<br><u>(3,00)(xd)</u>  | Familia 3<br><u>(3,00)(xd)</u>  | Familia 4 | Familia 5 |
| Abertura                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |              | Familia 1                       | Familia 2                       | Familia 3                       | Familia 4 | Familia 5 |
| Designación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |              |                                 |                                 |                                 |           |           |
| Muy cerrada                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | < 0,1 mm     | _____                           | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Cerrada                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 0,1 - 0,5 mm | _____                           | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Moderadamente abierta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 0,5 - 2,5 mm | _____                           | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Abierta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 2,5 - 10 mm  | _____                           | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Muy ancha                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | > 10 mm      | X                               | X                               | X                               | _____     | _____     |
| Rugosidad                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |              | Familia 1                       | Familia 2                       | Familia 3                       | Familia 4 | Familia 5 |
| Designación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |              |                                 |                                 |                                 |           |           |
| Muy rugosa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |              | _____                           | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Rugosa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |              | _____                           | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Ligeramente rugosa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |              | _____                           | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Lisa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |              | X                               | X                               | X                               | _____     | _____     |
| Pulida                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |              | _____                           | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Relleno                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |              | Familia 1                       | Familia 2                       | Familia 3                       | Familia 4 | Familia 5 |
| Ancho                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |              | _____                           | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Tipo - Mineralogía                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |              | Sin relleno                     | Sin relleno                     | Sin relleno                     | _____     | _____     |
| Grado de meteorización                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |              | Desintegrada                    | Desintegrada                    | Desintegrada                    | _____     | _____     |
| Tamaño de la partícula                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |              | _____                           | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Resistencia a la compresión Uniaxial, kg/cm <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |              | _____                           | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Filtración                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |              | _____                           | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Grado de meteorización de la roca                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |              | Familia 1                       | Familia 2                       | Familia 3                       | Familia 4 | Familia 5 |
| Fresco                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |              | _____                           | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Decolorada                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |              | X                               | X                               | X                               | _____     | _____     |
| Descompuesta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |              | _____                           | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Desintegrada                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |              | _____                           | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| OBSERVACIONES GENERALES E INFORMACIÓN ADICIONAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |              |                                 |                                 |                                 |           |           |
| <p>La rugosidad es solo relativa, dado que no se tomaron mediciones con los instrumentos correspondientes, por carecer de estos.</p> <p>El macizo rocoso se encuentra meteorizado entre los grados II y III según ISRM (1981); esto es, moderadamente meteorizado.</p> <p>La roca se encuentra decolorada a descompuesta, caracterizada por cambio en el color original de la roca, determinada por la alteración y/u oxidación de ciertos minerales, conservando aún su estructura (de roca metamórfica - foliación).</p> <p>No se recuperarán núcleos de roca durante la perforación, por tanto no se determinó el % de recuperación ni el RQD.</p> <p>La roca en campo fue descrita como un esquistos micáceo con poco cuarzo, la petrografía indica que se trata de un esquistos cuarzo plagioclásico, correlacionable con el Complejo de San Julián que aflora en la zona.</p> |              |                                 |                                 |                                 |           |           |

**Tabla IV-2: Caracterización de las discontinuidades en el punto 004**

|                                                                                                                                                                      |                                           |                             |                                           |                                                                 |                   |                                                              |                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------|------------------|
| Nombre del Proyecto: Estudio Geológico y Geotécnico de un área ubicada en la localidad de Carenero, Estado Miranda.                                                  |                                           |                             |                                           | Región Estructural: Faja Tectónica de la Cordillera de la Costa |                   |                                                              |                  |
| Ubicación: Carenero, Municipio Brón, Estado Miranda.                                                                                                                 |                                           | Fecha: 23 de agosto de 2001 |                                           | Punto: 004                                                      |                   | Profundidad: Superficial                                     |                  |
| Elaborado por: Daniel Menéndez                                                                                                                                       |                                           |                             |                                           | Tipo de Roca: Metamórfica, esquistó micáceo con poco cuarzo     |                   |                                                              |                  |
| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA ROCA INTACTA                                                                                                                       |                                           |                             |                                           | RQD, PARA NÚCLEO RECUPERADOS EN LAS PERFORACIONES               |                   |                                                              |                  |
| Designación                                                                                                                                                          | Compresión Uniaxial (kg/cm <sup>2</sup> ) |                             | Martillo de Schmidt (kg/cm <sup>2</sup> ) |                                                                 | Designación       |                                                              |                  |
|                                                                                                                                                                      | Muy alta                                  | > 2.500                     | _____                                     | > 2.500                                                         | _____             | Excelente calidad                                            | 90 - 100 % _____ |
|                                                                                                                                                                      | Alta                                      | 1.000 - 2.500               | _____                                     | 1.000 - 2.500                                                   | _____             | Buena calidad                                                | 75 - 90% _____   |
|                                                                                                                                                                      | Media alta                                | 500 - 1.000                 | _____                                     | 500 - 1.000                                                     | _____             | Regular calidad                                              | 50 - 75% _____   |
|                                                                                                                                                                      | Moderada                                  | 250 - 500                   | _____                                     | 250 - 500                                                       | _____             | Pobre calidad                                                | 25 - 50% _____   |
|                                                                                                                                                                      | Baja                                      | 50 - 250                    | _____                                     | 50 - 250                                                        | _____             | Muy pobre calidad                                            | < 25% _____      |
|                                                                                                                                                                      | Muy baja                                  | 10 - 50                     | _____                                     | 10 - 50                                                         | _____             | RQD (Rock Quality Designation): Índice de calidad de la roca |                  |
| RUMBOS Y BUZAMIENTOS DE LAS DISCONTINUIDADES                                                                                                                         |                                           |                             |                                           |                                                                 |                   |                                                              |                  |
| Tipo                                                                                                                                                                 |                                           | Rumbo                       |                                           | Buzamiento                                                      |                   |                                                              |                  |
| Familia 1                                                                                                                                                            | Diaclase                                  | N46E                        | Rango _____                               | 41                                                              | Dirección _____ S |                                                              |                  |
| Familia 2                                                                                                                                                            | Diaclase                                  | N78W                        | Rango _____                               | SV                                                              | Dirección _____   |                                                              |                  |
| Familia 3                                                                                                                                                            | Diaclase                                  | N45E                        | Rango _____                               | 70                                                              | Dirección _____ N |                                                              |                  |
| Familia 4                                                                                                                                                            | Foliación                                 | N48E                        | Rango _____ 40 - 58                       | 50                                                              | Dirección _____ S |                                                              |                  |
| Familia 5                                                                                                                                                            |                                           |                             | Rango _____                               |                                                                 | Dirección _____   |                                                              |                  |
| Nota: Todas las direcciones referidas al norte magnético. Los valores de las familias representan un promedio de las discontinuidades pertenecientes a cada familia. |                                           |                             |                                           |                                                                 |                   |                                                              |                  |
| ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES                                                                                                                                |                                           |                             |                                           |                                                                 |                   |                                                              |                  |
| Designación                                                                                                                                                          | Familia 1                                 | Familia 2                   | Familia 3                                 | Familia 4                                                       | Familia 5         |                                                              |                  |
| Extremadamente cerrada                                                                                                                                               | < 20 mm                                   | _____                       | _____                                     | _____                                                           | _____             | _____                                                        |                  |
| Muy cerrada                                                                                                                                                          | 20 - 60 mm                                | _____                       | _____                                     | _____                                                           | _____             | _____                                                        |                  |
| Cerrada                                                                                                                                                              | 60 - 200 mm                               | _____                       | _____                                     | _____                                                           | _____             | _____                                                        |                  |
| Moderada                                                                                                                                                             | 200 - 600 mm                              | _____                       | _____                                     | _____                                                           | _____             | _____                                                        |                  |
| Espaciada                                                                                                                                                            | 600 - 2.000 mm                            | _____                       | _____                                     | _____                                                           | _____             | _____                                                        |                  |
| Muy espaciada                                                                                                                                                        | 2.000 - 6.000 mm                          | _____                       | _____                                     | _____                                                           | _____             | _____                                                        |                  |
| Extremadamente espaciada                                                                                                                                             | > 6.000 mm                                | _____                       | _____                                     | _____                                                           | _____             | _____                                                        |                  |
| CONDICIONES DE FLUJO                                                                                                                                                 |                                           |                             |                                           |                                                                 |                   |                                                              |                  |
| Flujo interno por cada 10 metros de longitud de la excavación o Presión Hidráulica:                                                                                  |                                           | Litros por minuto: _____    |                                           | KpA: _____                                                      |                   |                                                              |                  |
| Condiciones Generales: Las discontinuidades se presentan secas y sin evidencias de flujos de agua. Equivalentes a Grado II según ISRM (1981).                        |                                           |                             |                                           |                                                                 |                   |                                                              |                  |
| _____                                                                                                                                                                |                                           |                             |                                           |                                                                 |                   |                                                              |                  |
| _____                                                                                                                                                                |                                           |                             |                                           |                                                                 |                   |                                                              |                  |
| ESFUERZOS <i>IN SITU</i>                                                                                                                                             |                                           |                             |                                           |                                                                 |                   |                                                              |                  |

|                                                                                                                                                                                                                                              |                                    |                                 |                                 |           |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------|-----------|
| CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES                                                                                                                                                                                                          |                                    |                                 |                                 |           |           |
| Persistencia Relativa                                                                                                                                                                                                                        | Familia 1<br><u>Subpersistente</u> | Familia 2<br><u>Persistente</u> | Familia 3<br><u>Persistente</u> | Familia 4 | Familia 5 |
|                                                                                                                                                                                                                                              | Persistencia                       |                                 |                                 |           |           |
|                                                                                                                                                                                                                                              | Familia 1                          | Familia 2                       | Familia 3                       | Familia 4 | Familia 5 |
|                                                                                                                                                                                                                                              | Designación                        |                                 |                                 |           |           |
|                                                                                                                                                                                                                                              | Muy baja                           | < 1 m                           | _____                           | _____     | _____     |
| Baja                                                                                                                                                                                                                                         | 1 - 3 m                            | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Media                                                                                                                                                                                                                                        | 3 - 10 m                           | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Alta                                                                                                                                                                                                                                         | 10 - 20 m                          | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Muy alta                                                                                                                                                                                                                                     | < 20 m                             | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Terminación                                                                                                                                                                                                                                  | Familia 1<br><u>(1.00)(x)</u>      | Familia 2<br><u>(1.00)(x)</u>   | Familia 3<br><u>(1.00)(x)</u>   | Familia 4 | Familia 5 |
| Abertura                                                                                                                                                                                                                                     |                                    |                                 |                                 |           |           |
| Designación                                                                                                                                                                                                                                  |                                    |                                 |                                 |           |           |
| Muy cerrada                                                                                                                                                                                                                                  | < 0,1 mm                           | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Cerrada                                                                                                                                                                                                                                      | 0,1 - 0,5 mm                       | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Moderadamente abierta                                                                                                                                                                                                                        | 0,5 - 2,5 mm                       | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Abierta                                                                                                                                                                                                                                      | 2,5 - 10 mm                        | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Muy ancha                                                                                                                                                                                                                                    | > 10 mm                            | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Rugosidad                                                                                                                                                                                                                                    |                                    |                                 |                                 |           |           |
| Designación                                                                                                                                                                                                                                  |                                    |                                 |                                 |           |           |
| Muy rugosa                                                                                                                                                                                                                                   | _____                              | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Rugosa                                                                                                                                                                                                                                       | _____                              | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Ligeramente rugosa                                                                                                                                                                                                                           | _____                              | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Lisa                                                                                                                                                                                                                                         | _____                              | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Pulida                                                                                                                                                                                                                                       | _____                              | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Relleno                                                                                                                                                                                                                                      |                                    |                                 |                                 |           |           |
| Ancho                                                                                                                                                                                                                                        | Familia 1<br><u>50 - 70 mm</u>     | Familia 2<br><u>50 - 70 mm</u>  | Familia 3<br><u>50 - 70 mm</u>  | Familia 4 | Familia 5 |
| Tipo - Mineralogía                                                                                                                                                                                                                           | <u>Cuarzo</u>                      | <u>Cuarzo</u>                   | <u>Cuarzo</u>                   | _____     | _____     |
| Grado de meteorización                                                                                                                                                                                                                       | <u>Desintegrada</u>                | <u>Desintegrada</u>             | <u>Desintegrada</u>             | _____     | _____     |
| Tamaño de la partícula                                                                                                                                                                                                                       | <u>Masivo</u>                      | <u>Masivo</u>                   | <u>Masivo</u>                   | _____     | _____     |
| Resistencia a la compresión Uniaxial, kg/cm <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                     | _____                              | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Filtración                                                                                                                                                                                                                                   | <u>Secas</u>                       | <u>Secas</u>                    | <u>Secas</u>                    | _____     | _____     |
| Grado de meteorización de la roca                                                                                                                                                                                                            |                                    |                                 |                                 |           |           |
| Fresco                                                                                                                                                                                                                                       | Familia 1<br><u>X</u>              | Familia 2<br><u>X</u>           | Familia 3<br><u>X</u>           | Familia 4 | Familia 5 |
| Decolorada                                                                                                                                                                                                                                   | _____                              | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Descompuesta                                                                                                                                                                                                                                 | _____                              | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| Desintegrada                                                                                                                                                                                                                                 | _____                              | _____                           | _____                           | _____     | _____     |
| OBSERVACIONES GENERALES E INFORMACIÓN ADICIONAL                                                                                                                                                                                              |                                    |                                 |                                 |           |           |
| La rugosidad es solo relativa, dado que no se tomaron mediciones con los instrumentos correspondientes, por carecer de estos.                                                                                                                |                                    |                                 |                                 |           |           |
| El macizo rocoso se encuentra meteorizado entre los grados II y II según ISRM (1981); esto es, moderadamente meteorizado.                                                                                                                    |                                    |                                 |                                 |           |           |
| La roca se encuentra decolorada a descompuesta, caracterizada por cambio en el color original de la roca, determinada por la alteración y/u oxidación de ciertos minerales, conservando aún su estructura (de roca metamórfica - foliación). |                                    |                                 |                                 |           |           |
| No se recuperaron núcleos de roca durante la perforación, por tanto no se determinó el % de recuperación ni el RQD.                                                                                                                          |                                    |                                 |                                 |           |           |
| La roca en campo fue descrita como un esquistó micáceo con cuarzo, la petrografía indicó que se trata de un esquistó cuarzo plagioclásico, correlacionable con el Complejo de San Julián que aflora en la zona.                              |                                    |                                 |                                 |           |           |

Tabla IV-3: Caracterización de las discontinuidades en el punto 005

|                                                                                                                                                                      |                                           |                                           |               |                                                                 |                                                              |                          |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------|-------|
| Nombre del Proyecto: Estudio Geológico y Geotécnico de un área ubicada en la localidad de Carenero, Estado Miranda.                                                  |                                           |                                           |               | Región Estructural: Faja Tectónica de la Cordillera de la Costa |                                                              |                          |       |
| Ubicación: Carenero, Municipio Brón, Estado Miranda.                                                                                                                 |                                           | Fecha: 23 de agosto de 2001               |               | Punto: 005                                                      |                                                              | Profundidad: Superficial |       |
| Elaborado por: Daniel Menéndez                                                                                                                                       |                                           |                                           |               | Tipo de Roca: Metamórfica, esquistó micáceo con cuarzo          |                                                              |                          |       |
| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA ROCA INTACTA                                                                                                                       |                                           |                                           |               | RQD, PARA NÚCLEO RECUPERADOS EN LAS PERFORACIONES               |                                                              |                          |       |
| Designación                                                                                                                                                          | Compresión Uniaxial (kg/cm <sup>2</sup> ) | Martillo de Schmidt (kg/cm <sup>2</sup> ) |               | Designación                                                     |                                                              |                          |       |
| Muy alta                                                                                                                                                             | > 2.500                                   | _____                                     | > 2.500       | _____                                                           | Excelente calidad                                            | 90 - 100 %               | _____ |
| Alta                                                                                                                                                                 | 1.000 - 2.500                             | _____                                     | 1.000 - 2.500 | _____                                                           | Buena calidad                                                | 75 - 90%                 | _____ |
| Media alta                                                                                                                                                           | 500 - 1.000                               | _____                                     | 500 - 1.000   | _____                                                           | Regular calidad                                              | 50 - 75%                 | _____ |
| Moderada                                                                                                                                                             | 250 - 500                                 | X                                         | 250 - 500     | X                                                               | Pobre calidad                                                | 25 - 50%                 | _____ |
| Baja                                                                                                                                                                 | 50 - 250                                  | _____                                     | 50 - 250      | _____                                                           | Muy pobre calidad                                            | < 25%                    | _____ |
| Muy baja                                                                                                                                                             | 10 - 50                                   | _____                                     | 10 - 50       | _____                                                           | RQD (Rock Quality Designation): Índice de calidad de la roca |                          |       |
| RUMBOS Y BUZAMIENTOS DE LAS DISCONTINUIDADES                                                                                                                         |                                           |                                           |               |                                                                 |                                                              |                          |       |
| Tipo Rumbo Buzamiento                                                                                                                                                |                                           |                                           |               |                                                                 |                                                              |                          |       |
| Familia 1                                                                                                                                                            | Diaclase                                  | N48W                                      | Rango         | 54                                                              | Dirección                                                    | S                        |       |
| Familia 2                                                                                                                                                            | Diaclase                                  | N16E                                      | Rango         | 48                                                              | Dirección                                                    | S                        |       |
| Familia 3                                                                                                                                                            | Foliación                                 | N25E                                      | Rango         | 25                                                              | Dirección                                                    | S                        |       |
| Familia 4                                                                                                                                                            |                                           |                                           | Rango         |                                                                 | Dirección                                                    |                          |       |
| Familia 5                                                                                                                                                            |                                           |                                           | Rango         |                                                                 | Dirección                                                    |                          |       |
| Nota: Todas las direcciones referidas al norte magnético. Los valores de las familias representan un promedio de las discontinuidades pertenecientes a cada familia. |                                           |                                           |               |                                                                 |                                                              |                          |       |
| ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES                                                                                                                                |                                           |                                           |               |                                                                 |                                                              |                          |       |
| Designación                                                                                                                                                          | Familia 1                                 | Familia 2                                 | Familia 3     | Familia 4                                                       | Familia 5                                                    |                          |       |
| Extremadamente cerrada                                                                                                                                               | < 20 mm                                   | _____                                     | _____         | _____                                                           | _____                                                        |                          |       |
| Muy cerrada                                                                                                                                                          | 20 - 60 mm                                | _____                                     | _____         | _____                                                           | _____                                                        |                          |       |
| Cerrada                                                                                                                                                              | 60 - 200 mm                               | _____                                     | _____         | _____                                                           | _____                                                        |                          |       |
| Moderada                                                                                                                                                             | 200 - 600 mm                              | X                                         | X             | _____                                                           | _____                                                        |                          |       |
| Espaciada                                                                                                                                                            | 600 - 2.000 mm                            | _____                                     | _____         | _____                                                           | _____                                                        |                          |       |
| Muy espaciada                                                                                                                                                        | 2.000 - 6.000 mm                          | _____                                     | _____         | _____                                                           | _____                                                        |                          |       |
| Extremadamente espaciada                                                                                                                                             | > 6.000 mm                                | _____                                     | _____         | _____                                                           | _____                                                        |                          |       |
| CONDICIONES DE FLUJO                                                                                                                                                 |                                           |                                           |               |                                                                 |                                                              |                          |       |
| Flujo interno por cada 10 metros de longitud de la excavación o Presión Hidráulica:                                                                                  |                                           |                                           |               | Litros por minuto: _____ KpA: _____                             |                                                              |                          |       |
| Condiciones Generales: Las discontinuidades se presentan secas y sin evidencias de flujos de agua. Equivalentes a Grado II según ISRM (1981).                        |                                           |                                           |               |                                                                 |                                                              |                          |       |
|                                                                                                                                                                      |                                           |                                           |               |                                                                 |                                                              |                          |       |
|                                                                                                                                                                      |                                           |                                           |               |                                                                 |                                                              |                          |       |
| ESFUERZOS IN SITU                                                                                                                                                    |                                           |                                           |               |                                                                 |                                                              |                          |       |

|                                                                                                                                                                                                                                              |                       |                                           |              |           |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|--------------|-----------|-----------|
| CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES                                                                                                                                                                                                          |                       |                                           |              |           |           |
| Persistencia Relativa                                                                                                                                                                                                                        | Familia 1 Persistente | Familia 2 Subpersistente - No Persistente | Familia 3    | Familia 4 | Familia 5 |
| Persistencia                                                                                                                                                                                                                                 | Familia 1             | Familia 2                                 | Familia 3    | Familia 4 | Familia 5 |
| Designación                                                                                                                                                                                                                                  |                       |                                           |              |           |           |
| Muy baja                                                                                                                                                                                                                                     | < 1 m                 | _____                                     | _____        | _____     | _____     |
| Baja                                                                                                                                                                                                                                         | 1 - 3 m               | _____                                     | _____        | _____     | _____     |
| Media                                                                                                                                                                                                                                        | 3 - 10 m              | X                                         | X            | _____     | _____     |
| Alta                                                                                                                                                                                                                                         | 10 - 20 m             | _____                                     | _____        | _____     | _____     |
| Muy alta                                                                                                                                                                                                                                     | < 20 m                | _____                                     | _____        | _____     | _____     |
| Terminación                                                                                                                                                                                                                                  | Familia 1 (10.00)(xx) | Familia 2 (4.00 - 6.00)(xr)               | Familia 3    | Familia 4 | Familia 5 |
| Abertura                                                                                                                                                                                                                                     | Familia 1             | Familia 2                                 | Familia 3    | Familia 4 | Familia 5 |
| Designación                                                                                                                                                                                                                                  |                       |                                           |              |           |           |
| Muy cerrada                                                                                                                                                                                                                                  | < 0,1 mm              | _____                                     | _____        | _____     | _____     |
| Cerrada                                                                                                                                                                                                                                      | 0,1 - 0,5 mm          | _____                                     | _____        | _____     | _____     |
| Moderadamente abierta                                                                                                                                                                                                                        | 0,5 - 2,5 mm          | _____                                     | _____        | _____     | _____     |
| Abierta                                                                                                                                                                                                                                      | 2,5 - 10 mm           | X                                         | X            | _____     | _____     |
| Muy ancha                                                                                                                                                                                                                                    | > 10 mm               | _____                                     | _____        | _____     | _____     |
| Rugosidad                                                                                                                                                                                                                                    | Familia 1             | Familia 2                                 | Familia 3    | Familia 4 | Familia 5 |
| Designación                                                                                                                                                                                                                                  |                       |                                           |              |           |           |
| Muy rugosa                                                                                                                                                                                                                                   | _____                 | _____                                     | _____        | _____     | _____     |
| Rugosa                                                                                                                                                                                                                                       | _____                 | _____                                     | _____        | _____     | _____     |
| Ligeramente rugosa                                                                                                                                                                                                                           | _____                 | _____                                     | _____        | _____     | _____     |
| Lisa                                                                                                                                                                                                                                         | X                     | X                                         | _____        | _____     | _____     |
| Pulida                                                                                                                                                                                                                                       | _____                 | _____                                     | _____        | _____     | _____     |
| Relleno                                                                                                                                                                                                                                      | Familia 1             | Familia 2                                 | Familia 3    | Familia 4 | Familia 5 |
| Ancho                                                                                                                                                                                                                                        | _____                 | _____                                     | _____        | _____     | _____     |
| Tipo - Mineralogía                                                                                                                                                                                                                           | Sin relleno           | Sin relleno                               | Sin relleno  | _____     | _____     |
| Grado de meteorización                                                                                                                                                                                                                       | Desintegrada          | Desintegrada                              | Desintegrada | _____     | _____     |
| Tamaño de la partícula                                                                                                                                                                                                                       | _____                 | _____                                     | _____        | _____     | _____     |
| Resistencia a la compresión Uniaxial, kg/cm <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                     | _____                 | _____                                     | _____        | _____     | _____     |
| Filtración                                                                                                                                                                                                                                   | _____                 | _____                                     | _____        | _____     | _____     |
| Grado de meteorización de la roca                                                                                                                                                                                                            | Familia 1             | Familia 2                                 | Familia 3    | Familia 4 | Familia 5 |
| Fresco                                                                                                                                                                                                                                       | _____                 | _____                                     | _____        | _____     | _____     |
| Decolorada                                                                                                                                                                                                                                   | X                     | X                                         | X            | _____     | _____     |
| Descompuesta                                                                                                                                                                                                                                 | _____                 | _____                                     | _____        | _____     | _____     |
| Desintegrada                                                                                                                                                                                                                                 | _____                 | _____                                     | _____        | _____     | _____     |
| OBSERVACIONES GENERALES E INFORMACIÓN ADICIONAL                                                                                                                                                                                              |                       |                                           |              |           |           |
| La rugosidad es solo relativa, dado que no se tomaron mediciones con los instrumentos correspondientes, por carecer de estos.                                                                                                                |                       |                                           |              |           |           |
| El macizo rocoso se encuentra meteorizado entre los grados II y II según ISRM (1981); esto es, moderadamente meteorizado.                                                                                                                    |                       |                                           |              |           |           |
| La roca se encuentra decolorada a descompuesta, caracterizada por cambio en el color original de la roca, determinada por la alteración y/u oxidación de ciertos minerales, conservando aún su estructura (de roca metamórfica - foliación). |                       |                                           |              |           |           |
| No se recuperaron núcleos de roca durante la perforación, por tanto no se determinó el % de recuperación ni el RQD.                                                                                                                          |                       |                                           |              |           |           |
| La roca en campo fue descrita como un esquistó micáceo con cuarzo, la petrografía indicó que se trata de un esquistó cuarzo plagioclásico, correlacionable con el Complejo de San Julián que aflora en la zona.                              |                       |                                           |              |           |           |

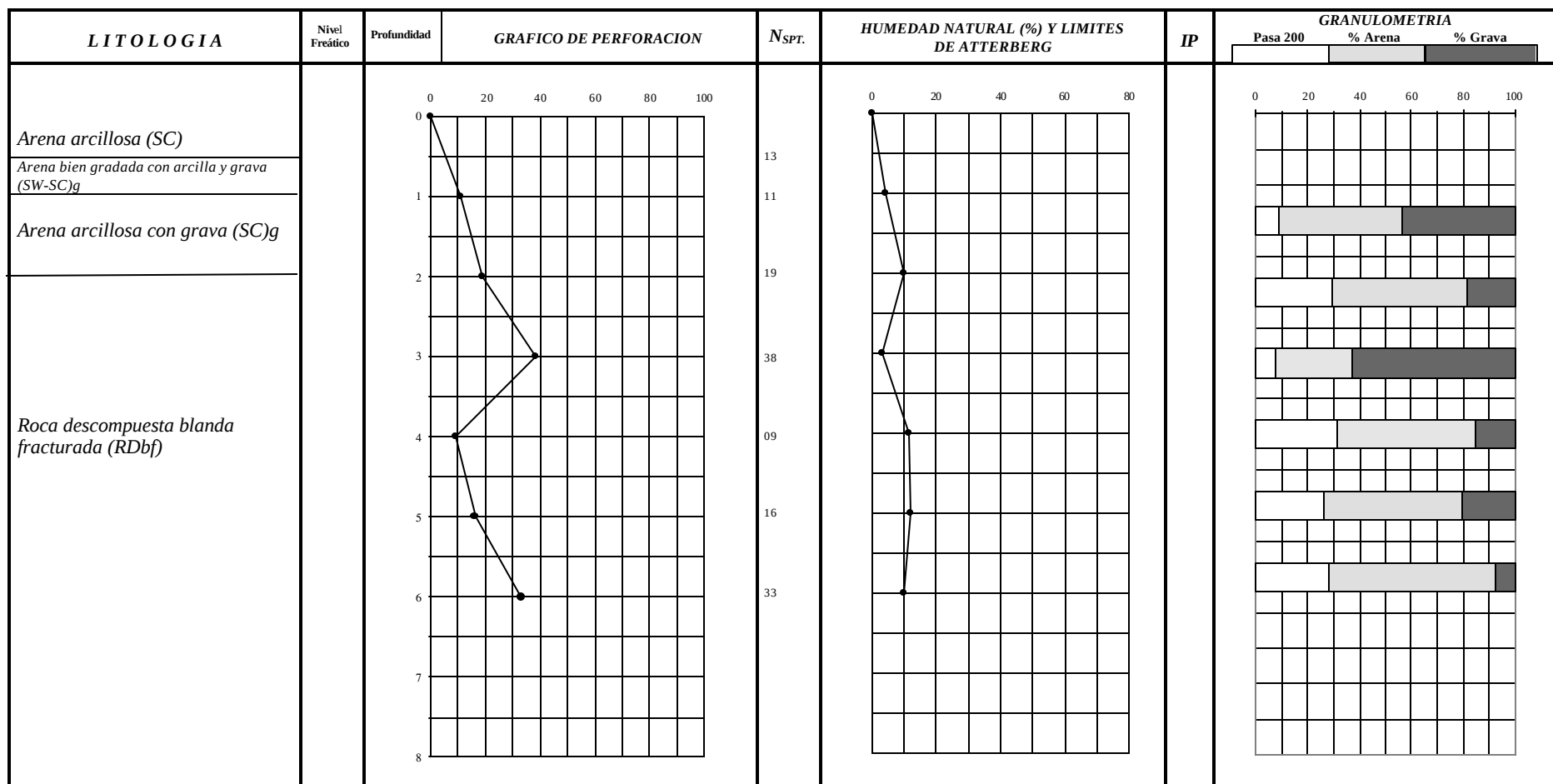
Tabla IV-4: Caracterización de las discontinuidades en el punto 007

|                                                                                                                                                                      |                                           |                                           |               |                                                                 |                                                              |                          |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------|-------|
| Nombre del Proyecto: Estudio Geológico y Geotécnico de un área ubicada en la localidad de Carenero, Estado Miranda.                                                  |                                           |                                           |               | Región Estructural: Faja Tectónica de la Cordillera de la Costa |                                                              |                          |       |
| Ubicación: Carenero, Municipio Brón, Estado Miranda.                                                                                                                 |                                           | Fecha: 23 de agosto de 2001               |               | Punto: 007                                                      |                                                              | Profundidad: Superficial |       |
| Elaborado por: Daniel Menéndez                                                                                                                                       |                                           |                                           |               | Tipo de Roca: Metamórfica, esquistó micáceo con cuarzo          |                                                              |                          |       |
| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA ROCA INTACTA                                                                                                                       |                                           |                                           |               | RQD, PARA NÚCLEO RECUPERADOS EN LAS PERFORACIONES               |                                                              |                          |       |
| Designación                                                                                                                                                          | Compresión Uniaxial (kg/cm <sup>2</sup> ) | Martillo de Schmidt (kg/cm <sup>2</sup> ) |               | Designación                                                     |                                                              |                          |       |
| Muy alta                                                                                                                                                             | > 2.500                                   | _____                                     | > 2.500       | _____                                                           | Excelente calidad                                            | 90 - 100 %               | _____ |
| Alta                                                                                                                                                                 | 1.000 - 2.500                             | _____                                     | 1.000 - 2.500 | _____                                                           | Buena calidad                                                | 75 - 90%                 | _____ |
| Media alta                                                                                                                                                           | 500 - 1.000                               | _____                                     | 500 - 1.000   | _____                                                           | Regular calidad                                              | 50 - 75%                 | _____ |
| Moderada                                                                                                                                                             | 250 - 500                                 | _____                                     | 250 - 500     | _____                                                           | Pobre calidad                                                | 25 - 50%                 | _____ |
| Baja                                                                                                                                                                 | 50 - 250                                  | _____                                     | 50 - 250      | _____                                                           | Muy pobre calidad                                            | < 25%                    | _____ |
| Muy baja                                                                                                                                                             | 10 - 50                                   | _____                                     | 10 - 50       | _____                                                           | RQD (Rock Quality Designation): Índice de calidad de la roca |                          |       |
| RUMBOS Y BUZAMIENTOS DE LAS DISCONTINUIDADES                                                                                                                         |                                           |                                           |               |                                                                 |                                                              |                          |       |
| Tipo                                                                                                                                                                 | Rumbo                                     |                                           |               | Buzamiento                                                      |                                                              |                          |       |
| Familia 1                                                                                                                                                            | Diaclase                                  | N64W                                      | Rango 27 - 82 | 48                                                              | Dirección S                                                  |                          |       |
| Familia 2                                                                                                                                                            | Diaclase                                  | N60E                                      | Rango 50 - 70 | 80                                                              | Dirección N                                                  |                          |       |
| Familia 3                                                                                                                                                            | Foliación                                 | N65W                                      | Rango         | 56                                                              | Dirección S                                                  |                          |       |
| Familia 4                                                                                                                                                            | Foliación                                 | N78E                                      | Rango 65 - 85 | 35                                                              | Dirección S                                                  |                          |       |
| Familia 5                                                                                                                                                            | Foliación                                 | EW                                        | Rango         | 41                                                              | Dirección S                                                  |                          |       |
| Nota: Todas las direcciones referidas al norte magnético. Los valores de las familias representan un promedio de las discontinuidades pertenecientes a cada familia. |                                           |                                           |               |                                                                 |                                                              |                          |       |
| ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES                                                                                                                                |                                           |                                           |               |                                                                 |                                                              |                          |       |
| Designación                                                                                                                                                          | Familia 1                                 | Familia 2                                 | Familia 3     | Familia 4                                                       | Familia 5                                                    |                          |       |
| Extremadamente cerrada                                                                                                                                               | < 20 mm                                   | _____                                     | _____         | _____                                                           | _____                                                        | _____                    |       |
| Muy cerrada                                                                                                                                                          | 20 - 60 mm                                | _____                                     | _____         | _____                                                           | _____                                                        | _____                    |       |
| Cerrada                                                                                                                                                              | 60 - 200 mm                               | _____                                     | _____         | _____                                                           | _____                                                        | _____                    |       |
| Moderada                                                                                                                                                             | 200 - 600 mm                              | X                                         | X             | _____                                                           | _____                                                        | _____                    |       |
| Espaciada                                                                                                                                                            | 600 - 2.000 mm                            | _____                                     | _____         | _____                                                           | _____                                                        | _____                    |       |
| Muy espaciada                                                                                                                                                        | 2.000 - 6.000 mm                          | _____                                     | _____         | _____                                                           | _____                                                        | _____                    |       |
| Extremadamente espaciada                                                                                                                                             | > 6.000 mm                                | _____                                     | _____         | _____                                                           | _____                                                        | _____                    |       |
| CONDICIONES DE FLUJO                                                                                                                                                 |                                           |                                           |               |                                                                 |                                                              |                          |       |
| Flujo interno por cada 10 metros de longitud de la excavación o Presión Hidráulica:                                                                                  |                                           |                                           |               | Litros por minuto: _____ KpA: _____                             |                                                              |                          |       |
| Condiciones Generales: Las discontinuidades se presentan secas y sin evidencias de flujos de agua. Equivalentes a Grado II según ISRM (1981).                        |                                           |                                           |               |                                                                 |                                                              |                          |       |
| _____                                                                                                                                                                |                                           |                                           |               |                                                                 |                                                              |                          |       |
| _____                                                                                                                                                                |                                           |                                           |               |                                                                 |                                                              |                          |       |
| ESFUERZOS IN SITU                                                                                                                                                    |                                           |                                           |               |                                                                 |                                                              |                          |       |

Planilla de datos de entrada para los sistemas de clasificación geomecánica de rocas, modifica de ASTM 5878-95

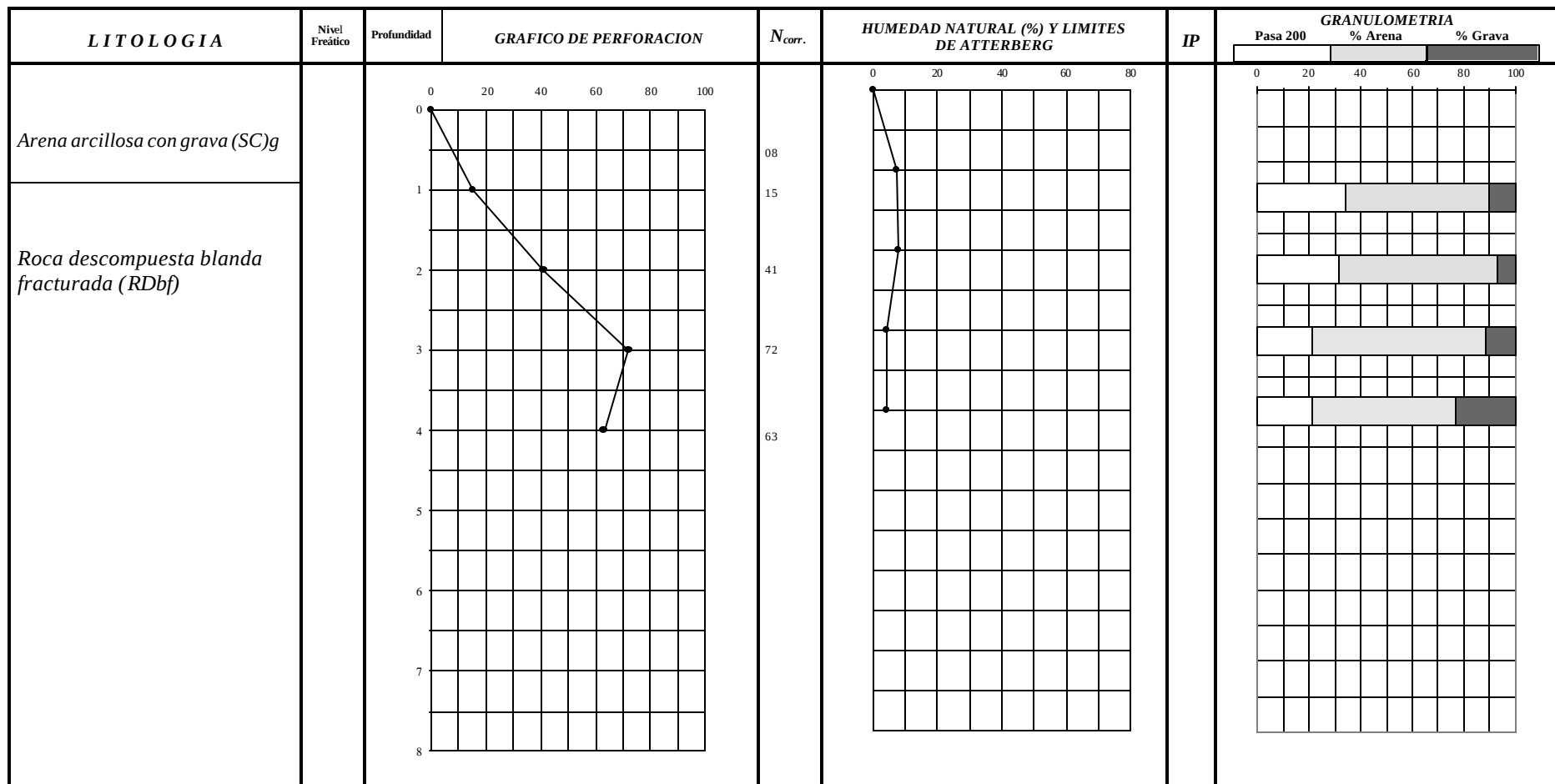
|                                                                                                                                                                                                                                              |                                 |                                    |           |           |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES                                                                                                                                                                                                          |                                 |                                    |           |           |           |
| Persistencia Relativa                                                                                                                                                                                                                        | Familia 1<br><u>Persistente</u> | Familia 2<br><u>No persistente</u> | Familia 3 | Familia 4 | Familia 5 |
| Persistencia                                                                                                                                                                                                                                 | Familia 1                       | Familia 2                          | Familia 3 | Familia 4 | Familia 5 |
| Designación                                                                                                                                                                                                                                  |                                 |                                    |           |           |           |
| Muy baja                                                                                                                                                                                                                                     | < 1 m                           | X                                  | _____     | _____     | _____     |
| Baja                                                                                                                                                                                                                                         | 1 - 3 m                         | X                                  | _____     | _____     | _____     |
| Media                                                                                                                                                                                                                                        | 3 - 10 m                        | _____                              | _____     | _____     | _____     |
| Alta                                                                                                                                                                                                                                         | 10 - 20 m                       | _____                              | _____     | _____     | _____     |
| Muy alta                                                                                                                                                                                                                                     | < 20 m                          | _____                              | _____     | _____     | _____     |
| Terminación                                                                                                                                                                                                                                  | Familia 1<br><u>(2.90)(xx)</u>  | Familia 2<br><u>(0.42)(dr)</u>     | Familia 3 | Familia 4 | Familia 5 |
| Abertura                                                                                                                                                                                                                                     | Familia 1                       | Familia 2                          | Familia 3 | Familia 4 | Familia 5 |
| Designación                                                                                                                                                                                                                                  |                                 |                                    |           |           |           |
| Muy cerrada                                                                                                                                                                                                                                  | < 0,1 mm                        | _____                              | _____     | _____     | _____     |
| Cerrada                                                                                                                                                                                                                                      | 0,1 - 0,5 mm                    | _____                              | _____     | _____     | _____     |
| Moderadamente abierta                                                                                                                                                                                                                        | 0,5 - 2,5 mm                    | _____                              | _____     | _____     | _____     |
| Abierta                                                                                                                                                                                                                                      | 2,5 - 10 mm                     | X                                  | X         | _____     | _____     |
| Muy ancha                                                                                                                                                                                                                                    | > 10 mm                         | _____                              | _____     | _____     | _____     |
| Rugosidad                                                                                                                                                                                                                                    | Familia 1                       | Familia 2                          | Familia 3 | Familia 4 | Familia 5 |
| Designación                                                                                                                                                                                                                                  |                                 |                                    |           |           |           |
| Muy rugosa                                                                                                                                                                                                                                   | _____                           | _____                              | _____     | _____     | _____     |
| Rugosa                                                                                                                                                                                                                                       | _____                           | _____                              | _____     | _____     | _____     |
| Ligeramente rugosa                                                                                                                                                                                                                           | X                               | X                                  | _____     | _____     | _____     |
| Lisa                                                                                                                                                                                                                                         | _____                           | _____                              | _____     | _____     | _____     |
| Pulida                                                                                                                                                                                                                                       | _____                           | _____                              | _____     | _____     | _____     |
| Relleno                                                                                                                                                                                                                                      | Familia 1                       | Familia 2                          | Familia 3 | Familia 4 | Familia 5 |
| Ancho                                                                                                                                                                                                                                        | 5 mm                            | 6 mm                               | _____     | _____     | _____     |
| Tipo - Mineralogía                                                                                                                                                                                                                           | Cuarzo                          | Cuarzo                             | _____     | _____     | _____     |
| Grado de meteorización                                                                                                                                                                                                                       | Desintegrada                    | Desintegrada                       | _____     | _____     | _____     |
| Tamaño de la partícula                                                                                                                                                                                                                       | En matriz limo arenosa          | Masivo, triturado                  | _____     | _____     | _____     |
| Resistencia a la compresión Uniaxial, kg/cm <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                     | _____                           | _____                              | _____     | _____     | _____     |
| Filtración                                                                                                                                                                                                                                   | Seca                            | Seca                               | _____     | _____     | _____     |
| Grado de meteorización de la roca                                                                                                                                                                                                            | Familia 1                       | Familia 2                          | Familia 3 | Familia 4 | Familia 5 |
| Fresco                                                                                                                                                                                                                                       | _____                           | _____                              | _____     | _____     | _____     |
| Decolorada                                                                                                                                                                                                                                   | X                               | X                                  | _____     | _____     | _____     |
| Descompuesta                                                                                                                                                                                                                                 | _____                           | _____                              | _____     | _____     | _____     |
| Desintegrada                                                                                                                                                                                                                                 | _____                           | _____                              | _____     | _____     | _____     |
| OBSERVACIONES GENERALES E INFORMACIÓN ADICIONAL                                                                                                                                                                                              |                                 |                                    |           |           |           |
| La rugosidad es solo relativa, dado que no se tomaron mediciones con los instrumentos correspondientes, por carecer de estos.                                                                                                                |                                 |                                    |           |           |           |
| El macizo rocoso se encuentra meteorizado entre los grados II y II según ISRM (1981); esto es, moderadamente meteorizado.                                                                                                                    |                                 |                                    |           |           |           |
| La roca se encuentra decolorada a descompuesta, caracterizada por cambio en el color original de la roca, determinada por la alteración y/u oxidación de ciertos minerales, conservando aún su estructura (de roca metamórfica - foliación). |                                 |                                    |           |           |           |
| No se recuperaron núcleos de roca durante la perforación, por tanto no se determino el % de recuperación ni el RQD.                                                                                                                          |                                 |                                    |           |           |           |
| La roca en campo fue descrita como un esquistó micáceo con cuarzo, la petrografía indicó que se trata de un esquistó cuarzo plagioclásico, correlacionable con el Complejo de San Julián que aflora en la zona.                              |                                 |                                    |           |           |           |

# **A N E X O   V**



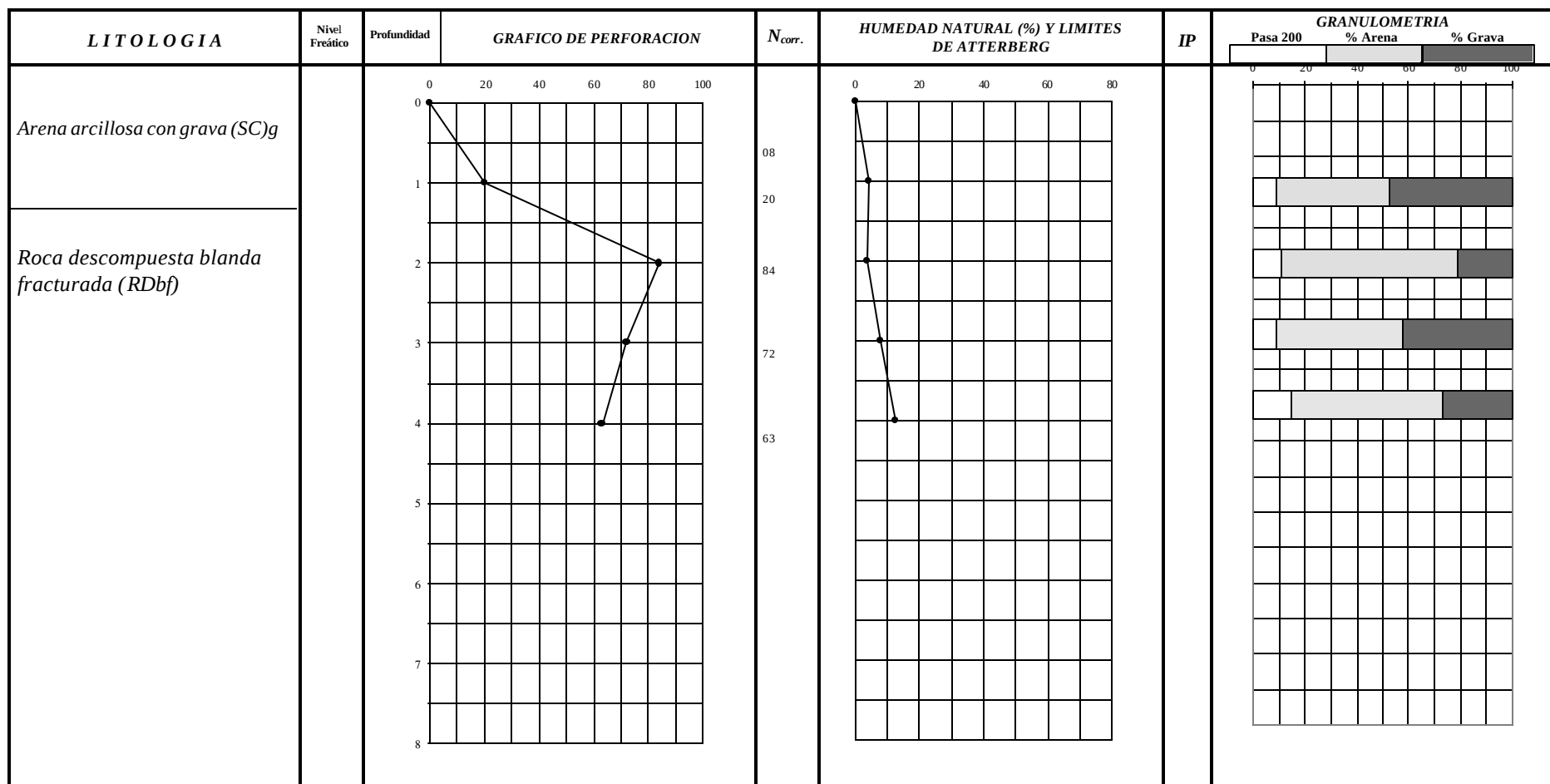
|                                                                                                                   |                      |                                                |                        |                                       |                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| <b>PROYECTO:</b><br>Estudio Geológico y Geotécnico de un área ubicada en la localidad de Carenero, Estado Miranda |                      |                                                |                        |                                       | <b>N°</b><br><b>P - 1</b> |
| <b>PROG.:</b>                                                                                                     | <b>COTA:</b><br>28 m | <b>LONG.:</b><br>6 m                           | <b>NIVEL FREATICO:</b> | <b>CAIDA DEL MARTILLO:</b><br>76 cm   | <b>PESO:</b><br>140 Lbs.  |
| <b>G<sub>s</sub> = Peso Específico</b>                                                                            |                      | <b>q<sub>u</sub> = Compresión sin confinar</b> |                        | <b>f = Angulo de Fricción Interna</b> |                           |
| <b>g = Peso Unitario Num.</b>                                                                                     |                      | <b>c = Cohesión</b>                            |                        | <b>Exp = Presión de Expansión</b>     |                           |

|                                                                                                                     |                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <br>Ingenieros De Santis, C.A. | <b>PLANILLA DE REGISTRO DE PERFORACION</b> |
| <b>RESPONSABLE:</b><br>Ing. Feliciano De Santis                                                                     |                                            |
| <b>FECHA:</b> Agosto de 2001                                                                                        |                                            |



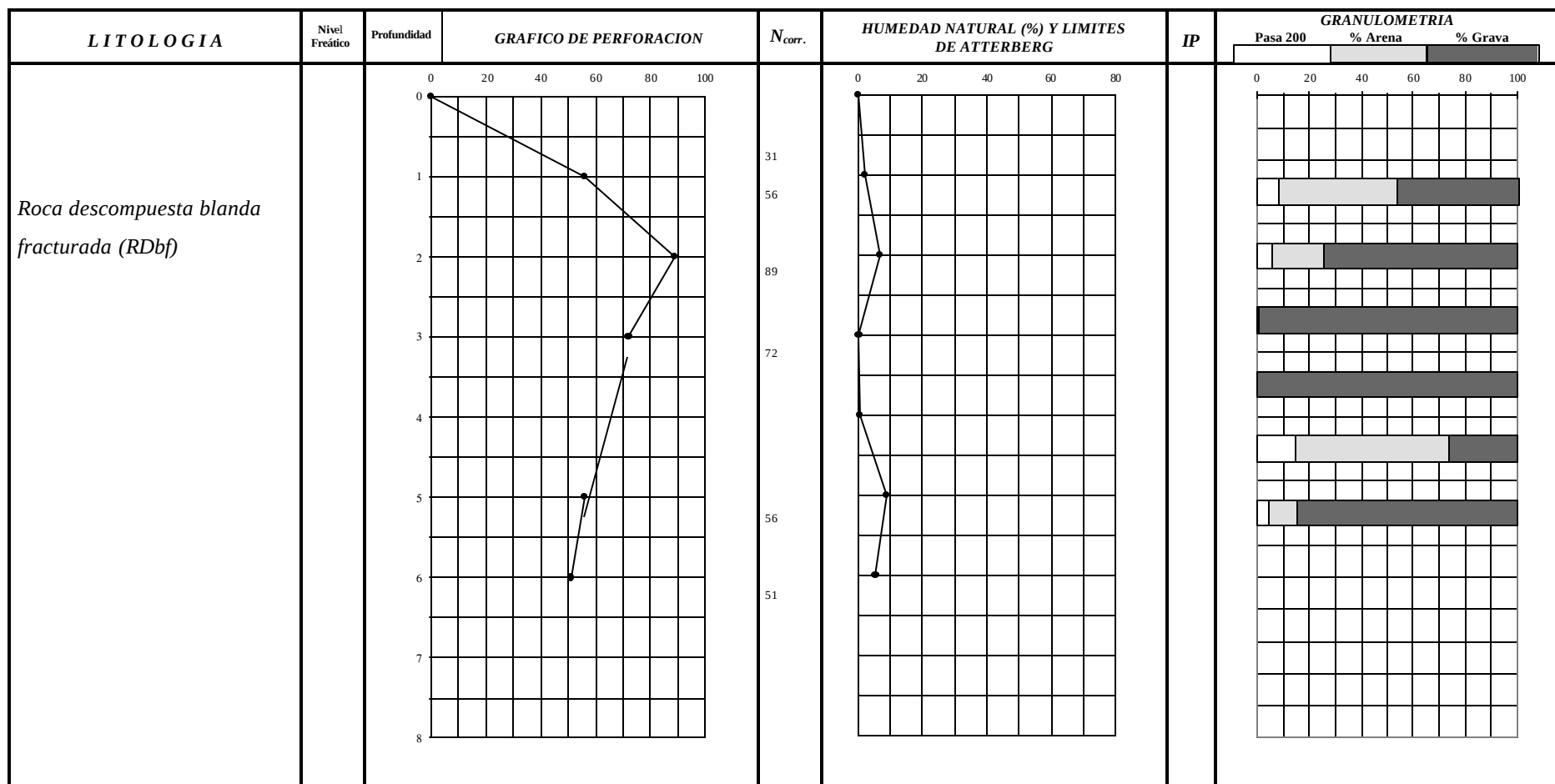
|                                                                                                                   |                      |                                     |                        |                                       |                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| <b>PROYECTO:</b><br>Estudio Geológico y Geotécnico de un área ubicada en la localidad de Carenero, Estado Miranda |                      |                                     |                        |                                       | <b>N°</b><br><b>P - 2</b> |
| <b>PROG.:</b>                                                                                                     | <b>COTA:</b><br>28 m | <b>LONG.:</b><br>4 m                | <b>NIVEL FREATICO:</b> | <b>CAIDA DEL MARTILLO:</b><br>76 cm   | <b>PESO:</b><br>140 Lbs.  |
| <b>Gs = Peso Específico</b>                                                                                       |                      | <b>qu = Compresión sin confinar</b> |                        | <b>f = Angulo de Fricción Interna</b> |                           |
| <b>g = Peso Unitario Num.</b>                                                                                     |                      | <b>c = Cohesión</b>                 |                        | <b>Exp = Presión de Expansión</b>     |                           |

|                                                                                                                     |                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <br>Ingenieros De Santis, C.A. | <b>PLANILLA DE REGISTRO DE PERFORACION</b> |
| <b>RESPONSABLE:</b><br>Ing. Feliciano De Santis                                                                     |                                            |
| <b>FECHA:</b> Agosto de 2001                                                                                        |                                            |



|                                                                                                                   |                      |                                                |                        |                                       |                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| <b>PROYECTO:</b><br>Estudio Geológico y Geotécnico de un área ubicada en la localidad de Carenero, Estado Miranda |                      |                                                |                        |                                       | <b>N°</b><br><b>P - 3</b> |
| <b>PROG.:</b>                                                                                                     | <b>COTA:</b><br>28 m | <b>LONG.:</b><br>5 m                           | <b>NIVEL FREATICO:</b> | <b>CAIDA DEL MARTILLO:</b><br>76 cm   | <b>PESO:</b><br>140 Lbs.  |
| <b>G<sub>s</sub> = Peso Específico</b>                                                                            |                      | <b>q<sub>u</sub> = Compresión sin confinar</b> |                        | <b>f = Angulo de Fricción Interna</b> |                           |
| <b>g = Peso Unitario Num.</b>                                                                                     |                      | <b>c = Cohesión</b>                            |                        | <b>Exp = Presión de Expansión</b>     |                           |

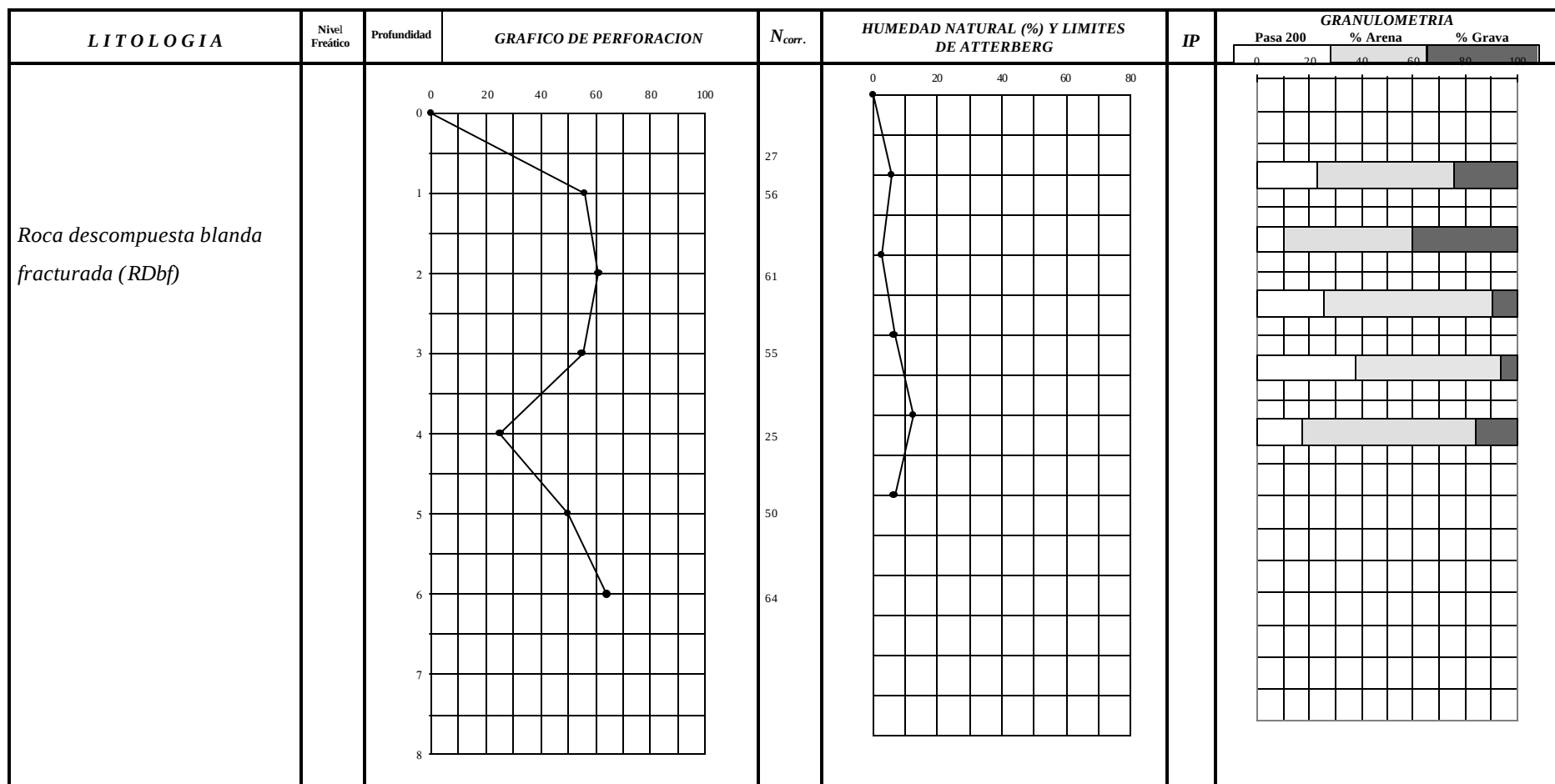
|                                                                                                                     |                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <br>Ingenieros De Santis, C.A. | <b>PLANILLA DE REGISTRO DE PERFORACION</b> |
| <b>RESPONSABLE:</b><br>Ing. Feliciano De Santis                                                                     |                                            |
| <b>FECHA:</b> Agosto de 2001                                                                                        |                                            |



|                                                                                                                   |                      |                                     |                        |                                       |                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| <b>PROYECTO:</b><br>Estudio Geológico y Geotécnico de un área ubicada en la localidad de Carenero, Estado Miranda |                      |                                     |                        |                                       | <b>N°</b><br><b>P - 4</b> |
| <b>PROG.:</b>                                                                                                     | <b>COTA:</b><br>28 m | <b>LONG.:</b><br>6 m                | <b>NIVEL FREATICO:</b> | <b>CAIDA DEL MARTILLO:</b><br>76 cm   | <b>PESO:</b><br>140 Lbs.  |
| <b>Gs = Peso Específico</b>                                                                                       |                      | <b>qu = Compresión sin confinar</b> |                        | <b>f = Angulo de Fricción Interna</b> |                           |
| <b>g = Peso Unitario Num.</b>                                                                                     |                      | <b>c = Cohesión</b>                 |                        | <b>Exp = Presión de Expansión</b>     |                           |

|                                                                                                                     |                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <br>Ingenieros De Santis, C.A. | <b>PLANILLA DE REGISTRO DE PERFORACION</b> |
| <b>RESPONSABLE:</b><br>Ing. Feliciano De Santis                                                                     |                                            |
| <b>FECHA:</b> Agosto de 2001                                                                                        |                                            |

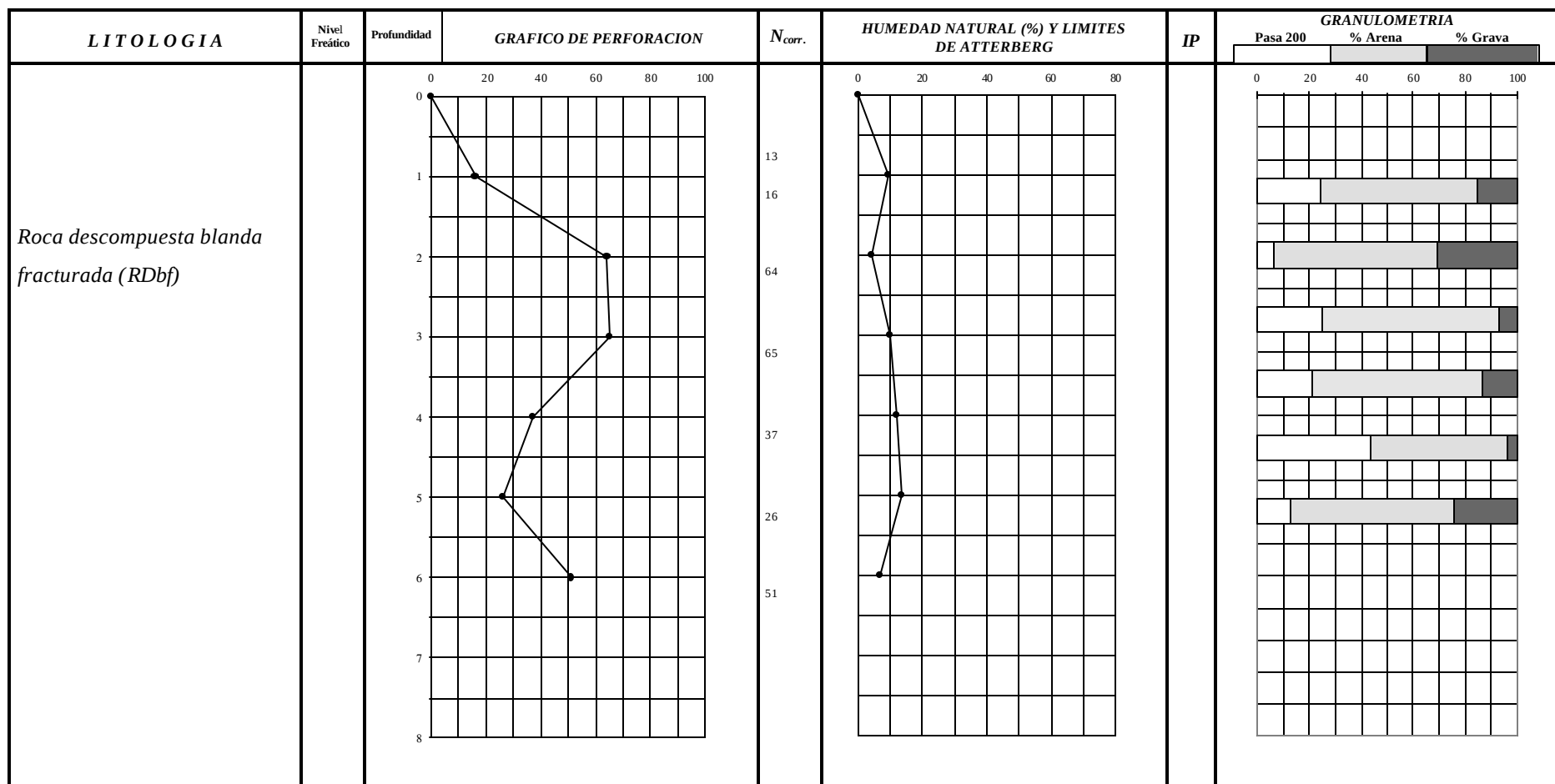
Anexo V



|                                                                                                                   |                      |                                     |                        |                                       |                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| <b>PROYECTO:</b><br>Estudio Geológico y Geotécnico de un área ubicada en la localidad de Carenero, Estado Miranda |                      |                                     |                        |                                       | <b>N°</b><br><b>P - 5</b> |
| <b>PROG.:</b>                                                                                                     | <b>COTA:</b><br>28 m | <b>LONG.:</b><br>6 m                | <b>NIVEL FREATICO:</b> | <b>CAIDA DEL MARTILLO:</b><br>76 cm   | <b>PESO:</b><br>140 Lbs.  |
| <b>Gs = Peso Específico</b>                                                                                       |                      | <b>qu = Compresión sin confinar</b> |                        | <b>f = Angulo de Fricción Interna</b> |                           |
| <b>g = Peso Unitario Num.</b>                                                                                     |                      | <b>c = Cohesión</b>                 |                        | <b>Exp = Presión de Expansión</b>     |                           |

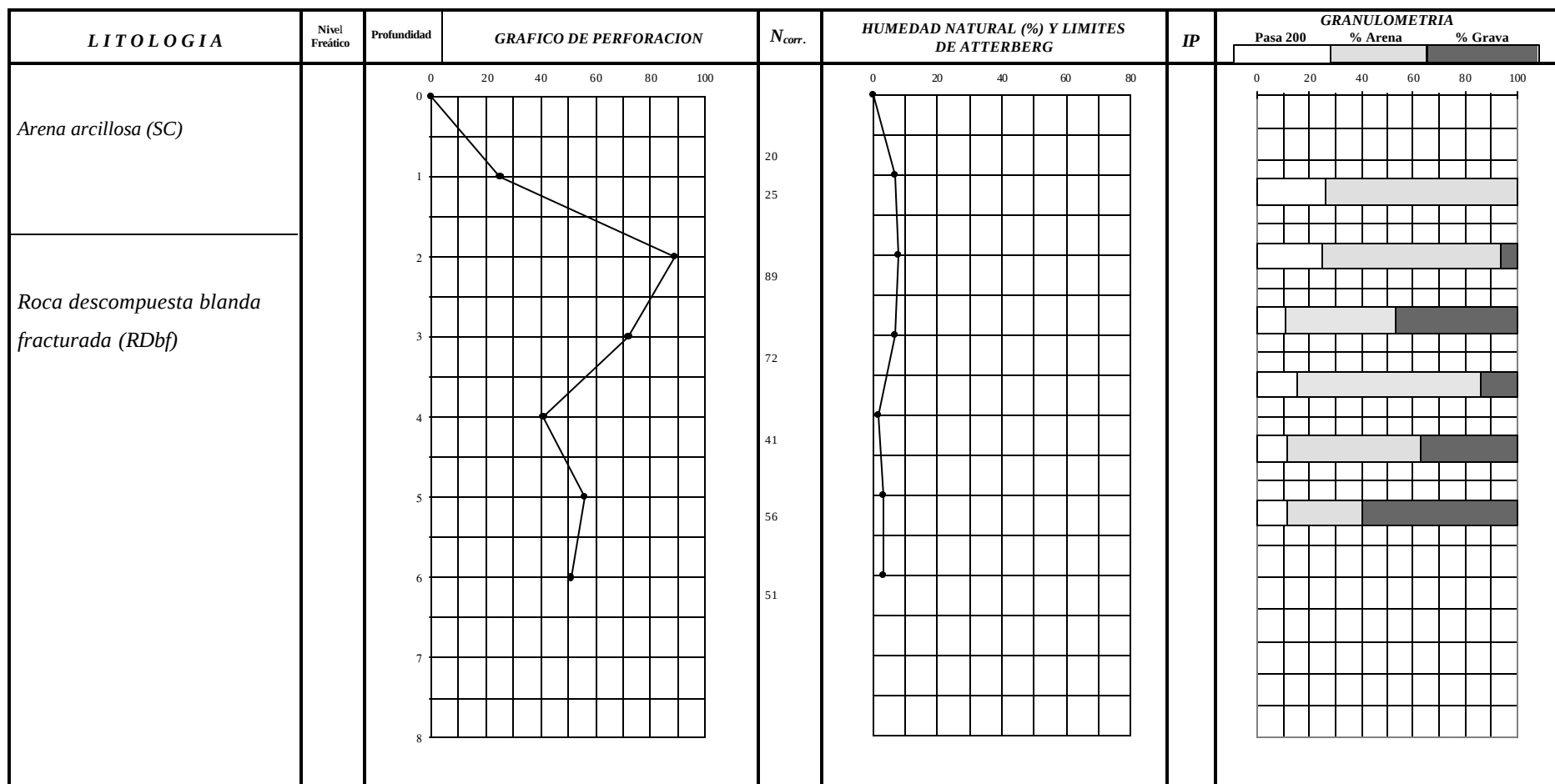
|                                                 |                                            |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <br>Ingenieros De Santis, C.A.                  | <b>PLANILLA DE REGISTRO DE PERFORACION</b> |
| <b>RESPONSABLE:</b><br>Ing. Feliciano De Santis |                                            |
| <b>FECHA:</b> Agosto de 2001                    |                                            |

Anexo V



|                                                                                                                   |                      |                                     |                        |                                       |                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| <b>PROYECTO:</b><br>Estudio Geológico y Geotécnico de un área ubicada en la localidad de Carenero, Estado Miranda |                      |                                     |                        |                                       | <b>N°</b><br><b>P - 6</b> |
| <b>PROG.:</b>                                                                                                     | <b>COTA:</b><br>28 m | <b>LONG.:</b><br>6 m                | <b>NIVEL FREATICO:</b> | <b>CAIDA DEL MARTILLO:</b><br>76 cm   | <b>PESO:</b><br>140 Lbs.  |
| <b>Gs = Peso Específico</b>                                                                                       |                      | <b>qu = Compresión sin confinar</b> |                        | <b>f = Angulo de Fricción Interna</b> |                           |
| <b>g = Peso Unitario Num.</b>                                                                                     |                      | <b>c = Cohesión</b>                 |                        | <b>Exp = Presión de Expansión</b>     |                           |

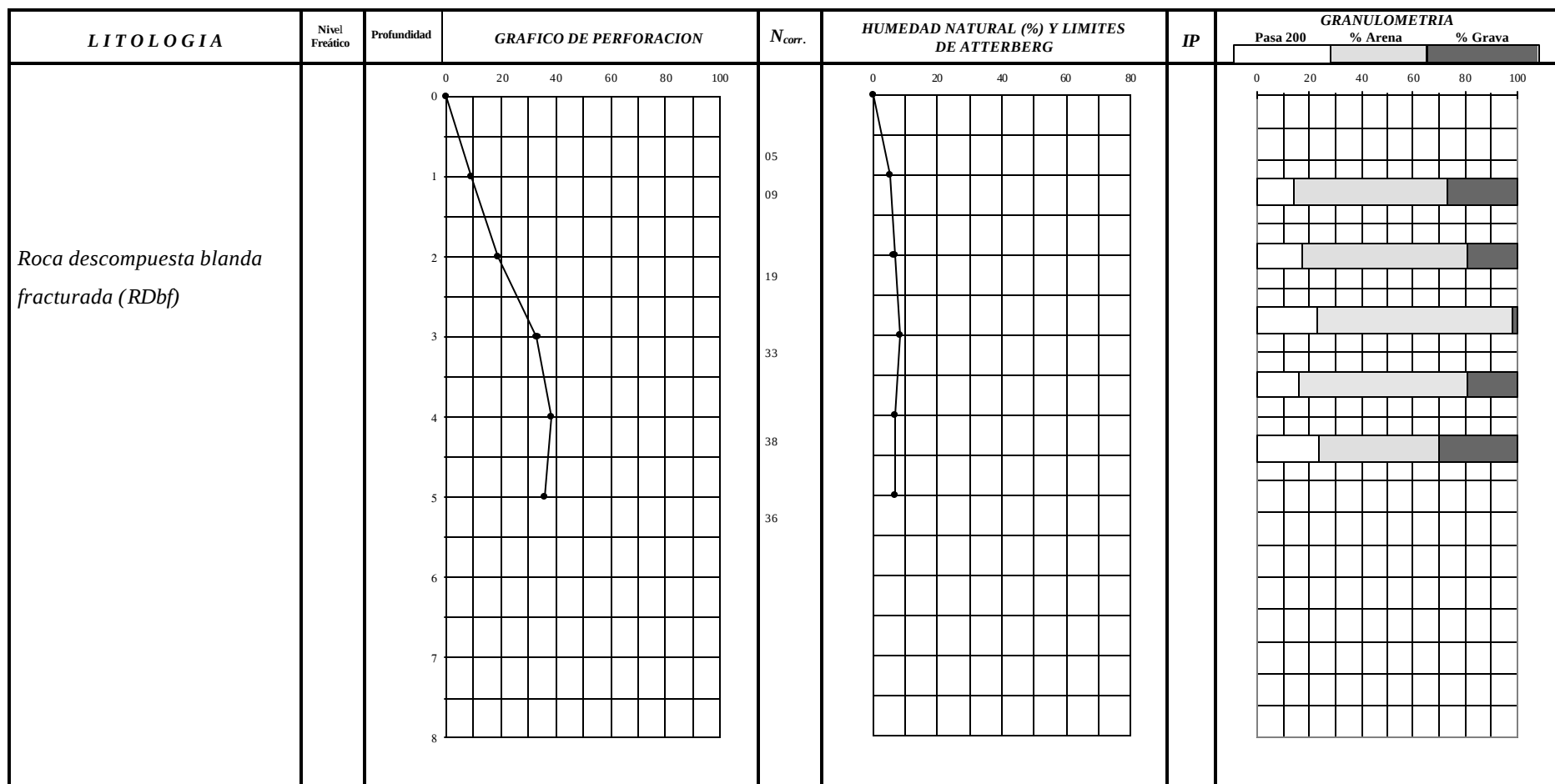
|                                                                                                                     |                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <br>Ingenieros De Santis, C.A. | <b>PLANILLA DE REGISTRO DE PERFORACION</b> |
| <b>RESPONSABLE:</b><br>Ing. Feliciano De Santis                                                                     |                                            |
| <b>FECHA:</b> Agosto de 2001                                                                                        |                                            |



|                                                                                                                   |                      |                                                |                        |                                       |                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| <b>PROYECTO:</b><br>Estudio Geológico y Geotécnico de un área ubicada en la localidad de Carenero, Estado Miranda |                      |                                                |                        |                                       | <b>N°</b><br>P - 7       |
| <b>PROG.:</b>                                                                                                     | <b>COTA:</b><br>28 m | <b>LONG.:</b><br>6 m                           | <b>NIVEL FREATICO:</b> | <b>CAIDA DEL MARTILLO:</b><br>76 cm   | <b>PESO:</b><br>140 Lbs. |
| <b>G<sub>s</sub> = Peso Específico</b>                                                                            |                      | <b>q<sub>u</sub> = Compresión sin confinar</b> |                        | <b>f = Angulo de Fricción Interna</b> |                          |
| <b>g = Peso Unitario Num.</b>                                                                                     |                      | <b>c = Cohesión</b>                            |                        | <b>Exp = Presión de Expansión</b>     |                          |

|                                                                                                                     |                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <br>Ingenieros De Santis, C.A. | <b>PLANILLA DE REGISTRO DE PERFORACION</b> |
| <b>RESPONSABLE:</b><br>Ing. Feliciano De Santis                                                                     |                                            |
| <b>FECHA:</b> Agosto de 2001                                                                                        |                                            |

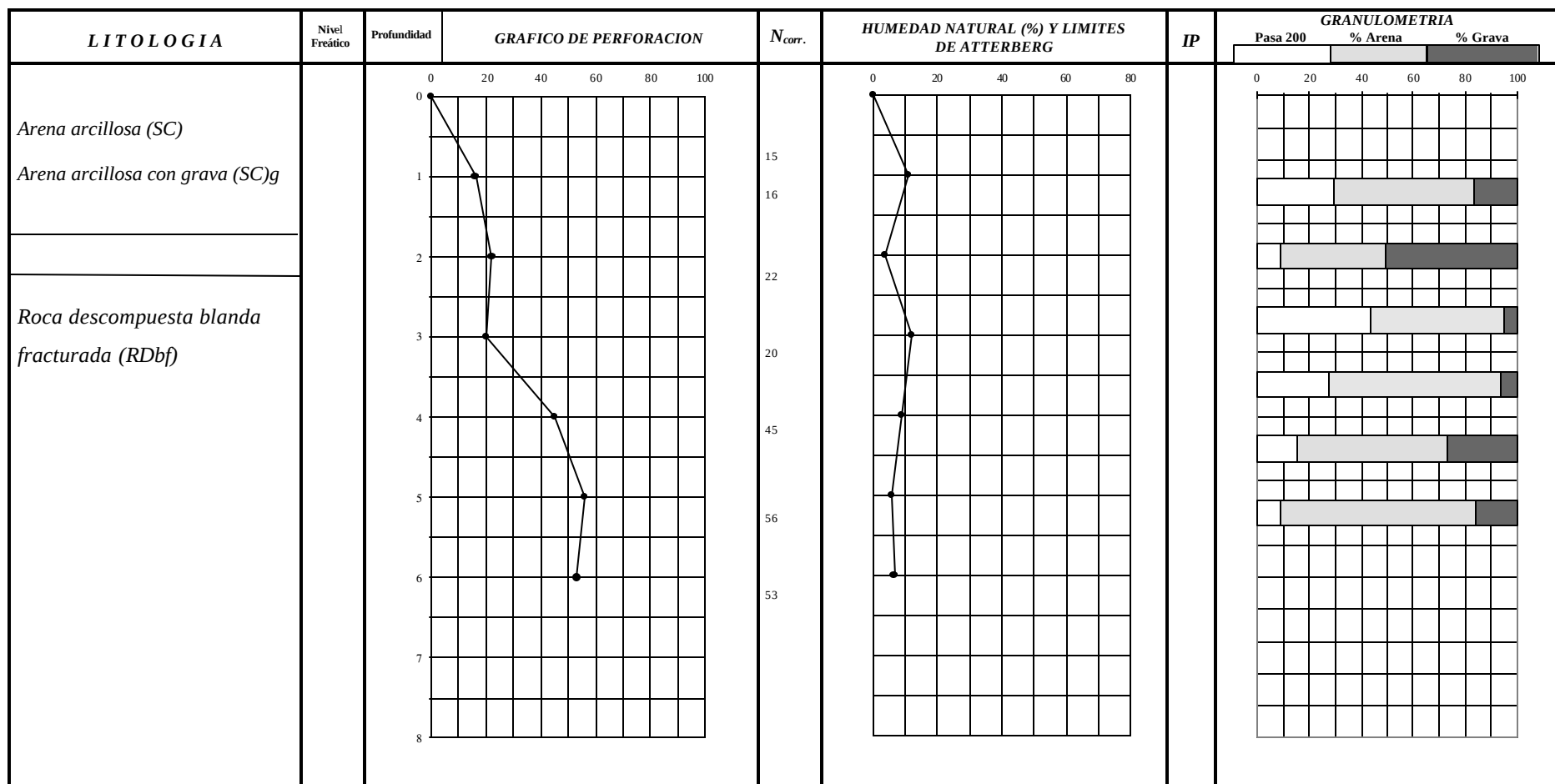
Anexo V



|                                                                                                                   |                      |                                     |                        |                                       |                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| <b>PROYECTO:</b><br>Estudio Geológico y Geotécnico de un área ubicada en la localidad de Carenero, Estado Miranda |                      |                                     |                        |                                       | <b>N°</b><br><b>P - 8</b> |
| <b>PROG.:</b>                                                                                                     | <b>COTA:</b><br>28 m | <b>LONG.:</b><br>6 m                | <b>NIVEL FREATICO:</b> | <b>CAIDA DEL MARTILLO:</b><br>76 cm   | <b>PESO:</b><br>140 Lbs.  |
| <b>Gs = Peso Específico</b>                                                                                       |                      | <b>qu = Compresión sin confinar</b> |                        | <b>f = Angulo de Fricción Interna</b> |                           |
| <b>g = Peso Unitario Num.</b>                                                                                     |                      | <b>c = Cohesión</b>                 |                        | <b>Exp = Presión de Expansión</b>     |                           |

|                                                                                                                     |                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <br>Ingenieros De Santis, C.A. | <b>PLANILLA DE REGISTRO DE PERFORACION</b> |
| <b>RESPONSABLE:</b><br>Ing. Feliciano De Santis                                                                     |                                            |
| <b>FECHA:</b> Agosto de 2001                                                                                        |                                            |

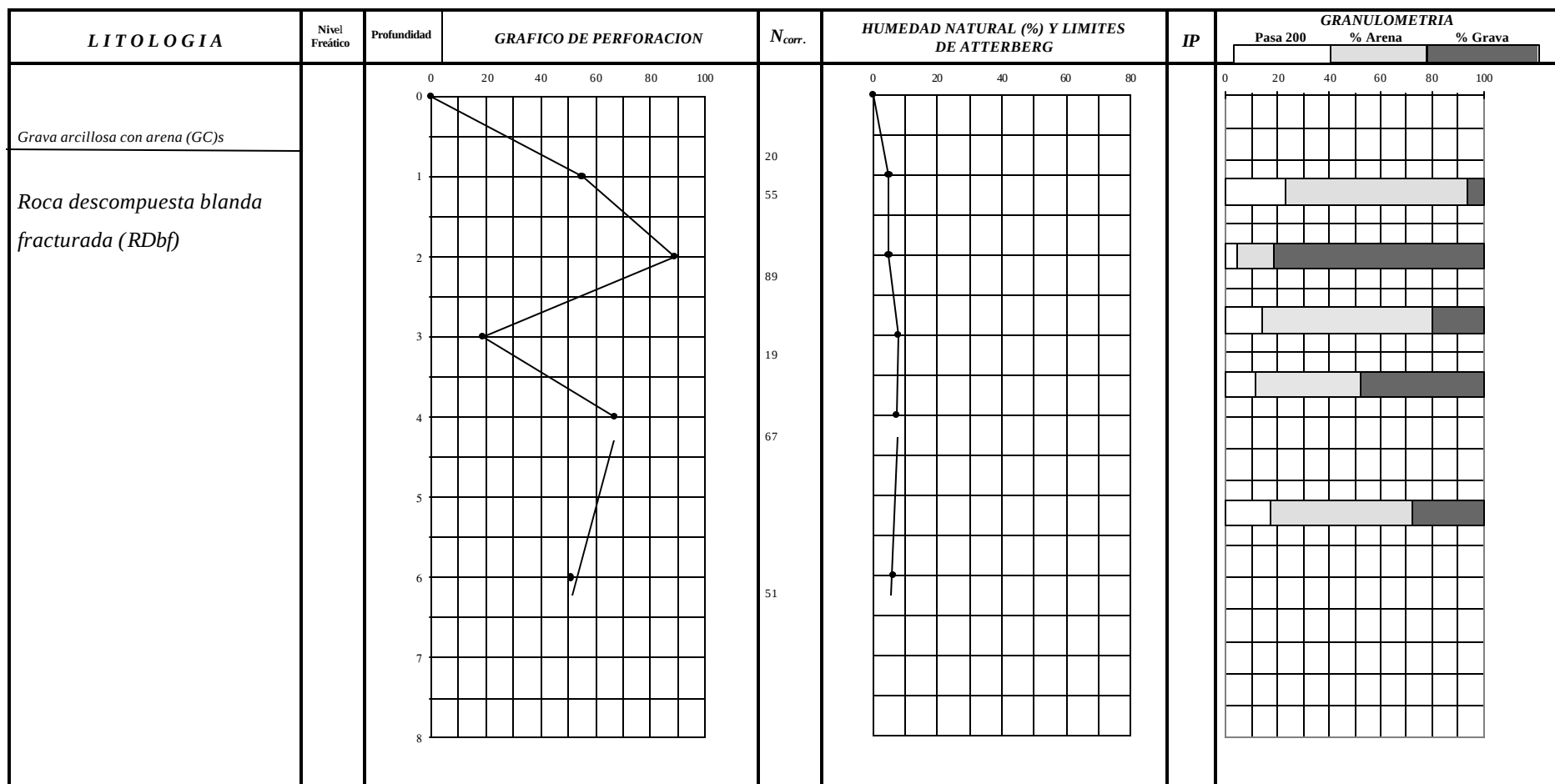
Anexo V



|                                                                                                                   |                      |                                     |                        |                                       |                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| <b>PROYECTO:</b><br>Estudio Geológico y Geotécnico de un área ubicada en la localidad de Carenero, Estado Miranda |                      |                                     |                        |                                       | <b>N°</b><br><b>P - 9</b> |
| <b>PROG.:</b>                                                                                                     | <b>COTA:</b><br>33 m | <b>LONG.:</b><br>6 m                | <b>NIVEL FREATICO:</b> | <b>CAIDA DEL MARTILLO:</b><br>76 cm   | <b>PESO:</b><br>140 Lbs.  |
| <b>Gs = Peso Específico</b>                                                                                       |                      | <b>qu = Compresión sin confinar</b> |                        | <b>f = Angulo de Fricción Interna</b> |                           |
| <b>g = Peso Unitario Num.</b>                                                                                     |                      | <b>c = Cohesión</b>                 |                        | <b>Exp = Presión de Expansión</b>     |                           |

|                                                                                                                     |                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <br>Ingenieros De Santis, C.A. | <b>PLANILLA DE REGISTRO DE PERFORACION</b> |
| <b>RESPONSABLE:</b><br>Ing. Feliciano De Santis                                                                     |                                            |
| <b>FECHA:</b> Agosto de 2001                                                                                        |                                            |

Anexo V



|                                                                                                                   |                      |                                     |                        |                                       |                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| <b>PROYECTO:</b><br>Estudio Geológico y Geotécnico de un área ubicada en la localidad de Carenero, Estado Miranda |                      |                                     |                        |                                       | <b>N°</b><br><b>P - 10</b> |
| <b>PROG.:</b>                                                                                                     | <b>COTA:</b><br>33 m | <b>LONG.:</b><br>6 m                | <b>NIVEL FREATICO:</b> | <b>CAIDA DEL MARTILLO:</b><br>76 cm   | <b>PESO:</b><br>140 Lbs.   |
| <b>Gs = Peso Específico</b>                                                                                       |                      | <b>qu = Compresión sin confinar</b> |                        | <b>f = Angulo de Fricción Interna</b> |                            |
| <b>g = Peso Unitario Num.</b>                                                                                     |                      | <b>c = Cohesión</b>                 |                        | <b>Exp = Presión de Expansión</b>     |                            |

|                                                                                                                     |                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <br>Ingenieros De Santis, C.A. | <b>PLANILLA DE REGISTRO DE PERFORACION</b> |
| <b>RESPONSABLE:</b><br>Ing. Feliciano De Santis                                                                     |                                            |
| <b>FECHA:</b> Agosto de 2001                                                                                        |                                            |

Anexo V

# **A N E X O   V I**

**Tabla VI:** Resultados de las mediciones realizadas con el Martillo de *Schmidt*

| Muestra  | Unidad litológica | Condiciones de ensayo | Fecha del ensayo | Orientación del martillo (°) | Valores de Campo |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Valor  |        | Densidad           |                   | Resistencia a la Compresión |                  |
|----------|-------------------|-----------------------|------------------|------------------------------|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|--------|--------------------|-------------------|-----------------------------|------------------|
|          |                   |                       |                  |                              | 1                | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | Tipo M | Tipo L | gr/cm <sup>3</sup> | kN/m <sup>3</sup> | MPa                         | kcm <sup>2</sup> |
| TGD-001  | I                 | In situ               | 25/07/2001       | 44                           | 5                | 5  | 5  | 11 | 5  | 5  | 11 | 5  | 11 | 5  | 8,60   | 13,78  | 2,550              | 25,495            | 27                          | 270              |
| TGD-002  | I                 | In situ               | 25/07/2001       | 60                           | 26               | 16 | 5  | 18 | 18 | 26 | 24 | 23 | 17 | 31 | 26,00  | 33,63  | 2,521              | 25,215            | 49                          | 490              |
| TGD-003  | I                 | In situ               | 25/07/2001       | 53                           | 25               | 16 | 17 | 19 | 21 | 11 | 14 | 21 | 15 | 25 | 22,20  | 29,29  | 2,298              | 22,980            | 54                          | 540              |
| TGD-004  | I                 | In situ               | 25/07/2001       | 36                           | 13               | 12 | 13 | 5  | 11 | 10 | 5  | 5  | 5  | 12 | 12,20  | 17,88  | 2,502              | 25,022            | 46                          | 460              |
| TGD-005  | I                 | In situ               | 25/07/2001       | 21                           | 13               | 24 | 18 | 22 | 19 | 23 | 23 | 18 | 30 | 13 | 24,40  | 31,80  | 2,588              | 25,881            | 63                          | 630              |
| TGD-006  | I                 | In situ               | 25/07/2001       | 38                           | 5                | 11 | 5  | 5  | 5  | 11 | 5  | 12 | 5  | 10 | 9,80   | 15,15  | 2,433              | 24,328            | 29                          | 290              |
| TGD-007  | I                 | In situ               | 25/07/2001       | 49                           | 5                | 5  | 5  | 5  | 12 | 5  | 12 | 10 | 5  | 12 | 10,20  | 15,60  | 2,504              | 25,043            | 29                          | 290              |
| TGD-008  | I                 | In situ               | 27/07/2001       | 16                           | 5                | 5  | 11 | 13 | 5  | 20 | 11 | 22 | 16 | 13 | 16,80  | 23,13  | 2,551              | 25,515            | 38                          | 380              |
| TGD-009  | I                 | In situ               | 27/07/2001       | 45                           | 12               | 16 | 18 | 14 | 17 | 16 | 10 | 14 | 16 | 20 | 17,40  | 23,82  | 2,512              | 25,121            | 43                          | 430              |
| TGD-010  | I                 | In situ               | 27/07/2001       | 43                           | 5                | 12 | 5  | 5  | 5  | 12 | 12 | 20 | 18 | 14 | 15,20  | 21,31  | 2,505              | 25,048            | 38                          | 380              |
| TGD-011  | I                 | In situ               | 27/07/2001       | 40                           | 15               | 17 | 5  | 16 | 21 | 20 | 13 | 5  | 14 | 20 | 18,80  | 25,41  | 2,557              | 25,569            | 43                          | 430              |
| TGD-012A | I                 | In situ               | 27/07/2001       | 44                           | 5                | 11 | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 6,20   | 11,04  | 2,055              | 20,549            | 24                          | 240              |
| TGD-013  | I                 | In situ               | 27/07/2001       | 47                           | 10               | 10 | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 7,00   | 11,95  | 2,380              | 23,805            | 26                          | 260              |
| TGD-015A | IV                | In situ               | 28/07/2001       | 90                           | 14               | 14 | 5  | 13 | 10 | 5  | 15 | 5  | 5  | 5  | 13,20  | 19,03  | 2,388              | 23,878            | 34                          | 340              |
| TGD-016  | IV                | In situ               | 28/07/2001       | 65                           | 5                | 5  | 12 | 14 | 19 | 11 | 20 | 16 | 14 | 5  | 16,60  | 22,90  | 2,419              | 24,187            | 33                          | 330              |
| TGD-018  | IV                | In situ               | 28/07/2001       | 53                           | 5                | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5,00   | 9,67   | 2,392              | 23,924            | 22                          | 220              |
| TGD-021  | IV                | In situ               | 28/07/2001       | 80                           | 10               | 10 | 18 | 5  | 5  | 5  | 5  | 10 | 5  | 28 | 15,20  | 21,31  | 2,351              | 23,510            | 35                          | 350              |
| TGD-022  | I                 | In situ               | 28/07/2001       | 52                           | 5                | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5,00   | 9,67   | 2,485              | 24,849            | 24                          | 240              |
| TGD-023  | IV                | In situ               | 31/07/2001       | 40                           | 23               | 23 | 18 | 28 | 20 | 34 | 29 | 22 | 24 | 25 | 28,00  | 35,91  | 2,588              | 25,884            | 75                          | 750              |
| TGD-025  | IV                | In situ               | 31/07/2001       | 46                           | 10               | 14 | 13 | 10 | 14 | 10 | 11 | 10 | 12 | 14 | 13,40  | 19,25  | 2,166              | 21,662            | 34                          | 340              |
| TGD-026  | II                | In situ               | 31/07/2001       | 0                            | 22               | 17 | 20 | 26 | 30 | 26 | 17 | 22 | 32 | 26 | 28,00  | 35,91  | 2,482              | 24,822            | 68                          | 680              |
| TGD-027  | III               | In situ               | 01/08/2001       | 55                           | 10               | 11 | 12 | 26 | 14 | 32 | 40 | 34 | 10 | 30 | 32,40  | 40,93  | 2,639              | 26,390            | 95                          | 950              |
| TGD-029  | IV                | In situ               | 01/08/2001       | 50                           | 5                | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5,00   | 9,67   | 2,267              | 22,670            | 22                          | 220              |
| TGD-030  | IV                | In situ               | 02/08/2001       | 70                           | 5                | 5  | 5  | 15 | 10 | 5  | 12 | 14 | 5  | 5  | 11,20  | 16,74  | 2,526              | 25,257            | 30                          | 300              |
| TGD-031  | IV                | In situ               | 02/08/2001       | 70                           | 32               | 28 | 30 | 27 | 24 | 16 | 30 | 33 | 12 | 20 | 30,60  | 38,88  | 2,506              | 25,057            | 70                          | 700              |
| TGD-032  | IV                | In situ               | 07/08/2001       | 65                           | 5                | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5,00   | 9,67   | 2,577              | 25,770            | 23                          | 230              |
| TGD-034  | IV                | In situ               | 07/08/2001       | 50                           | 10               | 14 | 15 | 18 | 5  | 5  | 15 | 20 | 12 | 15 | 16,60  | 22,90  | 2,363              | 23,633            | 38                          | 380              |
| TGD-035  | I                 | In situ               | 07/08/2001       | 46                           | 5                | 15 | 17 | 16 | 14 | 14 | 14 | 18 | 12 | 12 | 16,00  | 22,22  | 2,483              | 24,832            | 38                          | 380              |
| TGD-036  | I                 | In situ               | 07/08/2001       | 62                           | 5                | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5,00   | 9,67   | 2,238              | 22,385            | 22                          | 220              |
| TGD-038  | IV                | In situ               | 08/08/2001       | 56                           | 11               | 14 | 16 | 16 | 11 | 11 | 5  | 12 | 19 | 22 | 17,40  | 23,82  | 2,233              | 22,326            | 35                          | 350              |
| TGD-040  | IV                | In situ               | 08/08/2001       | 80                           | 17               | 21 | 20 | 18 | 12 | 16 | 19 | 21 | 14 | 15 | 19,80  | 26,56  | 2,434              | 24,336            | 50                          | 500              |
| TGD-041  | IV                | In situ               | 08/08/2001       | 56                           | 18               | 23 | 16 | 18 | 16 | 21 | 14 | 15 | 10 | 20 | 20,00  | 26,78  | 2,475              | 24,746            | 50                          | 500              |
| TGD-042  | IV                | In situ               | 08/08/2001       | 76                           | 5                | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5,00   | 9,67   | 2,315              | 23,152            | 22                          | 220              |
| TGD-043  | IV                | In situ               | 08/08/2001       | 30                           | 29               | 16 | 32 | 30 | 22 | 22 | 30 | 12 | 12 | 26 | 29,40  | 37,51  | 2,340              | 23,399            | 70                          | 700              |
| TGD-044  | V                 | In situ               | 09/08/2001       | 33                           | 13               | 10 | 24 | 14 | 30 | 38 | 18 | 21 | 14 | 25 | 27,60  | 35,46  | 2,535              | 25,351            | 62                          | 620              |
| TGD-046  | V                 | In situ               | 09/08/2001       | 69                           | 14               | 16 | 24 | 20 | 26 | 20 | 24 | 22 | 28 | 28 | 26,00  | 33,63  | 2,398              | 23,979            | 60                          | 600              |
| TGD-047  | IV                | In situ               | 09/08/2001       | 48                           | 12               | 14 | 14 | 10 | 10 | 14 | 11 | 10 | 5  | 11 | 13,00  | 18,80  | 2,550              | 25,503            | 35                          | 350              |
| TGD-049  | IV                | In situ               | 09/08/2001       | 48                           | 12               | 14 | 14 | 10 | 10 | 14 | 11 | 10 | 5  | 11 | 13,00  | 18,80  | 2,726              | 27,260            | 30                          | 300              |

# **A N E X O   V I I**

**Tabla VII-1:** Resultados del ensayo de resistencia a la compresión, para testigos de roca al natural

|           | Resistencia a la Compresión Punto 0 (Testigos al natural) |      |      |      |      |      |      |      |             |      |      |      |           |        |      |             |         |          |       |          |  |
|-----------|-----------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|-----------|--------|------|-------------|---------|----------|-------|----------|--|
|           | ALTURA                                                    |      |      |      | BASE |      |      |      | PROFUNDIDAD |      |      |      | PESO (gr) | ALTURA | BASE | PROFUNDIDAD | VOLUMEN | DENSIDAD | Carga | Esfuerzo |  |
| Muestra   | H1                                                        | H2   | H3   | H4   | B1   | B2   | B3   | B4   | P1          | P2   | P3   | P4   |           | (cm)   | (cm) | (cm)        | (cm³)   | (gr/cm³) | (Ton) | (Kg/cm²) |  |
| TGD-OO1   | 5,10                                                      | 4,90 | 5,50 | 5,80 | 6,00 | 5,90 | 5,80 | 5,90 | 5,00        | 5,00 | 5,00 | 5,40 | 408,51    | 5,33   | 5,90 | 5,10        | 160,23  | 2,550    | 6,56  | 218,013  |  |
| TGD-OO2   | 2,70                                                      | 2,70 | 2,60 | 2,60 | 5,80 | 5,70 | 5,90 | 5,80 | 2,90        | 2,90 | 2,80 | 2,90 | 111,42    | 2,65   | 5,80 | 2,88        | 44,19   | 2,521    | 3,75  | 224,888  |  |
| TGD-OO3   | 3,90                                                      | 4,00 | 4,50 | 4,00 | 6,70 | 6,90 | 6,90 | 7,00 | 5,70        | 7,00 | 5,10 | 6,90 | 399,98    | 4,10   | 6,88 | 6,18        | 174,06  | 2,298    | 11,80 | 277,954  |  |
| TGD-OO4   | 5,40                                                      | 5,40 | 5,40 | 5,50 | 4,70 | 5,40 | 4,70 | 5,40 | 5,50        | 5,50 | 4,80 | 4,80 | 353,04    | 5,43   | 5,05 | 5,15        | 141,09  | 2,502    | 2,34  | 89,974   |  |
| TGD-OO5   | 5,40                                                      | 5,55 | 5,50 | 5,45 | 5,20 | 5,50 | 5,30 | 5,60 | 4,50        | 4,60 | 4,80 | 4,70 | 355,80    | 5,48   | 5,40 | 4,65        | 137,48  | 2,588    | 10,97 | 436,878  |  |
| TGD-OO6   | 5,60                                                      | 5,40 | 5,60 | 5,80 | 6,25 | 6,00 | 6,30 | 6,20 | 6,20        | 6,30 | 6,05 | 6,00 | 517,38    | 5,60   | 6,19 | 6,14        | 212,66  | 2,433    | 5,35  | 140,879  |  |
| TGD-OO7   | 2,95                                                      | 3,60 | 3,55 | 3,22 | 5,84 | 5,53 | 5,97 | 5,58 | 5,71        | 6,00 | 5,63 | 5,77 | 276,07    | 3,33   | 5,73 | 5,78        | 110,24  | 2,504    | 2,27  | 68,570   |  |
| TGD-OO8   | 2,80                                                      | 2,95 | 3,30 | 3,30 | 5,40 | 5,45 | 5,30 | 5,40 | 4,90        | 5,05 | 5,20 | 5,15 | 215,39    | 3,09   | 5,39 | 5,08        | 84,42   | 2,551    | 2,51  | 91,802   |  |
| TGD-OO9   | 3,50                                                      | 2,95 | 2,70 | 2,90 | 4,45 | 4,10 | 4,75 | 5,20 | 5,70        | 5,50 | 5,80 | 6,10 | 202,13    | 3,01   | 4,63 | 5,78        | 80,46   | 2,512    | 2,00  | 74,880   |  |
| TGD-OO10  | 6,50                                                      | 6,70 | 6,90 | 6,70 | 6,70 | 6,80 | 6,75 | 6,50 | 4,40        | 4,45 | 4,70 | 4,50 | 506,44    | 6,70   | 6,69 | 4,51        | 202,19  | 2,505    | 4,85  | 160,717  |  |
| TGD-OO11  | 4,30                                                      | 4,10 | 4,50 | 4,20 | 6,60 | 6,55 | 6,40 | 6,50 | 5,00        | 4,70 | 4,80 | 4,50 | 338,13    | 4,28   | 6,51 | 4,75        | 132,24  | 2,557    | 4,74  | 153,228  |  |
| TGD-OO12a | 3,55                                                      | 3,90 | 4,20 | 4,10 | 4,85 | 4,80 | 5,15 | 5,15 | 6,85        | 6,90 | 6,85 | 6,70 | 275,42    | 3,94   | 4,99 | 6,83        | 134,03  | 2,055    | 1,96  | 57,580   |  |
| TGD-OO12b | 4,20                                                      | 4,05 | 4,10 | 4,20 | 5,70 | 5,80 | 5,65 | 5,50 | 4,70        | 4,70 | 4,80 | 4,85 | 275,81    | 4,14   | 5,66 | 4,76        | 111,58  | 2,472    | 3,17  | 117,548  |  |
| TGD-OO13  | 5,10                                                      | 5,30 | 5,15 | 4,90 | 6,10 | 6,05 | 6,05 | 6,05 | 4,10        | 4,60 | 4,10 | 4,65 | 321,87    | 5,11   | 6,06 | 4,36        | 135,21  | 2,380    | 2,47  | 93,392   |  |
| TGD-OO14  | 5,30                                                      | 5,10 | 5,40 | 5,45 | 5,80 | 6,25 | 5,80 | 6,00 | 5,10        | 5,50 | 5,35 | 5,00 | 412,50    | 5,31   | 5,96 | 5,24        | 165,90  | 2,486    | 7,85  | 251,372  |  |
| TGD-OO15a | 4,35                                                      | 4,10 | 4,25 | 4,35 | 7,10 | 6,90 | 7,10 | 7,20 | 2,90        | 3,00 | 3,40 | 3,10 | 223,23    | 4,26   | 7,08 | 3,10        | 93,49   | 2,388    | 3,05  | 139,063  |  |
| TGD-OO15b | 5,65                                                      | 5,75 | 5,65 | 5,55 | 5,90 | 5,95 | 5,90 | 6,00 | 4,35        | 4,20 | 4,25 | 4,35 | 343,99    | 5,65   | 5,94 | 4,29        | 143,83  | 2,392    | 2,81  | 110,382  |  |
| TGD-OO16  | 4,05                                                      | 4,10 | 4,20 | 4,05 | 4,45 | 4,45 | 4,50 | 4,60 | 5,60        | 5,40 | 5,50 | 5,40 | 244,32    | 4,10   | 4,50 | 5,48        | 101,01  | 2,419    | 2,56  | 103,907  |  |
| TGD-OO18  | 3,50                                                      | 3,55 | 3,50 | 3,40 | 5,20 | 5,20 | 5,30 | 5,25 | 4,45        | 4,05 | 4,30 | 4,50 | 189,00    | 3,49   | 5,24 | 4,33        | 79,00   | 2,392    | 2,79  | 123,167  |  |
| TGD-OO20  | 4,45                                                      | 4,50 | 4,45 | 4,30 | 4,45 | 4,40 | 4,50 | 4,50 | 4,30        | 4,10 | 3,95 | 4,05 | 174,06    | 4,43   | 4,46 | 4,10        | 80,96   | 2,150    | 0,88  | 48,097   |  |
| TGD-OO21  | 3,70                                                      | 4,20 | 4,40 | 3,90 | 5,25 | 5,35 | 4,85 | 4,80 | 5,10        | 5,20 | 5,15 | 4,95 | 245,83    | 4,05   | 5,06 | 5,10        | 104,57  | 2,351    | 1,74  | 67,393   |  |
| TGD-OO22  | 4,85                                                      | 4,90 | 4,80 | 4,90 | 4,40 | 4,50 | 4,55 | 4,35 | 4,35        | 4,60 | 4,55 | 4,25 | 238,60    | 4,86   | 4,45 | 4,44        | 96,02   | 2,485    | 1,21  | 61,276   |  |
| TGD-OO23  | 5,20                                                      | 5,20 | 5,20 | 5,10 | 5,90 | 6,00 | 5,95 | 6,00 | 4,15        | 4,40 | 4,50 | 4,35 | 347,42    | 5,18   | 5,96 | 4,35        | 134,22  | 2,588    | 11,36 | 437,986  |  |
| TGD-OO24  | 3,90                                                      | 3,80 | 3,75 | 3,90 | 5,40 | 5,60 | 5,60 | 5,50 | 4,60        | 4,80 | 4,90 | 4,70 | 218,80    | 3,84   | 5,53 | 4,75        | 100,71  | 2,173    | 2,29  | 87,259   |  |
| TGD-OO25  | 4,50                                                      | 4,00 | 3,70 | 3,95 | 4,55 | 4,60 | 4,50 | 4,50 | 4,05        | 4,10 | 4,00 | 4,00 | 160,23    | 4,04   | 4,54 | 4,04        | 73,97   | 2,166    | 0,91  | 49,672   |  |
| TGD-OO26  | 4,90                                                      | 4,80 | 4,90 | 4,95 | 4,80 | 4,90 | 4,80 | 4,75 | 4,80        | 4,90 | 4,80 | 4,70 | 280,24    | 4,89   | 4,81 | 4,80        | 112,90  | 2,482    | 11,43 | 494,805  |  |
| TGD-OO27  | 5,45                                                      | 5,55 | 5,60 | 5,60 | 5,60 | 5,80 | 5,70 | 5,50 | 5,25        | 5,30 | 5,30 | 5,30 | 437,56    | 5,55   | 5,65 | 5,29        | 165,80  | 2,639    | 15,96 | 534,237  |  |
| TGD-OO30  | 5,40                                                      | 5,45 | 5,45 | 5,40 | 4,70 | 4,80 | 4,80 | 4,70 | 5,60        | 5,50 | 5,55 | 5,65 | 362,84    | 5,43   | 4,75 | 5,58        | 143,66  | 2,526    | 2,05  | 77,413   |  |
| TGD-OO31  | 3,40                                                      | 3,35 | 3,35 | 2,95 | 5,70 | 5,50 | 5,50 | 5,80 | 4,10        | 4,00 | 4,05 | 4,15 | 187,38    | 3,26   | 5,63 | 4,08        | 74,78   | 2,506    | 4,04  | 176,251  |  |
| TGD-OO32  | 4,95                                                      | 4,80 | 4,60 | 4,80 | 5,85 | 5,80 | 5,80 | 5,95 | 4,85        | 4,60 | 4,60 | 4,70 | 338,31    | 4,79   | 5,85 | 4,69        | 131,28  | 2,577    | 2,79  | 101,744  |  |
| TGD-OO34  | 5,45                                                      | 5,50 | 5,75 | 5,60 | 5,95 | 6,00 | 5,90 | 5,90 | 4,80        | 4,70 | 4,70 | 4,80 | 371,58    | 5,58   | 5,94 | 4,75        | 157,23  | 2,363    | 3,12  | 110,626  |  |
| TGD-OO35  | 5,50                                                      | 5,25 | 5,30 | 5,40 | 5,50 | 5,60 | 5,55 | 5,35 | 5,40        | 5,20 | 5,15 | 5,00 | 379,92    | 5,36   | 5,50 | 5,19        | 153,00  | 2,483    | 12,87 | 451,084  |  |
| TGD-OO36  | 3,10                                                      | 3,20 | 3,30 | 3,20 | 4,60 | 4,40 | 4,40 | 4,60 | 3,55        | 3,50 | 3,55 | 3,60 | 114,43    | 3,20   | 4,50 | 3,55        | 51,12   | 2,238    | 2,30  | 143,975  |  |
| TGD-OO38  | 4,30                                                      | 3,50 | 3,70 | 4,25 | 5,70 | 5,95 | 6,00 | 5,80 | 5,90        | 5,70 | 5,70 | 5,95 | 299,56    | 3,94   | 5,86 | 5,81        | 134,17  | 2,233    | 0,76  | 22,303   |  |
| TGD-OO40  | 4,35                                                      | 4,45 | 4,15 | 4,00 | 4,15 | 4,10 | 4,25 | 4,40 | 5,70        | 5,80 | 5,90 | 5,80 | 252,71    | 4,24   | 4,23 | 5,80        | 103,84  | 2,434    | 2,95  | 120,384  |  |
| TGD-OO41  | 5,10                                                      | 4,95 | 4,70 | 4,85 | 5,60 | 5,40 | 5,35 | 5,50 | 5,30        | 5,15 | 5,15 | 5,35 | 346,91    | 4,90   | 5,46 | 5,24        | 140,19  | 2,475    | 4,85  | 169,522  |  |
| TGD-OO42  | 3,35                                                      | 3,40 | 3,35 | 3,25 | 3,50 | 3,60 | 3,85 | 3,60 | 5,10        | 5,05 | 5,05 | 5,00 | 141,76    | 3,33   | 3,64 | 5,05        | 61,23   | 2,315    | 1,42  | 77,303   |  |
| TGD-OO43  | 5,00                                                      | 4,95 | 5,05 | 5,00 | 5,25 | 5,25 | 5,20 | 5,20 | 4,10        | 4,10 | 4,30 | 4,40 | 258,27    | 5,00   | 5,23 | 4,23        | 110,38  | 2,340    | 2,53  | 114,606  |  |
| TGD-OO44  | 6,05                                                      | 6,05 | 6,05 | 5,90 | 5,40 | 5,10 | 5,05 | 5,07 | 4,95        | 5,05 | 5,01 | 5,01 | 393,26    | 6,01   | 5,16 | 5,01        | 155,13  | 2,535    | 4,28  | 165,886  |  |
| TGD-OO46  | 6,00                                                      | 5,75 | 5,65 | 5,90 | 6,30 | 6,00 | 6,00 | 6,62 | 5,35        | 5,30 | 5,25 | 5,20 | 459,03    | 5,83   | 6,23 | 5,28        | 191,43  | 2,398    | 1,94  | 59,033   |  |
| TGD-OO47  | 7,60                                                      | 7,30 | 7,20 | 7,50 | 5,20 | 5,00 | 4,95 | 5,10 | 4,10        | 4,20 | 3,90 | 4,20 | 391,72    | 7,40   | 5,06 | 4,10        | 153,60  | 2,550    | 2,95  | 142,126  |  |
| TGD-OO49  | 5,30                                                      | 5,20 | 5,05 | 5,20 | 5,50 | 5,06 | 5,07 | 5,75 | 5,60        | 5,60 | 5,55 | 5,60 | 422,33    | 5,19   | 5,35 | 5,59        | 154,93  | 2,726    | 17,77 | 595,007  |  |

**Tabla VII-2:** Resultados del ensayo de resistencia a la compresión, para testigos de roca con un ciclo de secado y humedecimiento

|           | Resistencia a la Compresión Punto 1 (Testigos con un ciclo de secado y humedecimiento) |      |      |      |      |      |      |      |             |      |      |      |           |        |      |             |         |          |       |          |  |  |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|-----------|--------|------|-------------|---------|----------|-------|----------|--|--|
|           | ALTURA                                                                                 |      |      |      | BASE |      |      |      | PROFUNDIDAD |      |      |      | PESO (gr) | ALTURA | BASE | PROFUNDIDAD | VOLUMEN | DENSIDAD | Carga | Esfuerzo |  |  |
| Muestra   | H1                                                                                     | H2   | H3   | H4   | B1   | B2   | B3   | B4   | P1          | P2   | P3   | P4   |           | (cm)   | (cm) | (cm)        | (cm³)   | (gr/cm³) | (Ton) | (Kg/cm²) |  |  |
| TGD-OO1   | 4,60                                                                                   | 4,75 | 4,10 | 4,60 | 5,75 | 5,60 | 5,50 | 5,70 | 5,20        | 5,20 | 5,20 | 5,20 | 316,23    | 4,51   | 5,64 | 5,20        | 132,28  | 2,391    | 3,67  | 125,192  |  |  |
| TGD-OO2   | 3,15                                                                                   | 2,70 | 2,30 | 2,95 | 5,75 | 5,80 | 5,90 | 5,80 | 5,90        | 4,60 | 4,70 | 4,35 | 157,49    | 2,78   | 5,81 | 4,89        | 78,83   | 1,998    | 2,55  | 89,762   |  |  |
| TGD-OO3   | 5,20                                                                                   | 5,25 | 5,25 | 5,20 | 6,00 | 5,65 | 5,65 | 6,00 | 5,25        | 5,30 | 5,00 | 5,05 | 394,35    | 5,23   | 5,83 | 5,15        | 156,74  | 2,516    | 7,36  | 245,344  |  |  |
| TGD-OO4   | 4,05                                                                                   | 3,95 | 3,70 | 3,90 | 3,50 | 3,60 | 3,40 | 3,35 | 5,50        | 5,60 | 5,60 | 5,45 | 178,81    | 3,90   | 3,46 | 5,54        | 74,78   | 2,391    | 2,34  | 122,043  |  |  |
| TGD-OO5   | 3,85                                                                                   | 3,85 | 4,10 | 3,90 | 4,90 | 5,15 | 5,20 | 4,95 | 5,55        | 5,45 | 5,50 | 5,65 | 271,68    | 3,93   | 5,05 | 5,54        | 109,76  | 2,475    | 14,87 | 531,748  |  |  |
| TGD-OO6   | 4,30                                                                                   | 4,65 | 4,32 | 4,51 | 6,70 | 6,05 | 6,60 | 5,95 | 4,60        | 4,70 | 4,48 | 4,48 | 268,81    | 4,45   | 6,33 | 4,57        | 128,34  | 2,094    | 2,57  | 89,009   |  |  |
| TGD-OO7   | 4,36                                                                                   | 4,48 | 4,45 | 4,35 | 5,20 | 5,25 | 5,18 | 5,15 | 5,85        | 6,28 | 5,75 | 6,21 | 299,82    | 4,41   | 5,20 | 6,02        | 137,98  | 2,173    | 1,24  | 39,633   |  |  |
| TGD-OO15a | 3,06                                                                                   | 3,10 | 2,88 | 2,90 | 3,10 | 3,11 | 3,00 | 3,00 | 4,02        | 3,98 | 4,00 | 4,10 | 88,73     | 2,99   | 3,05 | 4,03        | 36,67   | 2,419    | 3,73  | 303,590  |  |  |
| TGD-OO15b | 4,35                                                                                   | 4,20 | 4,45 | 4,45 | 3,95 | 3,88 | 3,80 | 3,91 | 5,45        | 5,36 | 5,40 | 5,55 | 215,46    | 4,36   | 3,89 | 5,44        | 92,20   | 2,337    | 1,84  | 87,062   |  |  |
| TGD-OO22  | 4,91                                                                                   | 4,95 | 4,08 | 4,08 | 5,00 | 4,50 | 4,55 | 4,90 | 5,01        | 5,19 | 5,12 | 5,03 | 275,68    | 4,51   | 4,74 | 5,09        | 108,58  | 2,539    | 3,75  | 155,589  |  |  |
| TGD-OO26  | 5,31                                                                                   | 5,38 | 5,26 | 5,28 | 4,86 | 4,70 | 4,52 | 4,72 | 5,26        | 5,38 | 5,40 | 5,30 | 321,21    | 5,31   | 4,70 | 5,34        | 133,08  | 2,414    | 2,54  | 101,298  |  |  |
| TGD-OO30  | 3,80                                                                                   | 3,40 | 3,86 | 4,00 | 4,10 | 4,00 | 4,10 | 4,20 | 3,05        | 3,00 | 2,95 | 3,10 | 115,24    | 3,77   | 4,10 | 3,03        | 46,70   | 2,468    | 1,08  | 87,079   |  |  |
| TGD-OO35  | 5,08                                                                                   | 5,30 | 5,31 | 5,06 | 5,02 | 5,02 | 5,11 | 5,12 | 5,15        | 5,05 | 5,21 | 5,25 | 342,41    | 5,19   | 5,07 | 5,17        | 135,78  | 2,522    | 8,31  | 317,495  |  |  |
| TGD-OO36  | 2,38                                                                                   | 2,50 | 2,62 | 2,55 | 4,64 | 4,60 | 4,55 | 4,70 | 5,50        | 5,10 | 5,05 | 5,40 | 126,80    | 2,51   | 4,62 | 5,26        | 61,12   | 2,075    | 2,00  | 82,217   |  |  |
| TGD-OO41  | 5,78                                                                                   | 5,80 | 5,82 | 5,80 | 5,08 | 5,10 | 5,10 | 5,10 | 5,78        | 5,75 | 5,75 | 5,68 | 247,33    | 5,80   | 5,10 | 5,74        | 169,62  | 1,458    | 4,37  | 149,426  |  |  |
| TGD-OO43  | 4,54                                                                                   | 4,50 | 4,70 | 4,68 | 4,30 | 4,31 | 4,30 | 4,35 | 4,90        | 5,10 | 5,00 | 4,85 | 244,92    | 4,61   | 4,32 | 4,96        | 98,61   | 2,484    | 4,46  | 208,283  |  |  |
| TGD-OO44  | 6,90                                                                                   | 6,72 | 6,80 | 6,92 | 5,72 | 5,40 | 5,30 | 5,48 | 3,50        | 3,80 | 3,40 | 2,95 | 306,75    | 6,84   | 5,48 | 3,41        | 127,70  | 2,402    | 4,57  | 244,602  |  |  |
| TGD-OO49  | 4,14                                                                                   | 4,65 | 4,79 | 4,80 | 5,91 | 5,42 | 5,48 | 5,38 | 4,90        | 4,72 | 4,98 | 5,00 | 321,66    | 4,60   | 5,55 | 4,90        | 124,90  | 2,575    | 13,65 | 502,157  |  |  |

**Anexo VII**

**Tabla VII-3:** Resultados del ensayo de resistencia a la compresión, para testigos de roca con dos ciclos de secado y humedecimiento

|           | Resistencia a la Compresión Punto 2 (Testigos con dos ciclo de secado y humedecimiento) |      |      |      |      |      |      |      |             |      |      |      |           |        |      |             |         |          |       |          |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|-----------|--------|------|-------------|---------|----------|-------|----------|
|           | ALTURA                                                                                  |      |      |      | BASE |      |      |      | PROFUNDIDAD |      |      |      | PESO (gr) | ALTURA | BASE | PROFUNDIDAD | VOLUMEN | DENSIDAD | Carga | Esfuerzo |
| Muestra   | H1                                                                                      | H2   | H3   | H4   | B1   | B2   | B3   | B4   | P1          | P2   | P3   | P4   |           | (cm)   | (cm) | (cm)        | (cm³)   | (gr/cm³) | (Ton) | (Kg/cm²) |
| TGD-OO1   | 4,68                                                                                    | 4,70 | 4,70 | 4,50 | 4,68 | 4,30 | 4,30 | 4,75 | 5,80        | 5,50 | 5,60 | 5,80 | 270,84    | 4,65   | 4,51 | 5,68        | 118,82  | 2,279    | 3,72  | 145,426  |
| TGD-OO2   | 2,80                                                                                    | 2,85 | 2,74 | 2,75 | 3,75 | 3,86 | 3,80 | 3,75 | 4,85        | 4,87 | 4,70 | 4,65 | 126,05    | 2,79   | 3,79 | 4,77        | 50,32   | 2,505    | 1,38  | 76,375   |
| TGD-OO3   | 4,50                                                                                    | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 5,30 | 5,15 | 5,00 | 5,20 | 5,05        | 5,20 | 5,26 | 5,20 | 299,88    | 4,50   | 5,16 | 5,18        | 120,28  | 2,493    | 4,03  | 150,773  |
| TGD-OO4   | 5,70                                                                                    | 5,80 | 6,10 | 5,95 | 6,10 | 6,11 | 5,98 | 6,10 | 4,52        | 4,45 | 4,32 | 4,51 | 339,71    | 5,89   | 6,07 | 4,45        | 159,10  | 2,135    | 0,88  | 32,565   |
| TGD-OO5   | 3,90                                                                                    | 3,50 | 3,70 | 3,48 | 5,62 | 5,60 | 5,61 | 5,62 | 5,60        | 5,80 | 5,78 | 5,62 | 284,02    | 3,65   | 5,61 | 5,70        | 116,61  | 2,436    | 3,99  | 124,722  |
| TGD-OO6   | 4,40                                                                                    | 4,35 | 4,15 | 4,10 | 5,00 | 4,98 | 5,00 | 4,95 | 6,55        | 6,72 | 6,85 | 6,60 | 318,97    | 4,25   | 4,98 | 6,68        | 141,45  | 2,255    | 1,32  | 39,660   |
| TGD-OO7   | 4,30                                                                                    | 4,38 | 4,00 | 4,16 | 4,80 | 4,95 | 4,45 | 5,00 | 4,30        | 4,30 | 4,30 | 4,28 | 186,66    | 4,21   | 4,80 | 4,30        | 86,79   | 2,151    | 1,27  | 61,603   |
| TGD-OO12a | 3,15                                                                                    | 2,96 | 3,38 | 3,25 | 3,90 | 3,60 | 3,90 | 4,10 | 4,40        | 4,50 | 4,65 | 4,68 | 129,38    | 3,19   | 3,88 | 4,56        | 56,25   | 2,300    | 0,91  | 51,528   |
| TGD-OO12b | 3,30                                                                                    | 3,50 | 3,30 | 3,35 | 3,50 | 3,65 | 3,60 | 3,50 | 3,90        | 3,15 | 3,30 | 3,00 | 89,24     | 3,36   | 3,56 | 3,34        | 39,98   | 2,232    | 3,88  | 326,329  |
| TGD-OO13  | 4,30                                                                                    | 4,35 | 4,45 | 4,18 | 5,20 | 5,25 | 5,20 | 5,01 | 5,68        | 5,08 | 5,82 | 5,75 | 317,64    | 4,32   | 5,17 | 5,58        | 124,56  | 2,550    | 4,69  | 162,657  |
| TGD-OO14  | 4,31                                                                                    | 4,60 | 4,40 | 4,30 | 7,98 | 7,82 | 7,95 | 8,05 | 4,80        | 4,55 | 4,55 | 4,60 | 370,44    | 4,40   | 7,95 | 4,63        | 161,87  | 2,288    | 3,83  | 104,165  |
| TGD-OO15a | 3,39                                                                                    | 3,01 | 3,14 | 3,40 | 3,80 | 3,52 | 3,72 | 4,05 | 3,50        | 3,52 | 3,51 | 3,42 | 104,67    | 3,24   | 3,77 | 3,49        | 42,56   | 2,459    | 1,28  | 97,290   |
| TGD-OO15b | 4,02                                                                                    | 3,09 | 3,80 | 3,98 | 5,06 | 5,32 | 5,32 | 5,50 | 5,65        | 5,70 | 5,80 | 5,70 | 290,57    | 3,72   | 5,30 | 5,71        | 112,70  | 2,578    | 3,02  | 99,748   |
| TGD-OO22  | 4,88                                                                                    | 4,89 | 4,69 | 4,70 | 4,61 | 4,85 | 4,85 | 4,60 | 7,25        | 7,36 | 7,40 | 7,28 | 378,28    | 4,79   | 4,73 | 7,32        | 165,82  | 2,281    | 1,89  | 54,597   |
| TGD-OO26  | 4,32                                                                                    | 4,41 | 4,58 | 4,50 | 5,80 | 5,50 | 5,60 | 5,30 | 5,20        | 5,21 | 4,88 | 4,90 | 298,32    | 4,45   | 5,55 | 5,05        | 124,73  | 2,392    | 15,92 | 568,295  |
| TGD-OO30  | 4,10                                                                                    | 4,15 | 4,05 | 3,98 | 5,82 | 5,80 | 5,32 | 5,79 | 3,78        | 3,70 | 3,70 | 3,85 | 220,76    | 4,07   | 5,68 | 3,76        | 86,90   | 2,540    | 2,05  | 96,010   |
| TGD-OO35  | 4,80                                                                                    | 4,65 | 4,70 | 4,81 | 5,60 | 5,60 | 5,48 | 5,45 | 5,00        | 5,10 | 5,30 | 5,22 | 334,19    | 4,74   | 5,53 | 5,16        | 135,18  | 2,472    | 9,77  | 342,566  |
| TGD-OO36  | 2,20                                                                                    | 2,15 | 2,21 | 2,15 | 6,10 | 5,82 | 5,72 | 5,90 | 3,60        | 3,60 | 3,70 | 3,75 | 92,14     | 2,18   | 5,89 | 3,66        | 46,93   | 1,963    | 1,25  | 57,994   |
| TGD-OO41  | 5,08                                                                                    | 5,00 | 4,75 | 4,85 | 4,90 | 4,78 | 4,50 | 4,60 | 6,50        | 6,48 | 6,50 | 6,50 | 368,34    | 4,92   | 4,70 | 6,50        | 150,03  | 2,455    | 3,52  | 115,432  |
| TGD-OO43  | 5,38                                                                                    | 5,02 | 5,05 | 5,22 | 4,05 | 3,90 | 4,05 | 4,04 | 5,03        | 5,41 | 5,62 | 5,62 | 278,71    | 5,17   | 4,01 | 5,42        | 112,31  | 2,482    | 4,05  | 186,342  |
| TGD-OO44  | 6,86                                                                                    | 6,90 | 6,90 | 6,80 | 5,91 | 5,80 | 5,68 | 6,30 | 4,30        | 4,48 | 4,20 | 4,10 | 399,43    | 6,87   | 5,92 | 4,27        | 173,61  | 2,301    | 5,06  | 200,086  |
| TGD-OO49  | 5,12                                                                                    | 5,05 | 5,05 | 5,25 | 4,50 | 4,50 | 4,65 | 4,60 | 5,55        | 5,50 | 5,50 | 5,54 | 329,15    | 5,12   | 4,56 | 5,52        | 128,94  | 2,553    | 10,81 | 429,029  |

**Anexo VII**

**Tabla VII-4:** Resultados del ensayo de resistencia a la compresión, para testigos de roca con tres ciclos de secado y humedecimiento

|           | Resistencia a la Compresión Punto 3 (Testigos con tres ciclo de secado y humedecimiento) |      |      |      |      |      |      |      |             |      |      |      |           |        |      |             |          |          |          |          |  |  |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|-----------|--------|------|-------------|----------|----------|----------|----------|--|--|
|           | ALTURA                                                                                   |      |      |      | BASE |      |      |      | PROFUNDIDAD |      |      |      | PESO (gr) | ALTURA | BASE | PROFUNDIDAD | VOLUMEN  | DENSIDAD | Carga    | Esfuerzo |  |  |
| Muestra   | H1                                                                                       | H2   | H3   | H4   | B1   | B2   | B3   | B4   | P1          | P2   | P3   | P4   | (cm)      | (cm)   | (cm) | (cm³)       | (gr/cm³) | (Ton)    | (Kg/cm²) |          |  |  |
| TGD-OO2   | 2,55                                                                                     | 2,54 | 2,52 | 2,80 | 3,21 | 3,05 | 3,15 | 2,99 | 6,00        | 6,00 | 5,90 | 5,90 | 121,80    | 2,60   | 3,10 | 5,95        | 48,00    | 2,537    | 3,48     | 188,669  |  |  |
| TGD-OO3   | 4,70                                                                                     | 4,72 | 4,75 | 4,70 | 5,19 | 5,31 | 5,10 | 5,20 | 5,68        | 5,41 | 5,49 | 5,62 | 352,95    | 4,72   | 5,20 | 5,55        | 136,15   | 2,592    | 6,98     | 241,857  |  |  |
| TGD-OO4   | 3,84                                                                                     | 3,71 | 3,68 | 3,65 | 4,60 | 4,90 | 5,01 | 4,89 | 4,20        | 4,01 | 4,21 | 4,35 | 183,25    | 3,72   | 4,85 | 4,19        | 75,64    | 2,423    | 0,55     | 27,049   |  |  |
| TGD-OO5   | 4,60                                                                                     | 4,65 | 4,75 | 4,48 | 3,61 | 3,61 | 3,50 | 3,33 | 5,35        | 5,32 | 5,39 | 5,29 | 232,27    | 4,62   | 3,51 | 5,34        | 86,62    | 2,682    | 1,60     | 85,343   |  |  |
| TGD-OO7   | 5,10                                                                                     | 5,16 | 5,08 | 5,10 | 6,05 | 6,12 | 6,14 | 6,08 | 5,40        | 5,53 | 5,49 | 5,50 | 232,29    | 5,11   | 6,10 | 5,48        | 170,75   | 1,360    | 1,40     | 41,898   |  |  |
| TGD-OO12a | 3,91                                                                                     | 3,72 | 4,05 | 4,11 | 3,51 | 3,61 | 3,51 | 3,61 | 4,68        | 4,51 | 4,85 | 4,70 | 140,98    | 3,95   | 3,56 | 4,69        | 65,84    | 2,141    | 1,36     | 81,542   |  |  |
| TGD-OO13  | 4,98                                                                                     | 4,98 | 4,72 | 4,60 | 4,35 | 4,51 | 4,49 | 4,62 | 5,52        | 5,70 | 5,82 | 5,78 | 295,54    | 4,82   | 4,49 | 5,71        | 123,54   | 2,392    | 1,40     | 54,624   |  |  |
| TGD-OO15a | 3,21                                                                                     | 3,05 | 2,81 | 3,12 | 3,82 | 3,82 | 3,80 | 3,82 | 4,91        | 4,78 | 5,08 | 4,90 | 121,88    | 3,05   | 3,82 | 4,92        | 57,17    | 2,132    | 1,20     | 63,965   |  |  |
| TGD-OO15b | 4,41                                                                                     | 4,15 | 4,51 | 4,35 | 4,36 | 4,74 | 4,32 | 4,55 | 5,28        | 5,51 | 5,52 | 5,45 | 240,24    | 4,36   | 4,49 | 5,44        | 106,43   | 2,257    | 2,12     | 86,746   |  |  |
| TGD-OO22  | 4,42                                                                                     | 4,72 | 4,72 | 4,38 | 5,08 | 4,70 | 4,82 | 5,15 | 4,71        | 4,68 | 4,54 | 4,60 | 250,69    | 4,56   | 4,94 | 4,63        | 104,30   | 2,404    | 1,86     | 81,319   |  |  |
| TGD-OO26  | 3,68                                                                                     | 3,81 | 3,41 | 3,45 | 4,28 | 4,22 | 4,31 | 4,28 | 4,45        | 4,26 | 4,30 | 4,51 | 165,22    | 3,59   | 4,27 | 4,38        | 67,13    | 2,461    | 3,15     | 168,327  |  |  |
| TGD-OO30  | 4,30                                                                                     | 4,65 | 4,76 | 4,66 | 5,42 | 5,60 | 4,95 | 5,02 | 6,51        | 6,49 | 6,69 | 6,61 | 345,78    | 4,59   | 5,25 | 6,58        | 158,45   | 2,182    | 1,26     | 36,519   |  |  |
| TGD-OO35  | 5,08                                                                                     | 5,18 | 5,20 | 5,29 | 5,31 | 5,05 | 5,09 | 4,78 | 5,12        | 5,18 | 5,48 | 5,51 | 347,89    | 5,19   | 5,06 | 5,32        | 139,64   | 2,491    | 2,35     | 87,300   |  |  |
| TGD-OO36  | 2,55                                                                                     | 2,56 | 2,61 | 2,60 | 4,92 | 5,11 | 4,91 | 4,99 | 5,30        | 5,42 | 5,42 | 5,54 | 150,88    | 2,58   | 4,98 | 5,42        | 69,67    | 2,166    | 2,30     | 85,169   |  |  |
| TGD-OO41  | 3,58                                                                                     | 3,42 | 3,40 | 3,28 | 4,89 | 4,70 | 5,04 | 4,78 | 5,10        | 5,05 | 5,01 | 4,96 | 195,91    | 3,42   | 4,85 | 5,03        | 83,48    | 2,347    | 3,00     | 122,910  |  |  |
| TGD-OO43  | 4,76                                                                                     | 4,71 | 4,42 | 4,52 | 3,85 | 3,74 | 3,86 | 4,04 | 4,98        | 4,76 | 4,85 | 4,70 | 215,67    | 4,60   | 3,87 | 4,82        | 85,95    | 2,509    | 1,89     | 101,204  |  |  |
| TGD-OO44  | 4,40                                                                                     | 4,70 | 4,42 | 4,50 | 4,00 | 3,82 | 3,72 | 3,60 | 4,11        | 5,01 | 4,65 | 4,09 | 166,37    | 4,51   | 3,79 | 4,47        | 76,13    | 2,185    | 1,89     | 111,834  |  |  |
| TGD-OO49  | 6,32                                                                                     | 6,38 | 6,25 | 6,32 | 3,41 | 2,94 | 3,48 | 2,92 | 6,70        | 6,72 | 6,85 | 6,88 | 360,46    | 6,32   | 3,19 | 6,79        | 136,68   | 2,637    | 2,20     | 101,686  |  |  |

# **A N E X O   V I I I**

**Tabla VIII: Resultados del ensayo de densidad (Método de la Parafina)**

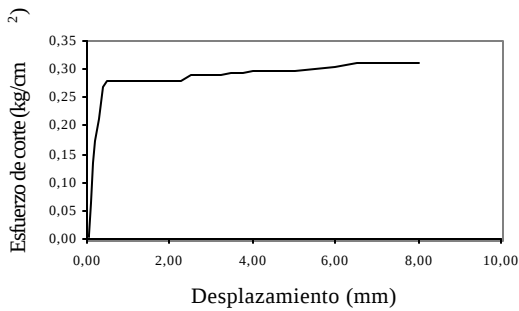
| Muestra  | Peso Muestra<br>Húmeda (gr) | Peso Muestra<br>Seca (gr) | Peso Muestra Húmeda<br>+ Parafina<br>(gr) (en aire) | Peso Muestra Húmeda<br>+ Parafina<br>(gr) (en agua) | Volumen Muestra +<br>Parafina (cm <sup>3</sup> ) | Peso Parafina<br>(gr) | Volumen<br>Parafina (cm <sup>3</sup> ) | Volumen Muestra<br>Húmeda (cm <sup>3</sup> ) | Densidad Húmeda<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) | Humedad<br>(%) | Densidad Seca<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) |
|----------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------|----------------|----------------------------------------|
|          | $W_{Mw}$                    | $W_{Ms}$                  | $(W_{Mw} + W_p)_a$                                  | $(W_{Mw} + W_p)_w$                                  | $V_{Mw} + V_p$                                   | $W_p$                 | $V_p$                                  | $V_{Mw}$                                     | $\delta_w$                               | $w$            | $\delta_s$                             |
| TGD-001  | 86,09                       | 86,00                     | 97,08                                               | 50,80                                               | 46,28                                            | 10,99                 | 12,35                                  | 33,93                                        | 2,537                                    | 0,10           | 2,535                                  |
| TGD-002  | 175,69                      | 174,79                    | 194,95                                              | 103,94                                              | 91,01                                            | 19,26                 | 21,64                                  | 69,37                                        | 2,533                                    | 0,51           | 2,520                                  |
| TGD-003  | 143,74                      | 143,61                    | 149,85                                              | 87,80                                               | 62,05                                            | 6,11                  | 6,87                                   | 55,18                                        | 2,605                                    | 0,09           | 2,602                                  |
| TGD-004  | 314,47                      | 311,82                    | 327,60                                              | 176,69                                              | 150,91                                           | 13,13                 | 14,75                                  | 136,16                                       | 2,310                                    | 0,85           | 2,290                                  |
| TGD-005  | 366,94                      | 366,31                    | 382,05                                              | 226,04                                              | 156,01                                           | 15,11                 | 16,98                                  | 139,03                                       | 2,639                                    | 0,17           | 2,635                                  |
| TGD-006  | 243,98                      | 243,09                    | 257,86                                              | 144,40                                              | 113,46                                           | 13,88                 | 15,60                                  | 97,86                                        | 2,493                                    | 0,37           | 2,484                                  |
| TGD-007  | 309,84                      | 309,05                    | 335,49                                              | 180,56                                              | 154,93                                           | 25,65                 | 28,82                                  | 126,11                                       | 2,457                                    | 0,26           | 2,451                                  |
| TGD-008  | 94,33                       | 93,92                     | 106,34                                              | 52,01                                               | 54,33                                            | 12,01                 | 13,49                                  | 40,84                                        | 2,310                                    | 0,44           | 2,300                                  |
| TGD-009  | 217,25                      | 215,72                    | 227,59                                              | 132,00                                              | 95,59                                            | 10,34                 | 11,62                                  | 83,97                                        | 2,587                                    | 0,71           | 2,569                                  |
| TGD-010  | 133,91                      | 133,76                    | 143,50                                              | 79,70                                               | 63,80                                            | 9,59                  | 10,78                                  | 53,02                                        | 2,525                                    | 0,11           | 2,523                                  |
| TGD-011  | 217,56                      | 216,09                    | 227,85                                              | 130,06                                              | 97,79                                            | 10,29                 | 11,56                                  | 86,23                                        | 2,523                                    | 0,68           | 2,506                                  |
| TGD-012a | 140,45                      | 140,24                    | 150,01                                              | 82,00                                               | 68,01                                            | 9,56                  | 10,74                                  | 57,27                                        | 2,452                                    | 0,15           | 2,449                                  |
| TGD-012b | 194,44                      | 194,27                    | 200,60                                              | 119,50                                              | 81,10                                            | 6,16                  | 6,92                                   | 74,18                                        | 2,621                                    | 0,09           | 2,619                                  |
| TGD-013  | 52,04                       | 51,92                     | 59,86                                               | 30,00                                               | 29,86                                            | 7,82                  | 8,79                                   | 21,07                                        | 2,469                                    | 0,23           | 2,464                                  |
| TGD-014  | 172,38                      | 171,78                    | 185,87                                              | 102,20                                              | 83,67                                            | 13,49                 | 15,16                                  | 68,51                                        | 2,516                                    | 0,35           | 2,507                                  |
| TGD-015a | 104,17                      | 103,88                    | 115,94                                              | 61,00                                               | 54,94                                            | 11,77                 | 13,22                                  | 41,72                                        | 2,497                                    | 0,28           | 2,490                                  |
| TGD-015b | 262,70                      | 261,43                    | 286,56                                              | 150,22                                              | 136,34                                           | 23,86                 | 26,81                                  | 109,53                                       | 2,398                                    | 0,49           | 2,387                                  |
| TGD-016  | 220,44                      | 219,46                    | 234,24                                              | 128,30                                              | 105,94                                           | 13,80                 | 15,51                                  | 90,43                                        | 2,438                                    | 0,45           | 2,427                                  |
| TGD-018  | 51,56                       | 51,26                     | 59,39                                               | 28,36                                               | 31,03                                            | 7,83                  | 8,80                                   | 22,23                                        | 2,319                                    | 0,59           | 2,306                                  |
| TGD-020  | 109,60                      | 109,35                    | 123,18                                              | 58,81                                               | 64,37                                            | 13,58                 | 15,26                                  | 49,11                                        | 2,232                                    | 0,23           | 2,227                                  |
| TGD-021  | 126,42                      | 126,20                    | 146,38                                              | 70,30                                               | 76,08                                            | 19,96                 | 22,43                                  | 53,65                                        | 2,356                                    | 0,17           | 2,352                                  |
| TGD-022  | 256,38                      | 254,96                    | 268,37                                              | 155,70                                              | 112,67                                           | 11,99                 | 13,47                                  | 99,20                                        | 2,585                                    | 0,56           | 2,570                                  |
| TGD-023  | 272,55                      | 271,92                    | 288,32                                              | 166,40                                              | 121,92                                           | 15,77                 | 17,72                                  | 104,20                                       | 2,616                                    | 0,23           | 2,610                                  |
| TGD-024  | 149,90                      | 147,76                    | 165,34                                              | 83,00                                               | 82,34                                            | 15,44                 | 17,35                                  | 64,99                                        | 2,306                                    | 1,45           | 2,274                                  |
| TGD-025  | 125,48                      | 125,01                    | 134,65                                              | 72,41                                               | 62,24                                            | 9,17                  | 10,30                                  | 51,94                                        | 2,416                                    | 0,38           | 2,407                                  |
| TGD-026  | 296,35                      | 295,34                    | 320,88                                              | 175,84                                              | 145,04                                           | 24,53                 | 27,56                                  | 117,48                                       | 2,523                                    | 0,34           | 2,514                                  |
| TGD-027  | 386,04                      | 385,83                    | 419,21                                              | 236,52                                              | 182,69                                           | 33,17                 | 37,27                                  | 145,42                                       | 2,655                                    | 0,05           | 2,653                                  |
| TGD-029  | 69,68                       | 69,22                     | 84,67                                               | 37,30                                               | 47,37                                            | 14,99                 | 16,84                                  | 30,53                                        | 2,283                                    | 0,66           | 2,267                                  |
| TGD-030  | 340,94                      | 339,72                    | 363,37                                              | 201,15                                              | 162,22                                           | 22,43                 | 25,20                                  | 137,02                                       | 2,488                                    | 0,36           | 2,479                                  |
| TGD-031  | 173,88                      | 173,68                    | 186,40                                              | 101,00                                              | 85,40                                            | 12,52                 | 14,07                                  | 71,33                                        | 2,438                                    | 0,12           | 2,435                                  |
| TGD-032  | 339,07                      | 335,78                    | 364,41                                              | 199,60                                              | 164,81                                           | 25,34                 | 28,47                                  | 136,34                                       | 2,487                                    | 0,98           | 2,463                                  |
| TGD-034  | 236,36                      | 235,62                    | 255,71                                              | 140,50                                              | 115,21                                           | 19,35                 | 21,74                                  | 93,47                                        | 2,529                                    | 0,31           | 2,521                                  |
| TGD-035  | 325,34                      | 324,50                    | 354,07                                              | 192,35                                              | 161,72                                           | 28,73                 | 32,28                                  | 129,44                                       | 2,513                                    | 0,26           | 2,507                                  |
| TGD-036  | 125,08                      | 123,77                    | 137,05                                              | 70,00                                               | 67,05                                            | 11,97                 | 13,45                                  | 53,60                                        | 2,334                                    | 1,06           | 2,309                                  |
| TGD-038  | 178,87                      | 177,79                    | 194,08                                              | 96,85                                               | 97,23                                            | 15,21                 | 17,09                                  | 80,14                                        | 2,232                                    | 0,61           | 2,218                                  |
| TGD-040  | 184,14                      | 183,48                    | 197,95                                              | 112,40                                              | 85,55                                            | 13,81                 | 15,52                                  | 70,03                                        | 2,629                                    | 0,36           | 2,620                                  |
| TGD-041  | 226,85                      | 226,20                    | 235,30                                              | 135,41                                              | 99,89                                            | 8,45                  | 9,49                                   | 90,40                                        | 2,510                                    | 0,29           | 2,502                                  |
| TGD-042  | 142,31                      | 141,73                    | 149,76                                              | 81,53                                               | 68,23                                            | 7,45                  | 8,37                                   | 59,86                                        | 2,377                                    | 0,41           | 2,368                                  |
| TGD-043  | 319,54                      | 318,79                    | 332,35                                              | 191,68                                              | 140,67                                           | 12,81                 | 14,39                                  | 126,28                                       | 2,530                                    | 0,24           | 2,525                                  |
| TGD-044  | 244,65                      | 244,33                    | 254,06                                              | 148,41                                              | 105,65                                           | 9,41                  | 10,57                                  | 95,08                                        | 2,573                                    | 0,13           | 2,570                                  |
| TGD-046  | 74,56                       | 74,43                     | 79,57                                               | 44,65                                               | 34,92                                            | 5,01                  | 5,63                                   | 29,29                                        | 2,546                                    | 0,17           | 2,541                                  |
| TGD-047  | 205,73                      | 205,51                    | 214,48                                              | 125,72                                              | 88,76                                            | 8,75                  | 9,83                                   | 78,93                                        | 2,607                                    | 0,11           | 2,604                                  |
| TGD-049  | 306,71                      | 306,45                    | 324,95                                              | 187,71                                              | 137,24                                           | 18,24                 | 20,49                                  | 116,75                                       | 2,627                                    | 0,08           | 2,625                                  |

# **A N E X O   I X**

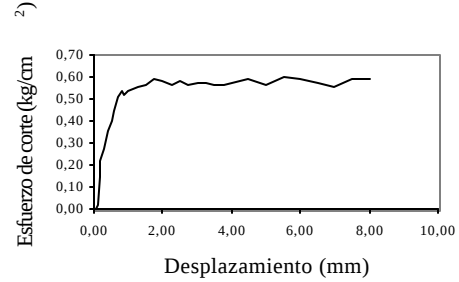
## Resultado de Corte Directo

|                                |                                                                                               |            |                                 |                                               |                                    |              |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------|--------------|
| Norma ASTM D 5607-95           |                                                                                               |            | Muestra<br>TGD-003              | Ubicación<br>Planta de Combustible, Punto 003 |                                    |              |
| Proyecto:                      | Estudio Geológico y Geotécnico de un área ubicada en la localidad de Carenero, Estado Miranda |            |                                 |                                               |                                    |              |
| Ensayó<br>Tec. Daniel Menéndez |                                                                                               |            | Calculó<br>Tec. Daniel Menéndez |                                               | Revisó<br>Ing. Feliciano De Santis |              |
| Condiciones del Ensayo         |                                                                                               |            |                                 |                                               |                                    |              |
| Densidad                       | %w (nat.)                                                                                     | Superficie |                                 | Velocidad                                     |                                    |              |
| 2,602                          | 0,09                                                                                          | Lisa       |                                 | 3-Fast                                        | 060                                | 0,201 mm/min |

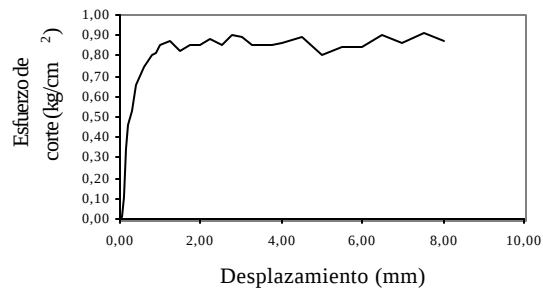
Esfuerzo de corte vs Desplazamiento  
Esfuerzo normal = 0,50 kg/cm<sup>2</sup>



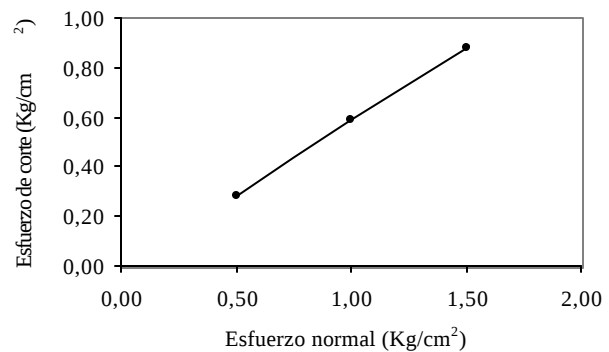
Esfuerzo de corte vs Desplazamiento  
Esfuerzo normal = 1,00 kg/cm<sup>2</sup>



Esfuerzo de corte vs Desplazamiento  
Esfuerzo normal = 1,50 kg/cm<sup>2</sup>



Ensayo de corte vs Esfuerzo normal



### RESULTADOS

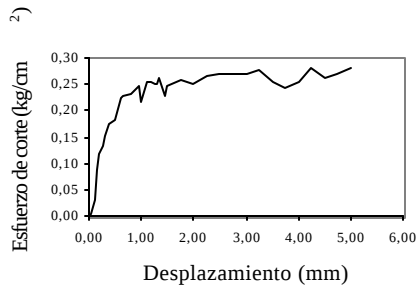
| Esf. Nor.<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esf. Corte<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | Ángulo de Fricción (φ) |
|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| 0,50                               | 0,281                               | 30,78                  |
| 1,00                               | 0,587                               |                        |
| 1,50                               | 0,876                               |                        |

## Resultado de Corte Directo

|                                |                                                                                               |            |                                 |                                               |                                    |              |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------|--------------|
| Norma ASTM D 5607-95           |                                                                                               |            | Muestra<br>TGD-003              | Ubicación<br>Planta de Combustible, Punto 003 |                                    |              |
| Proyecto:                      | Estudio Geológico y Geotécnico de un área ubicada en la localidad de Carenero, Estado Miranda |            |                                 |                                               |                                    |              |
| Ensayó<br>Tec. Daniel Menéndez |                                                                                               |            | Calculó<br>Tec. Daniel Menéndez |                                               | Revisó<br>Ing. Feliciano De Santis |              |
| Condiciones del Ensayo         |                                                                                               |            |                                 |                                               |                                    |              |
| Densidad                       | %w (nat.)                                                                                     | Superficie |                                 | Velocidad                                     |                                    |              |
| 2,602                          | 0,09                                                                                          | Lisa       |                                 | 3-Fast                                        | 060                                | 0,201 mm/min |

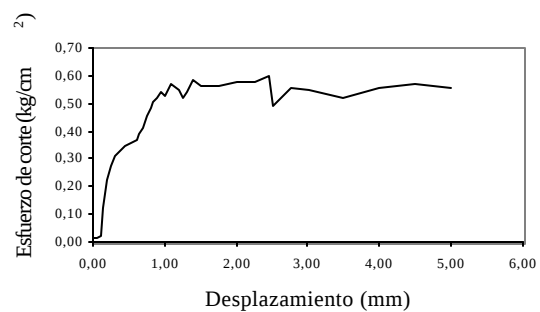
Esfuerzo de corte vs Desplazamiento

Esfuerzo normal =  $0,50 \text{ kg/cm}^2$



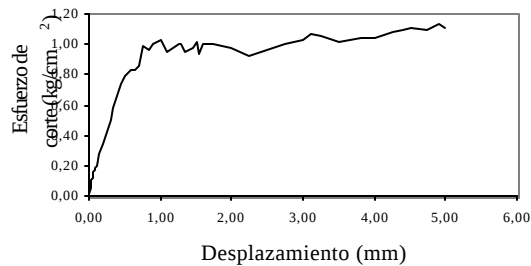
Esfuerzo de corte vs Desplazamiento

Esfuerzo normal =  $1,00 \text{ kg/cm}^2$

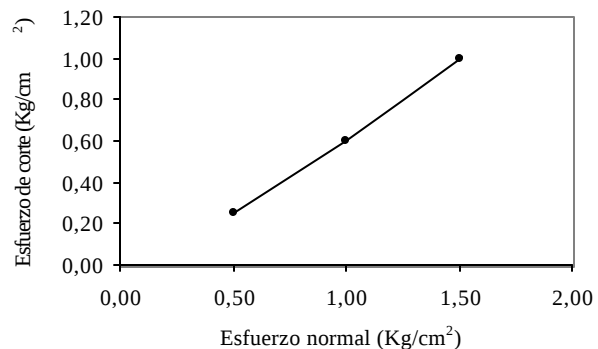


Esfuerzo de corte vs Desplazamiento

Esfuerzo normal =  $1,50 \text{ kg/cm}^2$



Ensayo de corte vs Esfuerzo normal



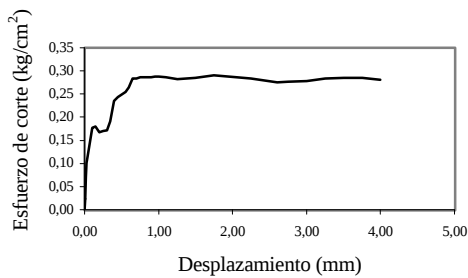
### RESULTADOS

| Esf. Nor.<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esf. Corte<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | Ángulo de Fricción ( $\phi$ ) |
|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 0,50                               | 0,255                               | 36,49                         |
| 1,00                               | 0,602                               |                               |
| 1,50                               | 0,995                               |                               |

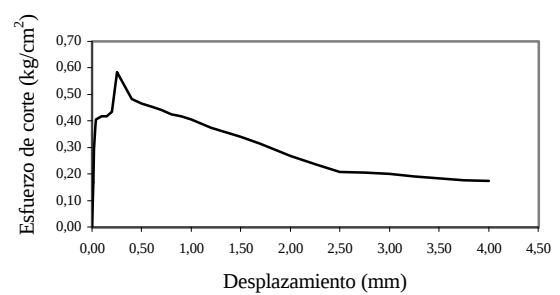
## Resultado de Corte Directo

|                                |                                                                                               |            |                                 |                                               |                                    |              |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------|--------------|
| Norma ASTM D 5607-95           |                                                                                               |            | Muestra<br>TGD-005              | Ubicación<br>Planta de Combustible, Punto 005 |                                    |              |
| Proyecto:                      | Estudio Geológico y Geotécnico de un área ubicada en la localidad de Carenero, Estado Miranda |            |                                 |                                               |                                    |              |
| Ensayó<br>Tec. Daniel Menéndez |                                                                                               |            | Calculó<br>Tec. Daniel Menéndez |                                               | Revisó<br>Ing. Feliciano De Santis |              |
| Condiciones del Ensayo         |                                                                                               |            |                                 |                                               |                                    |              |
| Densidad                       | %w (nat.)                                                                                     | Superficie |                                 | Velocidad                                     |                                    |              |
| 2,558                          | 0,17                                                                                          | Lisa       |                                 | 3-Fast                                        | 060                                | 0,201 mm/min |

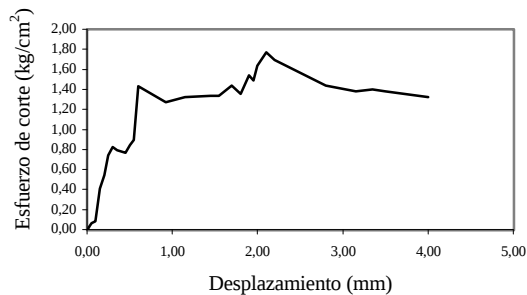
Esfuerzo de corte vs Desplazamiento  
Esfuerzo normal = 0,50 kg/cm<sup>2</sup>



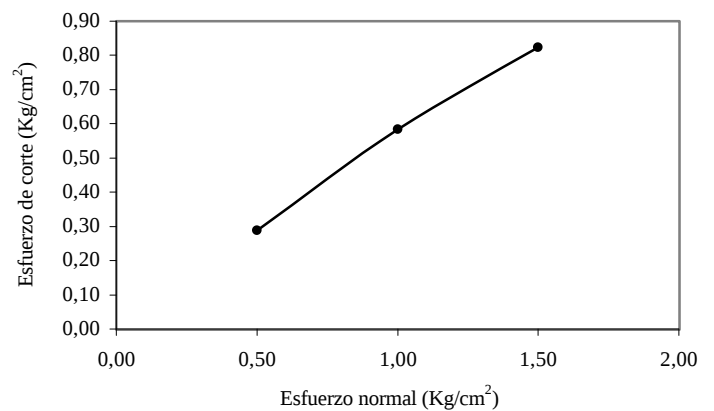
Esfuerzo de corte vs Desplazamiento  
Esfuerzo normal = 1,00 kg/cm<sup>2</sup>



Esfuerzo de corte vs Desplazamiento  
Esfuerzo normal = 1,50 kg/cm<sup>2</sup>



Ensayo de corte vs Esfuerzo normal



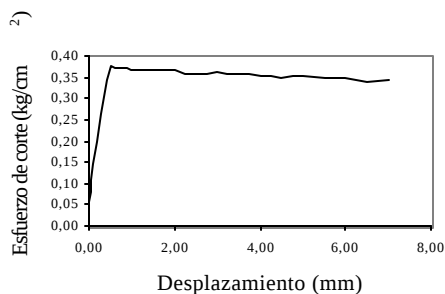
### RESULTADOS

| Esf. Nor.<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esf. Corte<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | Ángulo de Fricción (φ) |
|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| 0,50                               | 0,288                               | 28,16                  |
| 1,00                               | 0,583                               |                        |
| 1,50                               | 0,824                               |                        |

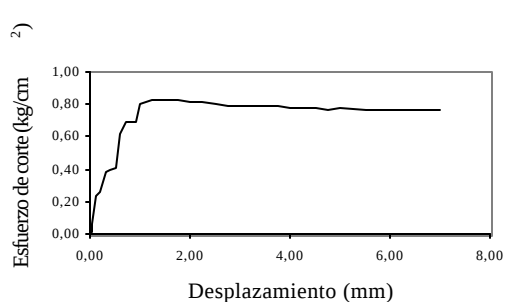
## Resultado de Corte Directo

|                                |                                                                                               |            |                                 |                                               |                                    |              |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------|--------------|
| Norma ASTM D 5607-95           |                                                                                               |            | Muestra<br>TGD-005              | Ubicación<br>Planta de Combustible, Punto 005 |                                    |              |
| Proyecto:                      | Estudio Geológico y Geotécnico de un área ubicada en la localidad de Carenero, Estado Miranda |            |                                 |                                               |                                    |              |
| Ensayó<br>Tec. Daniel Menéndez |                                                                                               |            | Calculó<br>Tec. Daniel Menéndez |                                               | Revisó<br>Ing. Feliciano De Santis |              |
| Condiciones del Ensayo         |                                                                                               |            |                                 |                                               |                                    |              |
| Densidad                       | %w (nat.)                                                                                     | Superficie |                                 | Velocidad                                     |                                    |              |
| 2,558                          | 0,17                                                                                          | Lisa       |                                 | 3-Fast                                        | 060                                | 0,201 mm/min |

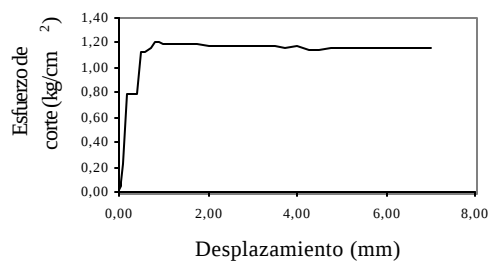
Esfuerzo de corte vs Desplazamiento  
Esfuerzo normal = 0,50 kg/cm<sup>2</sup>



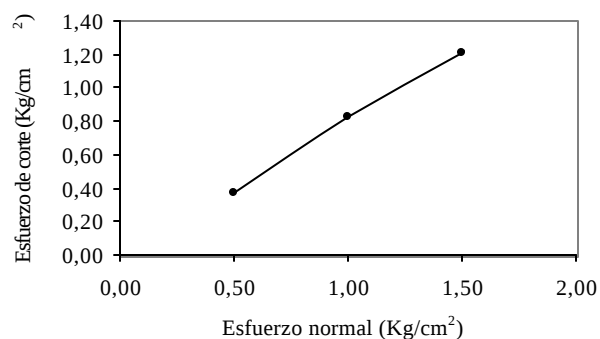
Esfuerzo de corte vs Desplazamiento  
Esfuerzo normal = 1,00 kg/cm<sup>2</sup>



Esfuerzo de corte vs Desplazamiento  
Esfuerzo normal = 1,50 kg/cm<sup>2</sup>



Ensayo de corte vs Esfuerzo normal

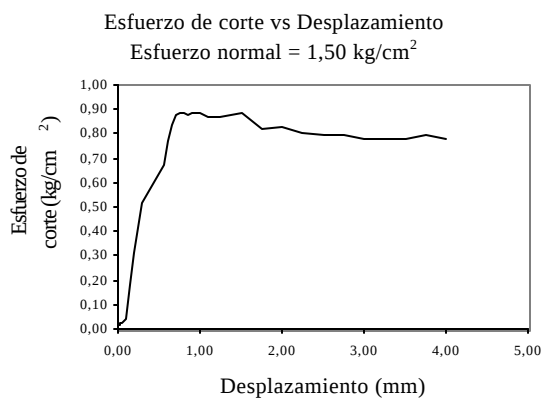
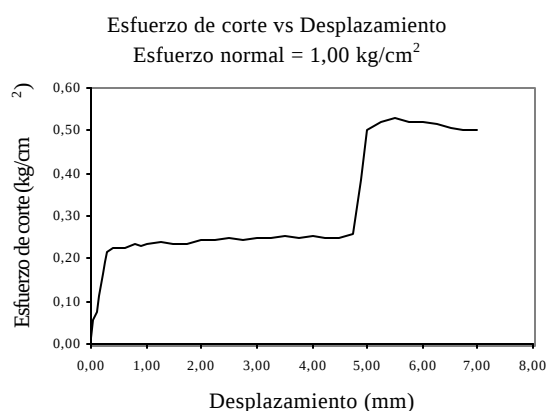
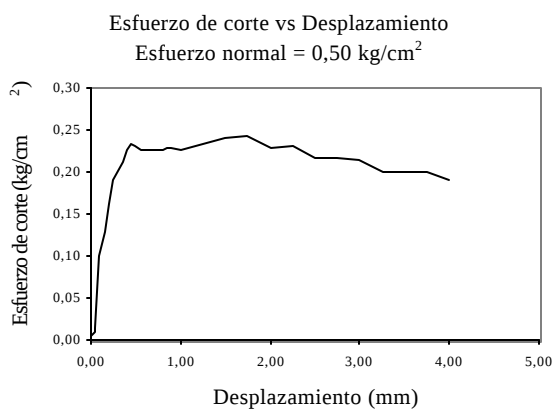


### RESULTADOS

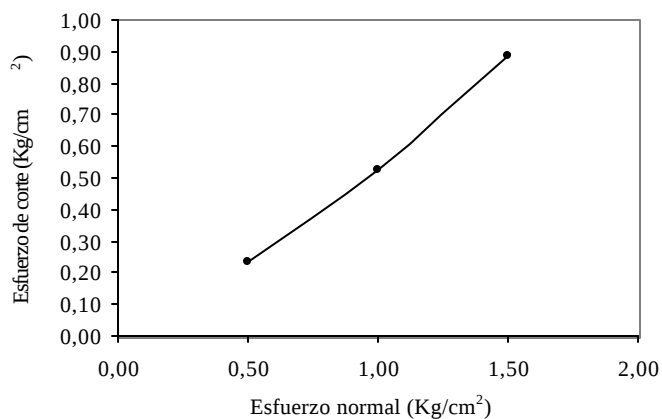
| Esf. Nor.<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esf. Corte<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | Ángulo de Fricción (φ) |
|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| 0,50                               | 0,374                               | 39,92                  |
| 1,00                               | 0,825                               |                        |
| 1,50                               | 1,211                               |                        |

## Resultado de Corte Directo

|                                |                                                                                               |            |                                 |                                               |                                    |              |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------|--------------|
| Norma ASTM D 5607-95           |                                                                                               |            | Muestra<br>TGD-007              | Ubicación<br>Planta de Combustible, Punto 007 |                                    |              |
| Proyecto:                      | Estudio Geológico y Geotécnico de un área ubicada en la localidad de Carenero, Estado Miranda |            |                                 |                                               |                                    |              |
| Ensayó<br>Tec. Daniel Menéndez |                                                                                               |            | Calculó<br>Tec. Daniel Menéndez |                                               | Revisó<br>Ing. Feliciano De Santis |              |
| Condiciones del Ensayo         |                                                                                               |            |                                 |                                               |                                    |              |
| Densidad                       | %w (nat.)                                                                                     | Superficie |                                 | Velocidad                                     |                                    |              |
| 2,451                          | 0,26                                                                                          | Lisa       |                                 | 3-Fast                                        | 060                                | 0,201 mm/min |



Ensayo de corte vs Esfuerzo normal



### RESULTADOS

| Esf. Nor.<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esf. Corte<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | Ángulo de Fricción (φ) |
|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| 0,50                               | 0,232                               | 33,27                  |
| 1,00                               | 0,522                               |                        |
| 1,50                               | 0,888                               |                        |