

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCION

### Ubicación de la zona en estudio

La zona en estudio se ubica al este de la ciudad de Caracas, específicamente en el estado Miranda, Municipio Antonio José de Sucre, Parroquia Caucagüita en un sector paralelo a la autopista Caracas-Guarenas-Guatire, contenida en la hoja topográfica 6847-II-NO MAMPOTE- VENEZUELA, edición 1979 a escala 1:25.000, y en las fotografías aéreas misión (030198); secuencia 3190- 3198. El área esta comprendida entre las siguientes coordenadas UTM: Punto 1\_N: 1.162.000 – E: 754.000, Punto 2\_N: 1.161.000 – E: 754.500, Punto 3\_ N: 1.161.000 – E: 757.500, Punto 4\_N: 1.162.500 – E: 757.500 zona correspondiente al túnel Caucagüita. El eje del túnel se ubica entre las progresivas 7+450 a la 10+550. En la figura N° I.1 se muestra la situación relativa nacional de la zona en estudio, y en la figura I.2 la ubicación exacta de la zona.

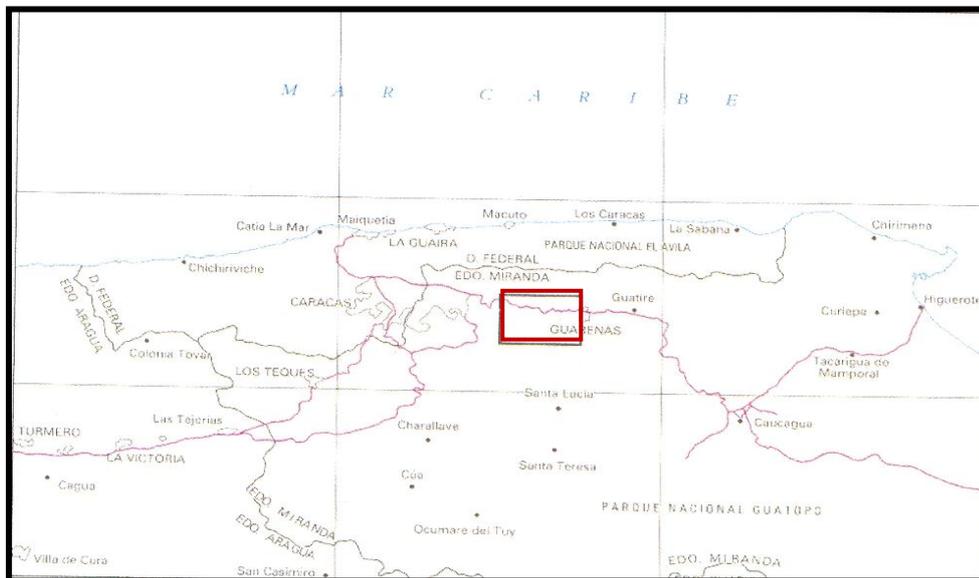
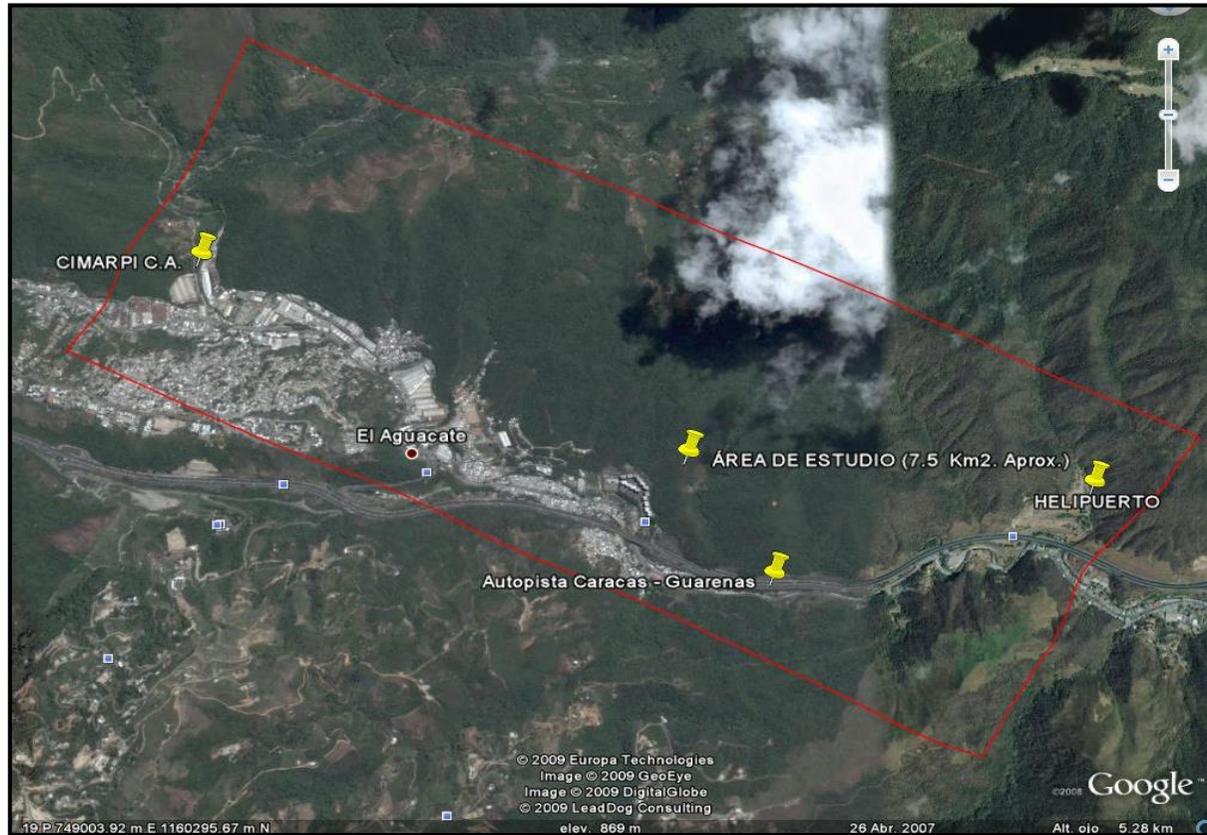


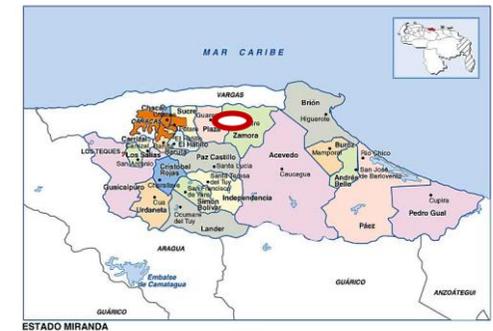
Figura N° I.1. Ubicación relativa. Tomado de [www.venezuela.com/mapas/estados/miranda](http://www.venezuela.com/mapas/estados/miranda).

**VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.**

FIGURA N° I.2.Ubicación de la Zona en Estudio



Tomada de Google Earth



Zona en estudio

VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

## **Planteamiento del problema**

La existencia de discontinuidades (diaclasas), en el macizo rocoso genera una serie de problemas relacionados con el comportamiento geomecánico del mismo, que deben ser controlados durante el proceso de diseño y construcción del túnel, fundamentalmente en este estudio se establecerá un criterio técnico que permita proyectar la evolución geomecánica de las diaclasas y su influencia directa en el diseño y mantenimiento del túnel.

## **Justificación del proyecto**

Identificando las discontinuidades (diaclasas) existentes en el macizo rocoso su influencia y evolución a lo largo de la construcción del túnel, se pueden establecer criterios que permitan tomar las medidas necesarias para su desarrollo.

## **Objetivo General**

Determinar la variación de las discontinuidades (diaclasas) y correlacionarlas con su comportamiento geomecánico.

## **Objetivos Específicos**

- Recopilar información Bibliográfica Referente al tema.
- Analizar las fotografías Aéreas correspondientes al área en estudio con la finalidad de identificar todas las características geológicas y estructurales de la zona.
- Realizar el levantamiento de campo, haciendo énfasis en los sistemas de diaclasas.
- Elaborar un mapa de discontinuidades (diaclasas) y demás estructuras presentes.
- Realizar Laboratorio de campo (petrografías).
- Realizar ensayos geotécnicos a las muestras tomadas en el macizo rocoso entre las cuales se mencionan: compresión simple y carga puntual.

---

VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

- Realizar el análisis probabilístico de los resultados aplicados al tramo.
- Definir un criterio técnico para las inestabilidades generadas por las discontinuidades (diaclasas) durante el proceso de diseño, construcción y mantenimiento del túnel.

### **Antecedentes**

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

AZPIRITXAGA (1979), Señala que la cordillera de la costa se presenta como un complejo sistema de montañas tipo alpino, en etapa fisiográfica de madurez temprana, plegada y fallada. Morfológicamente su parte central está subdividida en dos grandes regiones, denominadas Serranía del Litoral y Serranía del Interior,

esta última de mayor longitud las características geomorfológicas son diferentes en cada una de ellas. La falda sur de la sierra del Ávila, límite norte de la ciudad de Caracas y de este trabajo, Dengo (1950), menciona que está “caracterizada por escarpados de una zona de fallas que se extiende de este a oeste. Según Salcedo (1983), los factores considerados en la caracterización de las masas rocosas “ para analizar la estabilidad de un macizo rocoso, es preciso en primer lugar caracterizar dicho macizo, para lo cual se requiere conocer los factores geológicos y los procedimientos de campo a fin de obtener una información detallada del mismo en segundo lugar, es fundamental entender los criterios de resistencia al corte bajo niveles de esfuerzo considerados, y finalmente, definir los mecanismos de rotura para la aplicación de los métodos de análisis correspondiente.

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

## **CAPÍTULO II**

### **GEOGRAFÍA FÍSICA**

#### **GENERALIDADES**

La Cordillera de la Costa, o Sistema Montañoso del Caribe, está situada al norte de Venezuela y se extiende entre la depresión de Yaracuy, el golfo de Paria, la depresión central de los Llanos y el mar Caribe. Tiene una superficie aproximada de 40.000 km cuadrados.

La conformación paulatina del relieve cordillerano se inició en el Cretáceo, debido a la intensidad de los movimientos orogénicos, los cuales continúan manifestándose en los eventos sísmicos y en los procesos de rellenamiento o colmatación de las áreas receptoras o cóncavas con forma de depresiones intramontanas. La cordillera está constituida por rocas metamórficas y sedimentarias, las cuales han sido afectadas posteriormente por intrusiones ígneas.

El tramo central de la cordillera de la Costa, denominado comúnmente Cadena del Litoral, en el cual se encuentra el área objeto de estudio, abarca desde el Macizo de Nirgua al oeste hasta la depresión de Unare, que lo separa del sector oriental (macizo oriental o del Turimiquire y serranía de Paria – Araya). Las mayores elevaciones son el pico o macizo de Naiguatá (2.765 msnm), la Silla de Caracas (2.640 msnm) y el pico El Ávila (2.159 msnm).

La Cadena del Litoral es una alineación montañosa estrecha y paralela al mar Caribe. Sus flancos septentrionales se hunden directamente en el Caribe, de allí que la llanura costera y la plataforma continental son muy estrechas o incluso prácticamente inexistentes en una parte de esta costa, siendo frecuente la formación de litorales altos, con falsos acantilados y erosionados.

Un rasgo resaltante en la subregión del tramo central cordillerano es la existencia de una depresión tectónica extendida desde las zonas urbanas caraqueñas de Antímamo al suroeste hasta Petare, al este. Tal depresión tiene una longitud de 25

---

**VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.**

kilómetros por un ancho máximo de 4 kilómetros y se le conoce como el *Valle de Caracas*, a través del cual drena el río Guaire. La depresión es el resultado de la conformación de fallas que dieron lugar, a su vez, al hundimiento regional que fue rellenado por sedimentos recientes. Es en este *valle* donde ha sido edificada la ciudad de Caracas.

Los sedimentos que cubren el fondo de la depresión tectónica han sido aportados por el río Guaire y por una serie de quebradas o torrentes que nacen en su mayoría en la Cadena del Litoral, como lo son Catuche, Caroata, Cotiza, Tócome, Anauco. Dichos cursos de agua erosionan y entallan sus cauces en la zona montañosa y depositan los detritos transportados a sus pies en forma de abanicos aluviales y conos de lavas torrenciales coalescentes, que en su mayoría se han desplazado hacia el sur, empujando el curso original del Guaire en el mismo sentido, por lo cual en la actualidad el río no corre en el centro de la depresión.

Cerca del área de estudio, en la zona de Petare, el río Guaire cambia bruscamente su cauce en dirección sur hasta desembocar en el río Tuy, cerca de Santa Lucía y Santa Teresa del Tuy.

### **Aspectos Geomorfológicos**

Básicamente, la zona está ubicada en el punto de inflexión o cambio brusco de pendiente que separa a las elevaciones de pendientes abruptas del bloque del Ávila de la Cadena del Litoral, de los depósitos torrenciales esporádicos que transportan algunas de las quebradas o torrentes al sur de la cordillera. Este punto de inflexión está determinado por el sistema de fallas Tacagua – El Ávila, que crea inestabilidades tectónicas con eventos sísmicos ocasionales.

La mayoría de los torrentes de curso más largo (El Encantado, Ayala, Auyamita, La Culebrita, Naverán) está originada en la zona bioclimática del bosque nublado de la cordillera, pero las que mayormente drenan al área en estudio son simples canales torrenciales relativamente recientes, con nacientes en áreas más bajas; estos canales, con control estructural por las diaclasas o por las fallas locales

reconocidas, disectan la litología esquistosa o de gneiss e intrusiones ígneas de las vertientes agudas y convexas. En estas vertientes, se observan alineamientos de crestas con sentido relativo o aproximado NO – SE, las cuales son interrumpidas por fallas que conforman facetas triangulares y zonas deprimidas muy estrechas en la áreas de trituración, las cuales son aprovechadas por las aguas de escorrentía para labrar sus cauces torrenciales.

Las quebradas de corto curso depositan los materiales en forma de pequeños conos de deyección, algunos poco o escasamente funcionales en la actualidad debido a la afectación por el uso de la tierra aguas arriba o por obras de ingeniería que han permitido controlar, al menos en forma parcial, los efectos morfodinámicas de los eventos pluviales significativos. Los depósitos consisten en detritos representativos de la litología aguas arriba o de la zona de nacientes (esquistos San Julián, gneiss de Peña de Mora, cantos y bloques de intrusiones graníticas).

Los materiales incluyen fracciones arcillosas y arenosas que están determinadas por la ocurrencia de una fuerte erosión en las superficies sabanizadas relativamente recientes que se han creado en los flancos cordilleranos por efecto del uso de la tierra, los incendios estacionales naturales o inducidos y los deslizamientos de tierra que suelen ocurrir en la temporada húmeda del año, la cual se extiende entre los meses de mayo y noviembre en la región.

Las laderas desprovistas de la vegetación arbórea protectora natural son sustituidas en su cobertura vegetal por comunidades dominadas graminiformes (Poáceas, Ciperáceas) y por pequeñas leñosas y sufrútices que no ofrecen una protección efectiva al suelo, por lo cual son frecuentes efectos como la formación de surcos, cárcavas, reptaciones, deslizamientos traslacionales, rotacionales, flujos de detritos y algunas coladas de barro que ocurren en las zonas donde el manto meteorizado alcanza mayores espesores.

Igualmente, en las laderas sabanizadas tiene lugar el escurrimiento difuso y la erosión laminar, que va desnudando los suelos poco profundos y pedregosos de

las áreas en las cuales los afloramientos rocosos son frecuentes. Estos afloramientos, una vez meteorizados y alterados, se desestabilizan en sus propiedades físicas y dan origen a derrumbes o desplomes de rocas, en especial en las proximidades de la base de las laderas, generando amenazas morfodinámicas importantes.

Los cauces torrenciales constituyen vegas coluviales en forma de “V” muy estrecha, por lo cual los procesos predominantes son de tipo erosional o al menos coluvial, con aportes laterales desde las vertientes. Los materiales del fondo de las vegas presentan relativo escaso trabajo y son de tipo anguloso a subanguloso. Debido a la geometría de estas vegas, los fenómenos aluviales son inexistentes excepto en su parte distal, donde conforman los conos y abanicos poco extensos.

Las características geomorfológicas, incluyendo las amenazas naturales derivadas de éstas, pueden resumirse de la siguiente manera:

### **Inundaciones**

El avance de la frontera urbana ha alterado significativamente la topografía, generando cortes y rellenos importantes y provocando la alteración de la red de drenajes locales. En las áreas con poca permeabilidad de suelos, es posible la afectación por los excesos de agua, pero los anegamientos son prácticamente inexistentes o de muy escasas dimensiones y de duración breve.

### **Drenaje**

En cuanto a red de drenaje se identifica un solo colector principal “Rio Guarenas”, el mismo sigue una dirección cuyo rumbo general es este-oeste y una dirección de drenaje oeste-este, con un comportamiento sinuoso, como se muestra en la figura N° II.1. En el margen norte del rio Guarenas se observa un conjunto de tributarios los cuales muestran un patrón de drenaje dendrítico sub paralelo de densidad uniforme, intersecando de manera ortogonal al colector

principal. El sector correspondiente a la parte alta donde nacen estos tributarios se aprecia que esta red se hace más densa definiendo un patrón dendrítico.

El margen sur a diferencia del anterior muestra una red de tributarios menos abundantes con un patrón de comportamiento similar al margen norte. En general podemos establecer para la zona de estudio un patrón de drenaje dendrítico y sub paralelo, estando representado el mayor aporte de caudal al colector principal por los tributarios de la margen norte.

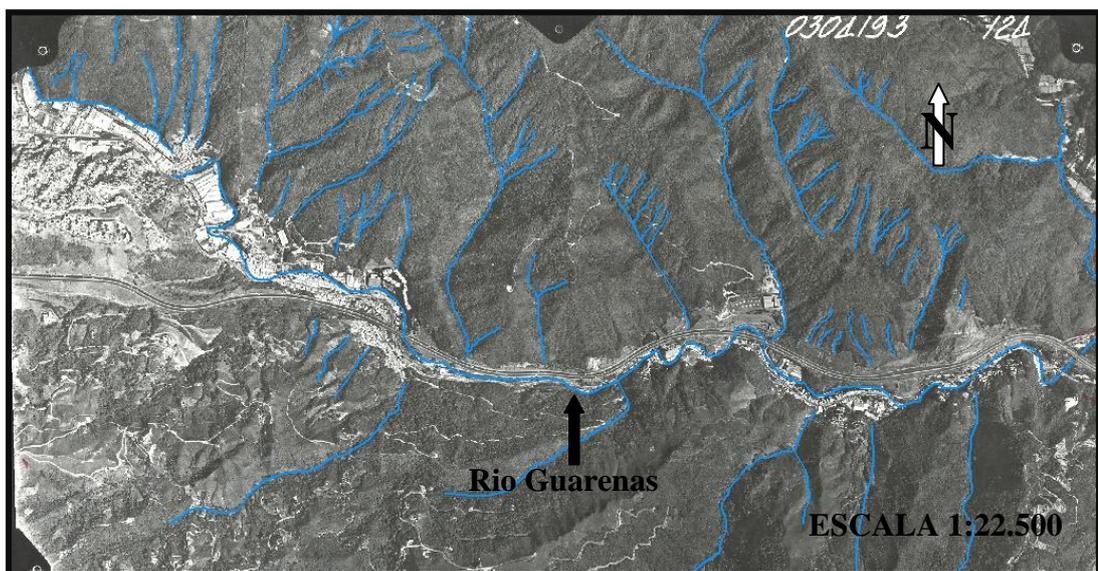


FIGURA N° II.1 RED DE DRENAJES PRESENTES EN LA ZONA

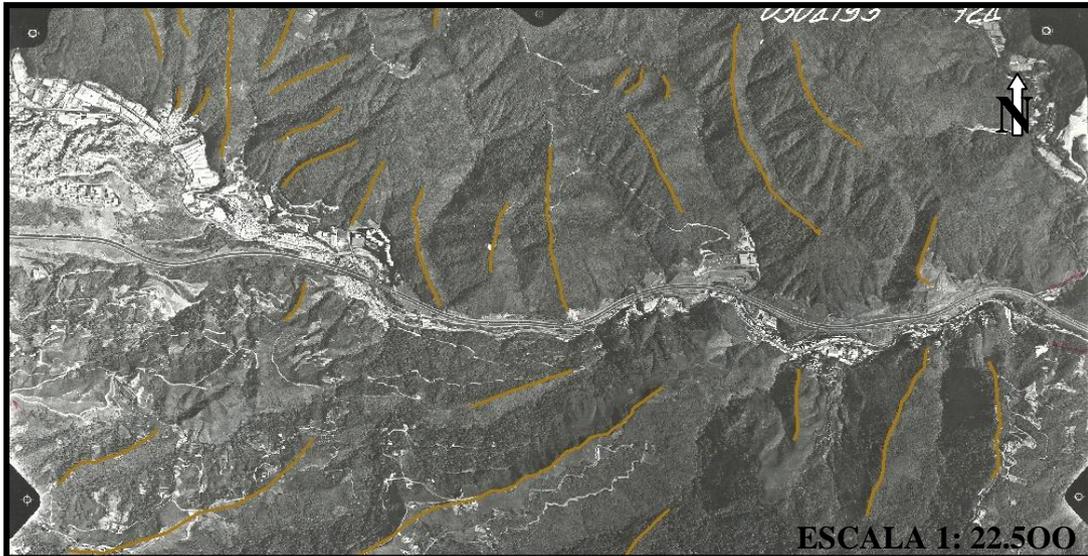
### Paisaje

El paisaje observado puede identificarse como montañoso costero de valle estrecho con filas y lomas cuyo rumbo de las filas principales para la zona norte es norte-sur, y para la zona sur es aproximadamente N45°E la geometría de las líneas de crestas es mayoritariamente rectilínea observándose un declive de estas hacia el sur. Las alturas mayores encontradas oscilan entre los 800-900m, la forma de las crestas para las filas es aguda y para las lomas redondeadas, las laderas son asimétricas, la densidad y el grado de entallamiento del drenaje sobre las laderas es medio. Los valles intercalados entre las filas y lomas son moderadamente

---

VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

curvilíneos, las laderas presentan pendientes medianamente abruptas, los valles son estrechos y en forma de “V” como se muestra en la siguiente figura.



**FIGURA II.2 ORIENTACION DE LAS CRESTAS DE LAS FILAS PRINCIPALES**

### **Litología**

En la zona de estudio se ubico una sola unidad litológica (UL1), correspondiente a rocas metamórficas encontrándose la topografía característica de los esquistos grafitosos, filas y lomas alargadas con mayor cota, que otras rocas metamórficas como las pizarras. Como consecuencia de la variabilidad del clima presente en la zona las lomas son redondeadas de fácil erosión formando suelos principalmente arcillosos.

### **Clima**

“Se está en presencia de un clima bi-estacional, con una marcada sequía en los primeros meses del año y precipitaciones abundantes el resto del período particularmente en los meses de junio hasta agosto. Esta condición varía localmente, tanto altitudinal como latitudinalmente”. Steyermark y Huber (1978). La orografía del área actúa como un factor geográfico determinante en el

comportamiento de la precipitación. Este aspecto se traduce a que la Cordillera de la Costa constituye una barrera u obstáculo a las masas de aire provenientes del N-E, provocando precipitaciones orográficas. Según Vila (1967).

Este fenómeno no sólo produce lluvias de importancia, también disminuye la evaporación como consecuencia de la reducción del número de horas de insolación y mantener una humedad relativa muy alta que presumiblemente alcanza frecuentemente el 100%. Estas características junto con una temperatura relativamente alta, permiten el desarrollo de diversas formaciones vegetales.

### **Vegetación**

La vegetación del área es bastante variada, encontrándose desde gramíneas hasta arbustos, así como en sus mayores elevaciones vegetación tipo páramo. Por su cercanía al parque nacional el Ávila el área presenta características muy similares. El parque nacional el Ávila se caracteriza por estar conformado por vegetación de tipo: bosques nublados, tropófilos, de galería etc. clasificación que responde a aspectos ecológicos y a la descripción clásica, arbórea (bosques), arbustiva (matorrales).

El Ávila abarca así mismo paisajes de montaña de gran belleza escénica que se consideran como patrimonio natural de Caracas (valles intra-montanos, paisajes de sub-páramos, relieves abruptos, caídas de agua prominentes, muestras de vegetación densa, entre otros), proporcionando a la colectividad oportunidades para la recreación, el deporte y el turismo.



**FOTO II.1 VEGETACION DEL AREA**



**FOTO II.2 VEGETACION**

---

**VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.**

## Estructuras

En el análisis fotogeológico realizado se observa la existencia de una falla de gran escala en el área de estudio con un rumbo aproximado este-oeste, con movimiento dextral la cual queda evidenciada por el desplazamiento de las líneas de cresta de filas y lomas.

Así mismo se observan fallas secundarias que se unen a esta falla principal y que crecen hacia la parte sur de la zona en estudio. Estas fallas se muestran a continuación en la figura II.3

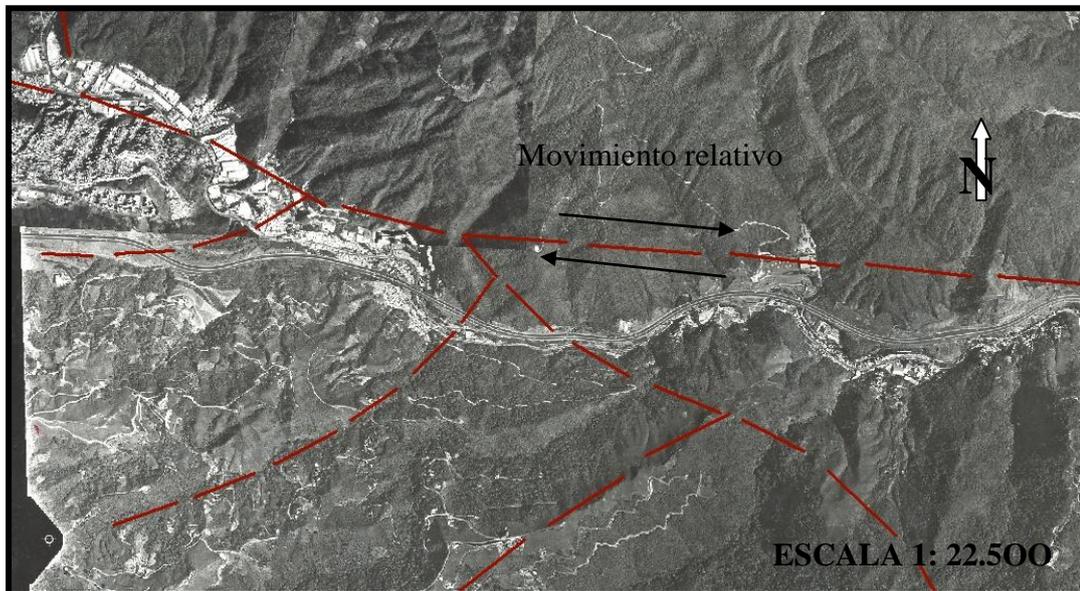


FIGURA II.3 FALLAS INFERIDAS

A lo largo del recorrido de la zona en estudio se observó la existencia de pliegues muy bien marcados como se muestran en las siguientes fotos:



**FOTO II.3 EVIDENCIA DE PLEGAMIENTO**



**FOTO II.4 EVIDENCIA DE PLIEGUE**

**VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.**

### **Geodinámica Superficial**

Las modificaciones de la topografía generadas por los procesos constructivos o destructivos han ocasionado problemas de inestabilidad de taludes, lo que al conjugarse con la litología y el tipo de suelo y la pluviosidad, favorece los movimientos de materiales litológicos. En el área de estudio se identificaron procesos constructivos o destructivos tales como: deslizamientos, derrumbes y erosión fluvial, los cuales son los fenómenos más comunes en especial de las vertientes de pendientes más abruptas.

## CAPÍTULO III

### GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL

#### **Geología Regional**

La Cordillera de la Costa consta, según el concepto de **Menéndez (1966)**, de cuatro fajas tectónicas, que de Norte a Sur, poseen las siguientes características:

1. La Faja de la Cordillera de la Costa, compuesta por rocas metasedimentarias de bajo grado metamórfico (hasta el grado del almandino en el núcleo de la cordillera), de edad Jurásico – Cretáceo inferior, limitado al sur por el sistema de Falla de la Victoria (anticlinorios), en cuyos núcleos aflora localmente el basamento de la cordillera.
2. La Faja de Caucagua – El Tinaco que consta de una secuencia volcánico – sedimentario de edad cretácea, ligeramente metamorfizada, que suprayacen a bloques dispersos de basamento. Se caracteriza por los pliegues abiertos y los buzamientos suaves, pero afectados por un intenso tectonismo y aloctonía de bloques. Está limitada al sur por la Falla de Santa Rosa.
3. La Faja de Paracotos, limitada por las Fallas de Santa Rosa y Agua Fría, que consta en un Homoclinal de buzamiento sur, compuesto por capas de la Formación Paracotos.
4. El Bloque de Villa de Cura, compuesto por rocas volcánicas y (ocasionalmente) sedimentarias metamorfizadas, cuyo origen se ubica al norte de la cordillera y que parece haberse deslizado hacia el sur durante el Maestrichtiense. Hacia el sur, está limitado por la Falla de Cantagallo, en contacto con una serie de sedimentos de edad Cretáceo – Terciario inferior, que a su vez se

hallan sobrecorridos por encima de sedimentos Terciarios jóvenes, a consecuencia de un sistema de corrimientos frontales.

En términos geográficos, la Cordillera de la Costa se divide en dos serranías con orientación este-oeste, la Serranía del Litoral en su mitad septentrional y la Serranía del Interior en la meridional. Ambas se encuentran separadas por una serie de valles intermontanos controlados entre otras, por la falla de La Victoria. De estas dos serranías, la menos estudiada siempre ha sido la del Litoral, por sus mayores dificultades debido al relieve y acceso, pero a través de diversos trabajos de grado de la UCV en las tres últimas décadas, se ha cubierto la mayor parte de ella, si bien hasta ahora nunca se habían publicado sus mapas en forma sistemática. Esta morfología de la Cordillera se refleja en la subdivisión en fajas iniciada por Menéndez (1966) y modificada por muchos autores posteriores. Dicho autor, a falta de una cartografía geológica adecuada en ese momento, incluyó a la totalidad de la Serranía del Litoral en su “Faja de la Cordillera de la Costa”. Posteriormente Stephan et al. (1980) y Beck (1986) reconocen que en la parte cercana a la costa de esta Serranía se encuentran unidades de rocas con metamorfismo de alta P y baja T, por lo cual la subdividen en dos fajas: Margarita-Costera y Cordillera de la Costa. Pero desde el trabajo de Urbani y Ostos (1989) ya se vislumbra que más bien se puede dividir en tres fajas, que ahora (Urbani y Rodríguez, 2003) denominan Costera, Ávila y Caracas. Cada una constituida por rocas características, formadas en espacio y tiempo distintos, y yuxtapuestas debido a la interacción de las placas del Caribe y Suramérica.

Por lo anterior y además para un mejor entendimiento de la historia geológica, así como para facilitar la visualización espacial -de norte a sur- de las unidades en consideración, en este trabajo utilizamos la conceptualización estructural más formal de napas, propuesta originalmente por Beck (1986) para la región de Aragua, en sustitución del concepto más bien genérico y geográfico de fajas. Pero dichas napas al ser adaptadas a la totalidad de la Cordillera de la Costa y a la luz de la reciente integración geológica de la región de Cabo Codera - Morón -

---

VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

Nirgua - Guatopo (Urbani y Rodríguez, 2002, 2003), las podemos separar como sigue:

### **A. Napas de la Serranía del Litoral**

A.1. Napa Costera

A.2. Napa Ávila

A.3. Napa Caracas

### **B. Napas de la Serranía del Interior (las “Napas de Aragua” de Beck, 1986)**

B.1. Napa Caucagua - El Tinaco

B.2. Napa Loma de Hierro (Beck 1986 incluye a Paracotos en esta Napa)

B.3. Napa Villa de Cura

La napa que está dentro de la zona de nuestro interés es la Napa Caucagua - El Tinaco, la cual se describe a continuación

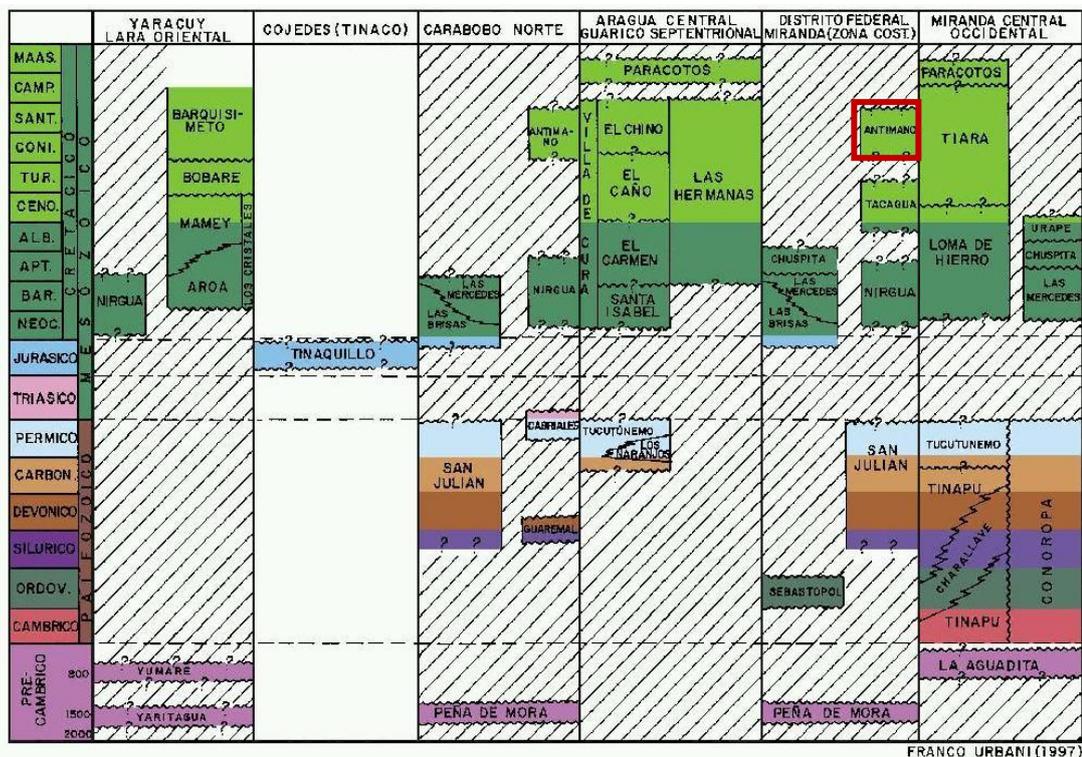
#### **B.1. Napa Caucagua-El Tinaco -Paleozoico-Precámbrico**

##### **Comprende:**

- Complejo El Tinaco.
  - Gneis de La Aguadita.
  - Esquisto de Tinapú.
- Unidades no agrupadas en asociaciones:
  - Metaconglomerado de Charallave.

- Complejo de Conoropa.
- Gneis Granítico de San Vicente.
  - Gneis Tonalítico de Curiepe.
  - Serpentinita de El Chupón.
  - Hornblendita, diorita y basalto – Zona de El Tinaco.
  - Trondjemita de La Gloria.
  - Metadiorita de La Guacamaya.
  - Filita de Las Placitas.
  - Filita de Muruguata.
  - Volcánicas de Pilancones.
  - Brecha ígnea de Sabana Larga.
  - Serpentinita de San Antonio.
  - Peridotita de Tinaquillo.
  - Filita de Tucutunemo.
- Metalava de Los Naranjos.
  - Filita de Urape.

TABLA N° III.1 CORRELACION DE LA CORDILLERA DE LA COSTA



Fuente: Código Geológico de Venezuela, <http://www.pdvsa.com/lexico/>.

En el área de estudio aflora la Formación Las Mercedes, originalmente descrita por **Aguerrevere y Zuloaga (1937)**, quienes la denominan esquistos de Las Mercedes. Posteriormente (1938), formalizan el nombre de la unidad con el nombre actual. Ha sido descrita en diversas localidades de la Cordillera de la Costa sin mayores cambios, dada su litología consecuentemente uniforme, por Dengo (1949), Smith (1952), MacLachlan et al. (1960), Feo-Codecido (1962), Oxburgh (1965), Menéndez (1965), Seiders (1965), Bellizzia y Rodríguez (1968), Morgan (1969), Urbani y Quesada (1972), Azuaje (1972), Beck (1986), Cantisano (1989), Urbani et al. (1989), Wehrmann (1972), González Silva (1972) y Rodríguez (1972).

Las Formación Las Mercedes, suprayacente a la caliza de Antimano, o en ausencia de esta, a los esquistos de Las Brisas, continua una secuencia monótona

VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

de esquistos primordialmente grafitosos y calcáreos y calizas lenticulares delgadas, que Aguerrevere y Zuloaga (1937) denominaron Formación Las Mercedes. Estos autores mencionan además un horizonte de calizas oscuras en capas delgadas que constituyen un excelente horizonte guía, y que denominaron Fase Los Colorados. Wehrmann (1972), afirma que dichas calizas no tienen una posición estratigráfica definida. Este mismo autor encontró además un conglomerado en la base de la Formación, en la quebrada Canoas (D.F.) y en el río San Carlos (Edo. Aragua), de composición cuarcítica, de grano fino a medio, y calcáreo. Hacia el tope, la Formación se hace más cuarzosa y menos calcárea, en su transición hacia la Formación Chuspita.

Aguerrevere y Zuloaga (1937), la definen como esquistos principalmente calcáreos, con zonas grafitosas y localmente zonas micáceas, de un tinte rosado, gris, con zonas blancas cuando frescas. Estos autores incluyen dentro de la formación una zona constituida por calizas oscuras y densas, en capas delgadas, interestratificadas con capas de esquistos micáceos y arcillosos, todo intensamente plegado, que denominan Fase Los Colorados, y que constituyen excelentes estratos guía. Dengo (*op. cit.*), Seiders (*op. cit.*), y Wehrmann (*op. cit.*), no coinciden con esta formación, ya que según ellos, tales calizas se encuentran en diferentes niveles en la sección.

Según Wehrmann (1972) y la revisión de González de Juana *et al.* (1980, p. 317) la litología predominante consiste en esquisto cuarzo - muscovítico - calcítico - grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes, que cuando alcanza gruesos espesores se ha denominado "Caliza de Los Colorados". Las rocas presentan buena foliación y grano de fino a medio, el color característico es el gris pardusco. La mineralogía promedio consiste en cuarzo (40%) en cristales dispuestos en bandas con la mica, muscovita (20%) en bandas lepidoblásticas a veces con clivaje crenulado, calcita (23%) en cristales con maclas polisintéticas, grafito (5%), y cantidades menores de clorita, óxidos de hierro, epidoto y ocasionalmente plagioclasa sódica. El mármol intercalado con esquisto se

---

VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

presenta en capas delgadas usualmente centimétricas a decimétricas, son de color gris azulado, cuya mineralogía es casi en su totalidad calcita, escasa dolomita y cantidades accesorias de cuarzo, muscovita, grafito, pirita y óxidos de hierro. Oxburgh (*op. cit.*), incluye el conglomerado de Charallave en la parte superior de Las Mercedes, y discrimina una facies oriental, de esquistos gráficas, en su mayoría no calcáreos, granatíferos, con capas cuarcíticas de 20-70 cm de espesor y esquistos micáceos granatíferos, donde las capas cuarzosas están ausentes; y una facies occidental más arenosa, menos gráfica y carente de capas calcáreas, con abundante granate, y filitas gráficas de color variable, predominantemente negro en la parte superior de la sección. Wehrmann (*op. cit.*), menciona metaconglomerados en su base, esquistos cloríticos y una sección en el tope, de filitas negras, poco metamorfizadas, con nódulos de mármol negro, de grano muy fino, similares a los de las formaciones La Luna y Querecual, sin hallar fósiles en ellos. Este mismo autor, indica que el tope de la formación se hace más cuarzoso y menos calcáreo en su transición hacia la Formación Chuspita. Seiders (*op. cit.*), menciona además, meta-areniscas puras, feldespáticas y cuarzosas, de estratificación de grano variable, a veces gradada.

### **Geología Estructural Regional**

En términos generales, la estructura regional de la Cordillera de la Costa específicamente la del área de estudio comprende pliegues principales los cuales forman una serie de anticlinorios y sinclinorios paralelos y simétricos, de rumbo aproximado N 60 – 80 E. Igualmente paralelas, se extienden las principales fallas longitudinales, corrimientos de gran desplazamiento, con formación de milonitas y zonas breccias de gran amplitud, acompañados de pliegues de arrastre y volcamientos. En ocasiones, las fallas longitudinales suelen ser fallas de gravedad. Las fallas transversales, oblicuas a las anteriores, son fallas transcurrentes, a veces de varios cientos de metros de desplazamiento.

Dengo (1951) sostiene que la tectónica dominante es post-metamórfica.

Ostos (1981), el contacto entre basamento granítico y la Formación Las Mercedes no muestra discontinuidad metamórfica; así que este puede ser de tipo depositacional, aunque no fueron observados indicios de erosión, por lo que también se establece la hipótesis que sea por medio de una falla de bajo ángulo. El grupo Caracas perteneciente al Mesozoico, muestra una compleja relación con el granito de la Colonia Tovar del Paleozoico. Al norte, dicho granito se encuentra sobrepuesto a la Formación Las Mercedes, lo que sugiere una falla inversa, mientras que en el sur del granito se encuentra por debajo de la porción cretácica temprana de las Mercedes, que a su vez sugiere una falla normal de bajo ángulo. La Formación de Las Brisas del Jurásico se encuentra por encima de las Mercedes (cretácico) gracias a una falla inversa.

### **Plegamiento**

El plegamiento de la Cordillera de la Costa parece tener su origen durante la Orogénesis Andina, (Terciario inferior) pero el periodo principal de plegamiento obedece a las pulsaciones de la Orogénesis Antillana, ocurrida durante el Terciario superior, y cuya máxima actividad tiene durante el Eoceno medio y superior. A la luz de los nuevos conceptos relativos a tectónica de placas, Stainforth (1969) hace una interesante relación de la historia tectónica de Venezuela, en la que explica la existencia de una célula convectiva subsidiaria, ubicada en el mar Caribe, justamente al norte de Venezuela (Wehrmann, 1972).

Las rocas del área pertenecientes a la cordillera de la costa parecen haber sufrido cuatro fases de plegamiento relacionadas a otras tantas fases de deformación, a continuación se describen las cuatro fases de deformación:

- ***Primera fase de deformación:*** estructuras relacionadas con el metamorfismo de alta relación P/T.

**f<sub>1</sub>:** pliegues isoclinales asociados al desarrollo de la foliación del metamorfismo de alta relación P/T.

**S<sub>1</sub>**: foliación metamórfica producida por el metamorfismo de alta relación P/T.

- **Segunda fase de deformación:** estructuras relacionadas con el metamorfismo de las facies de los esquistos verdes

**f<sub>2</sub>**: pliegues isoclinales asociados al desarrollo de la foliación del metamorfismo en la facies de los esquistos verdes.

**S<sub>2</sub>**: foliación metamórfica producida por el metamorfismo las facies de los esquistos verdes. Es la superficie penetrativa dominante a escala regional.

- **Tercera fase de deformación:** primera generación de estructuras post-metamórficas.

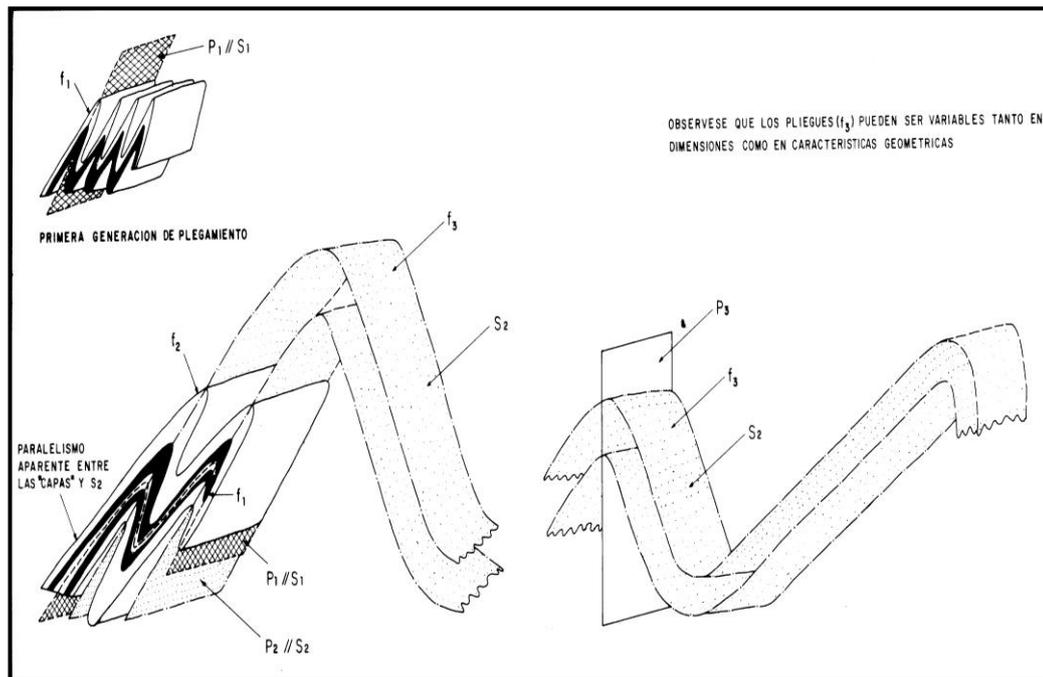
**f<sub>3</sub>**: pliegues post-metamórficos, geoméricamente variables.

**S<sub>3</sub>**: superficie poco penetrativa y de expresión muy local, asociada al clivaje de fractura y al clivaje crenulado diferencial.

- **Cuarta fase de deformación:** segunda generación de estructuras post-metamórficas.

**f<sub>4</sub>**: plegamiento suave de la foliación. No suele tener expresión a escala mesoscópica.

La zona de estudio en este trabajo pertenece a la facies de los Esquistos Verdes asociada a la segunda fase de deformación, antes descrita. En la siguiente figura se muestran las relaciones geométricas entre algunas de las generaciones de plegamiento:



**FIGURA N° III.1 SE MUESTRAN LAS RELACIONES GEOMÉTRICAS ENTRE ALGUNAS DE LAS GENERACIONES DE PLEGAMIENTO. TOMADA DEL GEOS N° 27, PÁG. 47. ABRIL 1982**

### Fallamiento

El área de estudio se ubica al norte de Venezuela del límite entre las placas Caribe y América del Sur. La zona de contacto de estas dos placas tectónicas ha generado un sistema de fallas principales activas del tipo rumbo-deslizante dextrales orientadas aproximadamente en dirección este-oeste a lo largo de un cinturón de aproximadamente 100 a 150 Km., definido por los sistemas montañosos de los andes venezolanos, la cordillera central y oriental, denominado sistema de fallas Oca-Ancón-Boconó-San Sebastián-El Pilar. El sistema de fallas principales está seguido por un número de fallas activas menores entre las que se encuentran: Valera, La Victoria, Tacagua – El Ávila y Urica (Schubert et al., 1984; Grases et al., 1994). El oriente de Venezuela está caracterizado por dos regímenes tectónicos: El primero está conformado por un sistema de fallas rumbo-deslizante dextral, dentro del cual se destaca la falla de El Pilar. El segundo por

**VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.**

una zona de subducción que se extiende desde el noroeste de la región hasta el Arco de El Caribe, representado por la Antillas Menores (Schubert et al., 1984; Beltrán et. Al., 1994; Sobiesiak et al., 2002).

Ostos (1981), propone que le sistema de fallas de dirección este-oeste, sea considerado como la estructura primaria, y las de rumbo noroeste – sureste con disposición en echelon, son secundarios.

Schubert (1984), propuso que las fallas de rumbo de dirección este – oeste son de movimiento dextral, basándose en el desarrollo de una cuenca pull – apart.

Gamond (1987), Menciona que dichas fallas de dirección este – oeste con movimiento dextral, así como las de dirección noroeste – sureste, también con componente dextral de desplazamiento, son interpretados como productos del desarrollo de un puente compresivo.

### **Foliación**

La estructura planar más común en la región es, sin duda alguna la foliación. Casi todas las rocas observadas muestran una esquistosidad prominente, la cual alcanza su mayor desarrollo en los esquistos y filitas grafitosas (Talukdar & Loureiro, 1982).

A escala regional la foliación muestra un rumbo dominante en dirección N70 – 80E, paralela al alargamiento de la cordillera y a sus principales lineaciones y rasgos fisiográficos, a menor escala se puede apreciar que la foliación es en extremo variable a consecuencia del plegamiento que la deforma y al Fallamiento. El buzamiento de la foliación a escala regional se encuentra a valores cercanos a los 30° en sentido tanto al norte como al sur, con predominancia del primero (Talukdar & Loureiro, 1982).

Dengo (1952), afirma que en general, la foliación es paralela a la estratificación. Seiders (1965), reafirma esta opinión, aunque acepta que localmente, la foliación

es paralela a los planos axiales de los pliegues. Frecuentes son las lineaciones en forma de micropliegues y “ápices”, así como alineaciones minerales y boudinages.

### **Metamorfismo**

Los estudios realizados en la cordillera de la costa, indican que esta zona después de una serie de periodos de sedimentación, estuvo sometida a un proceso de metamorfismo dinamotermal.

Dengo (1951), señala que las rocas de la formación Tacagua, Las Mercedes y la parte superior de las Brisas, pertenecen a la facies de los esquistos verdes, en particular a la zona de la clorita y la biotita.

Seiders (1965), Considera que en la zona central de la cordillera de la costa, el grupo Caracas ha sufrido un metamorfismo no superior a la sub-facies de cuarzo albita Muscovita clorita, de la facies de los esquistos verdes del metamorfismo regional sin alcanzar la isograda de la biotita.

Whermann (1972), concluye que el grado de metamorfismo es bajo, comprendido entre las sub-facies de la muscovita-clorita y del epidoto almandino, pertenecientes a la facie de los esquistos verdes. Restringe las formaciones de las Brisas, Antímamo, Las Mercedes, Tacagua y parte del complejo basal de Sebastopol, a la subfacie cuarzo albita muscovita clorita.

Por último observa que la sub-facie de más alto grado de metamorfismo regional, encontrada en el área es la perteneciente a la asociación cuarzo albita epidoto almandino formando pequeñas áreas dentro de la sub-facie anterior. Esta zona ha sufrido un intenso metamorfismo regresivo, donde la clorita y el epidoto son los principales productos de alteración. El granate, por sus cantidades variables en los tres tipos de sub-facie, no es tomado como mineral índice.

Urbani (1972), concluye que las rocas de las formaciones Las Brisas, Peña de Mora y Las Mercedes, fueron afectadas por metamorfismo regional de bajo grado de la facie de los esquistos verdes, sub-facie cuarzo albita epidoto biotita, con un incremento del grado metamórfico de sur a norte.

### **Sismicidad**

La Cordillera de la Costa se caracteriza por ser una zona tectónicamente activa, lo cual pudiera incidir de alguna manera en la desestabilización de los suelos de la Cordillera. (ZINCK, 1986c; AUDEMAR, F., DE SANTIS, F., MONTES, L., LUGO, M. y A. SINGER, 1989).

El relieve existente en el área es muy vulnerable a riesgos geológicos, debido a las fuertes pendientes que posee, a la litología gnéisica que predomina y a la fragilidad del material edáfico existente.

Los suelos del área se desarrollan a expensas de la litología gnéisica, confiriéndole un carácter muy frágil debido a su alto contenido de arena y a su factibilidad de inducir movimientos de masas por saturación de agua.

La Cordillera de la Costa se caracteriza por una marcada inestabilidad potencial de los suelos y formaciones superficiales de origen residual y a la fragilidad de los ecosistemas naturales desarrollados en las vertientes boscosas ubicadas en una faja altitudinal comprendida entre 1200 metros y 1600 metros de altura (AUDEMAR, F., DE SANTIS, F., MONTES, L., LUGO, M. y A. SINGER, 1989)

El área de estudio, según el mapa sísmico de Venezuela se encuentra ubicada en la zona sísmica N° 5, riesgo sísmico alto (mapa de zonificación sísmica de la Norma COVENIN 1756-1, 2001).

## CAPÍTULO IV

### CRITERIOS DE ROTURA EN DISCONTINUIDADES EN ROCA

#### CRITERIOS DE ROTURA Y RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

El criterio de rotura de macizos rocosos de Hoek-Brown es ampliamente aceptado y ha sido aplicado en un gran número de proyectos a nivel mundial. Mientras que en general el criterio se considera satisfactorio, existen algunas incertidumbres e inexactitudes que ha creado inconvenientes en su implementación a modelos numéricos y a programas de computación de equilibrio límite. En particular, la dificultad de encontrar un ángulo de fricción y resistencia cohesiva equivalentes para un macizo rocoso dado, ha sido un inconveniente desde la publicación original del criterio en 1980.

#### Criterio de Hoek-Brown original

$$\sigma'_1 = \frac{\sigma'_3 + (m \sigma'_3 + s)^{0.5}}{\sigma_c}$$

(1)

donde  $\sigma'_1$  y  $\sigma'_3$  son los esfuerzos principales efectivos mayor y menor en el momento de rotura  $\sigma_{ci}$  es la resistencia a compresión uniaxial del material intacto  $m$  y  $s$  son las constantes del material, donde  $s = 1$  para roca intacta

#### Criterio de Hoek-Brown Generalizado

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left[ mb \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + S \right] \quad (2)$$

donde  $mb$  es un valor reducido de la constante del material  $mi$  y está dado por:

$$mb = mi \exp \left[ \frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right] \quad (3)$$

---

VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

$s$  y  $a$  son constantes del macizo rocoso dadas por las siguientes relaciones:

$$s = \exp\left[\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right] \quad (4)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left[ e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-20/3} \right] \quad (5)$$

$D$  es un factor que depende sobre todo del grado de alteración al que ha sido sometido el macizo rocoso por los efectos de las voladuras o por la relajación de esfuerzos. Varía desde 0 para macizos rocosos *in situ* inalterados hasta 1 para macizos rocosos muy alterados.

La resistencia a la compresión uniaxial se obtiene haciendo  $\sigma_3 = 0$  en la ecuación (2), dando así:

$$\sigma_c = \sigma_{ci} s^a \quad (6)$$

y siendo la resistencia a tracción:

$$\sigma_t = - \left( \frac{s\sigma_{ci}}{mb} \right) \quad (7)$$

La ecuación (7) se obtiene haciendo  $\sigma_1 = \sigma_3 = \sigma_t$  en la ecuación 2. Esto representa una condición de tensión biaxial. Hoek, mostró que para materiales frágiles, la resistencia a tracción uniaxial es igual a la resistencia a tracción biaxial.

Obsérvese que el “cambio” en  $GSI = 25$  para los coeficientes  $s$  y  $a$  (Hoek y Brown,) se han suprimido en las ecuaciones (4) y (5) que dan una transición continua suave para todo el intervalo de valores de  $GSI$ . Los valores numéricos de  $a$  y  $s$  dados por estas ecuaciones están muy próximos a los dados por las ecuaciones anteriores y no es necesario hacer correcciones o rehacer los antiguos

cálculos. Los esfuerzos normales y al corte están relacionadas con los esfuerzos principales por las ecuaciones publicadas por Balmer:

$$\sigma'_n = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} - \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \left[ \frac{\frac{d\sigma'_1}{d\sigma'_3} - 1}{\frac{d\sigma'_1}{d\sigma'_3} + 1} \right] \quad (8)$$

$$\tau = (\sigma'_1 - \sigma'_3) \frac{\sqrt{d\sigma'_1/d\sigma'_3}}{\frac{d\sigma'_1}{d\sigma'_3} + 1} \quad (9)$$

Siendo

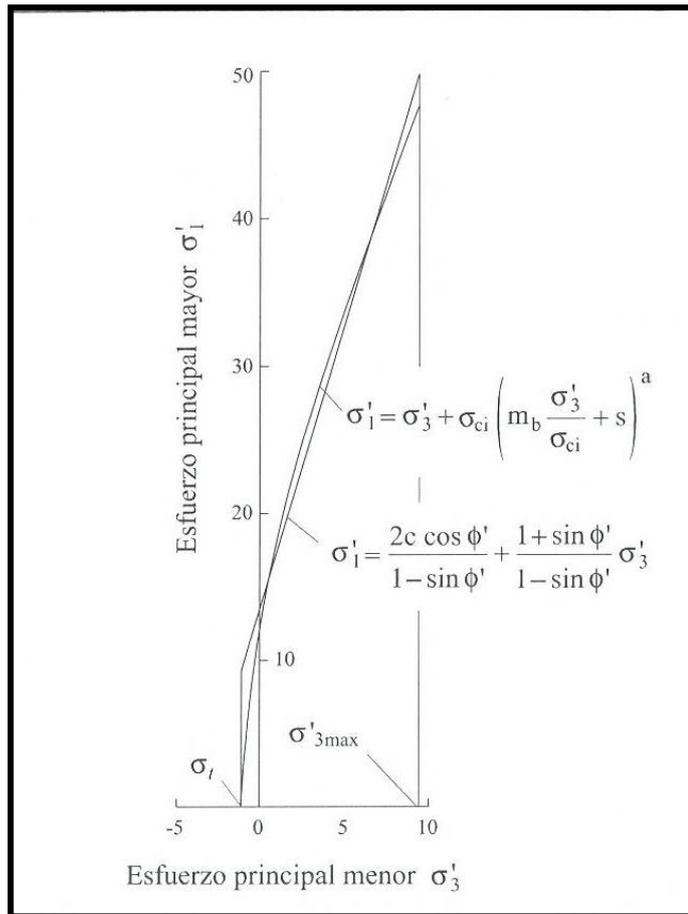
$$d\sigma'_1/d\sigma'_3 = 1 + amb (mb\sigma'_3 / \sigma_{ci} + s)^{a-1} \quad (10)$$

## CRITERIOS DE FALLAS EMPLEADAS EN EL PROGRAMA UNWEDGE

- 1) Mohr-Coulomb.
- 2) Barton Bandis.
- 3) La Curva de Potencia.

### Criterio de Mohr-Coulomb

Dado que mucho software geotécnico está aun escrito en términos del criterio de rotura de Mohr-Coulomb, es necesario determinar los ángulos de fricción y las resistencias cohesivas para cada macizo rocoso e intervalo de esfuerzos. Esto se hace ajustando una relación lineal media a la curva generada partir de la ecuación (2) descrita anteriormente en el criterio de Hoek-Brown, para un intervalo de esfuerzo principal menor definido por  $\sigma'_1 < \sigma'_3 < \sigma'_{3max}$ , tal como se ilustra en la Figura IV.1. El proceso de ajuste supone equilibrar las áreas por encima y por debajo de la curva de Mohr-Coulomb. Esto da lugar a las siguientes ecuaciones para el ángulo de fricción  $\phi'$  y la resistencia cohesiva  $c'$ :



**FIGURA N° IV.1. RELACIONES ENTRE ESFUERZOS PRINCIPALES MAYORES Y MENORES PARA EL CRITERIO DE HOEK-BROWN Y EL EQUIVALENTE DE MOHR-COULOMB.**

$$\varphi' = \sin^{-1} \frac{6amb(s + mb\sigma_3n)^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6amb(s + mb\sigma_3n)^{a-1}} \tag{11}$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci} (1 + 2a)s + (1 - a)m_b\sigma_3n(s + m_b\sigma_3n)^{a-1}}{(1 + a)(2 + a)\sqrt{1 + 6amb(s + m_b\sigma_3n)^{a-1}}} \tag{12}$$

VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

Siendo  $\sigma'_3 n = \sigma'_3 \max / \sigma c$ .

Obsérvese que el valor de  $\sigma'_3 \max$ , el límite superior del esfuerzo de confinamiento sobre el que se ha considerado la relación de los criterios de Mohr-Coulomb y de Hoek-Brown, ha sido determinado para cada caso individual. Más adelante se presentan pautas para tomar valores de  $\sigma'_3 \max$  para el caso de taludes y túneles superficiales y profundos.

La resistencia al corte de Mohr-Coulomb  $\tau$ , para un esfuerzo normal dado  $\sigma'_n$ , se encuentra sustituyendo estos valores de  $c'$  y  $\varphi'$  en la ecuación:

$$\tau = c' + \sigma'_n \tan \varphi' \quad (13)$$

La gráfica equivalente, en términos de esfuerzos principales menores y mayores, está definida por:

$$\sigma'_1 = \frac{2c' \cos \varphi' + \sigma'_3 (1 + \sin \varphi')}{1 - \sin \varphi'} \quad (14)$$

$$\sigma'_3 = \frac{2c' \cos \varphi'}{1 - \sin \varphi'} \quad (15)$$

Con  $c'$  y  $\varphi'$  determinada para el intervalo de esfuerzos  $\sigma'_1 < \sigma'_3 < \sigma_{ci}/4$ , resultando en

$$\sigma'_3 = \frac{\sigma_{ci} [mb + 4s - a(mb - 8s)] (mb/4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)} \quad (16)$$

### Criterio de resistencia Barton Bandis

Este criterio esta descrito por la siguiente ecuación

$$\tau_i = \sigma_{ni} \tan [JRC_i \log_{10} (JCS_i / \sigma_{ni}) + \phi_{bi}]$$

donde:

$\tau_i$  = Representa la resistencia al cizallamiento de las discontinuidades.

$JRC_i$  = Coeficiente de rugosidad de las discontinuidades.

$JCS_i$  = Resistencia a la compresión de las discontinuidades.

$\sigma_{ni}$  = Esfuerzos normales de las discontinuidades.

$\phi_{bi}$  = Angulo de rozamiento de las discontinuidades.

### Criterio de Curva de Esfuerzos

$$\tau_i = c_i + a_i (\sigma_{ni} + d_i)^{b_i}$$

$\tau_i$  = Resistencia al cizallamiento de las discontinuidades.

$a_i, b_i, c_i, d_i$  = Parámetros de esfuerzos de las discontinuidades.

$\sigma_{ni}$  = Esfuerzos normales de las discontinuidades.

## CAPÍTULO V

### METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

#### ETAPA DE RECOPIACIÓN

1.- Recopilación de la información bibliográfica, cartográfica y aerofotográfica del área de estudio, disponible en:

- Trabajos Especiales de Grado de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela (UCV).
- Informes geológicos, geofísicos, geotécnicos y diseño del túnel Caucaguita del Proyecto de la línea metro Caracas-Guarenas-Guatire.
- Publicaciones y congresos geológicos y geotécnicos.
- Hoja topográfica 6887 II-NO MAMPOTE y Ortofotomapa a escala 1:25.000 del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB).

2.- Estudio fotogeológico de la misión (030198), fotos 3190- 3198 que cubren la zona, con el fin de identificar elementos estructurales, litológicos y geomorfológicos presentes en el área objeto de estudio.

#### ETAPA DE CAMPO

Descripción general y zonificación del área en estudio.

Levantamiento de los sistemas de diaclasas presentes en la zona.

Para realizar dicho levantamiento se tomaron en cuenta los siguientes factores:

#### Descripción general del afloramiento:

- Formación
- Edad geológica
- Litología

---

VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

- Estructuras presentes: fallas, fracturas , pliegues, planos principales de foliación
- Presencia de agua
- Grado de meteorización de las rocas

La presencia de agua en el macizo será descrita de forma visual haciendo particular énfasis en las discontinuidades del mismo y especificando si el agua se presenta fluyendo, goteando o si el macizo esta húmedo, ligeramente húmedo o seco.

**TABLA N° V.1. DESCRIPCIÓN DEL GRADO DE METEORIZACIÓN.**

TERMINO	DESCRIPCION
Fresca	No se observan signos de meteorización en la matriz rocosa
Decolorada	Se observan cambios en el color original de la matriz rocosa. Es conveniente indicar el grado de cambio. Se debe destacar si se observa que el cambio de color se restringe a uno o algunos minerales.
Desintegrada	La roca se ha alterado al estado de un suelo, manteniéndose la fábrica original. La roca es friable, pero los granos minerales no están descompuestos
Descompuesta	La roca se ha alterado al estado de un suelo, algunos o todos los minerales están descompuestos.

(TOMADO Y MODIFICADO DE GONZÁLEZ *ET AL.*, 2002).

## Descripción de las Discontinuidades

La descripción de las discontinuidades se hará tomando en cuenta las siguientes características:

### Orientación

La orientación de los planos de discontinuidad se determina tomando su rumbo y buzamiento en campo, usando la brújula de geólogo.

A continuación se muestra en la figura V.1 donde se observa la distribución geométrica de las discontinuidades.

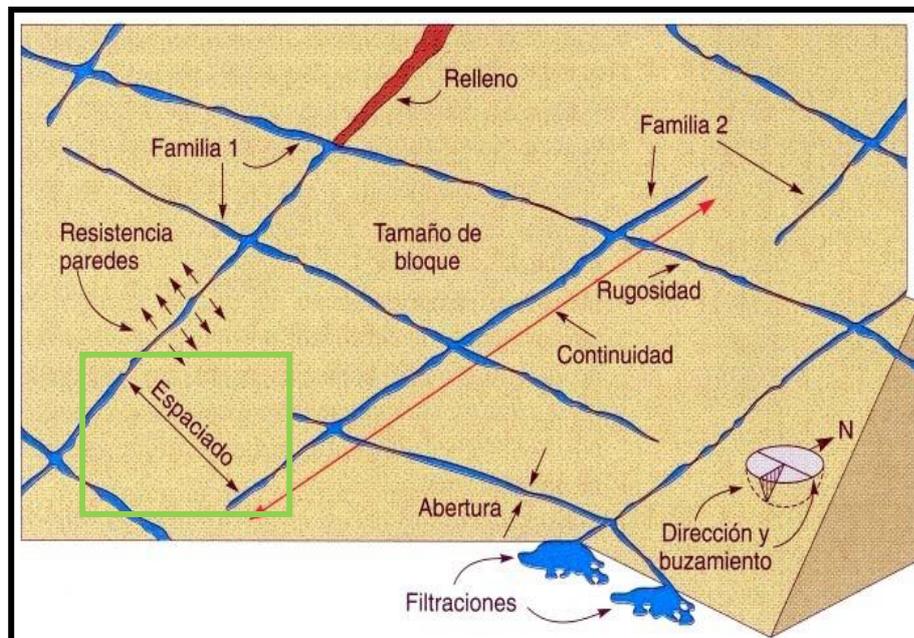


FIGURA N° V.1 CONFIGURACION DE LAS DISCONTINUIDADES (TOMADO DE VALLEJO 2002)

### Espaciado

Es la distancia comprendida entre dos planos de discontinuidad de la misma familia y medida de manera perpendicular a dichos planos, como se resalta en el

esquema anterior en color verde .Esta medición se realiza directamente en campo con una cinta métrica. Y se hará la discriminación con la siguiente tabla:

**TABLA N° V.2. DESCRIPCION DEL ESPACIADO**

DESCRIPCION DEL ESPACIADO	
Descripción	Espaciado
Extremadamente Junto	< 2cm
Muy Junto	2-6 cm
Junto	6-20cm
Moderadamente Junto	20-60 cm
Separado	60cm -2 m
Muy Separado	2-6 m
Extremadamente Separado	>6 m

(TOMADO Y MODIFICADO DE GONZÁLEZ *ET AL.*, 2002)

### **Continuidad o Persistencia**

La continuidad de un plano de discontinuidad es su extensión superficial, según la dirección del plano y según su buzamiento dicha medición se realizara con cinta métrica y se determinara cuales son las familias más continuas ya que son estas las que condicionan los planos de rotura del macizo rocoso, dicha medición se caracterizo según la siguiente tabla.

**TABLA N° V.3. DESCRIPCION DE LA CONTINUIDAD**

DESCRIPCION DE LA CONTINUIDAD	
Continuidad	Longitud
Muy baja Continuidad	<1 m
Baja continuidad	1-3 m
Continuidad Media	3-10 m
Alta Continuidad	10-20 m
Muy Alta Continuidad	>20 m

(TOMADO Y MODIFICADO DE GONZÁLEZ *ET AL.*, 2002)

### Abertura

La abertura es la distancia perpendicular entre ambas caras de la discontinuidad cuando no existe relleno. La medición se hizo con una regla y se tomo el PROMEDIO de los valores obtenidos.

A continuación la tabla muestra la descripción de la abertura.

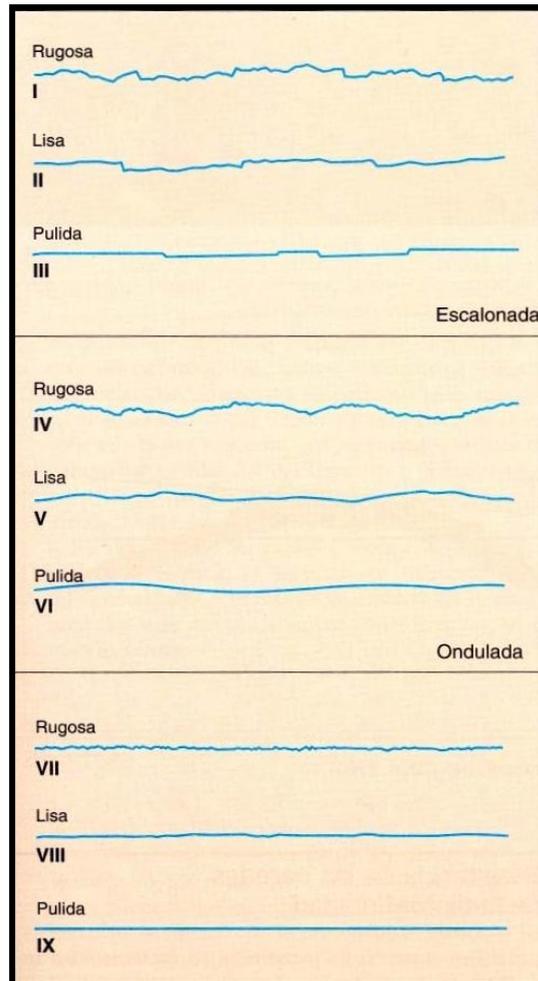
**TABLA N° V.4. DESCRIPCION DE LA ABERTURA**

DESCRIPCION DE LA ABERTURA	
Abertura	Descripción
<0.1 mm	Muy Cerrada
0.1-0.25 mm	Cerrada
0.25-0.5 mm	Parcialmente Abierta
0.5-2.5 mm	Abierta
2.5-10 mm	Moderadamente Ancha
> 10 mm	Ancha
1-10 cm	Muy Ancha
10-100 cm	Extremadamente Ancha
> 1m	Cavernosa

(TOMADO Y MODIFICADO DE VALLEJO, 2002).

### Rugosidad

La rugosidad se define como el nivel de las irregularidades de las superficies a pequeña escala de dichos planos, por lo que puede ser medida en escalas centimétricas y milimétricas. La medición de la rugosidad puede ser hecha por diversos métodos en este trabajo se llevo a cabo a través de la comparación visual con los perfiles estándar de rugosidad que se muestran a continuación:



**FIGURA V.2 PERFIL ESTÁNDAR DE RUGOSIDAD SEGÚN (ISMR 1981). (TOMADO DE VALLEJO 2002).**

### **Resistencia de las paredes**

La resistencia de las paredes de la discontinuidad influye en su resistencia al corte y en su deformabilidad, depende del tipo de matriz rocosa de la existencia o no de relleno y del grado de meteorización del mismo. En discontinuidades sanas la resistencia sería la misma que la de la matriz rocosa pero generalmente es menor debido a la meteorización de las paredes. La medición de la resistencia se estimara en campo mediante el uso del martillo de Schmidt aplicándolo directamente sobre la discontinuidad.

**VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.**

**Relleno**

El relleno es el material existente entre las paredes de las discontinuidades, de naturaleza distinta a la roca. La caracterización se realizó diciendo si existe o no relleno y qué tipo de relleno es, arenoso o arcilloso y la resistencia al corte, siendo esta última tomada como duro o blando.

**Flujo**

Agua presente en la discontinuidad que se encuentra libre o en movimiento. Se describe por el caudal y debe evaluarse si el agua brota o no con presión.

**Número de familias presentes**

Es indicativo del grado de fracturamiento del macizo y depende del grado de la dirección y del tipo de esfuerzo.

**Recolección de muestras**

Se tomaron 6 muestras las más representativas de los macizos rocosos estudiados, estando éstos ubicados lo más cerca posible del alineamiento del túnel.

**FASE POST-CAMPO****Etapas de laboratorio**

Procesar las muestras en el laboratorio y analizar las secciones finas. A las mismas se les realizó el análisis petrográfico. Con el análisis de las secciones finas se determinó la composición y porcentaje de minerales presentes en la muestra.

**Ensayos de Laboratorio**

No se realizaron nuevamente los ensayos de laboratorio, la empresa (RGR INGENIERIA, C.A.), la cual lleva a cabo los estudios geológicos del área

suministró los datos que arrojaron los ensayos realizados anteriormente para este proyecto.

Entre los Datos suministrados se tienen los ensayos de:

- Ensayo de carga puntual
- Resistencia a la compresión simple

### **Etapas de oficina**

En esta etapa se realizó la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, y en análisis probabilístico empleando para ello el programa UNWEDGE VERSION 3.005.

Este programa usa como datos de entrada la orientación del túnel, la ondulación, y la orientación de los planos de diaclasa y de foliación expresados en la notación dip direction. Así como el ángulo de fricción y la cohesión.

## CAPÍTULO VI

### MARCO TEORICO

#### **Túnel**

Un túnel es una obra subterránea de carácter lineal, cuyo objeto es la comunicación de dos puntos, para realizar el transporte de personas, materiales entre otras cosas.

#### **Matriz rocosa**

Es el material rocoso exento de discontinuidades, o los bloques de “roca intacta” que quedan entre ellas. La matriz rocosa, a pesar de considerarse continua, presenta un comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su fábrica y a su microestructura mineral. Mecánicamente queda caracterizada por su peso específico, resistencia y deformabilidad.

#### **Macizo rocoso**

Forma en la que se presentan las rocas en el medio natural. Un macizo rocoso está compuesto por una o varias rocas (litotipos) que a su vez contiene diversas discontinuidades: planos de estratificación, fallas, juntas, pliegues y otros caracteres estructurales. Los macizos rocosos son por tanto discontinuidades y pueden presentar propiedades heterogéneas y/o anisótropas.

Otra definición, es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades de diverso tipo que afectan al medio rocoso. Mecánicamente los macizos rocosos son medios discontinuos, anisótropos y heterogéneos. Prácticamente puede considerarse que presentan una resistencia a tracción nula.

#### **Litotipos**

Agrupación de facies por sus propiedades petrofísicas.

## **Fracturas**

Cualquier grieta en una roca sólida es una fractura.

## **Fisuras**

Una fractura extensa se llama fisura que puede llegar a ser un conducto que sirva para el paso de la lava, que formará un basalto de meseta o de soluciones que originarán vetas mineralizadas.

## **Discontinuidades**

Es cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que independiza o separa los bloques de matriz rocosa en un macizo rocoso. Generalmente la resistencia a la tracción de los planos de discontinuidad es muy baja o nula. Su comportamiento mecánico queda caracterizado por su resistencia al corte o, en su caso, por la del material de relleno.

## **Diaclasas**

Las diaclasas se pueden definir como planos divisorios o superficies que dividen las rocas y a lo largo de las cuales no hubo movimiento visible paralelo al plano o superficie.

## **Fallas**

Cuando en las fracturas, fisuras o juntas se ha efectuado un desplazamiento apreciable, se llaman fallas.

## **Plegamiento**

El plegamiento es semejante al ondulamiento, excepto que denota un mayor grado de deformación, dándose en pequeñas proporciones.

**Plano de estratificación**

Superficie en la que se unen dos capas o estratos de una roca estratificada.

**Anisotropía**

La presencia de planos de debilidad de orientaciones preferentes (estratificación, laminación, familias de diaclasas tectónicas) implica diferentes propiedades y comportamiento mecánico en función de la dirección considerada. También la orientación de los esfuerzos que se ejercen sobre el material rocoso puede implicar una anisotropía asociada al estado tensional.

**Heterogeneidad**

Las zonas con diferente litología, grado de alteración o meteorización, contenido en agua, etc., pueden presentar propiedades muy diferentes.

**Metamorfismo**

Se denomina metamorfismo a la transformación sin cambio de estado de la estructura o la composición química o mineral de una roca cuando queda sometida a condiciones de temperatura o presión distintas de las que la originaron o cuando recibe una inyección de fluidos.

**Análisis cinemático de taludes en macizos rocosos**

En el análisis de taludes en macizos rocosos, se presentan bloques de roca delimitados por un sistema tridimensional de planos de discontinuidad. Se entiende por discontinuidad a todas aquellas estructuras geológicas (fallas, fracturas, diaclasas, estratificación, foliación, etc.) que forman dichos planos, los que comúnmente se conoce como fábrica estructural del macizo rocoso. Normalmente este tipo de discontinuidades son producto del tectonismo a la que fue sujeta la roca en un estado inicial de esfuerzos. Dependiendo de la orientación de las discontinuidades se tendrá un patrón de fracturamiento que delimitará los bloques de roca.

---

VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

Analizar la estabilidad de un talud realizado en macizos rocosos fracturados, es parte de dos procesos. El primero es analizar la fábrica estructural en el corte realizado para determinar si la orientación de las discontinuidades podría resultar en inestabilidad, a lo cual se conoce como orientación desfavorable del talud con respecto a las discontinuidades. Esta determinación es realizada por medio de un análisis estereográfico de la fábrica estructural junto con la posición del talud, a lo que se denomina análisis cinemático. Ya que ha sido determinada la cinemática en la cual se tiene posibilidad de falla del talud, el segundo paso requiere un análisis de estabilidad por el método de equilibrio límite para comparar las fuerzas resistentes a la falla contra las fuerzas causantes de la falla del talud. El rango entre estos dos sistemas de fuerzas se denomina factor de seguridad.

Para poder realizar el análisis tridimensional de las familias de discontinuidades, se necesita hacer este tipo de proyección en un plano bidimensional. Para tal efecto existen dos tipos de proyecciones esféricas: una es la red estereográfica de Lambert o Schmidt, y la otra es la proyección de Wulff. Diversos autores dentro de la ingeniería geológica han aplicado ambas técnicas, las cuales son del todo idénticas y no hay ninguna dificultad para utilizar un sistema u otro. La única limitación que existe es que al iniciar el análisis con cualquiera de los dos sistemas, éste deberá continuarse empleando hasta el término del proyecto o del estudio.

### **Falla o rotura planar**

Se llama *rotura planar* o plana a aquella en la que el deslizamiento se produce a través de una única superficie plana. Es la más sencilla de las formas de rotura posibles y se produce cuando existe una fracturación dominante en la roca y convenientemente orientada respecto al talud. Frecuentemente se trata de fallas que interceptan al talud.

También puede producirse en terrenos granulares en los que, entre dos terrenos de buenas características resistentes, se intercala un estrato de poco espesor de material con menos resistencia.

Este tipo de rotura no es muy frecuente, ya que deben darse las dos condiciones siguientes:

- Los rumbos o trazas horizontales del plano del talud y del plano de deslizamiento deben ser paralelos o casi paralelos, formando entre sí un ángulo máximo de  $20^\circ$ .
- Los límites laterales de la masa deslizante han de producir una resistencia al deslizamiento despreciable.

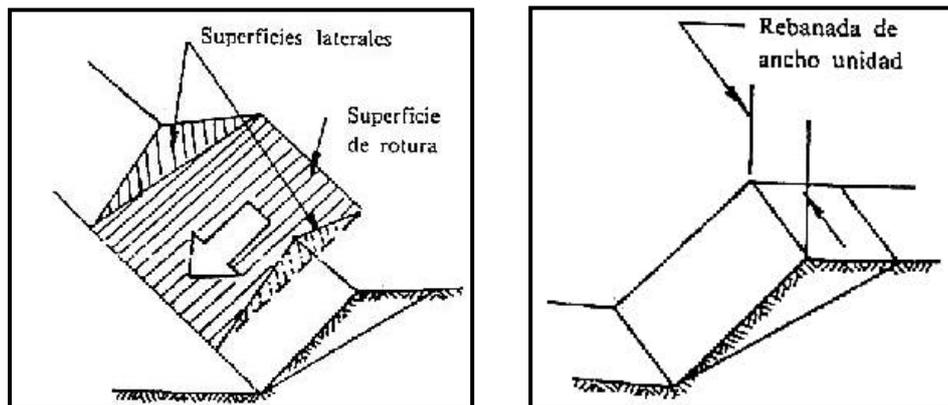


FIGURA VI.1 FALLA PLANAR

Estas condiciones permiten estudiar la estabilidad del talud como un problema bidimensional que se analiza considerando una rebanada de ancho unidad, limitada por dos planos verticales, perpendiculares al plano del talud.

### Geometría de la rotura planar

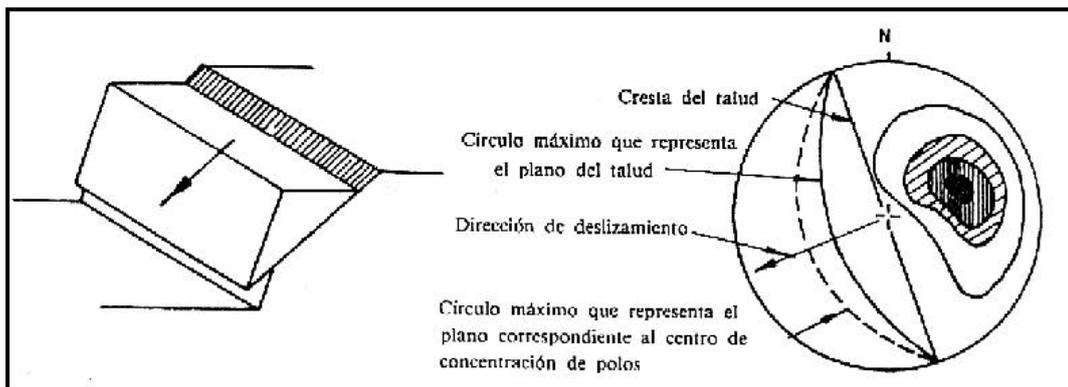
Si se representa el plano del talud y las discontinuidades en una estereofalsilla equiareal o de Schmidt se pueden tener una rotura de tipo planar cuando existe

una familia de discontinuidades de rumbo similar al del talud y buzamiento menor que éste.  $y_t > y_p$

donde:

$y_t$  = ángulo de buzamiento del talud.

$y_p$  = ángulo de buzamiento del plano de rotura.



**FIGURA VI.2 GEOMETRIA DE FALLA PLANAR**

### **Falla o rotura por cuñas**

Se denomina rotura por cuña o de borde, aquella que se produce a través de dos discontinuidades oblicuamente a la superficie del talud, con la línea de intersección de ambas aflorando en la superficie del mismo y buzando en sentido desfavorable. Este tipo de rotura se origina preferentemente en macizos rocosos en los que se da una disposición adecuada, en orientación y buzamiento de las diaclasas.

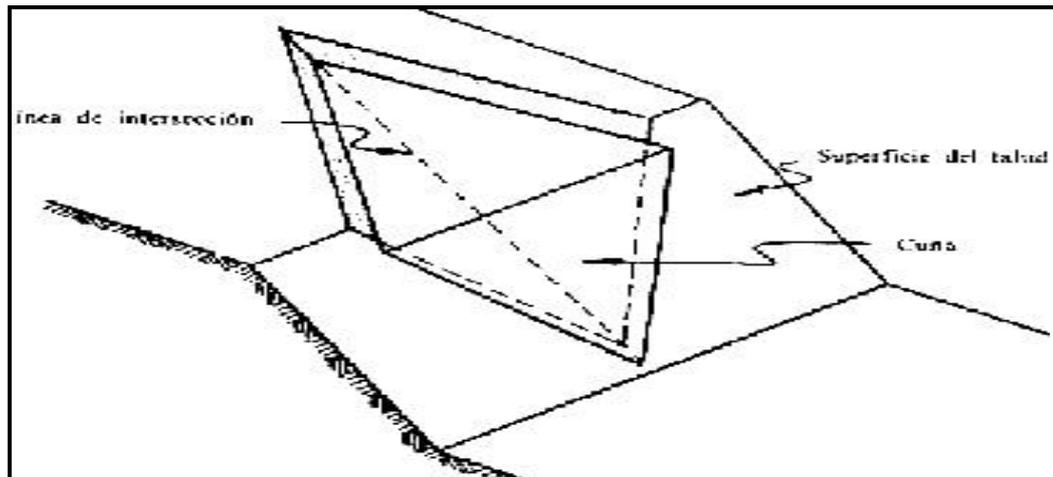


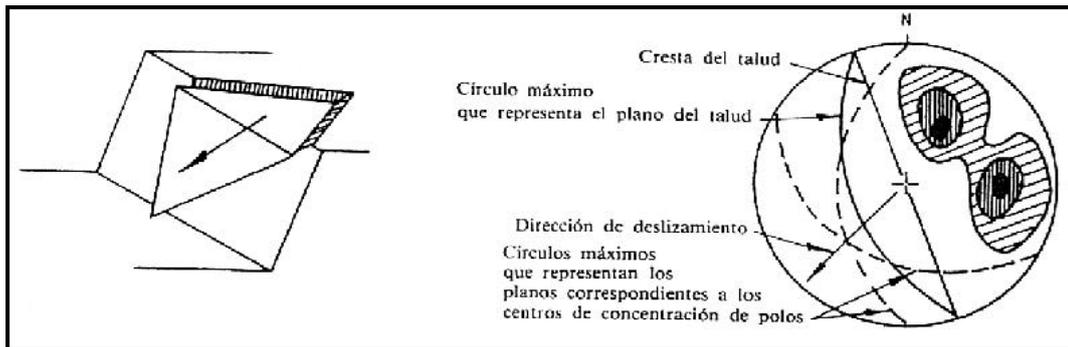
FIGURA VI.3 FALLA POR CUÑAS

### Geometría de la rotura por cuñas

Si proyectamos el plano del talud y las discontinuidades en una proyección semiesférica equiareal de Schmidt, la disposición típica de los casos en que es posible este tipo de rotura, es como el que aparece en la figura adjunta. En ella se aprecian dos familias de discontinuidades de rumbos oblicuos respecto al del talud, quedando el rumbo de éste comprendido entre los de las familias de discontinuidades.

La dirección de deslizamiento es la de la intersección de las dos familias de discontinuidades y ha de tener menos inclinación que el talud.

Si se representa una sección vertical del talud por la línea de intersección de los dos planos sobre los que desliza la cuña, la condición geométrica que hace posible el deslizamiento es:



**FIGURA VI.4 GEOMETRIA DE LA FALLA POR CUÑAS**

La dirección de deslizamiento es la de la intersección de las dos familias de discontinuidades y ha de tener menos inclinación que el talud.

Si se representa una sección vertical del talud por la línea de intersección de los dos planos sobre los que desliza la cuña, la condición geométrica que hace posible el deslizamiento es:

$Y_i < Y_t$  donde:

$Y_i$  = ángulo de inclinación de la línea de intersección, cuya dirección es la dirección de deslizamiento.

$Y_t$  = ángulo de inclinación del talud, medido en la sección vertical indicada, que sólo será igual al talud,  $Y_t$  si la línea de intersección está contenida en una sección perpendicular al mismo.

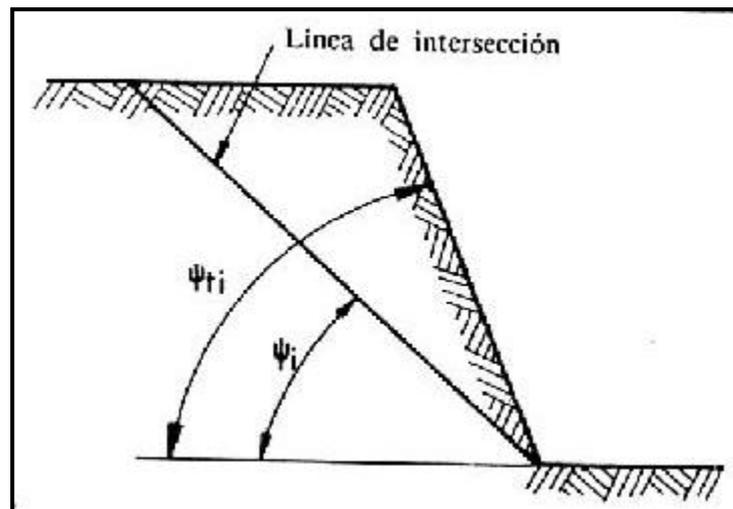


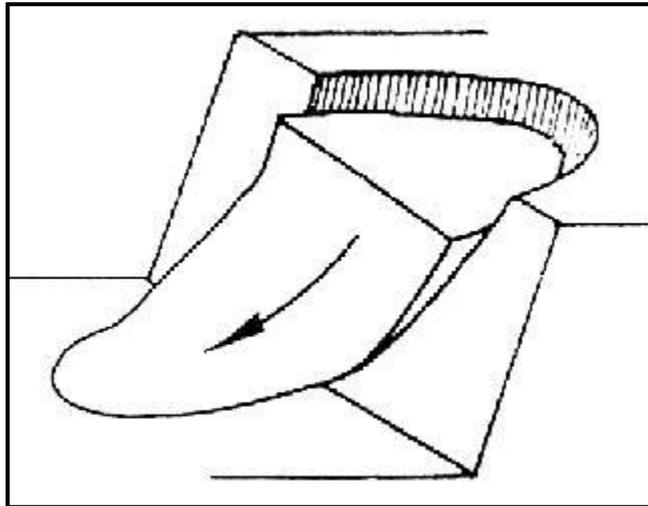
FIGURA VI.5. TALUD

### Fallas o roturas circulares y curvas

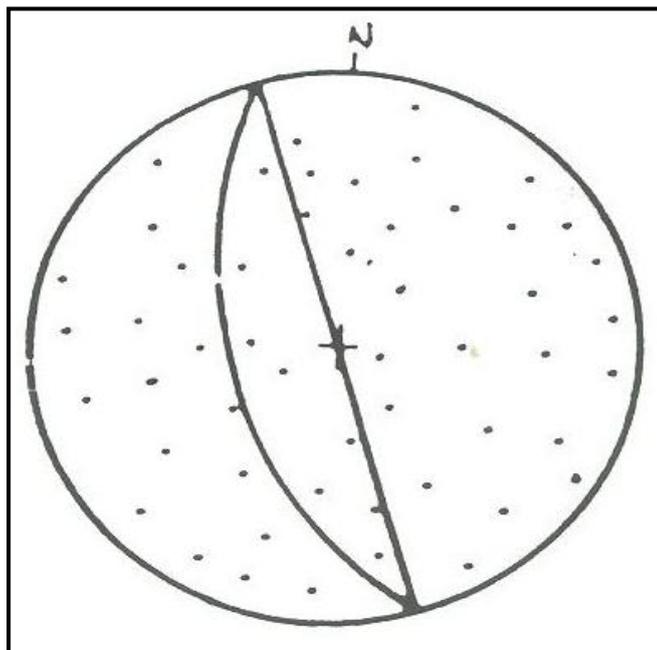
Se llama rotura circular a aquella en la que la superficie de deslizamiento es asimilable a una superficie cilíndrica cuya sección transversal se asemeja a un arco de círculo.

Este tipo de rotura se suele producir en terrenos homogéneos, ya sea suelos o rocas altamente fracturadas, sin direcciones preferenciales de deslizamiento, en los que además ha de cumplirse la condición de que el tamaño de las partículas de suelo o roca sea muy pequeño en comparación con el tamaño del talud.

El método más utilizado para resolver el cálculo de estabilidad por rotura circular es el de las dovelas o rebanadas.



**FIGURA VI.6 FALLA CIRCULAR**



**FIGURA VI.7 ESTEREOGRAFIA DE UNA FALLA CIRCULAR**

### Fallas o roturas por volcamiento

Este tipo de rotura por volcamiento tiene el buzamiento de la discontinuidad contrario al del talud, el buzamiento de la discontinuidad  $> 60^\circ$ .

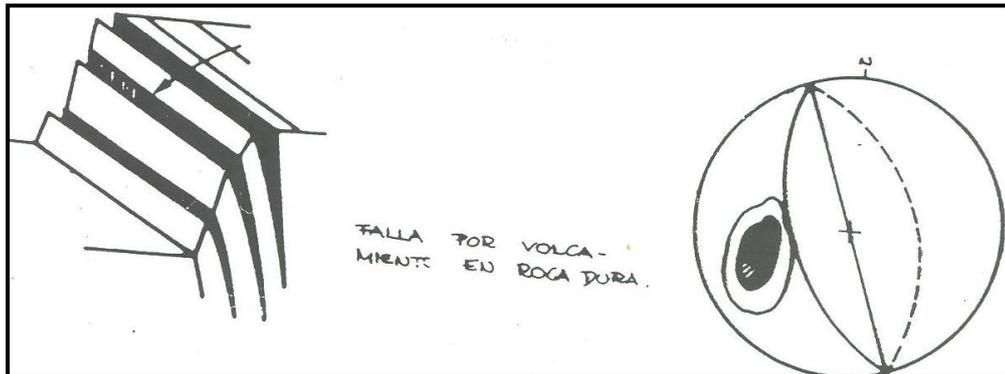


FIGURA VI.8 FALLA POR VOLCAMIENTO

### Resistencia al corte – estados de tensiones

Definición de resistencia al corte

Se denomina como resistencia al corte de un suelo a la tensión de corte o cizallamiento en el plano de corte y en el momento de falla. El ingeniero debe entender la naturaleza de la resistencia al corte para analizar los problemas de capacidad de carga, estabilidad de taludes y presiones laterales sobre estructuras de contención de tierra.

Los primeros estudios sobre la resistencia al corte de los suelos fueron efectuados por el ingeniero francés C.A. Coulomb (1736-1806), quien en una primera aproximación al problema, atribuyó éste fenómeno a la fricción producida entre las partículas de suelo como una extensión del concepto de la mecánica. Su teoría

de falla establece que el material falla cuando el esfuerzo cortante actuante en un plano alcanza un valor límite máximo.

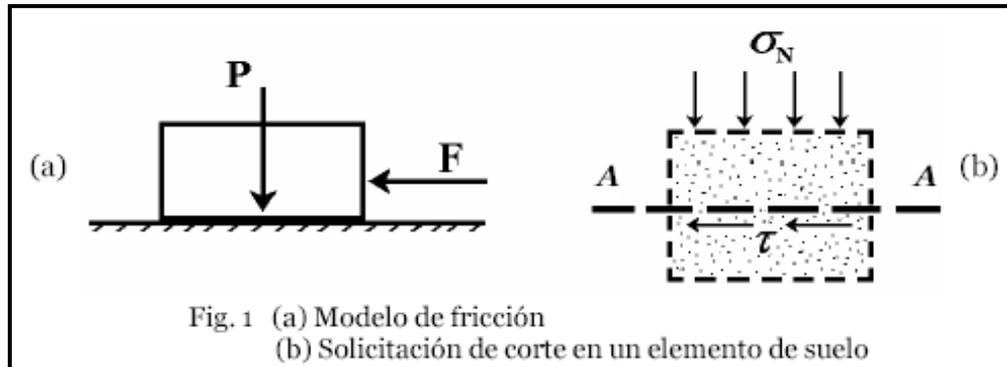


FIGURA VI.9 MODELO DE RESISTENCIA AL CORTE

Generalizando, se tiene que, dada una masa de suelo y un plano potencial de falla  $AA'$ , según Fig. 1.b, el esfuerzo de corte que puede resistir la masa de suelo por unidad de área es proporcional al valor de  $\sigma$  (presión normal en dicho plano). De éste modo se obtiene que  $\tau = \sigma \cdot \text{tg} \varphi$

La constante de proporcionalidad  $\text{tg} \varphi$ , fue definida por Coulomb en términos de un ángulo al que denominó *ángulo de fricción interna*. Analizando la ecuación se deduce que para  $\sigma = 0$  es  $\tau = 0$ . Pero Coulomb observó que existían materiales que sin presiones normales aplicadas sobre el plano de corte presentaban una cierta resistencia al cizallamiento. Para estos suelos consideró una nueva constante a la que denominó *cohesión*  $\tau = c$ . Como, en general, los suelos presentan un comportamiento mixto, Coulomb determinó que la resistencia de los suelos debía expresarse como la suma de ambos comportamientos: la resistencia debida a la fricción interna y la resistencia debida a la cohesión. Así estableció lo que hoy se denomina Ley de Coulomb.  $\tau = c + \sigma \cdot \text{tg} \varphi$ .

### Componentes de la resistencia al corte

De la ley de Coulomb se desprende que la resistencia al corte de suelos en términos generales tiene dos componentes:

a) **Fricción ( $\text{tg } \Phi$ )**

Que se debe a la relación entre partículas y al roce entre ellas cuando están sometidas a esfuerzos normales.

b) **Cohesión**

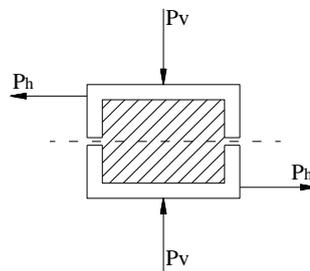
Que se debe a fuerzas internas que mantienen unidas a las partículas en una masa.

Es decir, los valores de  $c'$ ,  $\phi'$  y  $c$ ,  $\phi$ . Estos se obtienen, a menudo en ensayos de laboratorio realizados sobre muestras de suelo representativas mediante el ensayo de corte directo (ASTM D-3080-72) o el ensayo de compresión Triaxial (ASTM D-2805-70).

Determinación de los parámetros de resistencia al corte

### ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Se le impone a la muestra un plano de rotura localizado sobre el que actúa una



carga  $P_v$  que genera una tensión normal  $\sigma_1$ , y se aplica una fuerza tangencial  $P_h$  que desplaza la parte móvil de la caja produciendo la tensión de corte  $\tau$ .

Se requieren al menos dos pares de valores  $\sigma - \tau$  para obtener las incógnitas  $c$  y  $\varphi$  de la ecuación de Coulomb. La ventaja de este ensayo es que es fácil de ejecutar e interpretar y rápido en el caso de ensayos drenados por el corto camino a recorrer por el agua. Entre las desventajas se puede citar que la superficie de rotura no es necesariamente la más débil y la distribución de tensiones no es uniforme. Además, el área de la muestra cambia a medida que el ensayo progresa; este cambio es complejo de calcular sobre todo en el caso de muestras circulares.

Durante el ensayo se miden las deformaciones horizontales y verticales de la muestra. El ensayo se puede realizar de dos maneras:

- **A deformación controlada:** se aplica una velocidad de deformación preestablecida, por ejemplo, 1 mm por minuto, y se controla la carga máxima para alcanzar esa deformación a cada instante.
- **A tensión controlada:** aplican cargas de magnitudes conocidas y se observan las deformaciones generales.

Como resultado se obtienen gráficas de  $\tau/\sigma$  en función de la deformación horizontal para cada estado de carga, y con los valores máximos de  $\tau$  para diferentes tensiones normales  $\sigma$  se traza la gráfica de resistencia  $\tau = f(\sigma)$ .

### **Ensayo de compresión triaxial**

Este ensayo permite determinar las tensiones y deformaciones de probetas de suelo al variar los esfuerzos que actúan, obteniendo la cohesión  $c$  y ángulo de fricción interna  $\varphi$ .

Entre las ventajas de este ensayo tenemos:

- Pueden controlarse las condiciones de consolidación y drenaje
- Permite medición de cambios de volumen

- Puede monitorearse el estado de tensiones durante el ensayo
- Se puede realizar tanto en suelos cohesivos como granulares.
- Puede reproducirse un estado de tensiones similar al que tiene el suelo en la naturaleza.

Las desventajas de tipo operativo, ya que el equipo y el ensayo en sí es bastante complejo y obliga a extremar los cuidados durante todas las etapas de ensayo.

Se distinguen tres tipos de ensayos triaxiales:

- No consolidado - no drenado, o no consolidado rápido. Denominado **R** (rápido), **Q** (quick) o **UU** (unconsolidated - undrained)
- Consolidado no drenado o consolidado rápido, que puede ser con o sin medición de la presión de poros. Denominado **RC** (consolidado rápido) o **CU** (consolidated undrained)
- Drenado o lento. Denominado **L** (lento), **S** (slow) o **CD** (consolidated drained)

En todos los casos el ensayo consiste en aislar una muestra de suelo inalterada o remoldeada a una densidad prefijada, en una membrana de goma fina dentro de una cámara de compresión. La cámara se llena con un líquido que le imprime a la muestra la presión deseada que constituyen los esfuerzos principales de confinamiento. Este proceso, puede hacerse en condiciones drenadas o de drenaje impedido. La carga vertical o esfuerzo desviador, se aplica mediante un vástago que penetra en la cámara y actúa sobre el suelo a través de un plato de carga.

La preparación de la probeta requiere el máximo cuidado, las dimensiones usuales son 35 mm de diámetro y 70 mm de altura aunque pueden ser mayores si se trata de materiales granulares. En general se trata de mantener una relación mínima de 2 entre la altura y el diámetro de la probeta, para minimizar efectos de borde. Debe tenerse la precaución de eliminar el aire que pueda existir entre la membrana y la probeta. Una vez armado el conjunto de base, el cabezal inferior, probeta,

cabezal superior y membrana, se coloca la cámara de lucita y la tapa que se ajusta cuidadosamente.

El vástago transmite la presión vertical. Se llena la cámara de líquido que puede ser agua, aceite o glicerina eliminando todas las burbujas de aire, y se coloca la cámara triaxial en la prensa conectándose los flexímetros que medirán las deformaciones  $\Delta l$  y las dimensiones del anillo dinamométrico  $\Delta F$ . Actualmente estas mediciones se efectúan por medio de strain-gages y lecturas digitales. Los equipos modernos poseen sistemas de medición continua y almacenamiento de datos, lo que permite “programar el ensayo” antes de su desarrollo.

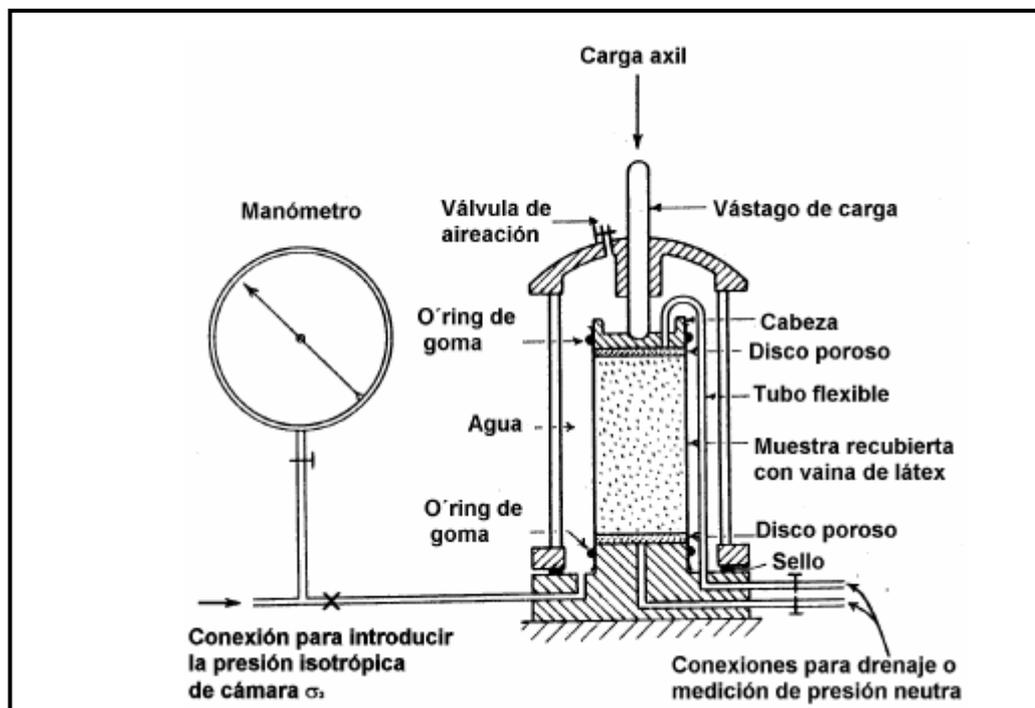


FIGURA VI.10. ESQUEMA DE CÁMARA TRIAXIAL

Para cualquier tipo de ensayo triaxial hay dos etapas:

TIPO DE ENSAYO	ETAPA I		ETAPA II		Duración Del Ensayo
	Solicitud isotrópica		Solicitud anisotrópica		
	Drenaje	Gráficas	Drenaje	Gráficas	
<b>Q</b>	No	No	No	$(\sigma_1 - \sigma_3) = f(\epsilon)$	Minutos
<b>R</b>	Si	$\Delta V / V_0 = f(t)$	No	Idem + $U = f(t)$	Depende del tipo de suelo
<b>S</b>	Si	$\Delta V / V_0 = f(t)$	Si	Idem + $\Delta V / V_0 = f(\epsilon)$	Depende del tipo de suelo

**TABLA VI.1 ETAPAS DEL ENSAYO TRIAXIAL**

### Esclerómetro o Martillo de Schmidt

Mediante este aparato pueden hacerse ensayos “in situ” que nos permiten estimar la resistencia a compresión simple de la roca.

Su uso es muy extendido debido a su facilidad de transporte, que permite realizar un número grande de medidas en poco tiempo, y que puede aplicarse tanto encima de la matriz rocosa como en las paredes de una discontinuidad.



**VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.**



**FIGURA VI.11. H-2975 MARTILLO PARA ENSAYO DE CONCRETO HORMIGÓN (PROCEQ SCHMIDT TEST HAMMER).**

#### Características

- Modelo N: los valores de rebote se leen en una escala para calcular posteriormente el promedio. Los valores de resistencia a la compresión se pueden leer en un diagrama de conversión.
- Modelo L: presenta las mismas características que el modelo N, pero con una energía de impacto tres veces menor.
- Modelo LR: presenta las mismas características que el modelo NR, pero con una energía de impacto tres veces menor. El modelo LR también dispone de una banda de papel con capacidad para 4000 impactos de ensayo sin necesidad de recarga.

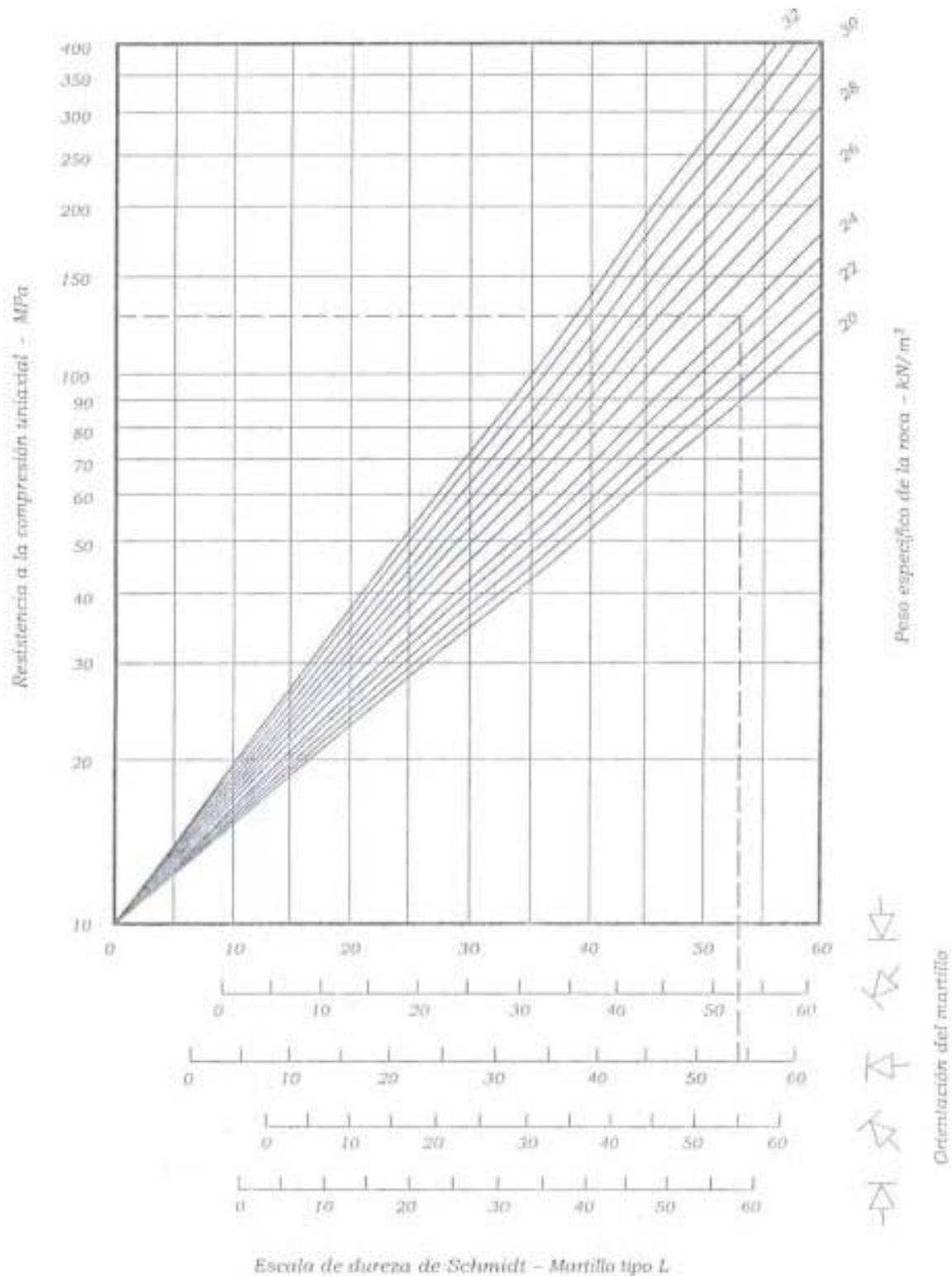
#### Aplicaciones

- En la mecánica de rocas, los martillos del modelo L/LR se utilizan, por lo general, para ensayos de clasificación de núcleos de rocas y rocas frágiles.

### Normalización

- ISO/DIS 8045
- EN 12 504-2
- ENV 206
- DIN 1048, parte 2
- BS 1881, parte 202
- ASTM C 805
- ASTM D 5873 (Roca)
- NFP 18-417
- B 15-225
- JGJ/T 23-2001
- JJG 817-1993

El ensayo mide la resistencia de rebote de la superficie de roca ensayada. Esta medida se correlaciona con la resistencia a compresión simple de la roca mediante el gráfico de correlación de Miller.



**FIGURA VI.12. Gráfico de correlación entre el resultado del esclerómetro y la resistencia a la compresión simple (Miller, 1965).**

VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

## CAPÍTULO VII

### RESULTADOS

#### Geología Local

El área objeto de estudio está ubicada dentro de la Formación Las Mercedes, compuesta en su totalidad por esquistos cuarzo-grafitosos calcáreos y micáceos, filitas grafitosas y calizas cristalinas en capas lenticulares delgadas. El área se dividió en cinco (5) zonas, dentro de las cuales se realizaron estudios detallados de descripción, medición del diaclasado y posterior clasificación del macizo rocoso.

Las secciones finas obtenidas de las muestras de mano recolectadas en las zonas de estudio y posteriormente analizadas petrográficamente dieron como resultado porcentajes mineralógicos que permitieron la clasificación litológica de los litotipos característicos de la Formación Las Mercedes.

Las zonas en las cuales se dividió el área de estudio quedaron delimitadas de la siguiente manera:

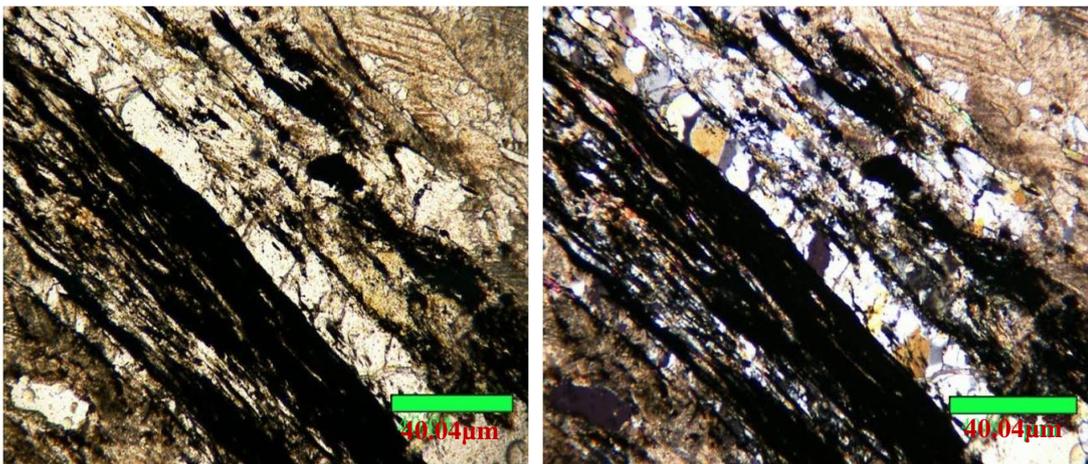
- **Zona I**, ubicada entre las progresivas 7+450 y 7+900 pertenecientes al eje del túnel, correspondiente al lugar denominado Maga y Cerrajería Portuguesa hasta la Quebrada El Placer.
- **Zona II**, ubicada entre las progresivas 7+900 y 8+290 pertenecientes al eje del túnel, correspondiente al lugar denominado Quebrada El Placer hasta Quebrada Aguacatico.
- **Zona III**, ubicada entre las progresivas 8+290 y 8+640 pertenecientes al eje del túnel, correspondiente al lugar denominado Quebrada Aguacatico hasta el Barrio El Aguacate.

- **Zona IV**, ubicada entre las progresivas 8+640 y 9+440 pertenecientes al eje del túnel, correspondiente al lugar denominado Barrio El Aguacate hasta la Quebrada Guarenas.
- **Zona V**, ubicada entre las progresivas 9+440 y 10+600 pertenecientes al eje del túnel, correspondiente al lugar denominado Quebrada Guarenas hasta la Quebrada Helipuerto.

### **Petrografías**

Seguidamente se muestran los resultados del análisis petrográfico realizado a las muestras recolectadas en cada una de las zonas antes citadas, de acuerdo a los porcentajes mineralógicos obtenidos se determinaron los litotipos respectivos.

### **ZONA I**



**FOTO N° VII.1 VETAS DE CUARZO**

Se observan los planos de foliación, intrusiones de cuarzo con cristales de calcita, grafito. Izquierda nicoles paralelos. Derecha nicoles cruzados. Foto tomada con objetivo 4X de aumento.

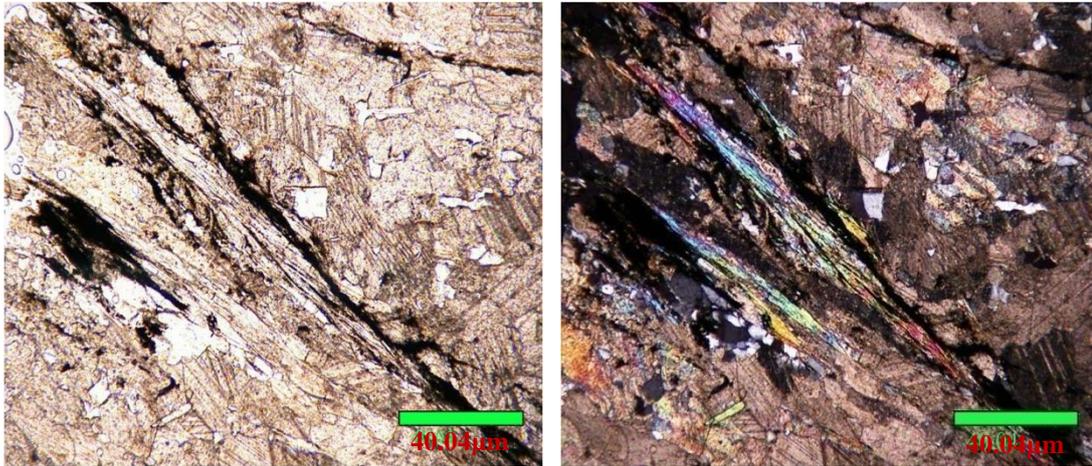


FOTO VII.2 MOSCOVITA

Cuarzo policristalino, cristales de moscovita y calcita alineados con los planos de foliación, cristales de epidoto. Izquierda nicoles paralelos. Derecha nicoles cruzados. Foto tomada con objetivo 4X de aumento.

**TABLA VII.1 ESTIMACIONES PORCENTUALES DEL ANÁLISIS PETROGRÁFICO DE LAS SECCIONES DELGADAS PERTENECIENTES A LA ZONA I**

MUESTRA	Qz	Ca	Mu	Gr	Ep
M-001	40	15	30	14	1

Cuarzo (Qz), Calcita (Ca), Moscovita (Mu), Grafito (Gr), Epidoto (Ep).

La sección delgada analizada presenta cristales de cuarzo como mineral mayoritario, se observan cristales de este mineral dispuestos paralelamente al grafito presente en la sección, de igual forma los cristales de calcita y moscovita encontrados en la sección analizada. Debido a lo anteriormente señalado el arreglo paralelo de los minerales presente en la sección indica la textura foliada presente en las rocas metamórficas específicamente los esquistos por lo cual podemos definir como litotipo característico de la zona I, **un esquisto cuarzo moscovítico grafitoso calcáreo.**

**Cuarzo:** Se presentan como cristales anhedrales policristalinos y monocristalinos, con un tamaño que oscila entre 0,02 y 1 mm y una moda de 0.7 mm. Se pueden observar como poiquilos en cristales de calcita, en algunos casos.

**Calcita:** En general se presentan como cristales anhedrales dispuestos aleatoriamente en este caso. Presenta exfoliación romboédrica que se observa fácilmente y sus cristales poseen un tamaño promedio de 0,6 mm.

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

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

**Epidoto:** Aparecen en contacto con los filosilicatos y en mínimas concentraciones.

## ZONA II

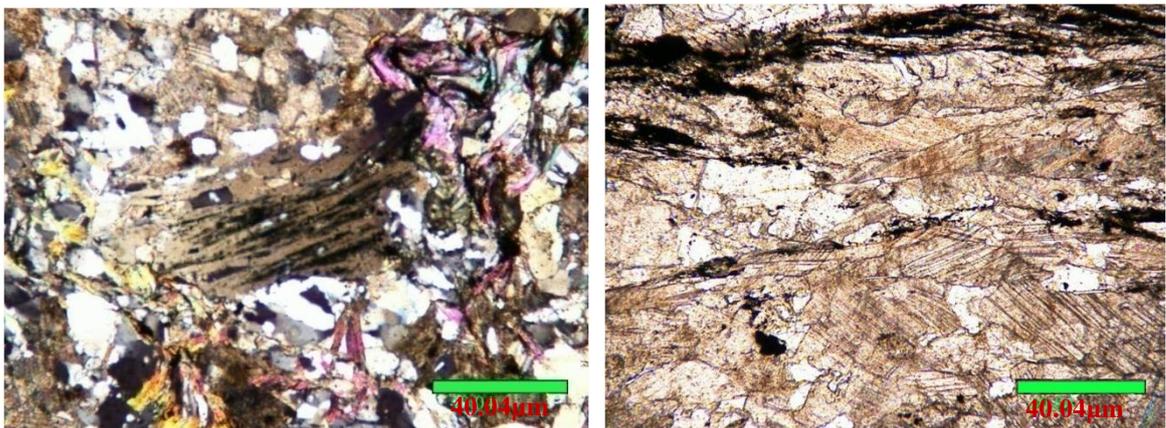


FOTO N° VII.3 PLAGIOCLASAS

VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

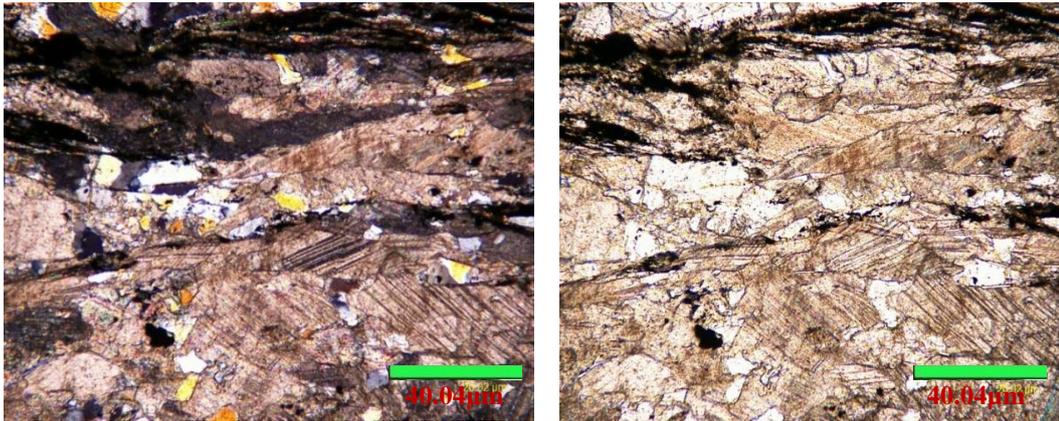


FOTO N° VII.4 PLAGIOCLASAS

Cuarzo, Grafito, Plagioclasas, Calcita con planos de foliación subparalelos. Izquierda nicoles paralelos. Derecha nicoles cruzados. Foto tomada con objetivo 4X de aumento.

Cuarzo metamórfico monocristalino, Intrusiones de cuarzo con cristales de calcita, grafito, cristales de moscovita formando micropliegues y oxido de hierro. Izquierda nicoles paralelos. Derecha nicoles cruzados. Foto tomada con objetivo 4X de aumento.

**TABLA N° VII.2. ESTIMACIONES PORCENTUALES DEL ANÁLISIS PETROGRÁFICO DE LAS SECCIONES DELGADAS PERTENECIENTES A LA ZONA II**

MUESTRA	Qz	Ca	Mu	Gr	Plag
M-002	40	30	15	10	5

Cuarzo (Qz), Calcita (Ca), Muscovita (Mu), Grafito (Gr), Plagioclasa (Plag).

La sección delgada analizada presenta cristales monocristalinos y policristalinos de cuarzo como mineral mayoritario, se observan cristales de este mineral y de calcita dispuestos de manera subparalela a las plagioclasas presente en la sección apreciándose el maclado de las mismas, de igual forma a los cristales de calcita y moscovita encontrados en la sección analizada. Debido a lo anteriormente señalado el arreglo subparalelo de los minerales presente en la sección indica la textura foliada presente en las rocas metamórficas específicamente los esquistos

**VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.**

por lo cual podemos definir como litotipo característico de la zona II, **un esquistó calcáreo cuarzo moscovítico grafitoso.**

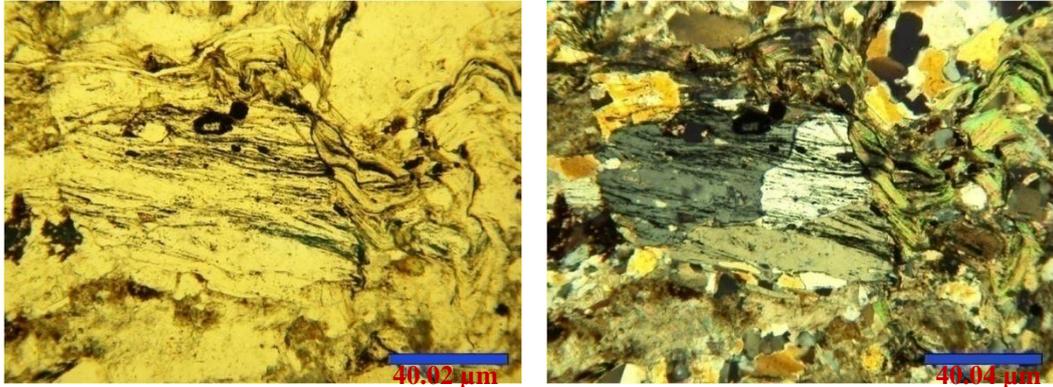
**Cuarzo:** Se presentan como cristales anhedrales policristalinos y monocristalinos, con un tamaño que oscila entre 0,02 y 1 mm y una moda de 0.7 mm. Se pueden observar como poiquilos en cristales de calcita, en algunos casos.

**Calcita:** En general se presentan como cristales anhedrales dispuestos aleatoriamente en este caso. Presenta exfoliación romboédrica que se observa fácilmente y sus cristales poseen un tamaño promedio de 0,6 mm.

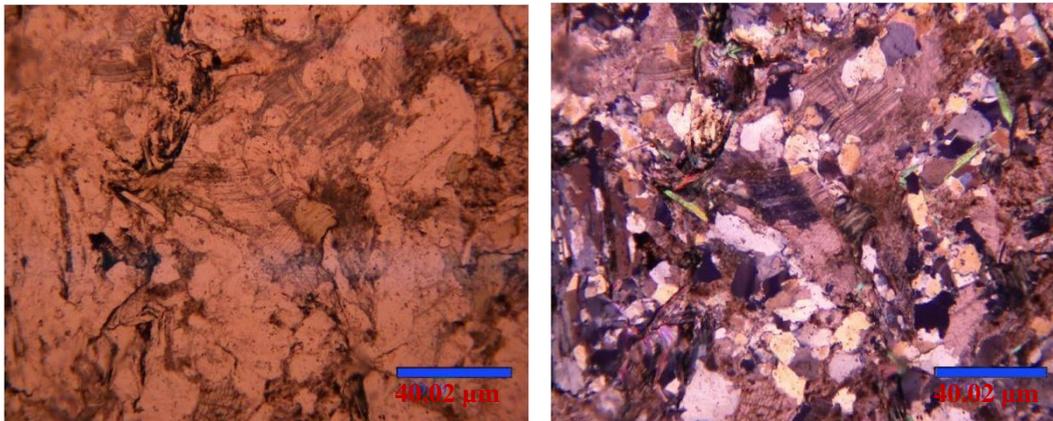
**Muscovita:** Se presentan distribuidas de dos maneras, como pequeñas concentraciones dispuestas de manera aleatoria y en bandas paralelas y de un espesor aproximado de 0,5 mm.

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

**Plagioclasa:** Feldespatos triclinicos de maclas polisintéticas, aparecen como cristales subhedrales, con tamaños promedios de 0,20 mm y distribuidos uniformemente a lo largo de toda la sección. Se pueden observar cristales alterando a arcilla.

**ZONA III****FOTO N° VII.5 CLORITA**

Cuarzo metamórfico policristalino, Cuarzo de origen sedimentario saturado, Clorita de color verde (izquierda), Moscovita formando micropliegues. Izquierda nicoles paralelos. Derecha nicoles cruzados. Foto tomada con objetivo 4X de aumento

**FOTO VI. 6 MOSCOVITA**

Cuarzo, Intrusiones de cuarzo con cristales de calcita, grafito, cristales de muscovita, Augen de Óxidos de Hierro. Izquierda nicoles paralelos. Derecha nicoles cruzados. Foto tomada con objetivo 4X de aumento.

**TABLA VII.3 ESTIMACIONES PORCENTUALES DEL ANÁLISIS PETROGRÁFICO DE LAS SECCIONES DELGADAS PERTENECIENTES A LA ZONA III**

MUESTRA	Qz	Ca	Mu	Gr	Cl
M-003	45	10	30	10	5

Cuarzo (Qz), Calcita (Ca), Muscovita (Mu), Grafito (Gr), Clorita (Cl).

La sección delgada analizada presenta cristales policristalinos de cuarzo como mineral mayoritario, cuarzo de origen sedimentario saturado monocristalino se reconocen al presentar sobrecrecimiento de cuarzo sobre los granos, se observan intrusiones de cristales de cuarzo y calcita. Se aprecia un porcentaje medio de cristales micáceos generando micropliegues evidenciando el alto grado de metamorfismo y tectonismo de la zona, de textura granoblastica; textura no direccional equigranular. Podemos definir como litotipo característico de la zona III, un **esquistó cuarzo-micáceo grafitoso**.

**Cuarzo:** Se presentan como cristales anhedrales policristalinos, con un tamaño que oscila entre 0,02 y 1 mm y una moda de 0.7 mm. Se pueden observar como poiquilos en cristales de calcita, en algunos casos.

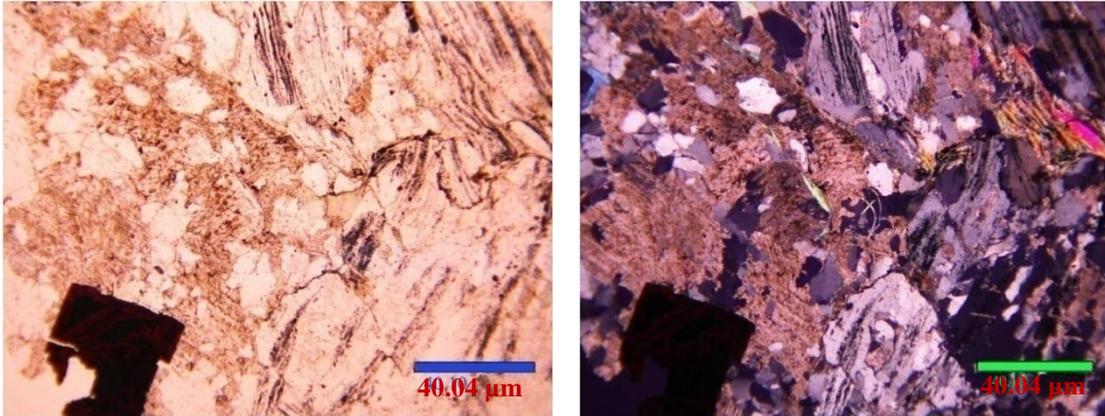
**Calcita:** En general se presentan como cristales anhedrales dispuestos aleatoriamente en este caso. Presenta exfoliación romboédrica que se observa fácilmente y sus cristales poseen un tamaño promedio de 0,6 mm.

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

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

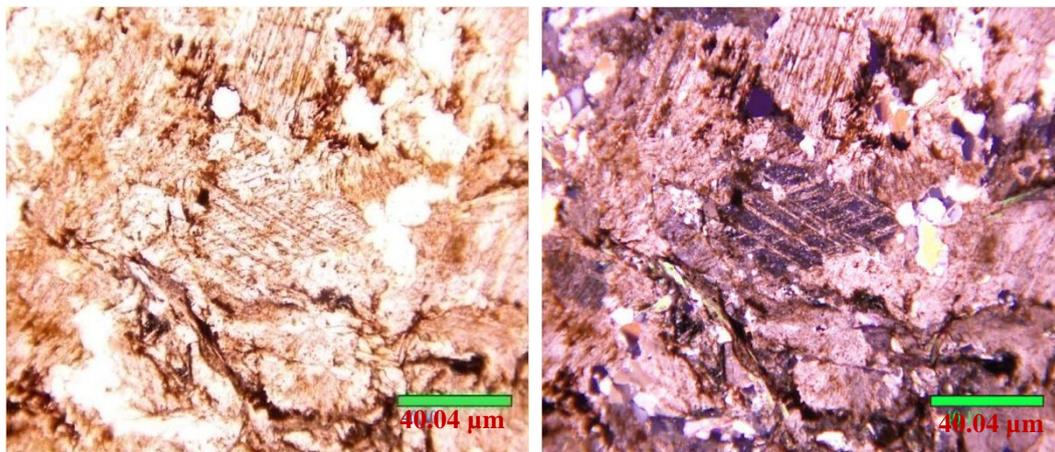
**Clorita:** Aparece como cristales tabulares, no presenta la textura de las verdaderas micas, dispuestas en bandas subparalelas en contacto con el cuarzo, grafito y muscovita.

#### ZONA IV



**FOTO VII.7 BIOTITA, MOSCOVITA**

Cuarzo metamórfico policristalino con alteraciones, Biotita, Moscovita y cristal de Pirita embebida en una matriz de remanentes arcillosos con óxidos de hierro. Izquierda nicols paralelos. Derecha nicols cruzados. Foto tomada con objetivo 4X de aumento.



**FOTO N° VII.8 BIOTITA, MOSCOVITA**

**VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.**

Cristal de Calcita con exfoliación romboédrica, Intrusiones de cuarzo con cristales de calcita, Grafito, fracturas rellenas de remanentes arcillosos con óxidos de hierro. Izquierda nicoles paralelos. Derecha nicoles cruzados. Foto tomada con objetivo 4X de aumento.

**TABLA VII.4 ESTIMACIONES PORCENTUALES DEL ANÁLISIS PETROGRÁFICO DE LAS SECCIONES DELGADAS PERTENECIENTES A LA ZONA IV**

MUESTRA	Qz	Ca	Mu	Bio	Pi	Gr
M-004	40	25	10	5	15	5

Cuarzo (Qz), Calcita (Ca), Muscovita (Mu), Biotita (Bio), Pirita (Pi), Grafito (Gr).

La sección delgada analizada presenta cristales policristalinos de cuarzo con alteraciones como mineral mayoritario, se observan cristales de Pirita (Sulfato de Hierro) presentando formas cúbicas y calcita con exfoliación romboédrica. Se aprecia un bajo porcentaje de cristales micáceos, con fracturas rellenas de remanentes arcillosos y óxidos de hierro. De textura granoblastica; textura no direccional equigranular. Podemos definir como litotipo característico de la zona IV, un **esquistó cuarzo calcáreo-micáceo moderadamente grafitoso**.

**Cuarzo:** Se presentan como cristales anhedrales policristalinos, con un tamaño que oscila entre 0,02 y 1 mm y una moda de 0.7 mm. Se pueden observar como poiquilos en cristales de calcita, en algunos casos.

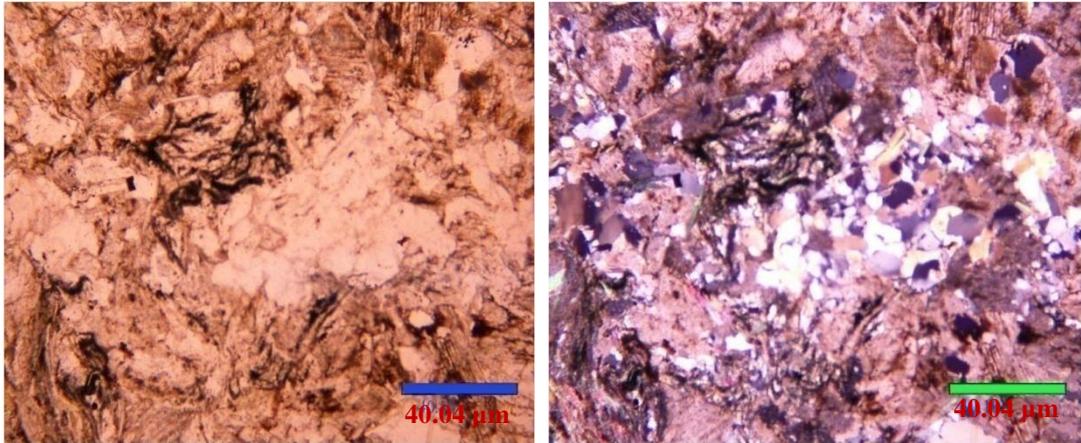
**Calcita:** En general se presentan como cristales anhedrales dispuestos aleatoriamente en este caso. Presenta exfoliación romboédrica que se observa fácilmente y sus cristales poseen un tamaño promedio de 0,6 mm.

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

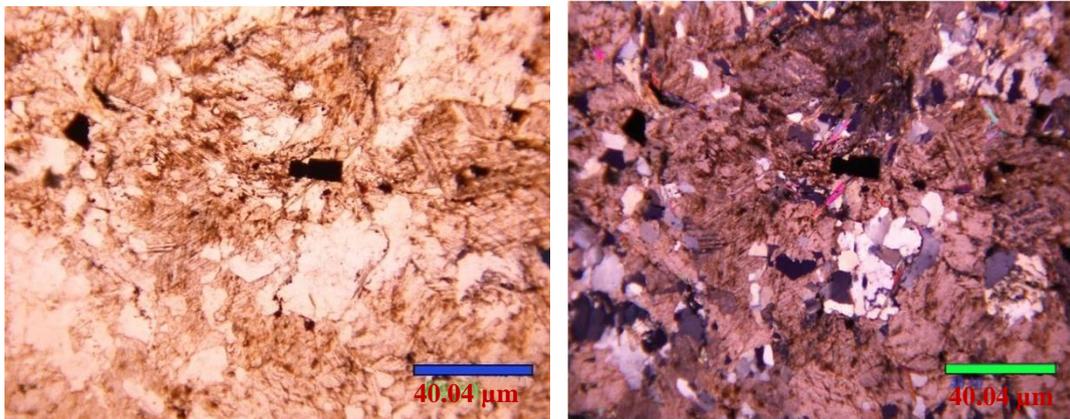
**Biotita:** Se presenta como laminas delgadas en contacto con moscovita y grafito.

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

**Pirita:** Se presentan como cristales euhedrales con bordes oxidados y un tamaño no mayor a 0,4 mm.

**ZONA V****FOTO VII.9 CUARZO**

Cuarzo metamórfico policristalino, remanentes arcillosos con óxidos de hierro, textura granoblastica. Izquierda nicoles paralelos. Derecha nicoles cruzados. Foto tomada con objetivo 4X de aumento.

**FOTO N° VII.10 CUARZO**

Cristal de Calcita con exfoliación romboédrica, Intrusiones de cuarzo con cristales de calcita y muscovita, cristales euhedrales de pirita, remanentes arcillosos con óxidos de hierro. Izquierda nicoles paralelos. Derecha nicoles cruzados. Foto tomada con objetivo 4X de aumento.

**TABLA N° VII.5. ESTIMACIONES PORCENTUALES DEL ANÁLISIS PETROGRÁFICO DE LAS SECCIONES DELGADAS PERTENECIENTES A LA ZONA V**

MUESTRA	Qz	Ca	Mu	Pi	Gr
M-005	45	30	5	15	5

Cuarzo (Qz), Calcita (Ca), Muscovita (Mu), Pirita (Pi), Grafito (Gr).

La sección delgada analizada presenta cristales de cuarzo metamórfico policristalinos como mineral mayoritario, se observan cristales de Pirita (Sulfato de Hierro) presentando formas cúbicas y calcita con exfoliación romboédrica. Se indica un bajo porcentaje de cristales micáceos. La textura presente en esta sección delgada es granoblástica, no direccional equigranular. El litotipo característico de la zona V, un esquistó **cuarzo calcáreo-micáceo moderadamente grafitoso**.

**Cuarzo:** Se presentan como cristales anhedrales policristalinos, con un tamaño que oscila entre 0,02 y 1 mm y una moda de 0.7 mm. Se pueden observar como poiquilos en cristales de calcita, en algunos casos.

**Calcita:** En general se presentan como cristales anhedrales dispuestos aleatoriamente en este caso. Presenta exfoliación romboédrica que se observa fácilmente y sus cristales poseen un tamaño promedio de 0,6 mm.

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

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

**Pirita:** Se presentan como cristales euhedrales con bordes oxidados y un tamaño no mayor a 0,4 mm.

Los litotipos identificados en el área de estudio son propios de las rocas metamórficas cuyo desarrollo estructural corresponden a regímenes tectónicos activos.

**TABLA N° VII.6. PROMEDIO - MINERALOGÍA LOCAL DE TODA LA ZONA**

<b>TABLA RESUMEN - MINERALOGÍA LOCAL</b>									
<b>ZONA / MINERALES</b>	<b>Qz</b>	<b>Ca</b>	<b>Mu</b>	<b>Gr</b>	<b>Ep</b>	<b>Plag</b>	<b>Cl</b>	<b>Bi</b>	<b>Pi</b>
ZONA I	40	15	30	14	1				
ZONA II	40	30	15	10		5			
ZONA III	45	10	30	10			5		
ZONA IV	40	25	10	5				5	15
ZONA V	45	30	5	5					15
<b>Totales / Promedios (%)</b>	<b>42</b>	<b>22</b>	<b>18</b>	<b>8.8</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>15</b>

Cuarzo (Qz), Calcita (Ca), Muscovita (Mu), Grafito (Gr), Epidoto (Ep),  
Plagioclasas (Plag), Clorita (Cl), Biotita (Bi), Pirita (Pi).

De acuerdo a los promedios porcentuales señalados en la tabla anterior y obtenidos del análisis petrográfico realizados a las secciones finas en las cuales se identificaron los componentes mineralógicos más abundantes en cada una de ellas, se puede decir que la geología local está caracterizada por el siguiente litotipo: **Esquistos Cuarzo Calcáreos-Muscovítico Grafitoso**, sin dejar de referir que una de las características de los esquistos además de ser rocas de estructura foliada, son rocas ricas en micas las cuales por su condición de minerales tabulares conforman ese arreglo paralelo característico de los esquistos micáceos

grafitosos. De igual manera observamos un promedio de 15% en óxidos ferruginosos, específicamente en cristales de pirita.

Las características geomecánicas de los esquistos son similares a la pizarra y filita, con la variación que implica un mayor grado de metamorfismo.

**TABLA N° VII.7. CARACTERÍSTICAS GEOMECAICAS**

<b>CARACTERÍSTICAS GEOMECAICAS</b>	
<b>PIZARRAS</b>	<b>FILITAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• En laderas producen el fenómeno conocido como “cabeceo” que consiste en una inclinación de las masas tabulares, definidas por la estratificación y la esquistosidad de la roca.</li> <li>• Son rocas impermeables y altamente exfoliables (utilizadas para techar) por lo tanto no son útiles para áridos de hormigones.</li> <li>• Su capacidad portante es función del grado de metamorfismo.</li> <li>• Aptas para presas de tierra y gravedad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tienen mayor capacidad portante que la pizarra, aunque su lustre en superficies de esquistosidad hace que sean más susceptibles a los deslizamientos.</li> </ul>

Como se ha mencionado anteriormente los esquistos son rocas metamórficas foliadas de grano medio, para esta zona de estudio y de acuerdo a los cristales observados en las secciones delgadas podemos identificar estos esquistos como Inequigranulares procedentes de un metamorfismo de contacto de rocas lutíticas.

Dado el contenido de minerales calcáreos y micáceos presentes en el litotipo definido en la zona de estudio los cuales han sido afectados por los agentes de meteorización tanto físicos y químicos, por procesos erosivos y de disolución

respectivamente, en tal sentido lo anterior trae como consecuencia la disgregación de la matriz foliada y granoblástica característica de estos litotipos rocosos.

### **Geología Estructural Local**

De acuerdo a las evidencias microestructurales presentes en las secciones delgadas analizadas petrologicamente y pertenecientes a la zona de estudio podemos decir que la textura foliada (filitas y esquistos) y granoblástica (calcita y mármoles), así como la foliación o estructuras planares son las más comunes en el área de estudio, estas estructuras geológicas son características en esquistos y filitas grafitosas, de igual manera se evidenciaron micropliegues formados por micas y cloritas, en el campo también se observaron zonas plegadas lo cual nos permite establecer el alto grado de deformación tectónica y metamórfica al cual a estado sometida el área de estudio.

### **Fallamiento Local**

A largo del trazado del eje del túnel el cual está comprendido entre las progresivas 7+450 a la 10+550, se encuentra una serie de fallas locales la cuales en su mayoría atraviesan dicho trazado, allí radica la importancia de describirlas en su totalidad para poder considerarlas al momento de hacer el diseño y la construcción del túnel.

Cabe destacar que estas fallas locales son consecuencia del sistema de fallas a escala regional al cual está sometida la zona y que inciden de forma directa en la formación de estas estructuras a nivel local.

En la progresiva 7+950 se encuentra una falla local cuyo orientación es N15° E, esta falla esta a lo largo de la quebrada el placer, la orientación de esta falla al momento de cortar el trazado del eje del túnel es prácticamente norte-sur.

En la progresiva 8+300 se evidencia otra falla (f), a la cual se unen otras dos fallas normales una hacia el este (f1) y la otra hacia el oeste f (2). La falla (f) tiene una orientación N32° E, f (2) N 75° E y (f3) N20° W.

En la progresiva 8+ 620 se encuentra una falla cuya orientación es N72° E, esta falla nace en el barrio el Aguacate.

En la progresiva 9+420 se ubica otra falla con orientación es N35° E, ésta y todas las fallas descritas anteriormente son fallas normales.

A continuación se muestra una imagen de las fotografías aéreas en la cual se resaltan las fallas en color rojo. En trazos cortos están representadas las fallas inferidas por el análisis fotogeológico y en trazo continuo las fallas locales vistas tanto en campo como en las fotos aéreas.

Además se representa en color azul el eje del trazado del túnel así como las curvas topográficas del área. En esta figura quedan evidenciados los puntos en los cuales las fallas cortan al eje del túnel.

En cuanto a las fallas inferidas se puede hacer la siguiente observación:

En el área se evidencia una falla principal cuya orientación es casi este-oeste, hacia el este esta falla corta al eje, siendo prácticamente paralela al mismo. Esta es la falla mas importante del área ya que es la de mayor extensión y es la que genera mayor problema al túnel ya que es paralela al mismo A dicha falla se unen otras dos de menor tamaño la que está ubicada más al oeste con una orientación N 80° E, la que está más al este y a la cual se unen otras dos fallas paralelas entre sí tiene una orientación aproximada N65°W.

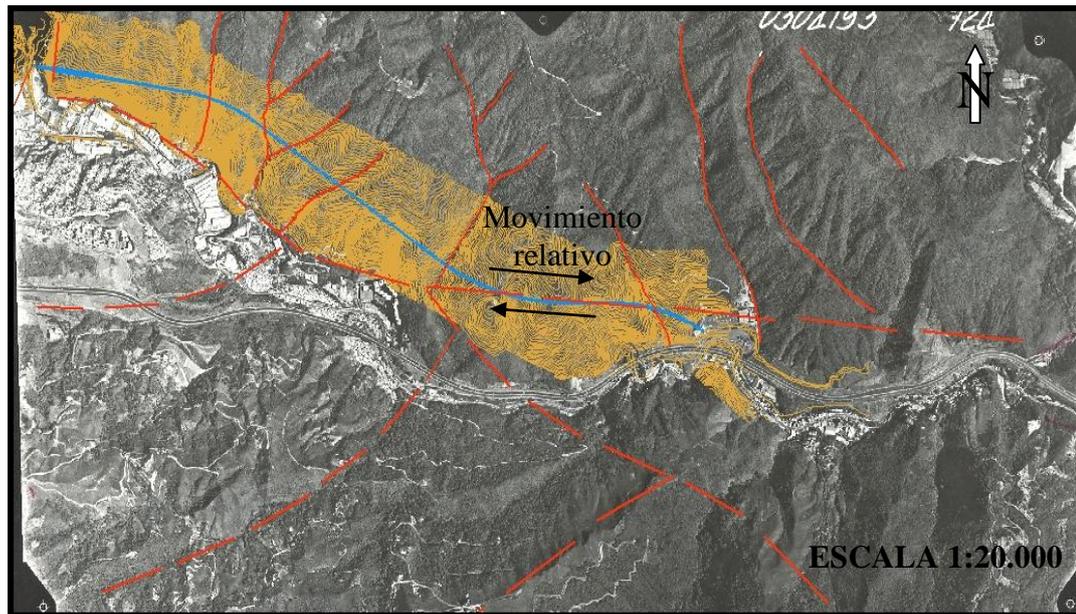
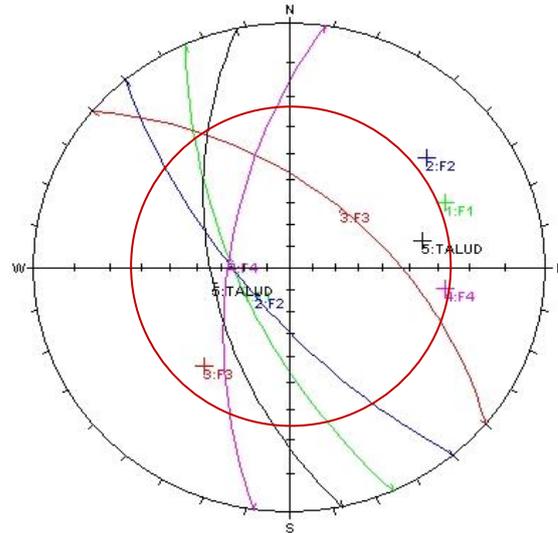


FIGURA N° VII.1 FOTOGRAFÍA AÉREA MOSTRANDO LOS SISTEMAS DE FALLAS

VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

## Representación por zonas de la concentración de polos de los planos de diaclasas en el programa *Dips*.

### Zona I: Cerrajería Portuguesa y Empresa Maga



De acuerdo a los resultados proyectados en el gráfico obtenido del DIP, se puede interpretar como es el comportamiento geotécnico de la zona en estudio. Del conjunto de discontinuidades medidas en la zona se establecieron cuatro (04) familias de diaclasas;  $Fd_1$ ,  $Fd_2$ ,  $Fd_3$  y  $Fd_4$ . Los planos de discontinuidad que se interceptan en el gráfico obtenido del DIP en esta zona son  $Fd_3$  y  $Fd_4$  lo cual ocurre fuera de la cara del talud, la recta de intersección entre estos planos tiene menor buzamiento que el talud y en el mismo sentido, con una dirección de deslizamiento sur-oeste, estas evidencias indican que estamos en presencia de posibles fallas en cuñas o fallas de borde. Cabe señalar que la intersección de estos planos de discontinuidad caen en la zona de inestabilidad cinemática la cual se genera en el gráfico del DIP, por la intersección entre la cara de afuera del plano del talud y el círculo generado por el ángulo de fricción ( $\Phi$ ) que para esta zona es  $27^\circ$ , de igual manera por encontrarse la intersección frente a la cara del talud también se considera estar ubicada en la zona mecánicamente inestable.

Para las  $Fd_1$  y  $Fd_2$ , se puede decir que los planos de discontinuidad que ellas generan en el gráfico se encuentran ubicados detrás del talud, zona cinemática y mecánicamente estable.

Por lo antes expuesto, el comportamiento de los planos de discontinuidad y de acuerdo a los resultados obtenidos de los gráficos proyectados por DIP, podemos interpretar que la tendencia de la zona cinemática y mecánicamente estable.

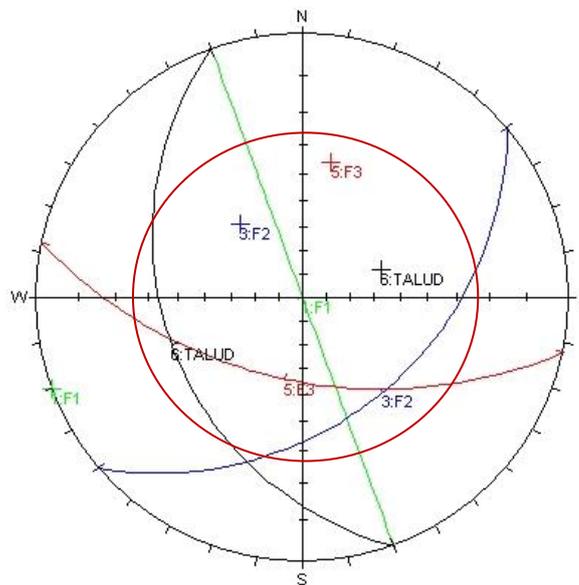


**FOTO N° VII.11 FOLIACIÓN**



FOTO N° VII.12 PATRONES DE DIACLASAS

**ZONA 2: Camino el Placer**

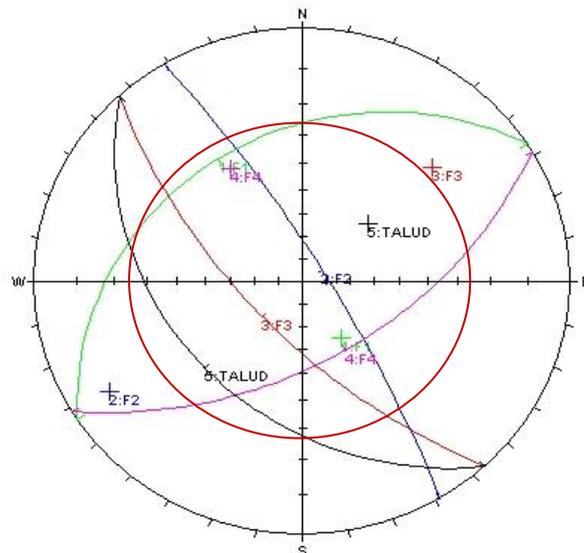


VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

De acuerdo a los resultados proyectados en el gráfico obtenido del DIP, se puede interpretar como es el comportamiento geotécnico de la zona en estudio. Del conjunto de discontinuidades medidas en la zona se establecieron tres (03) familias de diaclasas;  $Fd_1$ ,  $Fd_2$  y  $Fd_3$ . Los planos de discontinuidad que se interceptan en el gráfico obtenido del DIP en esta zona son  $Fd_2$  y  $Fd_3$  estando estos detrás de la cara del talud, la recta de intersección entre estos planos tiene mayor buzamiento que el talud, por lo cual podemos considerar no estar en presencia de fallas en cuñas o fallas de borde. Cabe señalar que la intersección de estos planos de discontinuidad caen detrás de la cara del talud zona cinemática y mecánicamente estable, el ángulo de fricción ( $\Phi$ ) para esta zona es  $27^\circ$  y no se intersepta en el gráfico proyectado por el DIP con el plano del talud lo cual no genera zonas cinemáticamente inestables.

Para esta zona las  $Fd_1$ ,  $Fd_2$  y  $Fd_3$ , se encuentran ubicadas detrás de la cara del talud, por lo que podemos interpretar esta zona como cinemática y mecánicamente estable.

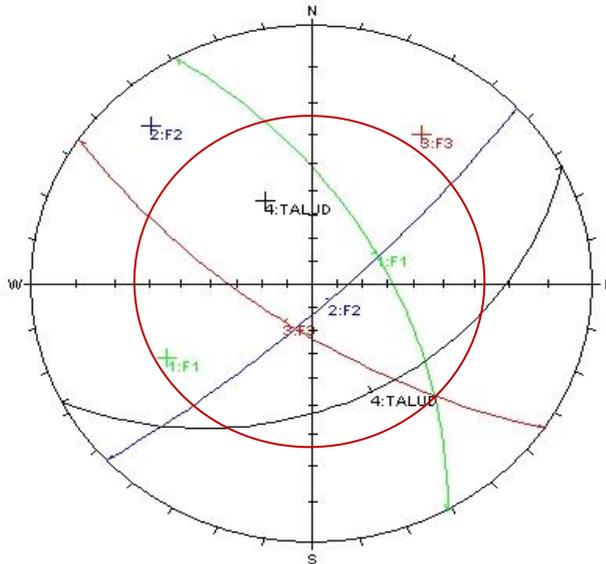
### **ZONA 3: Quebrada El Aguacatico y Barrio El Aguacate**



De acuerdo a los resultados proyectados en el grafico obtenido del DIP, se puede interpretar como es el comportamiento geotécnico de la zona en estudio. Del conjunto de discontinuidades medidas en la zona se establecieron cuatro (04) familias de diaclasas;  $Fd_1$ ,  $Fd_2$ ,  $Fd_3$  y  $Fd_4$ . Los planos de discontinuidad que se interceptan en el grafico obtenido del DIP en esta zona son  $Fd_1$  y  $Fd_4$  lo cual ocurre fuera de la cara del talud, la recta de intercepción entre estos planos tiene menor buzamiento que el talud y en el mismo sentido con una dirección de deslizamiento sur-oeste, estas evidencias indican que estamos en presencia posibles fallas en cuñas o fallas de borde. Cabe señalar que la intersección de estos planos de discontinuidad caen fuera de la zona de inestabilidad cinemática la cual se genera en el grafico del DIP, por la intersección entre el plano del talud y el círculo generado por el ángulo de fricción ( $\Phi$ ) que para esta zona es  $28^\circ$ , pero por encontrarse la intersección frente a la cara del talud se considera estar ubicada en la zona mecánicamente inestable.

Para las  $Fd_2$  y  $Fd_3$ , se puede decir que los planos de discontinuidad que ellas generan en el grafico se encuentran ubicados detrás del talud, zona cinemática y mecánicamente estable.

Por lo antes expuesto, el patrón de comportamiento de los planos de discontinuidad y de acuerdo a los resultados obtenidos de los gráficos proyectados por el DIP, podemos interpretar que la tendencia de la zona cinemática y mecánicamente estable.

**ZONA 4: Quebrada el Aguacatico, Camino el Aguacatico**

De acuerdo a los resultados proyectados en el gráfico obtenido del DIP, se puede interpretar como es el comportamiento geotécnico de la zona en estudio. Del conjunto de discontinuidades medidas en la zona se establecieron tres (03) familias de diaclasas;  $Fd_1$ ,  $Fd_2$  y  $Fd_3$ . Los planos de discontinuidad que se interceptan en el gráfico obtenido del DIP en esta zona son  $Fd_1$  y  $Fd_3$  lo cual ocurre fuera de la cara del talud, la recta de intersección entre estos planos tiene menor buzamiento que el talud y en el mismo sentido con una dirección de deslizamiento sur-este, estas evidencias indican que estamos en presencia posibles fallas en cuñas o fallas de borde. Cabe señalar que la intersección de estos planos de discontinuidad cae fuera pero muy cerca de la zona de inestabilidad cinemática la cual se genera en el gráfico del DIP, por la intersección entre la cara de afuera del plano del talud y el círculo generado por el ángulo de fricción ( $\Phi$ ) que para esta zona es  $30^\circ$ , de igual manera por encontrarse la intersección frente a la cara del talud está se ubica en la zona mecánicamente inestable.

Para la  $Fd_2$ , se puede decir que los planos de discontinuidad que ellas generan en el grafico se encuentran ubicados detrás del talud, zona cinemática y mecánicamente estable.

Por lo antes expuesto podemos interpretar que el patrón de comportamiento de los planos de discontinuidad y de acuerdo a los resultados obtenidos de los gráficos proyectados por DIP, esta zona es cinemática y mecánicamente inestable.

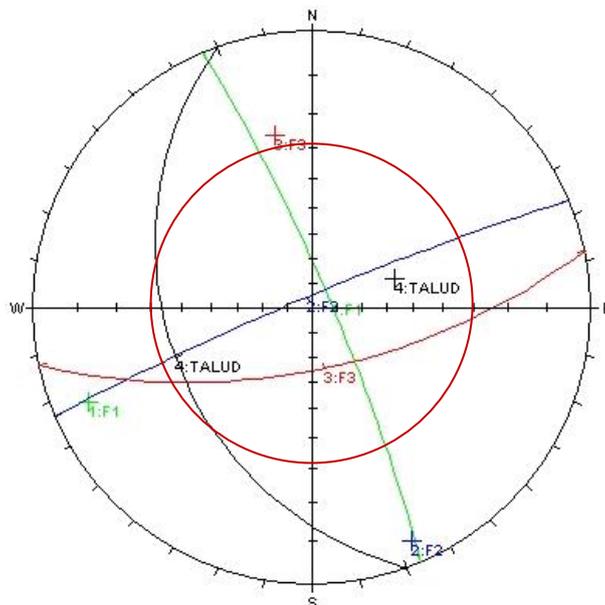


**FOTO VII.13 PATRONES DE DIACLASAS DE LA QUEBRADA EL AGUACATICO**



FOTO VII.14 PATRONES DE DIACLASAS EN EL CAMINO EL AGUACATICO

**Zona 5: Quebrada Guarenas y Quebrada Helipuerto**



VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

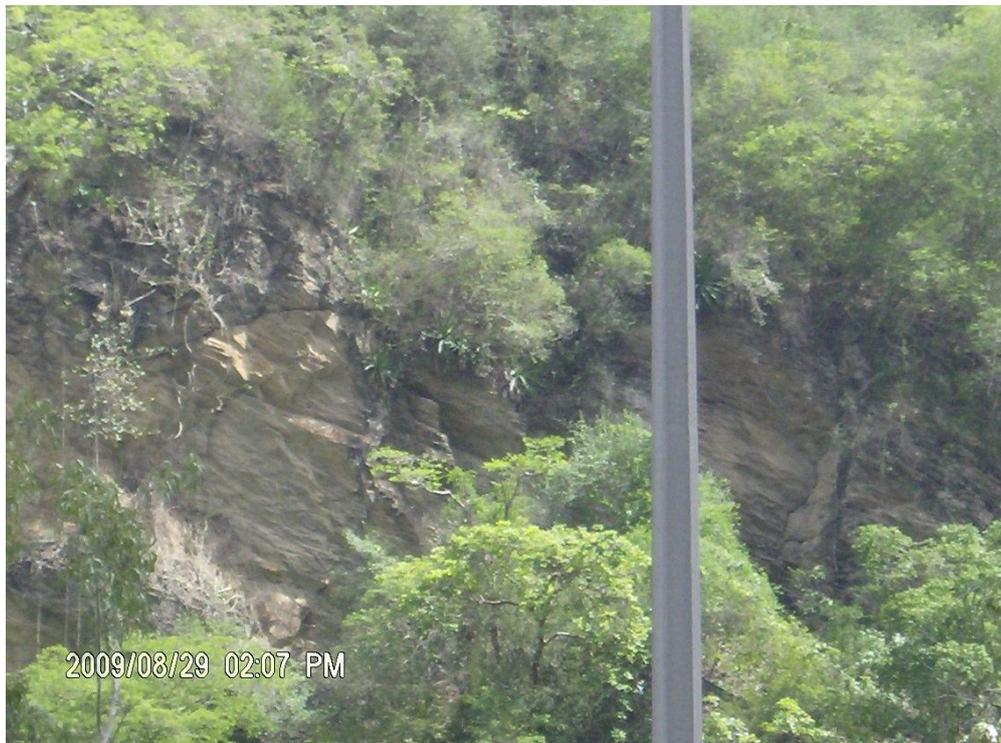
De acuerdo a los resultados proyectados en el grafico obtenido del DIP, se puede interpretar como es el comportamiento geotécnico de la zona en estudio. Del conjunto de discontinuidades medidas en la zona se establecieron tres (03) familias de diaclasas;  $Fd_1$ ,  $Fd_2$  y  $Fd_3$ . Los planos de discontinuidad que se interceptan en el grafico obtenido del DIP en esta zona son  $Fd_2$  y  $Fd_3$  lo cual ocurre fuera de la cara del talud, la recta de intercepción entre estos planos tiene menor buzamiento que el talud y en el mismo sentido con una dirección de deslizamiento sur-oeste, estas evidencias indican que estamos en presencia posibles fallas en cuñas o fallas de borde. Cabe señalar que la intersección de estos planos de discontinuidad caen fuera pero muy cerca de zona de inestabilidad cinemática la cual se genera en el grafico del DIP, por la intersección entre la cara de afuera del plano del talud y el círculo generado por el ángulo de fricción ( $\Phi$ ) que para esta zona es  $25^\circ$ , de igual manera por encontrarse la intersección frente a la cara del talud se considera estar ubicada en la zona mecánicamente inestable.

Para la  $Fd_1$ , se puede decir que los planos de discontinuidad que ellas generan en el grafico se encuentran ubicados detrás del talud, zona cinemática y mecánicamente estable.

Por lo antes expuesto, el comportamiento de los planos de discontinuidad y de acuerdo a los resultados obtenidos de los gráficos proyectados por DIP, podemos interpretar que la tendencia de la zona cinemática y mecánicamente inestable.



**FOTO VII.15 QUEBRADA HELIPUERTO**



**FOTO VII.16 QUEBRADA HELIPUERTO**

---

**VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.**

### Diaclasa Vs Túnel (Análisis de estabilidad de la excavación)

El túnel que se tiene planteado construir es un túnel ferroviario para el transporte de personas, la sección tipo se muestra a continuación:

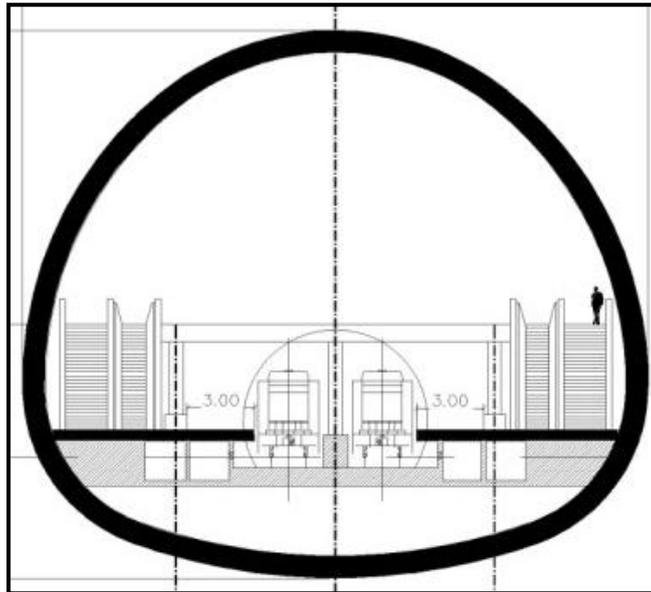


FIGURA N° VII.2 SECCIÓN TIPO DEL TÚNEL

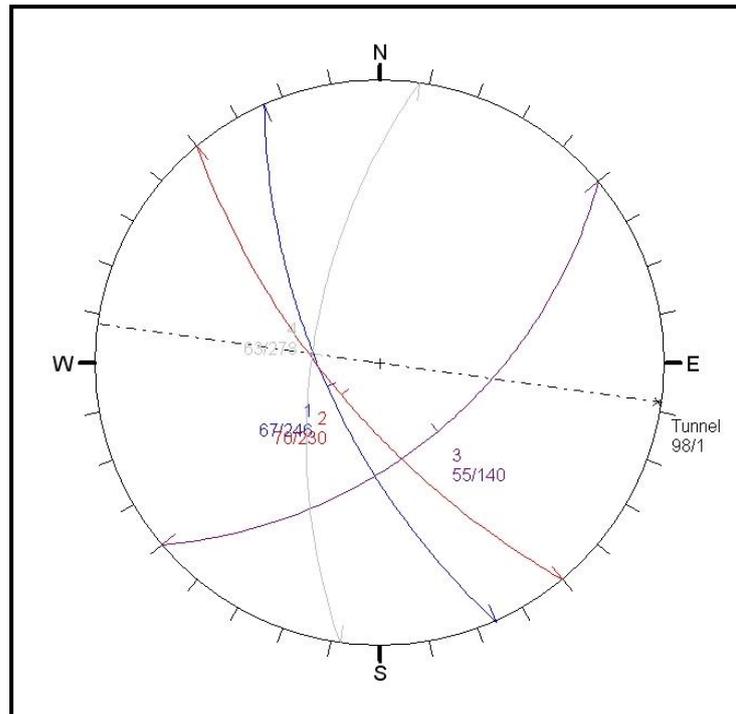
En esta etapa se realizó la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, y el análisis probabilístico de todos los datos tomados en campo empleando para ello el programa UNWEDGE VERSION 3.005.

El mismo usa como datos de entrada la orientación del túnel, la ondulación, y la orientación de los planos de diaclasa y de foliación expresados en la notación dip direption. Así como el ángulo de fricción y la cohesión.

Una vez hecho el análisis probabilístico a todos los datos tomados en campo de las diaclasas y foliaciones presentes en cada área, se determinó el número de familias presente en cada zona. Se procedió a montar los datos en el programa.

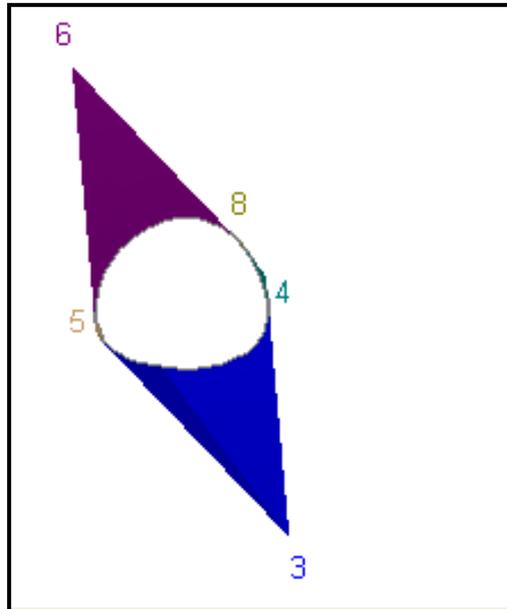
El valor del ángulo de fricción se tomó de la tesis hecha anteriormente para la zona por Chacón, A., y Guevara, W.

Y el valor del Angulo de fricción es un dato teórico se tomo del Vallejo 2002. Aquí se muestran las cuñas que se generan a lo largo del eje del túnel como consecuencia de los planos de discontinuidad presentes en las rocas la representación se hará por zonas.

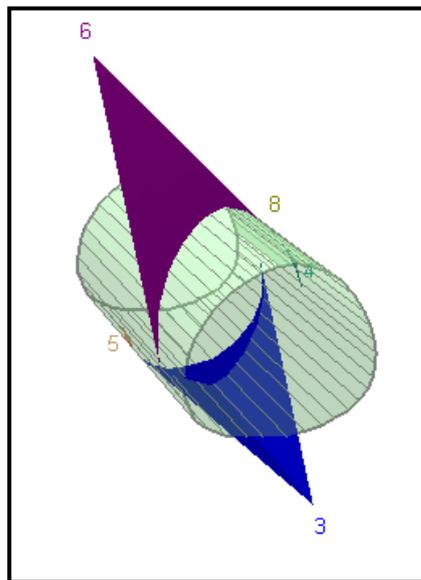


**FIGURA N° VII.3. ORIENTACION DEL EJE DEL TÚNEL Y DE LOS PLANOS DE DISCONTINUIDAD PRESENTES EN LA ZONA I**

**CUÑAS QUE SE GENERAN EN LA ZONA I**



**FIGURA VII.4. VISTA FRONTAL DEL TUNEL**



**FIGURA VI.5. VISTA EN PERSPECTIVA DEL TUNEL**

VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

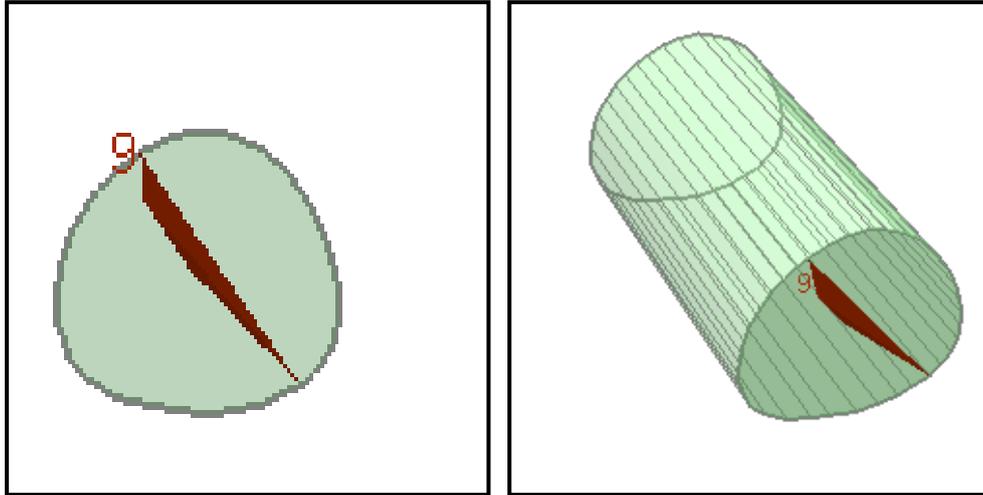


FIGURA VII.6. VISTA FRONTAL Y EN PERSPECTIVA DE LA CUÑA 9.

TABLA N° VII.7. CUÑAS GENERADAS EN LA ZONA 1

CUÑAS GENERADAS	FACTOR DE SEGURIDAD	VOLUMEN m <sup>3</sup>	PESO ton
Suelo [3]	Estable	49.517 m <sup>3</sup>	133.696
Techo [6]	8.377	36.665	98.995
Superior derecha [8]	8.139	0.001	0.001
<b>Cuña del final [9]</b>	<b>19.191</b>	<b>0.998</b>	<b>2.695</b>

## CUÑAS PRESENTES EN LA ZONA II

FIGURA VII.7. VISTA EN PERSPECTIVA DEL TUNEL

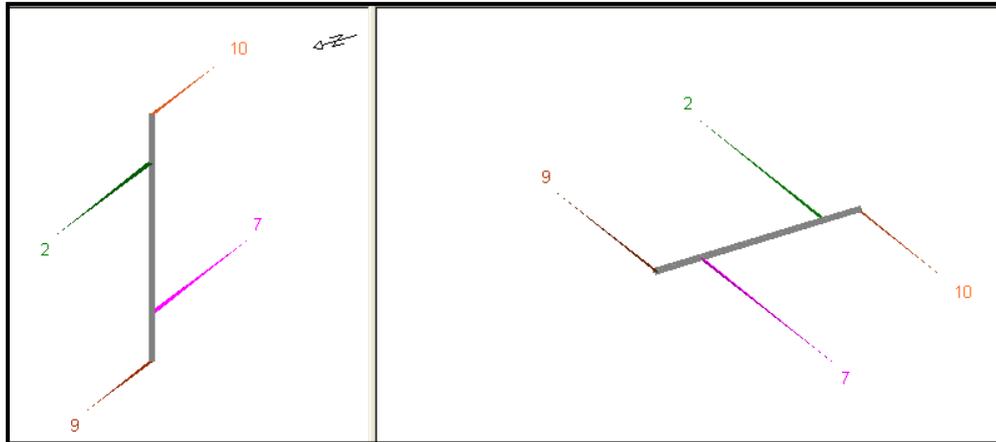
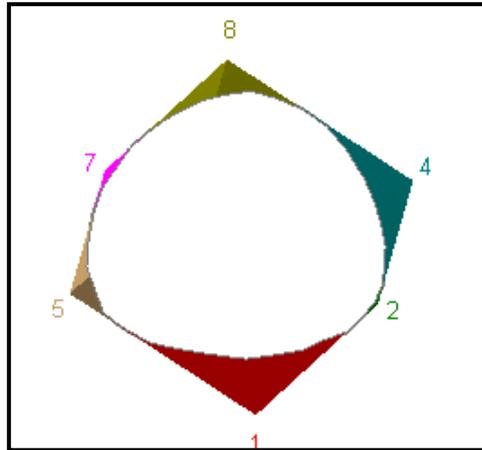
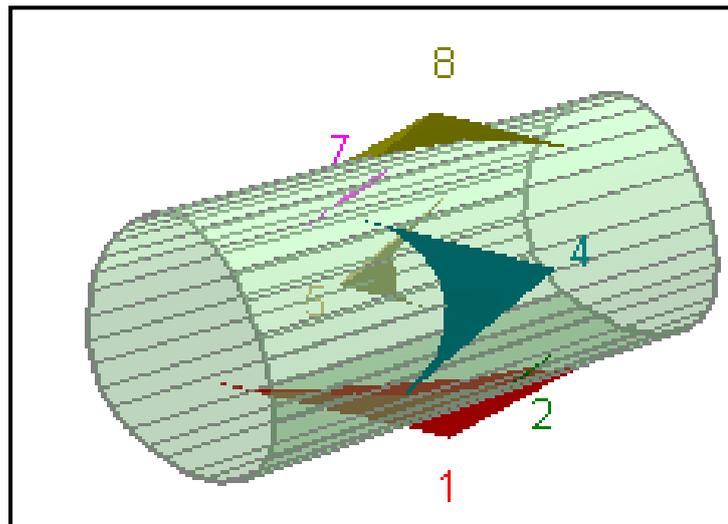


TABLA N° VI.8. CUÑAS GENERADAS EN LA ZONA 2

CUÑAS GENERADAS	FACTOR DE SEGURIDAD	VOLUMEN m <sup>3</sup>	PESO ton
Superior izquierda [2]	7.955	2123.098	5732.364
Inferior derecha [7]	Estable	2117.621	5717.576
Cuña del final [9]	10.548	790.118 m <sup>3</sup>	2133.319
Final [10]	Estable	843.794	2278.243

VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

**CUÑAS PRESENTES EN LA ZONA III****FIGURA VI.8. VISTA FRONTAL DEL TUNEL****FIGURA VI.9. VISTA EN PERSPECTIVA DEL TUNEL**

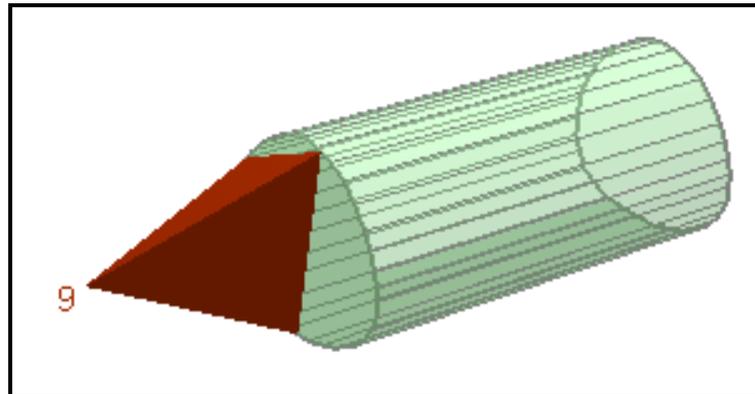
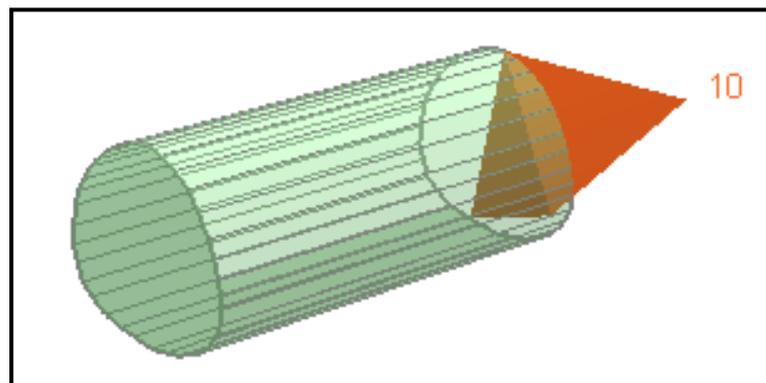
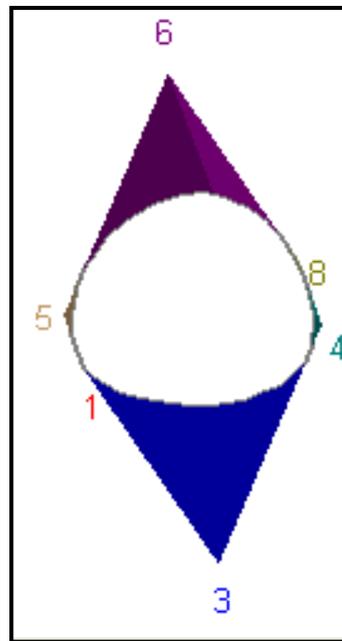
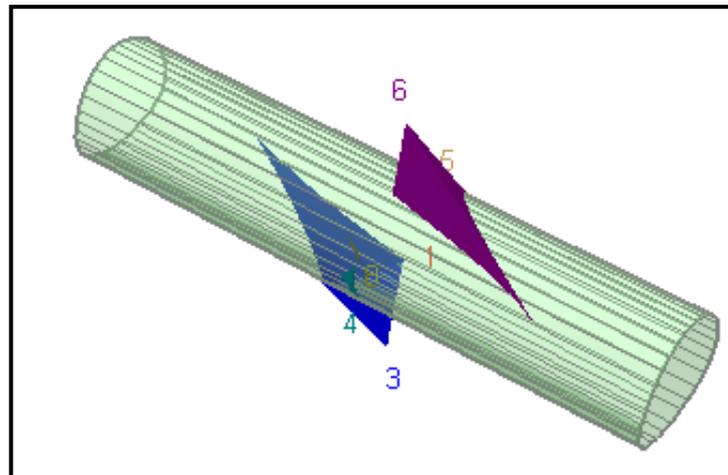
**FIGURA VI.10. VISTA EN PERSPECTIVA DE LA CUÑA 9.****FIGURA VI.11. VISTA EN PERSPECTIVA DE LA CUÑA 10.**

TABLA N° VI. 9. CUÑAS GENERADAS EN LA ZONA 3

<b>CUÑAS GENERADAS</b>	<b>FACTOR DE SEGURIDAD</b>	<b>VOLUMEN m3</b>	<b>PESO ton</b>
Piso [1]	56.373	0.770	2.080
Superior derecha [4]	11.325	17.665	47.697
Inferior izquierda [5]	15.700	14.137	38.169
Techo [8]	10.407	0.086	0.233
Del final [9]	17.218	18.362	49.576
final [10]	10.474	20.128	54.345

**CUÑAS PRESENTES EN LA ZONA IV****FIGURA VII.12. VISTA FRONTAL DEL TUNEL****FIGURA VII.13. Y VII.14 VISTA EN PERSPECTIVA DEL TUNEL**

VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

FIGURA VII.15. VISTA FRONTAL Y EN PERSPECTIVA DE LA CUÑA 9.

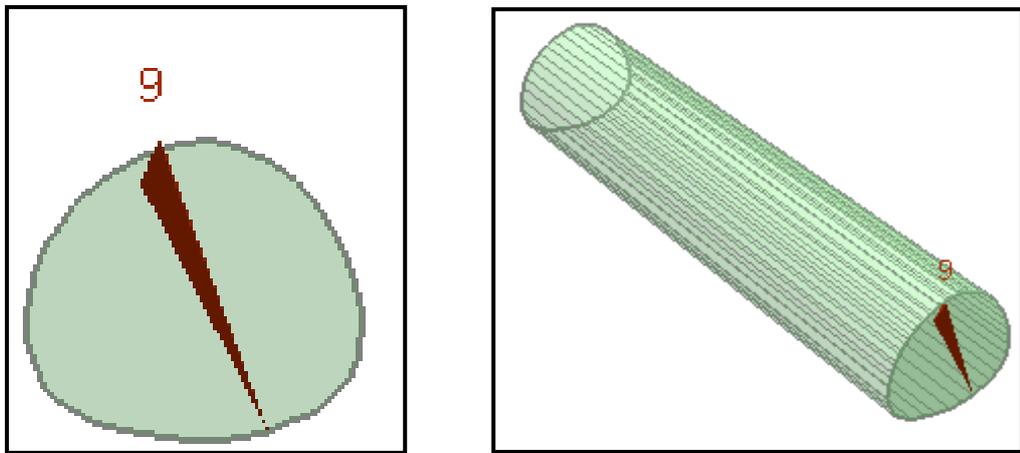


FIGURA VII.16. Y VII.17 VISTA FRONTAL Y EN PERSPECTIVA DE LA CUÑA 9.

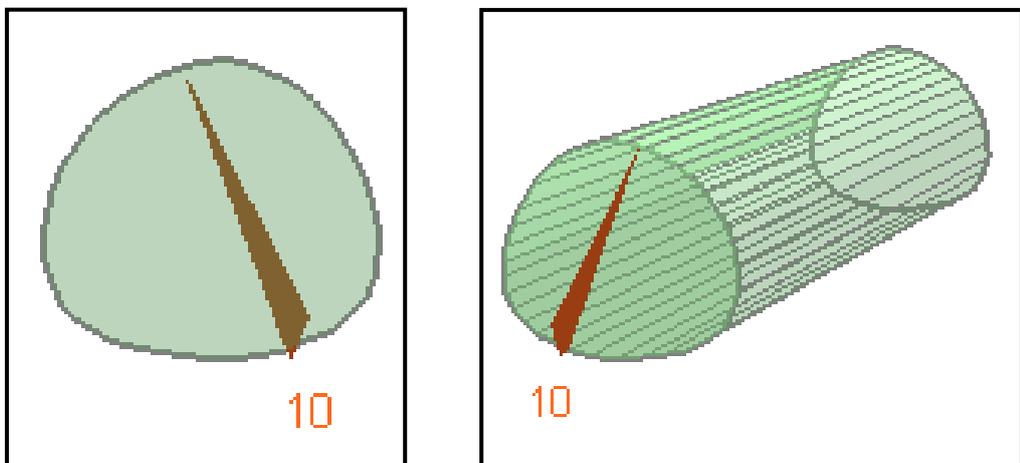


TABLA N° VI.10. CUÑAS GENERADAS EN LA ZONA 4

<b>CUÑAS GENERADAS</b>	<b>FACTOR DE SEGURIDAD</b>	<b>VOLUMEN m<sup>3</sup></b>	<b>PESO ton</b>
Piso [3]	Estable	86.270	232.929
Inferior derecha [4]	6.975	0.170	0.459
Inferior izquierda [5]	8.343	0.234	0.632
Techo [6]	4.457	45.272	122.233
Del final [9]	10.183	0.931	2.513
Final [10]	17.324	0.931	2.513

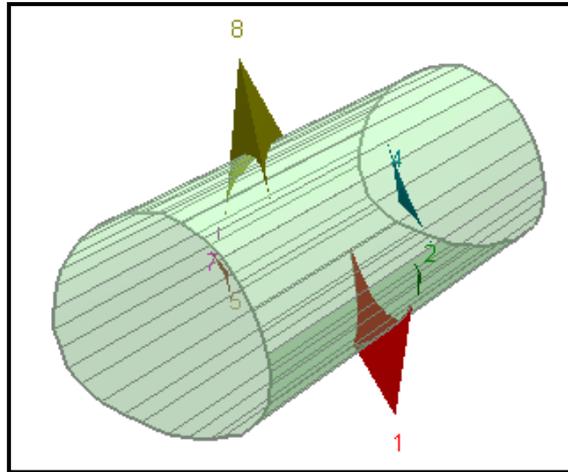
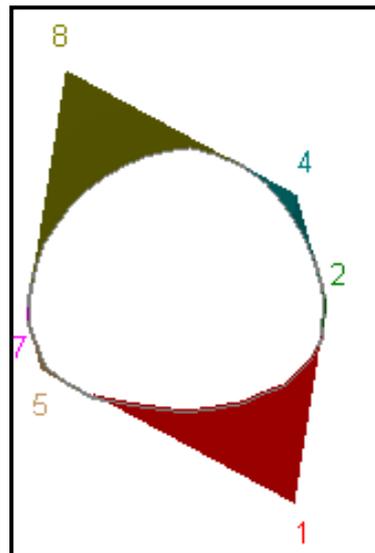
**CUÑAS PRESENTES EN LA ZONA V****FIGURA VII.18. VISTA FRONTAL DEL TUNEL****FIGURA VI.19. VISTA EN PERSPECTIVA DEL TUNEL**

FIGURA VII.20. Y VII.21 VISTA EN PERSPECTIVA DEL TUNEL

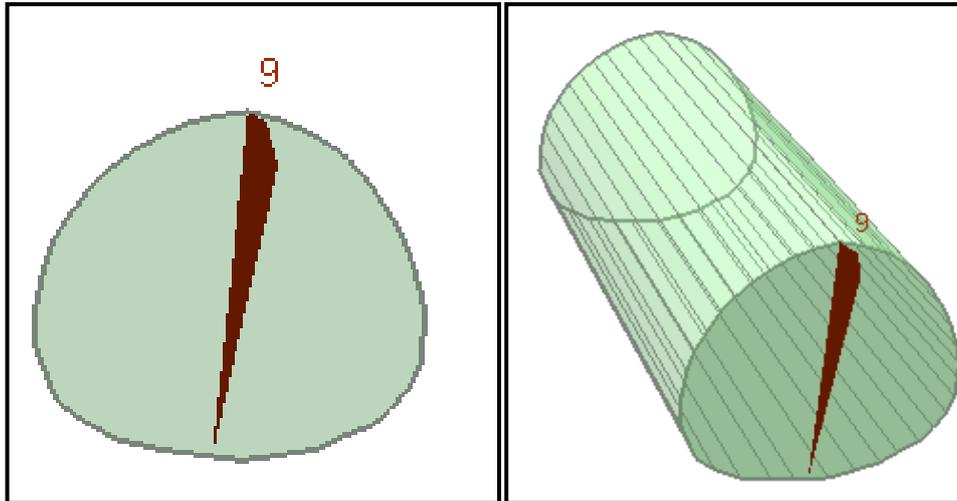
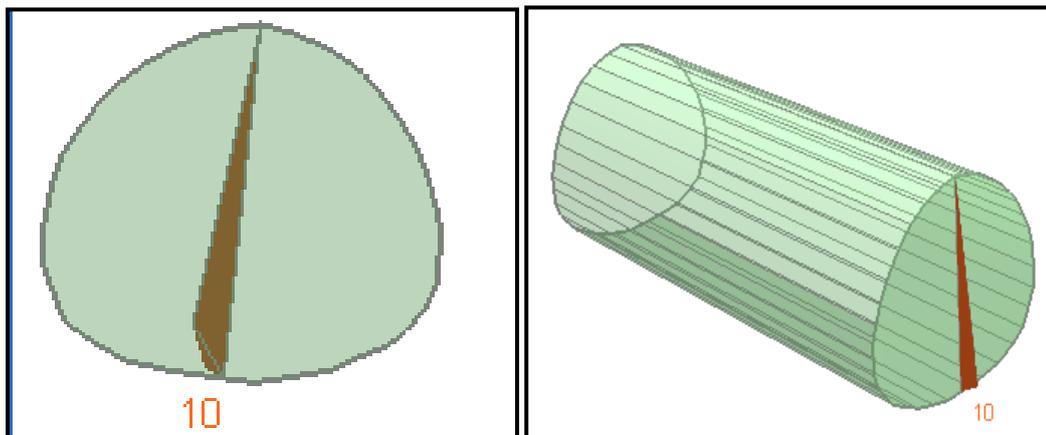


FIGURA VII.22 VISTA EN PERSPECTIVA DEL TUNEL



VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGÜITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

TABLA N° VII.11. CUÑAS GENERADAS EN LA ZONA 5

<b>CUÑAS GENERADAS</b>	<b>FACTOR DE SEGURIDAD</b>	<b>VOLUMEN m<sup>3</sup></b>	<b>PESO ton</b>
Cuña del piso [1]	Estable	54.033	145.888
Cuña del techo [8]	5.391	33.031	89.185
Del final [9]	9.134	2.236	6.037
Final [10]	8.491	2.236	6.037

CUADRO N° VII.1. RESUMEN DE LAS FAMILIAS DE DIACLASAS PRINCIPALES POR CADA ZONA

ZONA	UBICACIÓN	BUZAMIENTO (Dip), ORIENTACIÓN (Dip Direction)	COHESIÓN (c) Ton/m <sup>2</sup>	ÁNGULO DE FRICCIÓN (Φ)
1	Maga, Cerrajería Portuguesa, Barrio el placer	F1:(67,246)	7	27
		F2:(70,230)		
		F3:(55,140)		
		F4:(63,278)		
2	Camino el Placer	F1:(90,70)	7	27
		F2:(70,40)		
		F3:(55,12)		
3	Quebrada el Aguacatico y Barrio el Aguacate	F1:(30,327)	7	28
		F2:(80,59)		
		F3:(67,227)		
		F4:(55,149)		
4	Quebrada el Aguacatico, Camino el Aguacatico	F1:(61,61)	7	25
		F2:(80,137)		
		F3:(70,214)		
5	Quebrada Guarenas y Quebrada Helipuerto	F1:(82,67)	7	30
		F2:(85,337)		
		F3:(65,168)		

VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGUITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

**TABLA VII.12 DATOS GENERALES DE DIACLASAS Y FOLIACION**

ZONA	UBICACIÓN	IDENTIFICACIÓN	D1	D2	D3	D4	D5	
1	MAGA	1	N18°W5°S(F)	N80°E-V	N42°W85°N			
		2	N13°W50°N	N84°E45°S	N17°W70°S			
	CERRAJERIA PORTUGUESA	3	N55°W35°S(F)	N35°E80°N	N60°W35°N	N20°W80°N		
		4	N28°E15°S	N40°E80°S	N67°W75°N	N20°W80°N	N15°E70°S	
		5	N85°W60°N	N18°E35°N(F)	N5°E60°N			
		6	N8°E50°N(F)	N37°W70°S	N44°E50°S			
		7	N10°E65°N	N82°W40°S(F)				
		8	N11°W75°N	N85°W40°S(F)				
		9	N-S	E-W(F)	E-W			
		10	N66°W45°S(F)	N35°E85°S	N51°W55°N			
	BARRIO EL PLACER	11	N60°W-V	N3°W-V				
		12	N5°W50°S	N66°E55°S	N18°W-V(F)			
		13	N30°W-V	N51°E80°S				
		14	N41°W65°N	N38°E60°N(F)	N55°E65°S			
2	CAMINO EL PLACER	15	N30°E-V	N80°E10°N(F)				
		16	N88°E65°S	N51°E20°N(F)	N20°E70°S			
		17	N46°E25°N(F)	N5°E-V				
		18	N51°W-V	N70°E30°S(F)				
		19	N15°W-V	N78°W55°S(F)				
		20	N20°W-V	N61°E15°N(F)				

VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGUITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

3	QUEBRADA EL AGUACATICO	21	N20°W20°N(F)	N88°E-V	N26°W80°N	N13°W70°N	
		22	N41°W70°S	N50°W60°S	N27°W-V	N59°E5°S	N87°E25°N(F)
		23	N60°E50°S(F)	N29°W80°N	N57°E30°N		
		24	N55°W-V	N79°E15°S(F)			
	25	N37°E60°N	N55°E80°N	N-S			
	26	N4°W55°N	N66°E30°S(F)				
	27	N64°E55°S(F)	N58°E-V	N10°W70°N			
	28	N9°W75°N	N61°E40°N(F)	N55°E80°S			
	29	N8°W80°S	N64°W50°S(F)	N44°E75°S			
	30	N73°E75°N	N15°W-V	N65°E5°N(F)			
	31	N6°W70°S	N39°E80°S	N74°E35°N(F)			
	32	N15°W60°N(F)	N64°W25°N	N11°W80°N			
	33	N57°E60°N	N23°W73°S				
	34	N27°W-V	N-S	N68°W12°N(F)			
	35	N-S	N62°W75°S	N38°E14°N(F)			
		BARRIO EL AGUACATE				N33°W70°S	
			36	N56°E45°N(F)	N3°E-V		
4	CAMINO EL AGUACATICO	37	N21°W35°S(F)	N-S	N63°W75°S		
		38	N9°E35°S(F)	N55°W-V	N71°E50°S		

VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGUITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

		39	N18°W50°S	N35°W80°N			
		40	N53°E30°N(F)	N21°W60°N	N80°W80°S		
		41	N71°E65°S	N88°E60°S	N35°W65°N(F)		
		42	N35°E40°N(F)	N53°W75°N	N42°E75°S		
		43	N39°W65°N	N-S	N55°W80°N		
5	QUEBRADA GUARENAS	44	E-W(F)	N78°E65°S	N18°W85°N		
		45	N38°E75°N(F)	N17°W-V	N18°W85°N		
		46	N48°E35°N(F)	N33°W70°N	N67°E-V		
	QUEBRADA HELIPUERTO	47	N64°E20°N	N9°E80°N	N30°W85°N		
		48	N57°E35°N(F)	N55°E40°S	N17°W-V		
		49	N28°35°N(F)	N71°W60°S	N-S		

VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGUITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

## CAPÍTULO VIII

### ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

#### ✓ Geología Local

-Descripción general del área

De los resultados obtenidos del levantamiento geológico de campo y una vez analizadas las muestras petrográficamente se puede decir que la zona en estudio está conformada en su totalidad por rocas metamórficas pertenecientes a la Formación las Mercedes y las mismas fueron caracterizadas como:

- **Zona I**, esquistos cuarzo moscovítico-grafitoso-calcáreo y no.
- **Zona II**, esquistos calcáreo cuarzo-moscovítico-grafitoso.
- **Zona III**, esquistos cuarzo-micáceo-grafitosos.
- **Zona IV**, esquistos cuarzo calcáreo-micáceo moderadamente grafitoso.
- **Zona V**, esquistos cuarzo calcáreo-micáceo moderadamente grafitoso.

Haciendo un promedio de todo el análisis petrográfico realizado a las muestras se llegó a que el litotipo común para el área es: **Esquistos Cuarzo Calcáreos-Muscovítico Grafitoso.**

En términos geotécnicos el comportamiento de los esquistos es muy similar al de las filitas y pizarras, entre las características principales se tiene que:

- En laderas producen el fenómeno conocido como “cabeceo” que consiste en una inclinación de las masas tabulares, definidas por la foliación y la esquistosidad de la roca.

- Son rocas impermeables y altamente exfoliables (utilizadas para techar) por lo tanto no son útiles para áridos de hormigones.
- Su capacidad portante es función del grado de metamorfismo
- Aptas para presas de tierra y gravedad.
- Tienen mayor capacidad portante que la pizarra, aunque su lustre en superficies de esquistosidad hace que sean más susceptibles a los deslizamientos.

Determinación de la resistencia a la compresión simple mediante la escala de dureza de Schmidt – martillo tipo L.

**CUADRO N° VIII.1. RESULTADOS DEL CALCULO DE LA COMPRESIÓN SIMPLE MEDIANTE EL MARTILLO DE SCHMIDT POR CADA ZONA**

ZONA	UBICACIÓN	ESCALA DE DUREZA DE SCHMIDT (MPa)	PESO ESPECIFICO (KN/m <sup>3</sup> )	ORIENTACIÓN DEL MARTILLO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)
I	Maga, Cerrajería Portuguesa, Barrio el placer	24	24,03	Vertical (90°)	30,9
II	Camino el Placer	25	24,9	Diagonal (45°)	45,5
III	Quebrada el Aguacatico y Barrio el Aguacate	25	24,5	Diagonal (45°)	44,9
IV	Quebrada el Aguacatico, Camino el Aguacatico	26	24,5	Horizontal (0°)	40,0
V	Quebrada Guarenas y Quebrada Helipuerto	26	24,9	Horizontal (0°)	41,9

**VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGUITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.**

De acuerdo a los resultados obtenidos de las mediciones realizadas con el Martillo de Schmidt en cada una de las zonas en las que se dividió el área de estudio y corregidas mediante la escala de dureza de Schmidt - Martillo tipo L, la lectura de estas mediciones se tomaron en tres (03) orientaciones preferenciales; horizontal, diagonal y vertical donde se obtuvieron valores de resistencia a la compresión simple entre 30,9 MPa y 45,5 Mpa, en tal sentido de lo anterior se puede interpretar que las rocas presentes en el área de estudio tienen una dureza relativa entre media a baja, esto como consecuencia del alto grado metamorfismo (P/T) a escala regional y del ataque de los agentes externos los cuales han debilitado y fracturado el macizo rocoso.

### **Geología Estructural Local**

#### **-Fallamiento Local**

La foliación presente en área de estudio en general presenta una orientación N60°\_85°E con un buzamiento que varía de 30°\_55° tanto al norte como al sur.

Los sistemas de diaclasas presentes a lo largo del área varían de dos hasta cuatro familias por zona. La zona IV es la más diaclasada, en el mapa de estructuras que se presenta como anexo se muestra que es una de las áreas que tiene más puntos de toma de datos.

Se tiene una serie de fallas locales que atraviesan el eje del túnel casi en ángulo recto viéndolas a nivel superficial, se tiene que profundizar este análisis a nivel del subsuelo. De igual manera se observa una falla con orientación casi E-W resultando ser la de mayor importancia para la construcción del túnel ya que esta es paralela a la alineación en su parte terminal y podría ser la que genere mayores problemas geológicos.

---

VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGUITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

Del análisis de estabilidad de taludes realizado con la red estereográfica a las familias de diaclasas y foliaciones presentes a lo largo de toda la zona, en general se obtuvo que los taludes de la zona 1, 2 y 3 son estables mecánica y cinéticamente y la zona 4 y 5 son inestables. La zona 5 corresponde al área donde va a estar uno de los portales del túnel por lo cual se tiene que prestar mayor atención a esta zona por cuanto en el portal se interceptan las inestabilidades propias del túnel con las del talud.

Del análisis de estabilidad de las cuñas generadas en el programa **Unwedge**, se puede decir que todas son estables haciendo referencia a que su factor de seguridad esta muy por encima del factor de seguridad mínimo para que sean estables.

## CAPITULO IX

### CONCLUSIONES

En el área en estudio y de acuerdo a la geología local observada en el campo se pudo evidenciar la presencia de rocas metamórficas pertenecientes a la litodemia del Esquistos Las Mercedes, esquistos primordialmente grafitosos y calcáreos y calizas lenticulares delgadas. Según los porcentajes estimados del análisis petrológico realizado a las secciones delgadas obtenidas de las muestras de mano recolectadas en el área de estudio subdividida en zonas (I, II, III, IV y V), se identificaron litotipos tales como:

- **Zona I**, esquisto cuarzo muscovítico-grafitoso-calcáreo.
- **Zona II**, esquisto calcáreo cuarzo-muscovítico-grafitoso.
- **Zona III**, esquisto cuarzo-micáceo-grafitoso.
- **Zona IV**, esquisto cuarzo calcáreo-micáceo moderadamente grafitoso.
- **Zona V**, esquisto cuarzo calcáreo-micáceo moderadamente grafitoso.

Las secciones delgadas presentaron texturas metamórficas foliadas (filitas y esquistos) y granoblasticas (calcita y mármoles), encontrándose porcentajes de cuarzo entre 40% y 45% ubicándose como mineral mayoritario, las micas (muscovita, biotita) y la calcita con porcentajes entre 10% y 30%, de igual manera se identificaron cristales de mineral traza como el epidoto. Se observaron rellenando las fracturas de los cristales de cuarzo policristalino remanentes arcillosos, de igual manera se identificaron augen (ojos) de óxidos de hierro como resultado de las alteraciones de los sulfuros de hierro (pirita).

En el trabajo de campo realizado en el área de estudio se identificaron en zonas II, altas concentraciones de creta o caliche que es un carbonato natural formado tanto de la disolución de las rocas calcarías, como por los desechos diminutos y suaves organismos que son acumulados en antiguos lechos marinos o playas actuales; el carbonato de calcio también se puede obtener de la calcita, mármol y la caliza finamente molidos o por precipitación de una solución o suspensión que contenga cal.

En las mismas observaciones de campo se identificaron esquistos grafitosos con vetas de calcita, esquistos cericíticos con cuarzo y calcita.

Por último podemos decir que el color meteorizado de las rocas encontradas en el área de estudio son el blanco, gris, marrón claro, negro, ocre, rosado, rojizo, verde claro y oscuro producto de la alteración de los óxidos ferrosos y minerales de carbonatos de calcio presentes en la zona, la erosión y meteorización entre otros. Entre los colores frescos identificados en las rocas metamórficas presentes en la zona de estudio podemos señalar los siguientes: amarillo claro, blanco, gris, marrón claro y negro colores predominantes en los esquistos cuarzosos calcáreos-moscovíticos-grafitosos.

- ✓ A lo largo del trazado del eje del túnel se ubicaron una serie de fallas locales que responden al sistema de Fallamiento al cual está sometida el área, estas fallas en su mayoría cortan al eje del túnel casi perpendicularmente.
- ✓ La **Zona IV** es la que presenta mayor diaclasamiento de toda el área estudiada.

- ✓ Del análisis de estabilidad hecho para todos los sistemas de diaclasas presentes por zonas usando el programa unwedge se obtuvo una serie de fallas en cuñas las cuales en su mayoría arrojaron factores de seguridad bastante altos.
- ✓ Las condiciones naturales que permiten que la resistencia del macizo rocoso disminuya y en consecuencia afectar la estabilidad del tunel, esta determinada por la orientacion favorable o desfavorable de las discontinuidades.
- ✓ De igual manera afecta la orientacion favorable o desfavorable de los esfuerzos con respecto al eje del tunel, el cual tiene orientaciones entre N64°-82°W en toda su extensión, los campos tensionales que dominan la región tiene orientaciones NW – SE, tensiones que son desfavorables a la resistencia del macizo.
- ✓ Por ultimo el flujo de aguas subterranas hacia el interior de la excavacion, esto estaria condicionado por el comportamiento geomecanico de las discontinuidades y si sus orientaciones son favorables o desfavorables al tunel.
- ✓ La variacion del diaclasado tambien estaria condicionada a una serie de acciones inducidas al momento de la excavacion, ya que el macizo rocoso que rodea al tunel entraria en etapa de descompresion creada con apertura de discontinuidades, alteraciones y percolacion de aguas subterranas hacia el interior de la excavacion.
- ✓ Por la misma descompresion por el avance de las obras el macizo rocoso se veria sujeto a una reorientacion de los campos tensionales presentes en el area, produciendo variaciones geomorfologicas con procesos constructivo y destructivos tales como; subsidencia en superficie y movimientos de laderas.

## CAPITULO X

### RECOMENDACIONES

- Se recomienda profundizar en la investigación a nivel del subsuelo dada la diferencia de cota (390m) que hay entre los puntos extremos del proyecto Caracas-Guarenas-Guatire para tener mayor grado de detalle de la falla que esta en dirección E-W conocer su profundidad y prestar mayor atención en caso de que esta pueda ser atravesada de forma longitudinal por el trazado del túnel en el subsuelo.
- Se recomienda hacer perforaciones inclinadas en la zona donde la falla principal es paralela al eje del túnel por lo menos tres perforaciones, una al inicio, otra en el medio y una al final, para determinar cuál es el grado de incidencia de la falla sobre el eje del túnel.
- Si una vez profundizada la investigación de subsuelo se verifica que la falla que es paralela al túnel esta sobre este, se recomienda cambiar la alineación del mismo.
- Dado los estudios previos realizados en el area referentes a la caracterizacion y clasificacion de los macisos rocosos, asi como el analisis e interpretacion de la estabilidad de taludes relacionado con las discontinuidades del tipo sistematico, recomendamos realizar estudios mas detallados de la zona desde el punto de vista estructural en las discontinuidades del tipo singular (fallas), por ejemplo la falla inferida con ramificaciones localizada en este estudio, y asi poder complementar y definir criterios tecnicos que permitan

interpretar cualitativamente y cuantitativamente la variación del diaclasado como producto del desconfinamiento.

Se debe analizar con mayor grado de detalle las discontinuidades generadas en los portales ya que en esta zona se dan circunstancias que complican su ejecución tales como:

1. Al tratarse de una zona próxima a la superficie, la roca se encuentra más alterada y descomprimida que en el interior.
2. Las inestabilidades de la bóveda, frente del túnel, pueden alcanzar la superficie del terreno.
3. En la zona de los portales se entrelazan las inestabilidades propias del túnel con las del talud frontal.

**BIBLIOGRAFIA**

PERRI, G. (2002). **Proyecto de Túneles: Criterios de Diseño. Boletín de la Sociedad Venezolana de Geotecnia.** pp. 1-36.

GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. I. (2002). **Ingeniería Geológica.** pp. 1-665.

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

TALUKDAR, S. y LOUREIRO, D (1982). **Geología de una zona ubicada en el segmento norcentral de la cordillera de la costa, Venezuela: Metamorfismo y deformación. Evolución del margen Septentrional de Suramericana en el marco de la tectónica de placas.**GEOS 27: pp. 15-76.

SINGER, A. (1977). **Síntesis regional de la evolución geomorfológica de la cordillera de la costa en el área de Caracas, Excursión N° 1.** Memoria V Congreso Geológico Venezolano.Tomo V, pp. 55-76.

BOOTH, B. (1996). **Minerales y Rocas.** ( ) pp. 11-79.

PELLANT, CH. (1992). **Rocks and Minerals.** Pp. 32-249.

CRESPO, C. (2008). **Mecánica de Suelos y Cimentaciones.**pp. 219-242.

[HTTP://WWW.PDV.COM/LEXICO/LEXICOH.HTM](http://www.pdv.com/lexico/lexicoh.htm). [CONSULTA: Marzo, 2009].

[HTTP://WWW.FUNVISIS.ORG.VE/PROYECTO](http://www.funvisis.org.ve/proyecto). [CONSULTA: Marzo, 2009].

[HTTP://WWW.frst.utn.edu.ar/](http://www.frst.utn.edu.ar/). [CONSULTA: Julio, 2009].

[HTTP://WWW.ROCSCIENSE.COM/DUWMNLOADS/UNWEDGE.ASP](http://www.rocscience.com/duwmnloads/unwedge.asp) [CONSULTA: Julio, 2009].

---

**VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGUITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.**

[HTTP://WWW.GALEON.COM/GEOLOGIAYASTRONOMIA/GEO12.PDF](http://www.galeon.com/geologiayastronomia/gEO12.pdf) [CONSULTA: Noviembre, 2009].

[HTTP://WWW.GEOTECNIA2000.COM/FILES/PUBLICACIONES/ANALISIS\\_DE\\_ESTABILIDAD\\_DE\\_TALUDES](http://www.geotecnia2000.com/files/publicaciones/ANALISIS_DE_ESTABILIDAD_DE_TALUDES). [CONSULTA: Noviembre, 2009].

[HTTP://WWW.GIANFRANCO PERRI.COM/DOCUMENTS/82-2004 HISTORIA Y ACTUALIDAD DE LOS TÚNELES EN VENEZUELA.PDF](http://www.gianfranco.perrri.com/documents/82-2004_historia_y_actualidad_de_los_tuneles_en_venezuela.pdf) \_ [CONSULTA: Noviembre, 2009].

[HTTP: //ES.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/ESTABILIDAD\\_DE\\_TALUDES](http://es.wikipedia.org/wiki/Estabilidad_de_taluDES). [CONSULTA: Marzo, 2010].

[HTTP://WWW.GEOLAB.UNC.EDU/PETUNIA/IGMETATLAS/META-MICRO/METAMICRO.HTML](http://www.geolab.unc.edu/petunia/igmetatlas/meta-micro/metamicro.html). [CONSULTA: Enero, 2010].

[WWW.GEONIVAL.COM/ES/ESCLEROMETRE.HTM](http://www.geonival.com/es/esclerometre.htm) - ESPAÑA

[HTTP://WWW.GEOTECNIA2000.COM/FILES/ARCHIVOS/MEDIOS.PDF](http://www.geotecnia2000.com/files/archivos/medios.pdf)

[HTTP://200.20.105.7/CYTE-](http://200.20.105.7/cyte-)

[DXIII/PUBLICACIONES/LIVROS/GEOMECANICA\\_PEQUENAMINERIA/PONENCIAS/TEMA1.PDF](http://200.20.105.7/cyte-dxiii/publicaciones/livros/geomecanica_pequenamineria/ponencias/tema1.pdf)

---

**VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGUITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
UBICACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO .....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
ANTECEDENTES .....	4
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>6</b>
<b>GEOGRAFÍA FÍSICA.....</b>	<b>6</b>
GENERALIDADES .....	6
<i>Aspectos Geomorfológicos .....</i>	<i>7</i>
<i>Inundaciones.....</i>	<i>9</i>
<i>Drenaje .....</i>	<i>9</i>
<i>Paisaje .....</i>	<i>10</i>
<i>Litología.....</i>	<i>11</i>
<i>Clima.....</i>	<i>11</i>
<i>Vegetación.....</i>	<i>12</i>
<i>Estructuras.....</i>	<i>14</i>
GEODINÁMICA SUPERFICIAL.....	16
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>17</b>
<b>GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL.....</b>	<b>17</b>
GEOLOGÍA REGIONAL .....	17
<i>A. Napas de la Serranía del Litoral .....</i>	<i>19</i>
<i>B. Napas de la Serranía del Interior (las “Napas de Aragua” de Beck, 1986).....</i>	<i>19</i>
GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL .....	23
<i>Plegamiento.....</i>	<i>24</i>
<hr style="border: 1px solid black;"/>	
<b>VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGUITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.</b>	

<i>Fallamiento</i> .....	26
<i>Foliación</i> .....	27
<i>Metamorfismo</i> .....	28
<i>Sismicidad</i> .....	29
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>30</b>
<b>CRITERIOS DE ROTURA EN DISCONTINUIDADES EN ROCA</b> .....	<b>30</b>
CRITERIOS DE ROTURA Y RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.....	30
CRITERIO DE HOEK-BROWN ORIGINAL .....	30
CRITERIO DE HOEK-BROWN GENERALIZADO.....	30
CRITERIOS DE FALLAS EMPLEADAS EN EL PROGRAMA UNWEDGE.....	32
CRITERIO DE MOHR-COULOMB .....	32
CRITERIO DE RESISTENCIA BARTON BANDIS .....	35
CRITERIO DE CURVA DE ESFUERZOS .....	35
<b>CAPÍTULO V</b> .....	<b>36</b>
<b>METODOLOGÍA DE ANÁLISIS</b> .....	<b>36</b>
ETAPA DE RECOPIACIÓN.....	36
ETAPA DE CAMPO .....	36
<i>Descripción general y zonificación del área en estudio</i> .....	36
<i>Levantamiento de los sistemas de diaclasas presentes en la zona</i> .....	36
<i>Descripción general del afloramiento:</i> .....	36
<i>Descripción de las Discontinuidades</i> .....	38
<i>La descripción de las discontinuidades se hará tomando en cuenta las siguientes características:</i> .....	38
<i>Recolección de muestras</i> .....	42
FASE POST-CAMPO .....	42
<i>Etapa de laboratorio</i> .....	42
<i>Ensayos de Laboratorio</i> .....	42
<i>Etapa de oficina</i> .....	43
<b>MARCO TEORICO</b> .....	<b>44</b>
<b>VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGUITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.</b>	

ANÁLISIS CINEMÁTICO DE TALUDES EN MACIZOS ROCOSOS .....	46
FALLA O ROTURA POR CUÑAS .....	49
GEOMETRÍA DE LA ROTURA POR CUÑAS .....	50
FALLAS O ROTURAS CIRCULARES Y CURVAS .....	52
FALLAS O ROTURAS POR VOLCAMIENTO .....	54
RESISTENCIA AL CORTE – ESTADOS DE TENSIONES .....	54
COMPONENTES DE LA RESISTENCIA AL CORTE.....	56
ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL .....	57
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>64</b>
GEOLOGÍA LOCAL.....	64
PETROGRAFÍAS .....	65
GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL.....	79
ZONA I: CERRAJERÍA PORTUGUESA Y EMPRESA MAGA .....	82
ZONA 2: CAMINO EL PLACER .....	84
ZONA 3: QUEBRADA EL AGUACATICO Y BARRIO EL AGUACATE.....	85
ZONA 4: QUEBRADA EL AGUACATICO, CAMINO EL AGUACATICO .....	87
ZONA 5: QUEBRADA GUARENAS Y QUEBRADA HELIPIERTO .....	89
DIACLASA VS TÚNEL (ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LA EXCAVACIÓN) .....	92
CUÑAS PRESENTES EN LA ZONA II .....	96
CUÑAS PRESENTES EN LA ZONA III .....	97
CUÑAS PRESENTES EN LA ZONA IV .....	100
CUÑAS PRESENTES EN LA ZONA V .....	103
<b>CAPÍTULO VIII.....</b>	<b>110</b>
<b>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>110</b>
<b>CAPITULO IX .....</b>	<b>114</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>114</b>
<b>CAPITULO X.....</b>	<b>117</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>117</b>

---

VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGUITA DE LA LÍNEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.

---

**VARIACIÓN DEL DIACLASAMIENTO Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TÚNEL CAUCAGUITA DE LA LINEA METRO CARACAS-GUARENAS-GUATIRE.**