

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO DE UNA ZONA UBICADA AL OESTE DEL POBLADO TÁCATA – EDO. MIRANDA

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los bachilleres
Lopes C, Bernardo A. y Reyes, Zaditza M,
Para optar al título de ingeniero geólogo

Caracas, Febrero 2010

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO DE UNA ZONA UBICADA AL OESTE DEL POBLADO TÁCATA – EDO. MIRANDA

Tutor Académico: Ing. Feliciano De Santis

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los bachilleres
Lopes C, Bernardo A. y Reyes, Zaditza M,
Para optar al título de ingeniero geólogo

Caracas, Febrero 2010

Caracas, Febrero 2010

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller, titulado:

ESTUDIO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO DE UNA ZONA UBICADA AL OESTE DEL POBLADO TÁCATA – EDO. MIRANDA

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

Ing. Pietro De Marco
Jurado

Ing. Víctor León
Jurado

Ing. Feliciano De Santis
Tutor Académico

DEDICATORIA

A mis padres, Ema y Valdemar, alfa y omega de mi búsqueda

A mi abuela Virginia, por su ejemplo de altura y fortaleza

A Lydia, donde fragua el porvenir

A Edgardo y a los miembros del Club de Yoga Integral, mis tutores del cambio

Lopes C. Bernardo.

*A dios y
A mis Madres por su esfuerzo,
Dedicación para guiarme por el mejor camino y enseñarme
Los principales valores de la vida*

Reyes Zaditza

AGRADECIMIENTOS

Lopes C. Bernardo

A mi tutor, Feliciano De Santis, por haber sabido transmitirme su pasión hacia el estudio de la geología aplicada, por sus valiosas lecciones y por todo el apoyo brindado para este trabajo

Al profesor Ricardo Alezones, por su apoyo permanente desde el comienzo de la carrera

A los profesores: Pietro De Marco, Mario Vignali, Ruthman Hurtado, Lenin González, Sebastián Grande, César Cárdenas y Miguel Castillejo, por sus pacientes enseñanzas

Al equipo de Ingenieros De Santis: Marielly, Pedro, Yris, Fanger, Milena, Leonor, Deysa, Lusmari, Maribiana, Leonardo, Paula, Karlha, Saraí, Raglis, Edwin y Patricia, por su apoyo decidido

A Francisco Garces, Franck Audemard y al equipo de FUNVISIS, quienes aportaron información para el desarrollo de este trabajo

A mis compañeros de estudios: William, Javier y Daniela, por su ayuda

A Luis y Haiman, por tantos años de apoyo y enseñanzas

Reyes Zaditza

Agradezco a diosito por escucharme cada vez que lo necesito y ayudarme a realizar cada unas de mis metas.

A mis dos mami (Zadis Reyes y Vicenta Reyes) a quienes le debo mi vida ya que sin ellas hubiese sido casi imposible llegar hasta donde estoy ahora. Mamis MIIL GRACIAS porque siempre están ahí apoyándome cuando más lo necesito. Las quiero muchisísimo.

A mi hermosa familia especialmente (a mi abuelita Paula y Lourdes), tías y tíos (Alida, Yraima, Juan Carlos, Alexis y Marta) por todo el cariño y sabios consejos que me han brindado para que siga adelante. También a mis lindos primitos Alexis, Paolita y Daniela (ellos saben porque, los quiero). Muack.

A mi novio hermoso (ojo, Ing. Fontalvo Rolnan), porque ha estado conmigo en los buenos y malos momentos ofreciéndome su apoyo incondicional y las mejores palabras de motivación para que por nada del mundo me rinda ante la realización de una meta. Te adoro demasíadisimo ok.

A mis locas y adoradas amigas (Mi Ari, Mi Dani, Mi Bet, Mi Suje, Mi Thaide, Mi pris Joe, Mi Vane, Mi Emi, Mi Zora, Mi Sina... Uff me canse) por estar ahí soportándome, y por esas miles palabras de ánimo que siempre me han brindado cuando lo he necesitado, una de esas frases “Claro que si puedes mi negris” entre otras. Chiquillas de verdad que se les quiere.

A mis loquitos amigos en especial a mi José y a mi Wil (gracias por nada, Mentira! De verdad gracias por esas palabras tan peculiares en el momento preciso).un besote se les quiere.

A mi otra familia (Thais Sistiaga, Zoraima Achique y Familia Barrios) que aunque no lo son legalmente, me trata como si los fuesen, gracias por el cariño brindado y buenos consejos.

A la Sra. Hilda y Sr Luciano por su apoyo y buenos deseos.

Al profesor Ricardo Alezones, por siempre estar a la disposición para respondernos con palabras rápidas y precisas, aunque quiera hacernos creer lo contrario ok.

A nuestro tutor Feliciano De Santis por su dedicación y colaboración durante la realización de este trabajo.

A los Prof. Elisa Ochoa y Pietro De Marco por su paciencia y dedicación ofrecida cuando les pedí ayuda.

A los Profesores: Ruthman Hurtado, Lenin González, Mario Vignali, Miguel Castillejo, por haber contribuido durante el desarrollo de este trabajo.

A Lusma, Patri y a Javi Javi por su ayuda y apoyo brindado.

Al equipo de Ingenieros De Santis: Yris, Karlita, Leonardo (mil gracias leito porque te fastidie como mucho), Edwin, Fanger, Deysa, Leonor, Maribiani, Paula, Saraí, Raglys, Milena, Mariely, Pedro, por la ayuda aportada.

“La sabiduría suprema es tener sueños bastante grandes para no perderlos de vista mientras se persiguen”. William Faulkner

INDICE

CAPÍTULO I.....	1
I.1.- INTRODUCCIÓN.....	1
I.1.1.-Generalidades	1
I.1.2.- Objetivo general	1
I.1.3.-Objetivos específicos.....	1
I.1.4.-Ubicación de la zona de estudio y alcances.....	2
I.1.5.-Metodología.....	4
I.6.- Antecedentes.....	7
I.7.- Trabajos previos	9
CAPÍTULO II	11
II.1.- MARCO TEÓRICO.....	11
II.1.1-Generalidades	11
II.1.2- Túneles	15
II.1.3.- Propiedades índices y ensayos geomecánicos para rocas:	22
II.1.4.-Clasificación de las rocas según su estado físico (“Clasificación de Flores Calcaño”):	23
II.1.5.- Taludes	24
II.1.6.-Análisis de estabilidad.....	26
CAPÍTULO III	28
III.1.-GEOGRAFÍA FÍSICA.....	28
III.1.1.-Clima y Vegetación	28
III.1.2.-Drenaje:.....	28
CAPÍTULO IV	30
IV.1.- GEOLOGÍA REGIONAL	30
IV.1.2- Generalidades	30
IV.1.3.- Litología.....	30
IV.1.3.- Geomorfología.....	38
IV.3.- Geología regional estructural, fallamiento activo, sismicidad y aceleraciones de diseño	41
CAPÍTULO V	46
V.1.- RESULTADOS	46

V.1.1- Caracterización geológica – geotécnica por tramos a lo largo del trazado de la vía férrea.....	46
V.1.2.- Diseño para el sostenimiento de un túnel	76
V.1.3.-Análisis de estabilidad de los portales del túnel 6	84
CAPÍTULO V	94
V.1.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
ANEXOS	105

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Ubicación de la zona. (Tomado de Cartografía Nacional)	3
Figura 2: Clasificación según el índice de resistencia geológica, GSI.	21
Figura 3: Muestra PM001 en sección fina. Detalle en nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha) de un esquisto cuarzo feldespático grafitoso.	49
Figura 4: Muestra PM003 en sección fina. Detalles en nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha) de una peridotita serpentinizada.	49
Figura 5: Muestra PM002 en sección fina. Detalles en nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha) de filita cuarzo-grafitosa-feldespática con micas.	50
Figura 6: Muestra PM003 en sección fina. Detalles en nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha) de una brecha de falla.	50
Figura 7: Muestra TE003 en sección fina. Detalles en nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha) de esquisto feldespático sericítico cuarzo micáceo	56
Figura 8: Muestra LN020 en sección fina. Detalles en nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha) de esquisto cuarzo feldespático con grafito y micas.	61
Figura 9: Muestra LN010 en sección fina. Detalles en nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha) de esquisto feldespático-micáceo.	66
Figura 10: Muestra FI005 en sección fina. Detalles en nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha) de un mármol.	70
Figura 11: Muestra FI003 en sección fina. Detalles en nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha) de un mármol.	70
Figura 12: Muestra TA001 en sección fina. Detalles en nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha) de una anfíbolita feldespática.	71
Figura 13: Muestra TA002 en sección fina. Detalles en nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha) de esquisto cuarzo sericítico feldespático micáceo	72
Figura 14: Muestra TA003 en sección fina. Detalles en nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha) de una cuarcita.	72
Figura 15: Sección tipo de un Túnel. (Tomado de Perri y De Marco 2006).....	76
Figura 16: Sección del túnel 6.....	77

Figura 17: Estereograma de densidad de polos resultante	86
Figura 18: Estereogramas que contiene los datos del talud	86
Figura 19: La red estereográfica equiangular (izquierda) muestra la intersección de los planos 3 y 5 que generan una falla en cuña, la flecha muestra la dirección del desplazamiento. Del lado izquierdo superior se observa una vista lateral de la cuña desplazada y en el recuadro izquierdo inferior se muestra la cuña en perspectiva.	88
Figura 20: Estereogramas que contiene los datos del talud	92

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consideraciones para el sostenimiento del túnel atendiendo al estado de la roca, de donde se desprende su clasificación geomecánica	16
Tabla 2. Parámetros de Clasificación según Bieniawsky (1989). (Tomado de De Santis 2009).....	18
Tabla 3. Calidad del macizo rocoso en relación al índice RMR. (Tomado de De Santis, 2009).....	18
Tabla 4. Valoración del índice Q.	20
Tabla 5: Grado de meteorización del macizo rocoso	46
Tabla 6: Datos de Perforaciones	47
Tabla 7: Datos de Perforaciones	54
Tabla 9: Datos de Perforaciones	64
Tabla 10: Rangos de Coberturas	78
Tabla 11: Valores por tramos de las presiones de carga con sus respectivos soportes.	78
Tabla 12: Valores por tramos de las presiones de carga con sus respectivos soportes.	79
Tabla 13: Valores por tramos de las presiones críticas con sus respectivos soportes.	80
Tabla 14: Datos usados para los cálculos en la cobertura profunda	81
Tabla 15: Resultados obtenidos en el cálculo de cobertura profunda.....	82
Tabla 16: Presiones de estabilización para cobertura profundas	83
Tabla 17: Data estructural	85
Tabla 18: Muestra los resultados mencionados.	87
Tabla 19: Características de los anclajes.....	90
Tabla 20: Data estructural del portal oeste – Túnel 6	91
Tabla 21: Resumen de la caracterización geológica por tramos	94
Tabla 22: Grado de conocimiento de los macizos rocosos	97

LOPES C, BERNARDO Y REYES, ZADITZA

**ESTUDIO GEOLÓGICO
GEOTÉCNICO DE UNA ZONA UBICADA AL OESTE DEL POBLADO
TÁCATA – EDO. MIRANDA**

**Tutor académico: Feliciano De Santis
Tesis. Caracas, UCV. Facultad de Ingeniería
Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Año 2010, 104p.**

Palabras claves: Sistema ferroviario eje central, taludes, túneles, geotecnia, ferrocarril, estabilización.

Resumen

Se realizó un estudio geológico y geotécnico para fines de construcción de una vía férrea, entre la ciudad de Tejerías y el poblado de Tácata, estado Miranda. La zona se extiende entre las progresivas Km 42+000 y Km 58+000, del tramo ferroviario Cúa – La Encrucijada, como parte del eje ferroviario central.

Para ello, se conjugó información bibliográfica, sísmica y fotogeológica, con jornadas de geología de superficie, ensayos geotécnicos, sondeos a máquina del subsuelo y petrografías. Toda la información se sintetizó en 3 mapas de escala 1:5.000 donde se exponen las unidades litoestratigráficas formales y 16 planos geológicos 1:1.000, donde se muestra la litología y los parámetros geomecánicos en vista de planta y secciones longitudinales a lo largo de la ruta.

La zona se dividió para fines de caracterización en 5 tramos, atendiendo a parámetros estructurales y litológicos principalmente. En cada tramo se realizó una caracterización geológica completa, en donde se analizaron las zonas potencialmente peligrosas desde el punto de vista geotécnico para el desarrollo de la ruta ferroviaria, haciéndose recomendaciones al respecto.

Además de esto, se realizó es estudio de estabilidad de taludes de un túnel, proponiéndose la obras de estabilización de los portales de éste, que consisten en pantallas ancladas de concreto proyectado, y se diseñó el sostenimiento primario del túnel.

CAPÍTULO I

I.1.- INTRODUCCIÓN

I.1.1.-Generalidades

El trabajo de investigación, plantea realizar un estudio geológico y geotécnico, de una zona ubicada al oeste del poblado de TÁCATA, estado Miranda. Se realiza para fines de desarrollo de una vía férrea que una las ciudades de Cúa y Cagua. Se realiza el estudio geológico de superficie del tramo TÁCATA – Tejerías, entre las progresivas Km 42 y Km 58.

I.1.2.- Objetivo general

Realizar un estudio geológico, que permita anticipar el comportamiento geomecánico durante y posteriormente a la construcción de la vía férrea.

I.1.3.-Objetivos específicos

- Establecer unidades litológicas, geomecánicas y estructurales; para facilitar la caracterización geológico – geotécnica.
- Realizar un estudio fotogeológico para garantizar una visión integral del contexto geológico.
- Analizar y cartografiar los procesos de meteorización y geodinámica externa.
- Realizar estudios petrográficos para establecer las mineralogías de los principales tipos litológicos.
- Realizar ensayos geotécnicos para obtener los parámetros necesarios en el diseño de obras y predecir el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos.

- Realizar estudios de estabilidad de taludes para predecir los posibles modos de falla.
- Diseñar obras de estabilización de taludes en los portales de un túnel.
- Construir secciones geomecánicas a lo largo de la ruta para mostrar la distribución de las litologías y estructuras en el subsuelo.
- Diseñar el sostenimiento primario de un túnel.
- Estudiar la sismicidad de la zona para incluirla como parámetro de diseño.

I.1.4.-Ubicación de la zona de estudio y alcances

La investigación se limitó a resolver el problema de la caracterización geomecánica de los materiales constituyentes del macizo rocoso de una zona ubicada al oeste del poblado de Tácata, estado Miranda, en la franja limitada por las coordenadas UTM 19P 708.000 - 1.133.000; 712.500 – 1.133.000; 719.000 – 1.128.000; 717.500 – 1.126.500; 711.000 – 1.131.000 y 708.000 – 1.131.000; que determina un área de aproximadamente 29km².

Para ello se realizó un mapa de unidades geológicas formales con data geomecánica a escala 1:5.000 en una franja de 3 km de ancho en una primera etapa del estudio, para luego realizar mapas geológicos-geomecánicos a escala 1:1.000 a lo largo de la ruta en una franja de 300 m de ancho. Es importante resaltar que los mapas geológicos-geomecánicos a escala 1:1.000 fueron impresos a una escala menor (1: 2.000).

La cartografía de escala 1:1.000 está limitada por las coordenadas TM 499.302 – 1.128.301; 499.302 – 1.127.942; 486.400 – 1.133.167 y 486.400 – 1.132.791. Los resultados obtenidos, se utilizarán para diseñar el sostenimiento primario de un túnel y las obras de estabilización de taludes en los portales de éste.

La figura 1, muestra la ubicación de la zona de estudio.

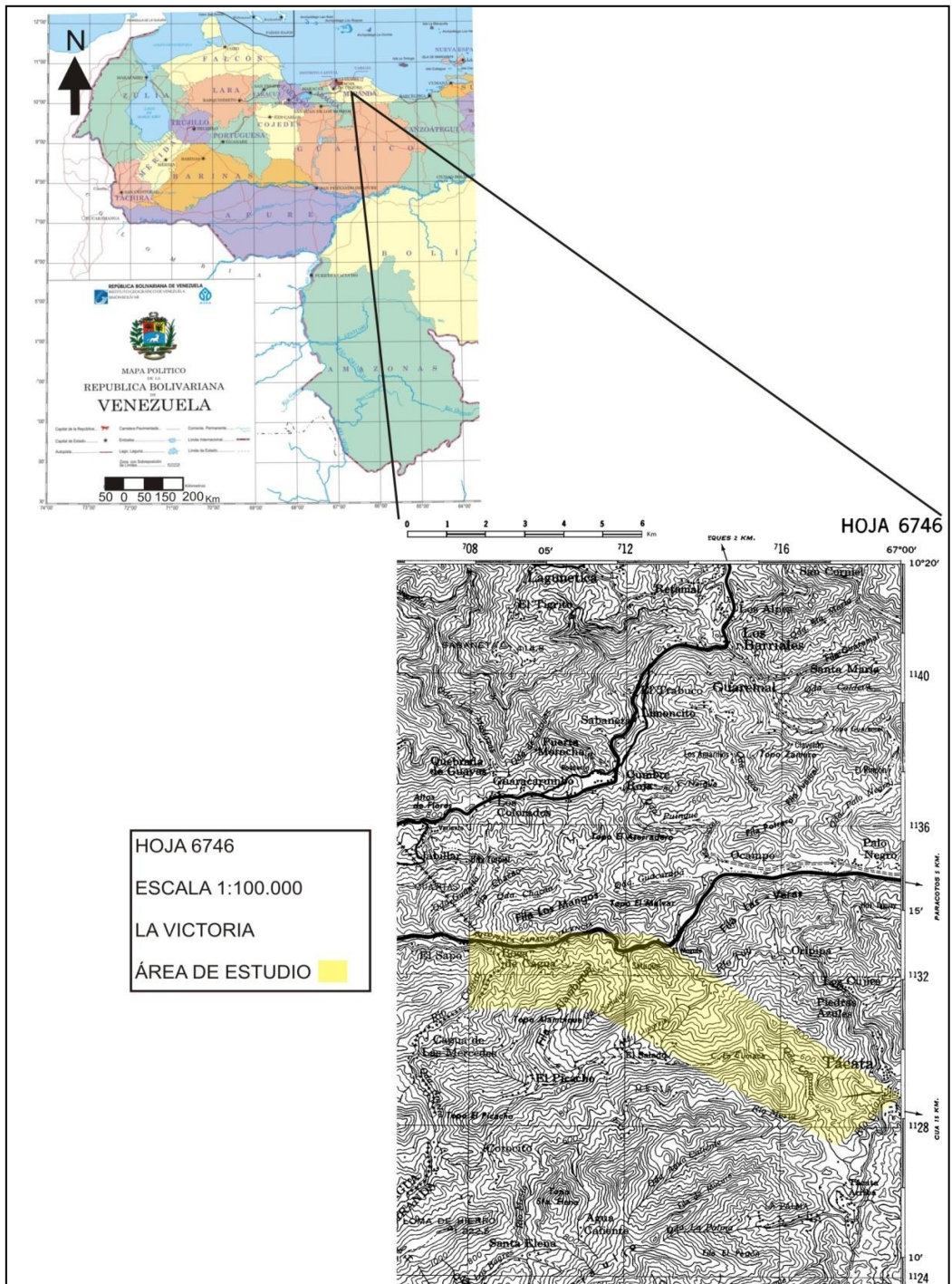


Figura 1: Mapa de Ubicación de la zona. (Tomado de Cartografía Nacional)

I.1.5.-Metodología

1. Recolectar la bibliografía y cartografía geológica disponible acerca de la zona.
2. Diseñar instrumentos eficientes de recolección de información de geología y geotécnica en campo.
3. Realizar una fotointerpretación de la zona de estudio, con miras a cartografiar las unidades litológicas presentes, observar la presencia de procesos de geodinámica externa y vislumbrar las posibilidades de acceso a la zona.
4. Realizar jornadas de geología de campo para la recolección de muestras, establecimiento unidades litológicas, cartografía de fallas, establecimiento de clasificaciones geomecánicas, cartografía de procesos de geodinámica externa y establecimiento de variación de los grados de meteorización.
5. Elaborar mapas geológicos – geotécnicos de la zona.
6. Realizar secciones geológicas - geomecánicas longitudinales a lo largo de la vía férrea.
7. Realizar una descripción detallada de las características geológicas y geomecánica de la zona afectada por la construcción de la vía férrea.
8. Estudiar la estabilidad de taludes en los portales de un túnel.
9. Diseñar las obras de estabilización de taludes en los portales de un túnel.
10. Diseñar el sostenimiento primario de un túnel.

I.5.1.-Fase 1: pre-Campo

Fechas: entre el 6 de julio y el 17 de julio de 2009.

Metas: lograr recolectar la mayor cantidad de información bibliográfica y cartográfica que faciliten las tareas de campo a través del diseño de un plan altamente eficiente para el desarrollo del estudio geológico de superficie.

Algunas tareas detalladas de esta fase son:

1. Identificación de la zona de estudio y establecimiento de límites exactos para fines cartografía.
2. Recolección de cartografía topográfica, geológica y estructural, a escalas de detalle mayor de 1:20.000
3. Identificación de las misiones aéreas fotogeológicas que dan cobertura a la zona para identificar zonas de interés y como apoyo a la elaboración de la cartografía geológica.
4. Elaboración de un plan operativo para el levantamiento, acorde con los objetivos de la campaña y la interpretación fotogeológica realizada.
5. Elaboración de criterios unificados para el levantamiento geológico de campo.

I.5.2.-Fase 2: Campo

Fechas: entre el 20 de julio al 18 de septiembre de 2009.

Metas: recolectar la mayor cantidad de data geológica y geotécnica de calidad en la zona estudiada.

Algunas tareas detalladas de esta fase son:

1. Cartografiar afloramientos, estructuras y procesos de geodinámica externa.
2. Realizar la descripción litológica, geomecánica y geométrica completa de los afloramientos.
3. Tomar muestras representativas de las litologías descritas, para la realización de ensayos geotécnicos.
4. Establecer en la cartografía los contactos entre formaciones litoestratigráficas formales, para el mapa geológico escala 1:5.000
5. Realizar secciones geológicas longitudinales preliminares a lo largo de la vía férrea.

6. Elaborar un perfil de meteorización a lo largo de la vía férrea, a través del reconocimiento de los grados de meteorización de las rocas en afloramiento y en los núcleos de los sondeos a máquina realizados.

7. Realizar análisis estadísticos de la data estructural a través de procedimientos estereográficos. Para ello, se utilizará el programa Dips de la firma Rocscience.

8. Realizar ensayos geomecánicos y secciones finas para petrografía.

La síntesis de toda esta fase será un preinforme geológico del levantamiento de campo, que debe estar finiquitado el 25 de septiembre de 2009.

I.5.3.-Fase 3: Laboratorio

Fechas: entre el 28 de septiembre al 30 de octubre de 2009.

Metas: realizar un análisis petrográfico de las muestras recolectadas en la etapa de campo, organizar la información proveniente de los ensayos geomecánicos y elaborar un informe de resultados, realizar la cartografía geológica y las secciones longitudinales.

El estudio petrográfico se realiza para conocer la mineralogía y en que porcentajes se presentan en los principales tipos de rocas encontradas. Los ensayos geomecánicos, también serán utilizados para la realización de estimaciones de las propiedades de las zonas en las cuales no se encuentra acceso.

Las secciones geológicas longitudinales se realizan sobre el corte topográfico construido con el programa Land Desktop de la firma Autodesk, el perfil de meteorización se construye en base a la información disponible de las perforaciones realizadas y se extrapola analíticamente a las zonas sin acceso.

I.5.4.-Fase 4: redacción del informe

Fechas: entre el 02 noviembre al 18 de diciembre de 2009.

Metas: realizar un informe técnico que sintetice el levantamiento geológico y geomecánico de campo, resultados experimentales de los ensayos realizados, el

diseño de obras de sostenimiento y estabilización de taludes de un túnel. Además de esto, debe elaborarse la versión final de los mapas geológicos – geomecánicos y los perfiles geomecánicos. Así como elaborar la presentación del trabajo especial de grado.

Para el estudio de la estabilidad de los taludes del portal del túnel seleccionado, se realiza un análisis estadístico de la data estructural en el programa Dips. Una vez verificada las tendencias centrales, se procede a analizar los posibles modos de falla. Las fallas en cuña se realizan con ayuda del programa Swedge de la firma Rocsciense.

El diseño del sostenimiento primario del túnel seleccionado se realiza a través de la metodología propuesta por Hoek (2006).

I.6.- Antecedentes

LOYO, B (1986), realizó un estudio tecto - estratigráfico de la cuenca del Tuy, edo. Miranda. Este trabajo incluye una descripción geológica general de la cuenca tectónica y estratigráfica del área de estudio, donde se pueden distinguir dos unidades principales del relieve, una de relieve montañoso y otra de depresión sedimentaria. El estudio estratigráfico permitió la separación de la secuencia sedimentaria en unidades litoestratigráfica informales menores, tales como facies lacustre, facies fluviales y facies de conos aluviales.

VAN BERKEL, D. (1988), estudia la zona comprendida entre las poblaciones de Tácata y Altagracia de la Montaña, edo. Miranda. Elabora una completa cartografía geológica a escala 1:25.000, donde se expone la ubicación del complejo ofiolítico de Loma de Hierro, de la Formación Tucutunemo. Ubica la zona dentro de un antiformal de eje N55E. Discriminan dos patrones de fallas: una transcurrente – dextral con

trazas N65-85W y otra inversa de corrimiento con trazas de rumbo N60-70W. Basándose en los criterios litológicos, texturales y geográficos se determinó que las rocas que afloran en el área de estudio forman parte del complejo ofiolítico de Loma de Hierro, de la formación Paracotos y del miembro Los Naranjos de la Formación Tucutunemo.

AUDEMARD, F. DE SANTIS, F. & SINGER, A. (1995). Según los autores el sistema de falla La Victoria en la Venezuela norcentral tiene una longitud aproximada de 350km extendiéndose desde Tinaquillo (estado Cojedes) hasta Cabo Codera (estado Miranda). Desde el punto de vista estructural, lo definen como un accidente complejo caracterizado por una disposición de trazas “en échelon” (escalonadas) y con solapamiento dextro con discutible componente normal en el cuaternario. Asocian a este sistema las fallas de Tácata - La Victoria (destrales).

AUDEMARD (2000), realiza un mapa y una base de datos de las fallas cuaternarias en Venezuela. Establece que la falla de Tácata cruza la Cordillera de la Costa de forma oblicua, cortando rocas metamórficas en napas Mesozoicas emplazada durante la colisión oblicua entre el arco proto-caribe y la Sudamérica el margen pasivo. Esta falla diverge de la falta de La Victoria en Las Tejeras y se extiende hacia el sureste a Altigracia de Orituco. Atraviesa el río Tuy en el suroeste y es responsable de su formación. Plantea además, la controversia actual sobre el origen de esta cuenca; en las teorías de graben por colapso de orogénico contra la teoría pull-apart por divergencia.

URBANI *et al* (2004), coordina un proyecto de integración de cartografía geológica, que culmina en un atlas, en el cual se dispone de varios mapas de la zona y sus alrededores, donde está plasmada información sobre las unidades litoestratigráficas formales y estructurales presentes.

I.7.- Trabajos previos

DOMÍNGUEZ, N. (2005), realizó una caracterización geotécnica de las masas rocosas ígneo - metamórficas que conforman los taludes a lo largo de la autopista Valencia – Puerto Cabello, con la finalidad de calcular los parámetros geomecánicos de la roca intacta y de la masa rocosa; para luego aplicar los métodos racionales pertinentes para analizar la estabilidad de taludes y de esta manera cuantificar el nivel de riesgo geotécnico que esos taludes presentan.

HERNÁNDEZ, S. (2005), realizó un estudio con el fin de obtener los datos para la retroalimentación del túnel La Cabrera, del Sistema Ferroviario Central, tramo Puerto Cabello – La Encrucijada, con fines de optimización del diseño del revestimiento. Para ello, llevó a cabo una caracterización del macizo rocoso, sectorización del túnel en zonas macroscópicamente homogéneas, determinación de las cargas actuantes sobre el soporte primario según los rangos de cobertura, así como también la elaboración de datos de caracterización geomecánica del túnel para establecer las cargas sobre el revestimiento a lo largo del trazado.

TOVAR, M. (2005), llevó a cabo un estudio geológico geotécnico basándose en la caracterización de suelos residuales y del perfil de meteorización en la zona de influencia del Área Metropolitana de Caracas.

MARTÍNEZ, W. & ZURBARAN L. (2007), realizaron un estudio geológico y geomecánico del macizo rocoso, para la construcción del túnel sistema ferroviario San Juan de los Morros - San Fernando de Apure, estado Guárico. Este estudio se basó en la caracterización del macizo rocoso desde el punto de vista geológico, interpretación fotogeológica de la zona, elaboración de ensayos de laboratorio a las muestras recolectadas para determinar las características geomecánicas de la roca,

clasificación geomecánica del macizo rocoso, creación de un modelo geológico - geomecánico de la zona y diseño del sostenimiento del túnel.

ZAMORA, J. (2007), realizó un estudio geomorfológico, para así estimar el riesgo natural asociado a movimientos de remoción de masa, tras el análisis e interrelación de las variables físicas que consideró necesarias para obtener el grado relativo de estabilidad de los terrenos que existen en el Distrito Metropolitano de Caracas.

ZAMBRANO, C. (2007), realizó una caracterización geotécnica en una zona de El Hatillo, al sureste de Caracas, con el fin de elaborar perfiles en los cuales se exprese el grado de meteorización presente en las rocas. Con dichos perfiles se logró conocer la disposición de las capas que los conforman y establecer las condiciones de erosionabilidad y estabilidad de los taludes. De igual forma logró formular ciertas recomendaciones para la preservación de los taludes.

HERNÁNDEZ, M. & MARTÍNEZ, R. (2008), realizaron una evaluación de los parámetros geológicos y geomecánicos con el fin de estudiar los problemas de estabilidad en la excavación del túnel de la obra Tránsito Taguaguay - Valles de Tucutunemo, estado Aragua. Para ello, se efectuaron estudios que determinaron la calidad de la roca, lo que se utilizó para la clasificación de los parámetros geológicos y geomecánicos de campo, los que fueron comparados con los utilizados para el diseño del túnel.

CAPÍTULO II

II.1.- MARCO TEÓRICO

II.1.1-Generalidades

II .1.1.1.-Matriz rocosa:

Según González (2002), es el material que conforma la roca sin la presencia de discontinuidades, que presenta un comportamiento heterogéneo y anisotrópico el cual se encuentra directamente ligado a su fábrica, textura y estructura cristalina. Mecánicamente es caracterizada por su peso específico y resistencia a la compresión simple.

II.1.1.2.-Discontinuidades del macizo rocoso:

El término de discontinuidad se refiere a cualquier plano que separa en bloques la matriz rocosa a lo largo del macizo. Su comportamiento mecánico queda caracterizado por su resistencia al corte. (Modificado de González 2002).

Para Salcedo (1983) el término se refiere a superficies de debilidad que imparten a la roca una condición de anisotropía de resistencia, englobando diaclasas, fallas, grietas, fisuras, foliación y estratificación.

II.1.1.3.-Diaclasa:

Salcedo (1983), asume la definición de la ISRM del año 1981 que la define como “un quiebre o fractura de origen geológico en la continuidad de una roca, a lo largo de la cual no ha habido desplazamiento visible”, sin embargo se explica que es admisible un pequeño desplazamiento en sentido perpendicular al plano de discontinuidad. Esta observación también es explicitada por Lahee (1979), sin embargo, no se encuentra

en la bibliografía consultada ninguna cuantificación del término “pequeña”. Para efectos de clasificación geomecánica, simplemente se mide este desplazamiento.

Un grupo de diaclasas paralelas se denomina “sets” o “familia de diaclasas”; varias familias de diaclasas al interceptarse forman un “sistema de diaclasas”

II.1.1.4.-Fallas:

Desde la perspectiva geotécnica de macizos rocosos, una falla se refiere a una fractura o zona de fractura, “idealizada” a un plano, a lo largo del cual ha habido un desplazamiento relativo de un lado respecto al otro. Su importancia desde el punto de vista de la estabilidad de taludes en macizos rocosos radica en que, las fallas se constituyen en discontinuidades adicionales que presentan menor resistencia al corte que la roca intacta, lo que indica que a lo largo de ella puede haber rotura por corte. (Modificado de Salcedo, 1983)

Debe aclararse sin embargo, que el término falla está ampliamente extendido en ingeniería, y se refiere en términos generales a cambios sustanciales en las propiedades mecánicas de un material, que lo vuelve incapaz de desempeñar sus funciones. Por ello en el presente, se utilizará en término indistintamente en otros materiales como suelos y estructuras.

II.1.1.5.-Grieta:

Término utilizado para referirse a una fractura pequeña y con desplazamiento mínimo. (Modificado de Salcedo, 1983)

II.1.1.6.-Fisura:

Salcedo (1983), las define como “grietas pequeñas planares... que originan respuestas no lineales en el proceso de carga-deformación a bajos niveles de

esfuerzos; asimismo disminuyen la resistencia a la tracción, siendo responsables de la variabilidad y dispersión en resultados de ensayos”.

II.1.1.7.-Estratificación:

Es la separación de la roca en capas de igual o distinta litología, y que se corresponden con un mismo momento de depositación. Es común de rocas sedimentarias, aunque puede presentarse en rocas piroclásticas o conservarse como producto del metamorfismo de rocas sedimentarias. (Modificado de Lahee, 1979).

II.1.1.8.-Foliación o esquistosidad:

Se desarrollan como producto del metamorfismo de rocas preexistentes. Se constituyen en superficies penetrativas, que se desarrollan por alineaciones de familias minerales, en dirección perpendicular al esfuerzo máximo y se constituyen a la vez en alineaciones planares. (Modificado Salcedo, 1986).

Es término esquistosidad es comúnmente usado en rocas con tamaño de grano apreciable, que desarrollan planos más gruesos, mientras que el término foliación se utiliza para granos más finos, que desarrollan planos más delgados. Sin embargo, ambos son términos relativos y varían según el autor. (Modificado Salcedo, 1986).

II.1.1.9.-Influencia de las Condiciones Geológicas en los Túneles:

Al excavar un túnel, se pueden encontrar con frecuencia tres tipos de condiciones naturales que dan lugar a una pérdida de resistencia del macizo rocoso, y por tanto abren paso a problemas de estabilidad de la estructura. Estos son:

- Orientación desfavorable de discontinuidades.
- Orientación desfavorable de las tensiones respecto al eje del túnel.
- Flujos de agua hacia el interior de la excavación que circula por las fracturas.
- Altas temperaturas y gases tóxicos.

Estas condiciones están directamente relacionadas con los siguientes factores geológicos: estructuras, discontinuidades, tipo de litología, hidrogeología, estado tensional y gradiente geotérmico. (Modificado de Vallejo, 2002).

En presencia de fallas, se debe conocer la posición que guardan éstas con respecto al eje del túnel y la longitud en que lo afectan. Se determinará también si son activas o no, y la magnitud que tienen para saber si se encontrará roca triturada en la zona del túnel. Si se cruza una falla activa, el túnel puede verse sometido repentinamente a grandes esfuerzos cortantes. Es aconsejable, de ser necesario, atravesar las fallas perpendicularmente, para disminuir la superficie con problemas. En una zona fallada, el terreno suele encontrarse también fracturado, debido principalmente a la presencia de materiales alterados o faltos de cohesión. (Modificado de Ruiz & González, 2007).

Las fallas pueden actuar como trampas de agua, sometiendo la excavación a flujos repentinos al atravesar una zona fallada.

La estratificación es otro factor, que debe ser tomado en cuenta para el establecimiento de la localización y profundidad adecuada para el eje del túnel. En rocas sedimentarias, la presión total sobre el túnel y la forma como ésta se distribuyen a lo largo del él, es función principalmente de la estratificación. Si el eje del túnel es llevado perpendicularmente al rumbo de rocas que tienen un echado fuerte se hallarán varios contactos de rocas con diferentes propiedades, lo cual puede ocasionar problemas de permeabilidad o de estabilidad. Por ello es conveniente, si es posible, llevar el túnel paralelamente al rumbo de una sola formación con propiedades adecuadas. (Modificado de Ruiz & González, 2007).

Estructuralmente, los anticlinales presentan condiciones más favorables para ubicar un túnel que un sinforme. En primer lugar, porque la presión que existe en el centro de éste, es menor que en un sinforme y en segundo porque si la formación es

permeable, en un antiforame el agua tiende a escurrir. (Modificado de Ruiz & González, 2007).

II.1.1.10.- Influencia de las acciones inducidas en macizos rocosos:

- Pérdida de resistencia del macizo que rodea a la excavación como consecuencia de la descompresión creada; apertura de discontinuidades, figuración por voladuras, alteraciones, flujos de agua hacia el interior del túnel, etc.
- Reorientación de los campos tensionales.
- Otros efectos como subsidencias, movimientos de laderas, cambios de acuíferos, etc.

La respuesta del macizo rocoso ante las acciones naturales e inducidas determina las condiciones de estabilidad del túnel y, como consecuencia, las medidas de sostenimiento a aplicar. (Modificado de Vallejo, 2002).

II.1.2- Túneles

II.1.2.1-Clasificaciones geomecánicas de los Macizos Rocosos:

Las clasificaciones geomecánicas constituyen actualmente un método fundamental para la caracterización de los macizos rocosos, desde la perspectiva de su comportamiento geotécnico en base a sus cualidades geológicas; obteniendo parámetros de resistencia y deformabilidad, aplicados en los cálculos de sostenimientos del túnel. Las tablas 1 y 2 muestran las especificaciones de la clasificación RMR. (Modificado de Vallejo, 2002).

Estado de la roca	Carga de la roca Hp en pies	Observaciones
1.-Dura y masiva	Cero	Solo se necesitara refuerzo escaso si hay desprendimiento o chasquido
2.-Dura pero estratificada o esquistosa	0 a 0.5 B	refuerzo escaso más que nada como protección contra desprendimientos
3.- Masiva, ligeramente fisurada	0 a 0.25 B	La carga puede cambiar en forma errática de un punto a otro.
4.-Medianamente fracturada en bloques algo abiertos	0.25 B a 0.35 (B+Ht)	No hay presión lateral
5.-Muy fracturada en bloques y las fracturas abiertas	(0.35 a 1.10)(B+Ht)	Poca o ninguna presión lateral.
6.-Totalmente triturada pero químicamente inalterada.	1.10 (B+Ht)	Presiones laterales considerables. Los efectos de las infiltraciones hacia el piso del túnel requieren apoyo continuo para las partes bajas de los marcos, o bien marcos circulares
7.-Roca comprimida profundidad moderada	(1.10 a 2.20)(B+Ht)	Considerable presión lateral. Se requiere plantilla apuntalada. Es preferible usar marcos circulares.
8.- Roca comprimida a gran profundidad	(2.10 a 4.50)(B+Ht)	
9.- Roca expansiva	Hasta 250 pies independientemente del valor (B+Ht)	Marcos circulares indispensables. En casos extremos, úsese refuerzo elástico

Tabla 1. Consideraciones para el sostenimiento del túnel atendiendo al estado de la roca, de donde se desprende su clasificación geomecánica. (Tomado de Dimitiros, 2005).

Las clasificaciones geomecánicas más utilizadas son las siguientes:

II.1.2.1.1.- Índice de Calidad de Roca de Deere (RQD – Rock Quality Designation):

Es un índice cuantitativo de la calidad de la roca basado en la recuperación de núcleos con perforación de diamante, su utilización se encuentra ampliamente extendida, dada su utilidad en la clasificación de macizos rocosos para la selección del refuerzo de túneles. Deere, en su proposición de clasificación, pone en evidencia la necesidad de dar otros elementos descriptivos referidos a la masa rocosa y en particular a las discontinuidades pertenecientes a ésta; como apertura de las discontinuidades, grado de irregularidad de las superficies, presencia o no de material

de relleno, forma de las discontinuidades y estado de las superficies de discontinuidades.

El índice se define como el porcentaje de núcleos que se recuperan en piezas enteras de 100mm o más, del largo total del barreno. (Modificado de Perri, 1979).

$$RQD (\%) = (Longitud \text{ de núcleos } > 100mm) * 100 / (Largo \text{ de perforación})$$

La norma ASTM D 6032 – 02 Standard Test Method for Determining Rock Quality Designation (RQD) of Rock Core, disponible para el lector en la sección de anexos, explica las especificidades de dicho parámetro.

II.1.2.1.2.-Clasificación de Bieniawski, 1980 (RMR – Rock Mass Rating):

Constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación, así como de sostenimiento en túneles. Toma en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación en términos del RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.

Para aplicar la clasificación se divide el macizo en zonas que presenten las mismas características geológicas más o menos uniformes de acuerdo con las observaciones hechas en campo, en las que se lleva a cabo la toma de datos referentes a las propiedades y características de la matriz rocosa y de las discontinuidades. El valor RMR viene dado por la suma de las puntuaciones resultantes al aplicar los cinco

parámetros de clasificación. El RMR varía de 0 a 100 puntos, distinguiendo 5 tipos de rocas. (Modificado de Vallejo, 2002).

La tabla 2 muestra la valoración de los parámetros geomecánicos usados en la clasificación RMR y La tabla 3 clasifica los macizos en base al puntaje RMR.

	Resistencia de la roca intacta a la Compresión Simple (MPa)	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	< 1
1	Puntuación	15	12	7	4	2	1	0
	RQD	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%		
2	Puntuación	20	17	13	6	3		
	Separación de diaclasas	> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2 m	< 0,06 m		
3	Puntuación	20	15	10	8	6		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m	
		Puntuación	6	4	2	1	0	
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	> 5 mm	
		Puntuación	6	5	3	1	0	
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave	
		Puntuación	6	5	3	1	0	
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm	
		Puntuación	6	4	2	2	0	
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta	
		Puntuación	6	5	3	1	0	
5	Hidrogeología	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación	15	10	7	4	0		

Tabla 2. Parámetros de Clasificación según Bieniawsky (1989). (Tomado de De Santis 2009)

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy Buena	100-81	> 4 Kg/cm ²	> 45°
II	Buena	80-61	3-4 Kg/cm ²	35°-45°
III	Media	60-41	2-3 Kg/cm ²	25°-35°
IV	Mala	40-21	1-2 Kg/cm ²	15°-25°
V	Muy Mala	< 20	< 1 Kg/cm ²	< 15°

Tabla 3. Calidad del macizo rocoso en relación al índice RMR. (Tomado de De Santis, 2009)

II.1.2.1.3.-Índice de Calidad de Túneles de Barton (Q – NGI):

A partir del estudio de un gran número de túneles, el sistema de clasificación geomecánica Q permite estimar parámetros geotécnicos del macizo y diseñar sostenimientos para túneles y cavernas subterráneas. Se basa en la evaluación numérica de seis parámetros. La siguiente ecuación muestra las variables que intervienen en el cálculo del índice Q.

$$Q = (RQD / J_n) * (J_r / J_a) * (J_w / SRF)$$

Donde:

RQD - Índice de calidad de roca de Deere.

J_n - Índice de diaclasamiento.

J_r - Índice de rugosidad en las discontinuidades.

J_a - Índice de alteración de las paredes de las discontinuidades.

J_w – Coeficiente reductor por la presencia de agua.

SRF (stress reduction factor) – Coeficiente de influencia del estado tensional del macizo. (Modificado de Barton 1974)

El primer cociente (RQD/J_n), representa la estructura del macizo, de su tamaño de los bloques. El segundo cociente (J_r/J_a), representa la resistencia al corte, dada por la rugosidad y la fricción de las paredes de las discontinuidades o de los rellenos. El tercer cociente (J_w/SRF), representa el estado de esfuerzos asociado al macizo, es un factor empírico complejo, que describe las fuerzas activas. La tabla 4, indica los criterios de valoración del índice Q.

Tabla 4. Valoración del índice Q.

0,001 y 0,01	Roca excepcionalmente mala
0,01 y 0,1	Roca extremadamente mala
0,1 y 1	Roca muy mala
1 y 4	Roca mala
4 y 10	Roca media
10 y 40	Roca buena
40 y 100	Roca muy buena
100 y 400	Roca extremadamente buena
400 y 1000	Roca excepcionalmente buena

(Modificado de Vallejo, 2002).

II.1.2.1.4.-Clasificación de Hoek (GSI – Geological Strength Index):

Partiendo de la litología, estructura y condiciones de las discontinuidades, se establece el índice GSI. Según este índice, la fuerza de un macizo, depende de las propiedades de los bloques de roca intacta y también sobre la capacidad de ellas de resistirse al deslizamiento y rotación entre sí. Esta resistencia es controlada por la geométrica de los bloques de roca intacta, así como por las condiciones de las discontinuidades. El GSI, proporciona un valor que, combinado con las propiedades de la roca intacta, puede utilizarse para estimar la reducción de fuerzas resistentes, ante diferentes condiciones geológicas. Se conoce que; $GSI = RMR - 5$. (Modificado de Hoek, 2006).

En 1999, Truzman realiza un ajuste de la clasificación original, aplicada a los macizos rocosos metamórficos de la Cordillera de la Costa venezolana (figura 5). El GSI es una clasificación que no depende de los factores: orientación, humedad, pretensión. El valor del GSI permite cuantificar las características geomecánicas de los macizos rocosos, y tomando en cuenta y este número junto con los resultados de laboratorio de resistencia y deformabilidad, se realiza un estimado de los valores representativos del macizo, tales como: cohesión, ángulo de fricción interna,

resistencia a la compresión uniaxial y el módulo de deformación longitudinal.
(Modificado de Truzman, 1999).







<p>INDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI) PARA LAS ROCAS METAMÓRFICAS DE LA CORDILERA DE LA COSTA DE VENEZUELA</p> <p>A partir de la descripción de la estructura y las condiciones de la superficie de la masa rocosa, seleccionar el intervalo apropiado de esta gráfica. Estimar el valor promedio del GSI de dicho intervalo. No intentar ser tan preciso. Escoger un rango de GSI de 36 a 42 es más aceptable que fijar un GSI=38. También es importante reconocer que el criterio de hoek-brown debería ser aplicado solamente en macizos rocosos donde el tamaño de los bloques o fragmentos es pequeño comparado con el tamaño de la excavación a ser evaluada. Cuando el tamaño de los bloques individuales es aproximadamente mayor a un cuarto de la dimensión de la excavación, generalmente la falla estaría controlada por la estructura y el criterio de hoek-brown no debería ser utilizado.</p> <p>ESTRUCTURA</p>	<p>BRECHADA/CIZALLADA</p> <p>MUY BUENA Rugosa, superficies cerradas sin meteorización</p> <p>BUENA Rugosa ligeramente meteorizada, abertura < 1mm, rellenos duros</p> <p>MEDIA Plana, moderadamente meteorizada, abertura 1 - 5 mm, rellenos duros y blandos</p> <p>MALA Espejos de falla, superficies muy meteorizadas con abertura > 5 mm, predominan los rellenos blandos</p> <p>MUY MALA Espejos de falla, superficies muy meteorizadas y abiertas con rellenos blandos</p>	DISMINUCION EN CALIDAD DE SUPERFICIE				
 <p>INTACTA O MASIVA: macizo rocoso con pocas discontinuidades, carentes de planos de foliación. Ej. Cuarzitas, anfíbolitas o mármoles</p>	90	80	N/A	N/A	N/A	
 <p>POCO FOLIADA: macizo rocoso parcialmente fracturado con hasta tres sistemas de discontinuidades. Puede contener intercalaciones delgadas de rocas foliadas. Ej. Cuarzita fracturada intercalada ocasionalmente con esquistos y/o filitas</p>	70	60	50	40	30	
 <p>MODERADAMENTE FOLIADA: macizo rocoso fracturado constituido por intercalaciones de rocas foliadas y no foliadas en proporciones semejantes. Ej. Intercalaciones de esquistos y/o filitas con mármoles fracturados en proporción similar</p>	30	20	10	5	N/A	
 <p>FOLIADA: macizo rocoso plegado y/o fallado, muy fracturado, donde predominan las rocas foliadas, con ocasionales intercalaciones de rocas no foliadas. Ej. Esquistos y/o filitas muy fracturadas intercaladas ocasionalmente con mármoles lenticulares</p>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
 <p>MUY FOLIADA: macizo rocoso plegado, altamente fracturado, constituido únicamente por rocas muy foliadas. Ej. Esquistos y/o filitas muy fracturadas sin la presencia de mármoles, gneises o cuarzitas</p>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
 <p>BRECHADA/CIZALLADA: macizo rocoso muy plegado, alterado tectónicamente, con aspecto brechoide. Ej. Brecha de falla o zona influenciada por fallas cercanas</p>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	

Figura 2: Clasificación según el índice de resistencia geológica, GSI.

(Tomado de Truzman, 1999)

II.1.2.1.5.-Terminología comúnmente utilizada en clasificaciones geomecánicas:

- Orientación de las discontinuidades:

La disposición espacial de las discontinuidades para fines de ingeniería, se reduce a la orientación de los planos “ideales” que mejor la representen. Queda definida por su dirección de las rectas horizontales del plano, medidas respecto al norte en sentido horario, y por buzamiento que es el ángulo que forma la recta de máxima pendiente de dicho plano con un plano horizontal. En campo dicha medición se realiza mediante el uso de la brújula con clinómetro. (Modificado Salcedo, 1986).

II.1.3.- Propiedades índices y ensayos geomecánicos para rocas:

II.1.3.1.-Resistencia a la compresión sin confinar

Es el máximo esfuerzo al que resiste la roca cuando es sometida a una compresión uniaxial, determinada en el laboratorio sobre una probeta cilíndrica sin confinar, y viene dada por la ecuación:

$$\sigma_c = F_c / A = \text{Fuerza compresiva aplicada} / \text{Área de aplicación}$$

II.1.3.2.-Densidad (Peso Unitario)

Para un grupo de muestras de mano se realizaron ensayos de densidad en suelos y rocas representativos, mediante el método de la parafina, el cual consiste en realizar pesadas en agua y al aire para determinar el volumen. (Modificado de De Santis, 2009).

II.1.3.3.-Absorción

Para un grupo representativo de muestras de mano se realizaron los ensayos de absorción para evaluar de manera cualitativa el grado de meteorización de las rocas

recolectadas en los afloramientos. La metodología empleada consiste en secar las muestras de roca a 110 grados centígrados por 24 horas y luego sumergirlas en agua para calcular el agua absorbida. El agua absorbida es un parámetro que permite estimar el grado de meteorización. (Modificado de De Santis 2009).

II.1.3.4.-Ensayos de resistencia al corte

Este ensayo consiste en medir la resistencia al corte de un plano de discontinuidad in situ. Se realiza en galerías o en superficies, tallándose bloques de roca cuyas dimensiones pueden variar entre 0,4 x 0,4 m y 1 x 1 m, aunque la medida habitual es de 0,5 x 0,5 m. la base del bloque será el plano de discontinuidad se quiere ensayar. (Modificado de Vallejo, 2002).

II.1.4.-Clasificación de las rocas según su estado físico (“Clasificación de Flores Calcaño”):

Desarrollada por el geólogo Carlos Flores de Calcaño, en el trabajo titulado “Representaciones gráficas de los términos geotécnicos más usuales”. Establece una sencilla nomenclatura que define el estado de la roca en base a tres parámetros, a saber; meteorización, dureza y grado de fracturamiento.

La meteorización se establece con letras mayúsculas, mientras que dureza y fracturamiento en minúsculas. Siempre la nomenclatura comienza con la “R” de roca. La letra “m” delante de alguna de las siglas implica que se añade el calificativo “muy”.

En base al grado de meteorización la roca puede ser:

- Fresca (RF)
- Meteorizada (RM) o muy meteorizada (RmM)
- Descompuesta (RD) o muy descompuesta (RmD)

En base a la dureza la roca puede ser:

- Dura (d) o muy dura (md)
- Blanda (b) o muy blanda (mb)

En base al grado de fracturamiento la roca puede ser:

- Sana (s)
- Fracturada (f) o muy fracturada (mf)

Así una RmMbmf, viene a expresar una roca muy meteorizada, blanda y muy fracturada,

De Santis (2009), explica que desde el punto de vista práctico, las clasificaciones de rocas según su estado físico, se realizan en base a ensayos de resistencia a la compresión de muestras tomadas y en la interpretación mediante el uso de las fotografías aéreas, imágenes satelitales, de las formas fisiográficas del relieve, que en muchos casos son indicativas de la dureza de las rocas.

II.1.5.- Taludes

II.1.5.1.-Movimientos de laderas

Estos se pueden definirse como los reajustes del terreno para conseguir el equilibrio ante un cambio de condiciones. Dicho movimiento, por su gran extensión y frecuencia, constituyen un riesgo geológico muy importante, que afecta a edificaciones, vías de comunicación, cauces y embalses, entre otros.

Los movimientos de laderas engloban diferentes tipos de procesos, como los deslizamientos, desprendimientos, flujos y coladas de barro o derrubios, avalanchas rocosas entre otros. (Modificado de Vallejo, 2002).

II.1.5.2.-Deslizamientos

Son movimientos de masas de suelos o rocas que deslizan, moviéndose relativamente respecto al sustrato, sobre una o varias superficies de rotura netas al superarse la resistencia al corte de estas superficies; la masa generalmente se desplaza en conjunto, comportándose como una unidad en su recorrido; la velocidad puede ser muy variable, pero suele ser procesos rápidos y alcanzar grandes volúmenes (hasta millones de metros cúbicos). (Modificado de Vallejo, 2002).

II.1.5.3.-Flujos

Son movimientos de masa de suelos (flujos de barro o tierra), derrubios (coladas de derrubios o *debris flow*) o bloques rocoso (coladas de fragmentos rocosos) con abundante presencia de agua, donde el material está disgregado y se comporta con un fluido, sufriendo una deformación continua, sin presentar superficies de roturas definidas. Principalmente, afectan a suelos arcillosos susceptibles que sufren una considerable pérdida de resistencia al ser movilizados estos movimientos poco profundos en relación a su extensión, presentan una morfología tipo glaciar, y pueden tener lugar en laderas de bajas pendientes. (Modificado de Vallejo, 2002).

II.1.5.4.-Desprendimientos

Son caídas libres muy rápidas de bloques o masa rocosas independizadas por planos de discontinuidad preexistentes (tectónicos, superficies de estratificación, grietas de tracción, entre otros). Son frecuentes en laderas de zonas montañosas escarpada, en acantilados y en general, en paredes rocosas, siendo frecuentes las roturas en forma de cuña y en bloques formados por varias familias de discontinuidades. Los factores que los provocan son la erosión y pérdida de apoyo o descalce de los bloques previamente independizados o sueltos, el agua en las discontinuidades y grietas. (Modificado de Vallejo, 2002).

II.1.5.5.-Avalancha rocosa

Estos procesos, considerados como desprendimientos o movimientos complejos en algunas clasificaciones son muy rápidos, con caída de masa de rocas o derrubios que se desprenden de laderas escarpadas. Las avalanchas son generalmente el resultado de deslizamiento o desprendimientos de gran magnitud que, por lo elevado de la pendiente y la falta de cohesión de los materiales, descienden a gran velocidad laderas abajo en zonas abruptas, pudiendo superar los 100 Km/hora, incluso si las masa están completamente secas, por la disminución de la fricción a que da lugar la presencia de aire entre los materiales y fragmentos rocosos. (Modificado de Vallejo, 2002).

II.1.6.-Análisis de estabilidad

Una vez conocido los datos geológicos, hidrogeológicos y geométricos, tanto de la masa deslizada como de la ladera, y las propiedades geomecánicas de los materiales, pueden establecerse los modelos geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos para llevar a cabo los análisis a posteriori de la estabilidad y del comportamiento de la ladera. (Modificado de Vallejo, 2002).

La determinación cuantitativa de la estabilidad, en términos determinísticos (mediante el cálculo del coeficiente de seguridad o mediante el cálculo de la relaciones tenso- deformacionales y de los desplazamientos admisibles) o probabilistas, es un requisito fundamental en los proyectos de ingeniería que precisan actuaciones sobre laderas con inestabilidades. (Modificado de Vallejo, 2002).

Los análisis a posteriori mediante los métodos de equilibrio límite proporcionan:

- El coeficiente de seguridad de la ladera, a partir del conocimiento de la superficie de rotura y de las propiedades de los materiales.
- Los parámetros resistentes, cohesión y ángulos de fricción, del plano de rotura, utilizado en el modelo la superficie de deslizamiento y el valor del factor de

seguridad (para análisis en situaciones inestables o cercanas al equilibrio se toma $FS=1,00$), lo que permite comparar los resultados con los datos obtenidos de laboratorio, y realizar análisis paramétricos o de sensibilidad para obtener los valores de los parámetros resistentes más representativos.

Las modelizaciones mediante métodos tensión – deformación permiten:

- Determinar las pautas y el modelo de comportamiento tenso –deformacional de toda la ladera, a partir de las propiedades de los materiales, y su comparación con el comportamiento real observado.
- Determinar los parámetros resistentes y deformacionales de los materiales de la ladera, modelizando o reproduciendo los rasgos y el comportamiento observado en campo, y la comparación de estos parámetros con los obtenidos en laboratorio. (Modificado de Vallejo, 2002).

CAPÍTULO III

III.1.-GEOGRAFÍA FÍSICA

III.1.1.-Clima y Vegetación

Según ZAMBRANO (1970), la región de estudio se encuentra dentro de la zona de clima tropical cálido lluvioso. En ella, la estación lluviosa abarca entre 7 y 8 meses del año, comenzando en abril y culminando en noviembre, lo cual corresponde a uno o dos meses después del equinoccio de otoño, mientras que el período de sequía se presenta entre los meses de diciembre y abril. Los parámetros anuales de pluviosidad oscilan entre 800 y 1500 mm, mostrándose acentuados entre los meses de junio y julio.

No existen datos actualizados sobre la temperatura media en el año, sin embargo, los últimos estudios la ubican en 23°C, con una oscilación media anual inferior a 5°C; sin embargo, la oscilación diaria es más marcada, estando por el orden de los 10°C a 12°C.

Según ZAMBRANO (1970), la vegetación es diversa, y corresponde a la de bosques tropófilos y sabanas. Por lo general, a lo largo de las márgenes de los ríos se encuentra una alternancia de bosques de galería con matorrales y especiales herbáceas variadas. Hacia cotas superiores se observa el desarrollo de bosques sub-húmedos a húmedos densos.

III.1.2.-Drenaje:

Los cursos principales de agua son de tipo consecuente, ya que fluyen en correspondencia con los elementos estructurales de los cuerpos de roca o surcando valles en “V”, definiendo un fenómeno de sobreimposición desde el punto de vista

geomorfológico. Es común encontrar a lo largo de sus cauces, pequeños saltos de agua que alcanzan alturas de hasta 10m.

El drenaje secundario exhibe un patrón dendrítico, notándose un control morfoestructural menos marcado que en los cursos principales. Muchas de las quebradas que lo conforman son de régimen intermitente, activándose sólo en la época de lluvia, sin embargo, es común encontrar flujos permanentes en este tipo de drenaje a lo largo de todo el año.

Sobre el cauce epigénico del río Tuy, LOYO (1986), comenta que consiste de una larga y relativamente angosta abertura, localizada entre El Consejo y Tucuchito (al oeste de Cúa). Entre las poblaciones de Tácata y Tucuchito, está representada por una abertura en forma de “U” abierta y de fondo “plano”. El lecho del río Tuy corre a unos 270m de altitud, aproximadamente a todo lo largo del tramo entre estas localidades, la profundidad de la abertura es de unos 330m.

Con respecto a sus anomalías del río Tuy, el mismo autor considera que el río drenaba originalmente al hacia el Lago de Valencia, mientras que el trazado actual del río parece resultar de un mecanismo de captura asociado al movimiento del sistema de fallas de Tácata.

Según KAYE (1947), el tramo superior del río Tuy fue “robado” por las cabeceras de drenaje de la cuenca del río Tuy. Si se considera que los ríos más antiguos depositados por este río corresponden a una cuña perteneciente a la Formación Tuy, de edad Pliocena terminal-pleistocena; la captura de este río se produjo como consecuencia de la reactivación del sistema de fallas de Tácata. Por tanto, por tanto se puede definir, que la captura de este río se llevó a cabo en el Pleistoceno superior-Pleistoceno inferior.

CAPÍTULO IV

IV.1.- GEOLOGÍA REGIONAL

IV.1.2- Generalidades

El estudio de geología regional, se realiza en base a la cartografía geológica más reciente, disponible en el trabajo de compilación realizado por Urbani (2004). Sin embargo, toda la información litológica, corresponde con una síntesis realizada de la información disponible en la web del Léxico Estratigráfico de Venezuela.

IV.1.3.- Litología

En el trabajo geológico se ha utilizado la nueva nomenclatura para definir las unidades litológicas que integran las Napas Tectónicas, en lugar de las tradicionales unidades litoestratigráficas. Se conserva en la posible la nomenclatura formal establecida en el Léxico Estratigráfico de Venezuela.

Los mapas anexos, a escala 1:5.000 muestra las asociaciones litológicas a lo largo del trazado del ferrocarril y zonas aledañas que son las siguientes:

IV.1.3.1.-Napa de Loma de Hierro

IV.1.3.1.1-Formación Tuy (Tmt) - Terciario (Plioceno) - Cuaternario (Pleistoceno)

Descripción: La formación consiste de gravas y conglomerados mal consolidados (55%) y arcillas, generalmente impuras (30%); el resto es de areniscas y margas. Se caracteriza por una intercalación constante y monótona de capas, generalmente de 1 m a 3 m de espesor de gravas heterogéneas y conglomerados líticos mal

consolidados, con matriz limo arcillosa abundante y a veces con cemento calcáreo, intercaladas con arcillas, lutitas y cantidades menores de margas y areniscas. Las arcillas se presentan en capas menores de 1 m de espesor, que muestran color crema a rosado y ocasionalmente verdosas, rojo-violeta y abigarradas, frecuentemente calcáreas hasta margosas.

IV.1.3.1.2- (Metalavas) de la Formación Tiara (LHt) - Cretácico (Albiense-Cenomaniense)

Descripción: formada por basaltos y rocas gabroides, a veces con cristales de piroxenos y plagioclasa con textura ofítica. Los piroxenos a veces transformados a hornblenda y clorita. Los meta – basaltos son de grano fino, denso, de color gris claro a negro, con textura subofítica, algunas variedades son porfídicas, con fenocristales de plagioclasa en una matriz muy fina, a veces muy alterada. Junto a las rocas ígneas, describe una sección de metatoba, de color negro y microcristalina, constituida por fragmentos de rocas volcánicas, plagioclasa, cuarzo y ftanita.

En la localidad tipo, al norte de Tiara en el distrito Ricaurte – estado Aragua, se estima un espesor de unos 900 m.

IV.1.3.1.3- (Filitas de la) Formación Paracotos (LHp)- Rocas Volcánico Sedimentarias del río Guare (LHrq) – Cretácico (Maastrichtiense)

La Formación Paracotos constituye la cobertura sedimentaria del Complejo Ofiolítico de Loma de Hierro. Algunos autores denominan, innecesariamente, esta formación como "rocas volcánico sedimentarias del río Guare".

Descripción: formada por una asociación de filita, mármol, metaconglomerado, con metalimolita y metarenisca en menor proporción.

La filita constituye el 60% de la formación, es limosa y carbonosa, de color azul grisáceo oscuro, con ocasionales peñones de rocas metavolcánicas y metasedimentarias, clasificada como una lodolita guijarrosa. Se observan capas delgadas de varios tipos de meta – arenisca de color gris oscuro, que clasifica como arenisca calcárea micácea y waca lítica cuarcífera.

El meta – conglomerado es de color gris verdoso con guijarros de hasta 50 cm de diámetro. Los guijarros están constituidos por fragmentos de metalava basáltica, cuarzo de veta, mármol, ftanita y granofel cuarzo – albítico. Se conocen cuerpos de metalava de hasta varias decenas de metros de espesor, interestratificados con la filita, que aparecen muy transformados siendo poco visibles los minerales ferromagnesianos primarios, se presentan tanto como lavas almohadilladas, como en flujos brechados.

IV.1.3.1.4- (Meta – conglomerado de la) Formación Charallave (Tch) – Triásico-Jurásico

Existen además de la localidad tipo, cuerpos mayores al suroeste de Charallave, estado Miranda. Se plantea que esta unidad yace discordantemente por debajo de la Formación Tucutunemo, y por encima del Esquisto de la quebrada Curucujul, a través de un contacto normal y transicional.

Descripción: meta – conglomerado esquistoso con guijarros de cuarzo ahumado, cementados por una cuarcita blanca, donde los guijarros de cuarzo varían de algunos milímetros a cerca de 1cm. El sector La Magdalena – Sabaneta, la unidad está constituida por una serie de esquistos muy alterados, intercalados con niveles delgados de filita cuarcífera con micas blancas, niveles de cuarcita y capas o lentes de uno a varios metros de espesor de meta – conglomerado. En algunos niveles del meta – conglomerado, se nota una clara variación granulométrica. Los clastos redondeados

presentan cuarzo con bordes muy suturados, así como clastos de cuarcita de grano fino y estructuras miloníticas. El cemento se encuentra en pequeña proporción y está compuesto de cuarzo microcristalino suturado y una proporción variable de mica blanca, minerales opacos y clorita.

A 1,5 km al oeste de Sabaneta cerca del río Tuy, ésta unidad está compuesta por una roca ígnea cataclástica con cuarzo y plagioclasa, esquistos con esfena y epidoto, y cuarcita con mica blanca.

IV.1.3.1.5-Complejo ofiolítico de Loma de Hierro (LHcq - LHcp): Gabros - Cretácico

Descripción: el complejo peridotita-gabro se compone de peridotita serpentizada, troctolita y gabro asociado a basalto. La serpentización es más intensa hacia los bordes del bloque; su borde norte está formado por rocas intermedias entre peridotitas y gabro, como son troctolita y gabro olivinífero serpentizado y rodingita, producto de la alteración del gabro. La peridotita es principalmente una harzburgita de grano grueso con olivino y enstatita de color negro a verdoso de acuerdo al grado de serpentización.

El gabro aflora formando diques dentro de la peridotita hacia el borde norte y de las troctolitas o en forma masiva hacia el borde sur, cerca del contacto con las rocas volcánicas de la Formación Tiara. A veces se ven zonas de carácter pegmatítico. La mineralogía está compuesta principalmente de clinopiroxeno y plagioclasa cálcica muy alterada; los cristales del piroxeno muestran textura de cúmulo, si bien hay cuerpos de gabro no cumulíticos que intrusionan al otro tipo. Se estima un espesor de unos 800 m para el cuerpo de peridotitas y gabros.

El contacto septentrional entre el cuerpo de rocas ultramáficas con la Formación Tucutunemo, es tanto de fallas de ángulo alto, como de corrimiento, mientras que el contacto meridional con el cuerpo de gabros masivos es estratigráfico. Por su parte, el contacto entre el gabro y las rocas de la Formación Tiara es reconocido tanto como de naturaleza estratigráfica, como a través de fallas de ángulo alto.

IV.1.3.2.-Napa Caucagua-el Tinaco

IV.1.2.2.1.- (Filitas de la) Formación Tucutunemo (Ttu) – Paleozoico tardío

Descripción: consiste principalmente en filitas carbonáceas arenosas que varían a meta – areniscas y limolitas cuarzo feldespáticas, encontrándose también cantidades menores de areniscas de grano grueso y conglomerados cuarzo-calcáreos. Una zona discontinua pero prominente de caliza cristalina negra, de grano fino, asociada a un conglomerado calcáreo, se ubica cerca de la parte superior de la secuencia y cerca de la base de la misma, aparecen algunas capas delgadas de toba básica afanítica de color verde.

Su espesor aparente es de 350 m, ampliamente replegado y variable. Los contactos se estiman de falla (tanto de ángulo alto como de corrimiento) con las unidades constituyentes de la Napa de Loma de Hierro, mientras que pueden ser tanto estratigráficos como tectónicos, con otras unidades de la Napa de Caucagua – El Tinaco.

IV.1.3.2.2-Gneis de la Aguadita – Pre-Mesozoico

Descripción: es una alternancia de capas máficas y félsicas de 5 cm a 30 cm de espesor promedio, que alcanza raras veces hasta 1 m; esta alternancia, de colores contrastantes, produce el aspecto bandeado del gneis. Las capas félsicas (rocas cuarzo

– plagioclásicas) suelen ser más delgadas que las máficas, (gneis hornbléndico – cuarzo – oligoclásico y anfibolitas). Entre ambos tipos hay transiciones, particularmente entre los gneises hornbléndicos y los biotíticos, que pasan de uno a otro en una misma capa. Los primeros abundan más que los segundos y éstos a su vez más que las anfibolitas.

IV.1.3.2.3.-Capas de la Qda. Onoto (TO) – Cretácico tardío

Aflora en la Qda. Onoto a 0,5 km al noroeste del pueblo de Sabaneta, en la carretera hacia Tácata – Cúa.

Descripción: formado por rocas pelíticas y pelíticas carbonáticas finamente esquistosas, rocas carbonáticas recristalizadas de color gris claro mostrando una estructura microespática, metaconglomerados líticos con “cemento” carbonático con fragmentos de esquistos verdosos a negro, mármol negro, rocas granudas miloníticas con cuarzo y plagioclasa, pequeños fragmentos de metatoba o metalava con granos dispersos de espinela cromífera. El metamorfismo es de muy bajo grado. Su espesor se estima en 250 m.

IV.1.3.2.4- (Esquisto del) Complejo de Tinapú (TTti) - Pre-Mesozoico

Se refiere a la secuencia de esquistos muscovíticos y cloríticos, así como los metaconglomerados esquistosos que forma parte del Complejo de Tinaco. Suprayace transicionalmente al gneis de La Aguadita, e infrayace con discordancia angular a la Formación Las Placitas.

Descripción: el esquisto cuarzo – albítico – muscovítico es el tipo más abundante de roca en la unidad; constituye el 70% de la misma y se intercala con esquistos albítico – cuarzo – cloríticos. Los esquistos muscovíticos son de color gris verdoso y

forman capas de hasta 4 m de espesor. Comúnmente los esquistos muscovíticos se hacen conglomeráticos y pasan gradualmente a metaconglomerados esquistosos. Los metaconglomerados contienen guijarros cuneiformes de queratófido cuarcífero, granito y cuarzo. Los esquistos cloríticos constituyen alrededor del 30% de la unidad, son de color verde oscuro y forman capas delgadas de 10 cm a 50 cm de espesor. Se estima un metamorfismo de la Facies de los Esquistos Verdes, y un espesor de mínimo 1 km.

IV.1.3.2.5-Gneis Tonalítico de Curiepe (Tcu) - Triásico - Jurásico

Aflora en la carretera entre Tejerías y Tiara, a unos 2 km al suroeste del caserío Curiepe, estado Aragua. Es concordante con las rocas adyacentes del Esquisto de Tinapú y originalmente es probable que hayan sido un sills.

Descripción: compuestas por una serie de filones, mínimo 50 cm de espesor, concordantes con la foliación de los esquistos micáceos adyacentes y replegados junto a ellos, la roca es un gneis de ojos de grano fino, homogéneo, donde la foliación es resaltada por las micas alteradas. Presenta aproximadamente un 30% de minerales ferromagnesianos alterados (anfíbol alterado, agujas de actinolita y mica cloritizada).

IV.1.3.3.-Napa Caracas-Asociación Metasedimentaria

IV.1.3.3.1.- (Esquistos de la) la Formación Chuspita (CaC) - Cretácico temprano

Descripción: consiste de meta – areniscas puras (45% de la unidad), con filitas oscuras (50%) y mármoles (5%). Las meta – areniscas son de color gris claro a gris oscuro, localmente grafitosas y micáceas, pero cuyo constituyente principal es el cuarzo, con cantidad mucho menor de feldespato potásico. En algunas muestras se encuentra abundante muscovita y clorita. Presentan estratificación gradada,

principalmente en las capas de menos de 1 m de espesor, mientras que en las capas más gruesas, se hacen conglomeráticas con fragmentos líticos como guijarros y peñas de hasta 25 cm de diámetro, constituidos por filitas, mármoles y meta – arenisca calcárea. Las filitas de color gris oscuro son calcáreas y grafitosas. Los mármoles (calcíticos) se presentan en dos tipos: uno de tipo litográfico formando capas delgadas de color gris oscuro a negro, con vetas de calcita, mientras que el otro tipo es argiláceo. La foliación de los mármoles oscurece la estratificación original.

IV.1.3.3.2.- (Esquistos de la) Formación Las Mercedes (CaM) - Mesozoico

Descripción: la litología predominante consiste en esquistos 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 presenta en capas delgadas 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.

En la zona de La Sabana – Chirimena – Capaya, estado Miranda, se reconocen cuatro unidades cartografiables, la primera y mayoritaria de esquisto grafitoso y mármol, así como de mármol, de meta – conglomerado cuarzo – feldespático – calcáreo, de meta – conglomerado y meta – arenisca y de esquisto albítico – grafitoso. Todas estas rocas corresponden a un metamorfismo de bajo grado en la facies de los esquistos verdes, zona de la clorita.

IV.1.3.- Geomorfología

La geomorfología de la zona pautada para la construcción del tramo Cúa-La Encrucijada, del sistema ferroviario nacional, está ampliamente relacionada con la génesis de la cuenca del río Tuy, sobre la cual Audemard (1984), realiza la siguiente caracterización:

IV.1.3.1 Gran Unidad I: Complejo Rocoso Metamórfico

Esta gran unidad puede ser dividida en dos unidades debido a que presentan modelados diferentes:

- Unidad 1: Serranía Metasedimentaria

Se encuentra generalmente al norte de la Falla del Pichao (al norte de la cuenca de Tuy) y al oeste de la cuenca. En ella, predominan rocas metasedimentarias de metamorfismo de bajo grado del Grupo Caracas (Fm. Las Mercedes) y las rocas de Conoropa. Corresponde a la Serranía del Litoral.

El modelado es en general abrupto, con drenajes encajados, filas angostas y laderas rectilíneas de pendiente alta (entre 30° y 40°). Singer (1977) indica la presencia de gargantas epigénicas en el río Guaire, entre Petare y Puente Pichao. Además, señala la existencia de remanentes de por lo menos cuatro sistemas de aplanamiento escalonados (200, 1750, 1500, 1250m), algunos de estos presentan un abombamiento antiforme de eje paralelo a la Serranía del Litoral, que se observan bien en la cadena de la Colonia Tovar, encima de la meseta de Los Teques. Loyo (1983), también señala la existencia de tres superficies de aplanamiento (100, 800 y 600m) hacia el sureste de Caracas. El drenaje es de tipo dendrítico subparalelo.

- Unidad 2: Serranía Meta-volcánica

Se encuentra al sur de la cuenca. Comprende las siguientes áreas montañosas de la Serranía del Interior:

- Etribaciones este de la Serranía de Guatopo (200 a 100m).
- Áreas montañosas de los Valles del Tuy medio (400 a 1400m): Selva de Guatopo, cuencas de Lagartijo y Ocumarito.
- Área montañosa sur del alto Tuy (600 a 1400m): Altagracia de la Montaña, Loma de Hierro, Fila El Socorro.

En esta unidad afloran principalmente rocas del Grupo Villa de Cura.

La morfología es menos pronunciada que la unidad 1. Las laderas son menos rectilíneas y de pendientes más suaves (entre 10° y 25°). El drenaje es dendrítico desordenado y los valles angostos y profundos. Las cimas de sus cerros frecuentemente están subredondeadas o aplanadas, que corresponden a remanentes de diversas superficies de aplanamiento encajonadas por posibles cambios climático-tectónicos.

Excelentes remanentes de estos niveles aplanados se encuentran al este de San Casimiro, en el tope denominado Las Yaguas, a 1400m, presentando su superficie un modelado aborregado y hallándose delimitada por drenajes suspendidos. Otro buen ejemplo lo constituye Loma de Hierro, que presenta un tope aplanado a 1200m de altura.

Por lo menos seis niveles de aplanamientos han sido establecidos. Estos no se ven controlados por litología o fallas (a excepción tal vez de aquellas activas), puesto que truncan el todo por igual.

IV.1.3.2.- Gran Unidad II: Cuenca Sedimentaria del Tuy

Esta gran unidad se haya encajada dentro de la Gran Unidad I. su altura varía entre 130 y 400m sobre el nivel del mar. En base a la diferenciación de los modelados, puede subdividirse en cuatro unidades, a saber:

- Unidad 3: “Hog’s back” piemontinos

Constituye una franja estrecha, 600 a 700m de ancho, que afora hacia la parte noreste de la cuenca del Tuy, contra la Falla de Pichao.

Morfológicamente se caracteriza por filas muy angostas, con crestas de buzamiento de pendientes de 45° al sur (hog’s back y crestas monoclinales). Litológicamente está constituido por un conglomerado de peñones de color ladrillo que corresponde al Miembro Pichao.

- Unidad 4: Filas lacustrinas

Esta unidad aflora hacia la parte norte y NE de la cuenca, entre Soapire al oeste, El Placer de Siquiere al este y el parcelamiento Paraisos del Tuy al sur.

Litológicamente se caracteriza fundamentalmente por lutitas y limolitas finalmente laminadas, interestratificadas con arenisca de grano fino, bien compactadas y ocasionalmente cementadas, lo cual genera un binomio de resistencia poco marcado, que morfológicamente genera, por acción de la erosión diferencial, filas escalonadas con crestas de pendientes del orden de 15°, valles angostos y en forma de “V”. El drenaje presenta un patrón enrejado.

IV.3.- Geología regional estructural, fallamiento activo, sismicidad y aceleraciones de diseño

Desde La Encrucijada hasta Cúa, la ruta transcurre prácticamente a lo largo de la falla de La Victoria, la cual es comprobadamente activa y de carácter intraplaca. Adicionalmente, se identificaron algunos sistemas de fallas menores donde destaca la Falla de Tácata, que atraviesa la zona de interés de este estudio, a la cual se le han atribuido sismos históricos importantes.

- **Falla La Victoria**

La Falla La Victoria es un elemento sismotectónico que presenta expresión morfológica desde el sector La Mona en el estado Carabobo, hasta las costas del Mar Caribe en las cercanías de Carenero, estado Miranda para una longitud total de 350 Km aproximadamente.

Es una falla con poca expresión superficial, ya que transcurre fundamentalmente a lo largo de valles y planicies de alta agradación sedimentaria con lo cual la expresión de la falla se atenúa y es casi invisible, ya que la tasa de sedimentación es superior a la velocidad de la falla. Su movimiento es transcurrente dextral con una velocidad de 0,7 mm por año con una estimación de sismo máximo posible de magnitud 6,6, con un promedio de retorno de 1600 años (Coral 83, 1993).

La falla de La Victoria cruza la ruta aparentemente en la progresiva 39+650 de acuerdo a la información disponible; sin embargo, este cruce no necesariamente corresponde a la traza de mayor actividad o aquella que tendrá el próximo desplazamiento. En conclusión, es muy difícil predecir el lugar exacto de la zona de la próxima ruptura; no obstante, es importante mencionar que esta falla se le ha

estimado un desplazamiento lateral de 5cm en el caso de activarse alguna traza, lo cual es perfectamente manejable para la vía férrea.

- **Falla de Túcata**

Esta falla corresponde al grupo de fallas de orientación Noroeste-sureste que se observan a lo largo de la Serranía del Interior Central, desde el Lago de Valencia hasta la planicie de Barlovento. Esta falla tiene una longitud aproximada de 90 km desde su conexión con el sistema de corrimientos piemontinos hasta su intersección con la Falla de La Victoria, cerca de Túcata al sur de Los Teques. Presenta un movimiento dextral y sus principales evidencias corresponden con facetas triangulares bien desarrolladas, ensilladuras de fallas, alineación de relieves y algunos drenajes desplazados.

Su velocidad es de 0,4 mm/año con desplazamientos cosísmicos del orden de 1 a 5 cm y presenta una buena expresión morfológica sobre las rocas metamórficas mesozoicas, predominado facetas triangulares y drenajes desviados. Su sismo máximo probable se ha estimado en una magnitud de 6,7 con período de retorno de 2000 años.

La conexión de esta falla con el Sistema de Fallas de La Victoria fue la responsable de la “crisis” sísmica de mayo de 2009, donde destacó un sismo de magnitud 5,4. Adicionalmente, el terremoto destructivo de 12 de abril de 1878 el cual causó más de 400 víctimas en la ciudad de Cúa y más de 10 réplicas durante todo el mes de abril de dicho año, se atribuye a la actividad de la Falla de Túcata.

- **Fallas inactivas**

Sobre los planos geológicos se han cartografiado una serie de fallas, que salvo la de Túcata son de carácter inactivo y corresponden con estados de deformación

antiguos. Estas fallas generalmente funcionan como contactos entre unidades litoestratigráficas y en algunos casos actúan como planos pasivos de debilidad con presencia de brechas o alineaciones de diaclasas maestras; que facilitan potenciales deslizamientos a través del plano de falla.

- **Sismicidad**

La actividad sísmica del área de estudio se limita a sismos por debajo de magnitud 6 con predominancia de sismos entre 2 y 4. Se solicitó el catálogo sísmico instrumental a Funvisis para presentar con este informe la sismicidad registrada instrumentalmente. (Ver Anexo X).

- **Zonificación Sísmica**

Toda la ruta transcurre a través de los municipios Urdaneta y Guaicaipuro del estado Miranda, y de los municipios Santos Michelena, José Félix Ribas, Bolívar y Sucre. A todos estos municipios menos el municipio Guaicaipuro se les asigna la zona 4; es decir, región con probabilidad de excedencia de 10% en 50 años de aceleraciones de 0,25 g. El municipio Guaicaipuro es zona 5 con aceleración horizontal de 0,3 g.

- **Consideraciones sobre el riesgo geológico y limitaciones a lo largo del trazado propuesto**

Todo el trazado se encuentra sobre dos corredores tectónicos controlados por las fallas de La Victoria y la Falla de Tácata, esta condición es el punto de inicio de todos los aspectos que tienen que ver con el riesgo geológico que afecta negativamente, aunque no determinante, el trazado propuesto.

La primera parte de trazado de la vía férrea desde la progresiva 0+000 hasta la 41+200 transcurre en zona plana cuya única limitación es la presencia alternante de zonas de suelos blandos a medios cerca de la superficie. Esta condición será subsanada con un diseño apropiado de la infraestructura; no obstante, no consideramos esto ninguna limitación relevante ya que generalmente a profundidades mayores de 10 m, los suelos aumentan su consistencia y compacidad.

La otra desventaja en este tramo inicial está relacionada con la cercanía entre la ruta y el Sistema de Fallas de La Victoria, a la cual se le asigna una tasa de desplazamiento dextral de 0,7 mm/año (Coral 83, 1993). La ruta propuesta aparentemente cruza la Falla de La Victoria en la progresiva 17+000; no obstante, los estudios de Coral 83 indican que los desplazamientos se encuentran por debajo de 5 cm, lo cual es manejable en cuanto a daños de un sismo con ruptura local.

En términos de aceleraciones sísmicas, la principal amenaza proviene de la Falla de San Sebastián y no de las fuentes sismogénicas de Tácata y La Victoria. Esta falla, controla el 90% del potencial de ocurrencia de aceleraciones que excedan la norma Covenin 17576-2001. La sismicidad debe ser manejada de manera tradicional considerando las acciones sísmicas prescritas por la mencionada norma y evaluando los aspectos que tienen que ver con la vulnerabilidad estructural.

La ruta seleccionada por el personal técnico de China Rail Way Eryuan Group de Venezuela C.A., ha considerado alejarse lo más posible de las trazas geomorfológicamente más activas que presenta la Falla de Tácata. Inicialmente en el sector de Tácata el trazado se alineaba prácticamente con la zona de mejor expresión de la falla, coincidente con una ladera de más de 200 m de altura, con evidencias de inestabilidad superficial que son la consecuencia de la combinación de una litología de rocas blandas (Filitas de Paracotos) y fracturamiento con zonas de brechas que

aumentan la inestabilidad potencial de dicha unidad litológica. Esta situación adversa ha sido mitigada con los cambios efectuados en la ruta.

Al final de la ruta, 2 Km antes de llegar a la Estación Cúa, se encuentra el valle aluvial del río Tuy, donde la principal limitación se centra en los procesos hidráulicos, la dinámica fluvial del río y la presencia de espesores de suelos blandos saturados con presencia local de suelos expansivos. En este caso se ha proyectado un viaducto de 2430 m, el cual debe ser fundado por medio de pilotes y protegido hidráulicamente lo cual superará las limitaciones antes descritas.

CAPÍTULO V

V.1.- RESULTADOS

V.1.1- Caracterización geológica – geotécnica por tramos a lo largo del trazado de la vía férrea

Se procede a realizar una caracterización geológica completa de la zona de estudio, en atención a las propiedades topográficas, litológicas y estructurales. Además, se toma en cuenta las obras de infraestructura a desarrollar.

Los procesos de geodinámica externa y el perfil de meteorización, también forma parte de la caracterización. Para fines de este estudio, se realiza una modificación de la norma EN ISO 14689-2:2003 (ver Anexo XII). Quedando establecido 4 grados de meteorización, cuya distinción puede ser realizada por el equipo de geólogos a través de la observación de los afloramientos y de los núcleos de roca. La tabla 5, muestra los grados y la respectiva descripción.

Grado	Nombre	Descripción
W ₁	Ligeramente meteorizada	Se observa una leve decoloración que indica meteorización de la roca intacta y de la superficie de las discontinuidades. La roca superficial puede presentarse más débil que la roca fresca
W ₂	Moderadamente meteorizada	Menos de la mitad del macizo se encuentra descomponiéndose a suelo residual. La roca que se conserva puede estar fresca o ligeramente meteorizada
W ₃	Altamente meteorizada	Más de la mitad del macizo se encuentra descompuesta a suelo residual. . La roca que se conserva puede estar fresca o ligeramente meteorizada
W ₄	Completamente meteorizada	La totalidad de macizo se encuentra descompuesto a suelo residual. La estructural del macizo original está prácticamente intacta

Tabla 5: Grado de meteorización del macizo rocoso

V.1.1.1- Tramo 18: Km 42+447 al Km 44+800 – Tejerías - Paramacay

V.1.1.1.1- Ubicación relativa

Este tramo está representado en los planos geológicos 39, 40 y 41. Los mejores afloramientos de rocas se encuentran en una quebrada al norte de la Autopista Regional del Centro en el Km 57,5 y en la Qda. Paramacay. El acceso se realiza exclusivamente a pie, debido a que no existen caminos que permitan el paso vehicular.

Perforación	Coordenadas		Cota (m)	Progresiva (Km)	Longitud (m)
	Este	Norte			
TT-7	484.576	1.133.906	456,0	41 + 996	20,0
TT-8	485.016	1.133.783	493,0	42 + 430	30,5
TT-12	486.860	1.132.682	446,5	44 + 574	31,5
TT-13	487.120	1.132.547	437,0	44 + 850	28,5

Tabla 6: Datos de Perforaciones

Por la dificultad de accesos, hasta la fecha, no se han realizado sondeos a máquina en los portales del Túnel 7, ni en el portal este del Túnel 6.

V.1.1.1.2- Generalidades: Topografía y Geología Estructural

Topográficamente la zona está caracterizada por un conjunto de estribaciones de colinas alargadas, cuya línea de crestas se orienta en la dirección norte-sur. Las cotas del relieve atravesadas por la vía férrea, oscilan entre los 452 m en los lechos de las quebradas y 693 m en las cumbres de las colinas.

Las rocas en la zona presentan sistemas de planos de foliación bien definidos; el más frecuente tiene orientación N70E y el secundario N85W, en ambos casos el buzamiento es variable (ver Anexo VII-1). El patrón de fallamiento es sub-paralelo con las líneas de cresta (norte - sur). Los sistemas de diaclasas tienen varias orientaciones, siendo el más frecuente de orientación N15E, y el secundario N50W (ver Anexo VII-1).

V.1.1.1.3- Caracterización de los tipos litológicos

- Esquistos cuarzo (45%) – sericíticos (35%) – grafitosos (15%) con cantidades menores de clorita: Se trata de una roca que en afloramiento presenta variaciones de dureza producto de cambios en los contenidos de cuarzo. En la mayor parte del tramo estas rocas se encuentran muy replegadas y con vetas de calcita.
- Esquistos cuarzo (53%) – micáceos (44%); se presentan con foliaciones muy penetrativas y con vetas de cuarzo en dirección de la foliación.
- Esquistos cuarzo (40%) - feldespáticos (33%) – grafitosos (25%): son la tercera litología en abundancia en afloramientos. En afloramiento son rocas que presentan tenues microplegamientos, además de la presencia de vetas de cuarzo con 2 mm de espesor aproximadamente. En sección fina se aprecia claramente la alineación de las vetas de cuarzo con la dirección de la foliación. Además de ello, son apreciables en petrografía (figura 1) los contenidos variables de grafito, óxido de hierro, minerales micáceos y plagioclasas. (Para más detalles ver anexo IV-A-13).

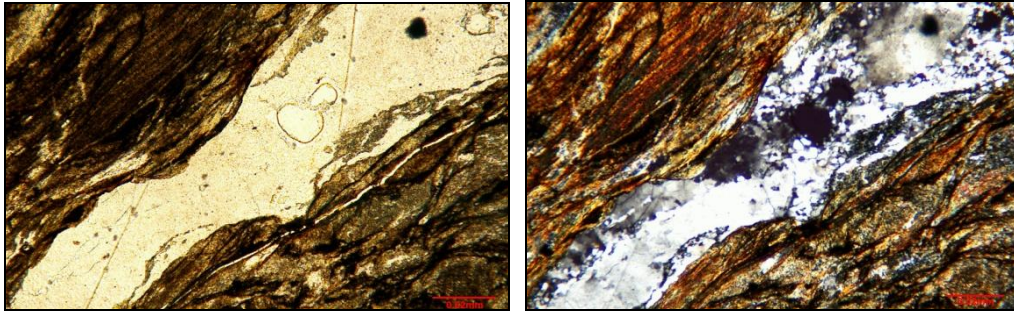


Figura 3: Muestra PM001 en sección fina. Detalle en nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha) de un esquistos cuarzo feldespático grafitoso.

En menor cantidad de afloramientos, pudo encontrarse:

- Peridotitas serpentinizadas: masivas y muy competentes, compuestas en aproximadamente el 63% de antigorita, siendo éste el mineral más abundante, encontrándose cantidades menores de minerales de cuarzo (20%), calcita (10%), piroxenos (5%) y micas como mineral accesorio. En sección fina (figura 2), se observan los relictos de piroxenos en proceso de alteración (para mayor detalle ver anexo IV-A-15). En afloramiento, son vivibles vetas de calcita con un espesor aproximado de 2 mm, también se aprecian numerosas fracturas rellenas de óxido de hierro.

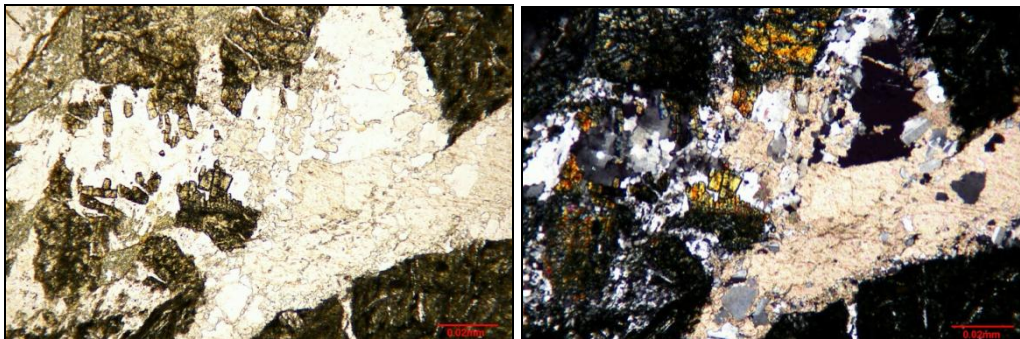


Figura 4: Muestra PM003 en sección fina. Detalles en nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha) de una peridotita serpentizada.

- Filitas cuarzo (50%) – grafitosas (15%): las muestras recolectadas, presentan gran variabilidad en el tamaño de los cristales de cuarzo. En sección fina (figura 3) se observa cuarzo microcristalino y óxido de hierro como relleno de las fracturas, además de la presencia de vetas de cuarzo paralelas a la foliación (para mayor detalle ver anexo IV-A-14).

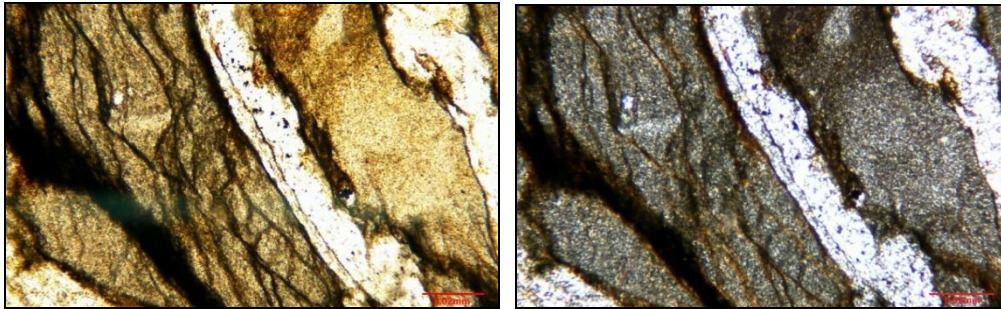


Figura 5: Muestra PM002 en sección fina. Detalles en nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha) de filita cuarzo-grafitosa-feldespática con micas.

- Rocas brechadas: consisten de una masa desordenada de fragmentos angulosos y de disposición caótica, en una “pasta” o matriz de la misma mineralogía. En sección fina (figura 4) se observa cristales muy fracturados, se compone en aproximadamente 60% por feldespatos potásicos, muy alterados, 10% de óxidos de hierro, 12% material carbonático, 5% plagioclasas y 5% hematita (para mayor detalle ver anexo IV-A-21).

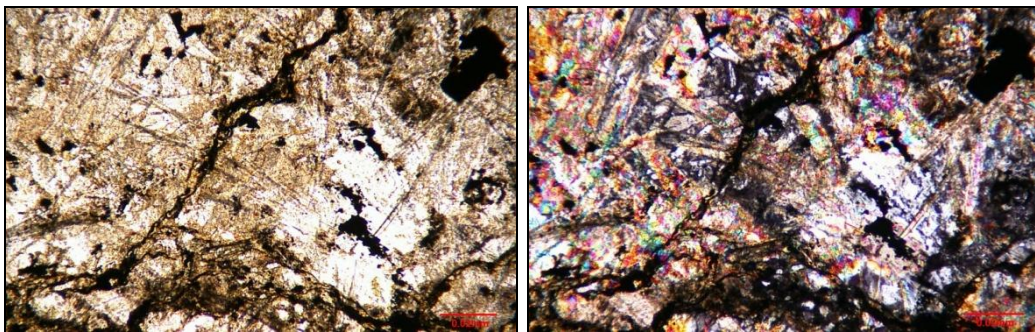


Figura 6: Muestra PM003 en sección fina. Detalles en nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha) de una brecha de falla.

En éste tramo también se observa además, escasos cuerpos de mármol con “caliche” y metaconglomerados polimícticos cuarzosos.

V.1.1.1.4- Consideraciones Geológico – Geotécnicas detalladas por obra

El Túnel 6, ubicado entre las progresivas Km 42+360 – Km 44+135, tiene una cobertura máxima que ronda los 208 m, se construirá en cuerpos de rocas duras intercaladas con rocas blandas, cuyo espesor se estima ronda los 10 m. El grado de meteorización oscila entre W_3 y W_2 . La litología predominante es de esquistos cuarzosos en algunos casos sericíticos, grafitosos y cloríticos. Es probable encontrar en la secuencia la presencia de cuerpos de cuarcita de varios metros de espesor. Los valores GSI al interior del túnel oscilan entre 25 para las rocas blandas y 54 para las duras. En el portal este, la roca posee un GSI de 26, y resistencia a la compresión simple de 30 Mpa.

Estimamos que la remoción se podrá realizar a través de métodos convencionales con uso relativamente frecuente del martillo de percusión, mientras que algunos sectores requerirán uso de voladuras parciales. Los frentes de excavación serán estables temporalmente, hasta con pendientes de 1:1 para la roca dura y 3:1 para la roca blanda.

El suelo residual en las laderas alcanza espesores que rondan los 8m. Debido el estado de descomposición de la roca, los portales del túnel requerirán obras de contención.

Los estribos y pilas del viaducto entre las progresivas Km 44+135 y Km 44+230, se fundarán sobre rocas duras, de meteorizadas a ligeramente meteorizadas W_2 y W_1 . La resistencia a la compresión simple alcanza valores superiores a los 26 Mpa. Se trata de esquistos cuarzosos y cuarcitas, con presencia local de alteración sericítica.

Los resultados de la interpretación de fotos aéreas y la presencia de rocas brechadas, evidencian un fallamiento de orientación norte-sur, responsable del estado de intenso replegamiento y fracturamiento de las rocas adyacentes, que corresponde con la parte media del viaducto. En esta zona existen rocas descompuestas, con grados de meteorización W_2 y W_4 , principalmente esquistos sericíticos y grafitosos, que alteran a suelo residual arcilloso blando. Grandes cuerpos calcáreos, posiblemente lenticulares, se intercalan entre la litología.

Las observaciones de campo sugieren que la quebrada posee relativamente poco potencial hidráulico, entre otras cosas debido a la poca extensión superficial de la cuenca de drenaje.

El Túnel 7, entre las progresivas Km 44+230 – Km 44+430, presenta una cobertura máxima de 76 m. Los portales del túnel se construirán en rocas blandas y muy blandas; meteorizadas y descompuestas (W_3 y W_4), muy fracturadas y plegadas, principalmente esquistos sericíticos y grafitosos. Los valores GSI se estima que oscilan entre 14 y 35. La resistencia a la compresión simple disminuye hasta valores que rondan los 8 Mpa. Eventualmente se hallarán cuerpos de mármol con “caliche”, así como de metaconglomerados polimícticos. Estimamos que el espesor de suelo residual en las laderas es de aproximadamente 5 m.

En la zona de mayor cobertura, el túnel se construirá en rocas blandas intercaladas con rocas duras, esquistos cuarzosos y feldespáticos, con contenidos variables de sericita y clorita. Cuerpos de tamaños limitados de peridotitas serpentinizadas y mármol. Los valores GSI rondan los 58. Estimamos que en este tramo la remoción se realizará con métodos convencionales con uso frecuente del martillo de percusión. Frente estable temporalmente hasta pendientes de 1:1.

Dado el estado de descomposición de la roca en los portales, será necesario realizar obras de sostenimiento de los taludes de corte. Tomando en cuenta la orientación tan variable de las discontinuidades es relativamente indiferente el sentido del avance de la excavación.

Entre las progresivas Km 44+433 – Km 44+710 aproximadamente, se construirá un viaducto sobre rocas foliadas meteorizadas y descompuestas (W_3 y W_4) blandas y muy blandas, de composición sericítica y grafitosa, algunas veces feldespática, que presenta en algunos casos vetas de cuarzo.

Topográficamente el viaducto se ubicará relativamente cerca de la parte proximal del abanico coluvial de la Qda. Paramacay. El espesor de material coluvial que atravesará los estribos y pilas se estima no sobrepasará los 10 m.

El subsuelo en esta zona de acuerdo al sondeo TT-12 está caracterizado por la presencia de materiales de relleno de 1m de espesor de carácter arenoso, seguido por 5m de material coluvial y 4m de suelo compuestos principalmente por arenas limosas (SM) con fragmentos de roca y gravas limo-arenosas. Infrayacente al suelo, se encuentran esquistos cuarzo calcáreos y sericíticos grafitosos con vetas de calcita y cuarzo muy replegados meteorizados (W_3 - W_2).

El viaducto se fundará en zona de rocas plegadas con antiformes y sinformes. Del análisis fotogeológico se infiere la presencia de un fracturamiento local de diaclasas maestras con orientación norte - sur en la Qda. Paramacay.

Entre las progresivas Km 44+677 – Km 44+835, se realizarán taludes de corte sobre rocas foliadas meteorizadas y descompuestas (W_3 y W_4) blandas, de composición sericítica y grafitosa. A pesar de que el patrón de foliación localmente es favorable a la estabilidad del talud, el estado de descomposición de la roca genera la

necesidad de realizar obras de contención en los taludes de corte.

La zona de contacto entre el Tramo 18 y el Tramo 19, es una franja de roca muy descompuesta afectada por fallamientos, con el agravante del intenso proceso de socavación la ribera norte del río Tuy, que afecta además al material de relleno y sedimentos aluvionales que sostienen la Autopista Regional del Centro.

V.1.1.2.- TRAMO 19: Km 44+800 al Km 46+978 – Riveras del río Tuy

V.1.1.2.1- Ubicación relativa

Este tramo está representado en los planos geológicos 42 y 43 y está ubicado al sur de la Autopista Regional del Centro. La vialidad de acceso está principalmente constituida por la carretera vieja Tejerías– Boca de Cagua.

En éste tramo, la interpretación del subsuelo, se realizó a través de sondeos realizados en plena vía férrea o muy cerca de ésta, según la posibilidad de acceso a través de la vialidad disponible.

Para la fecha de elaboración del presente, están en ejecución los siguientes sondeos a máquina descritos en la tabla 7.

Perforación	Coordenadas		Cota (m)	Progresiva (Km)	Longitud (m)
	Este	Norte			
TT-14	487.475	1.132.341		45 + 260	34,4
TT-16	487.773	1.132.306	442,0	45 + 560	30,0

Tabla 7: Datos de Perforaciones

V.1.1.2.2- Generalidades: Topografía, Geología Estructural y Geodinámica Externa

Este tramo se construirá sobre la llanura aluvial del río Tuy, la falda norte de una colina alargada (Topo La Virgen) cuya línea de cresta tiene una orientación aproximada N80E. Las cotas del relieve, que atraviesa la vía, oscilan entre los 414 m y 514 m. Está planteado realizar viaductos y trincheras en la falda norte de esta fila y el Túnel 8 hacia el final del tramo.

Es drenaje principal está adaptado al relieve por factores estructurales, debido a que en esta zona existe una superficie de falla asociada a las napas regionales. Las aguas del río Tuy corren por esta zona de falla.

El río Tuy, presenta localmente comportamiento meandriforme, generando continuamente en el relieve circundante zonas de socavación. En las riberas del río Tuy como producto de la disgregación mecánica, la alteración química y las características litológicas, la roca se descompone a suelo residual de carácter arcilloso, blando.

Un comportamiento similar sucede en las quebradas hacia la parte final del tramo, donde se cartografían varios drenajes de erosión concentrada o cárcaveo.

V.1.1.2.3- Caracterización de los tipos litológicos

- Filitas y esquistos sericíticos: en algunos casos grafitosa, representan las litologías más abundantes en los afloramientos.
- Filitas cuarzo (50%) - feldespático (20%)- micáceas (15%): en afloramiento, esta litología, se aprecia con color verde grisáceo y vetas de cuarzo de 1 cm de espesor aproximadamente.

- Esquistos grafitosos: en afloramiento se presenta con color gris claro. Son visibles vetas de cuarzo con espesor aproximado de 0,5 cm. En la perforación TT-16 se aprecia una intercalación de este esquisto con un material arcilloso, posiblemente debido a la alteración de los feldespatos potásicos presentes en la roca.
- Esquistos micáceos – feldespáticos: en afloramiento se presenta con color verde grisáceo. En sección fina, se observa el intenso fracturamiento, además de numerosos cristales de hematita.
- Esquistos cuarzo - micáceos: en muestra de mano es de color gris blanquecino y presenta de vetas de cuarzo con un espesor aproximado de 0,5 cm y con orientación similar a las de las foliaciones.
- Esquisto feldespático - sericítico - cuarzo - micáceo: esta roca posee aproximadamente 60% de feldespatos potásicos; se puede apreciar en sección fina el alto contenido de sericita (30%) en la muestra debido a la alteración de los feldespatos (ver figura 5). El cuarzo representa el 10% y las micas el 15%, presentándose plagioclasas como mineral accesorio (para mayor detalle ver anexo IV-A-33). En muestra de mano es de color verde blanquecino (ver anexo IV-1).

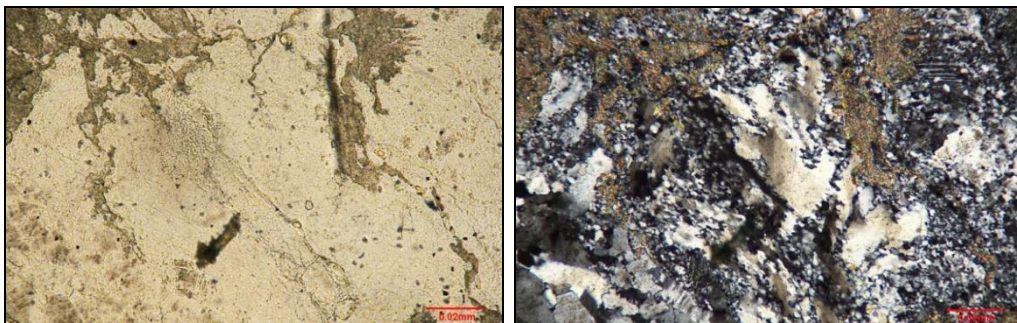


Figura 7: Muestra TE003 en sección fina. Detalles en nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha) de esquisto feldespático sericítico cuarzo micáceo

En este tramo, también se encontraron cantidades menores de esquistos cuarzo - sericíticos, peridotitas serpentinizadas y cuerpos de cuarcitas.

V.1.1.2.4- Consideraciones Geológico – Geotécnicas detalladas por obra

Entre las progresivas Km 44+800 y Km 45+600 la vía férrea atraviesa los sedimentos aluviales del río Tuy, por medio de un viaducto. El subsuelo en esta zona, explorado a través de la perforación TT-14, está compuesto por 17 m superficiales de bancos de sedimentos aluviales limo- arenosos con gravas en las periferias del cauce; y sedimentos gravosos hacia el interior. Infrayace a dichos sedimentos, rocas blandas; esquistos grafitosos y calcáreos meteorizados W_3 .

Las rocas que afloran en la ladera norte de la colina alargada Topo La Virgen, corresponden con una intercalación de cuerpos de rocas meteorizadas (W_3) duras y blandas; principalmente esquistos y filitas sericíticas, ligeramente grafitosas y cloríticas. Escasos esquistos cuarzosos y cuarcitas. El suelo residual en las laderas tiene un espesor que ronda los 8 m. En esta zona está proyectado desarrollar cortes en trinchera y viaductos.

Los viaductos se fundarán sobre rocas descompuestas (W_4), dado que la litología de la zona altera a suelo residual arcilloso blando. Se estima que el espesor de roca descompuesta no sobrepasa los 8 m.

Los planos de foliación presentan una marcada tendencia en la dirección este-oeste, presentándose un patrón secundario de orientación N75W (ver anexo VII-2). Las diaclasas por su parte, muestran una clara tendencia N85W y un patrón secundario de rumbo N10E (ver anexo VII-2).

Entre las progresivas Km 45+600 y Km 45+900, se realizarán taludes de corte a media ladera sobre rocas blandas meteorizadas (W_3), muy friables, al interior de la cual es factible encontrar con escasos cuerpos de rocas duras. Se hace necesaria la realización de obras de contención de los taludes de corte, dada la cercanía con zonas de socavamiento de río Tuy. Los valores GSI oscilan entre 20 y 40. La resistencia a la

compresión simple de la roca disminuye hasta valores que rondan los 5 MPa en la roca superficial.

Entre las progresivas Km 45+900 y Km 46+000, se coloca en contacto litología dura para la primera mitad de un viaducto, con litología blanda para la segunda parte debido a la existencia de dos fallas convergentes, la primera inversa de orientación N60E y segunda sinistral de rumbo N25W; ambas asociadas a las napas regionales. Litológicamente se trata de esquistos cuarzosos y sericíticos, cuyos valores GSI oscilan entre 25 y 55; para las rocas blandas y duras respectivamente.

Entre las progresivas Km 46+000 y Km 46+683 la ruta avanza en terraplenes y viaductos sobre rocas W_3 blandas, principalmente esquistos y filitas sericíticas y grafitosas, algunas veces cloríticas y feldespáticas. Es importante resaltar el control exodinámico sobre la litología poco competente, lo cual se manifiesta en quebradas de erosión concentrada (carcaveo) y deslizamientos superficiales producto de la descomposición de la roca y de los cambios geométricos en las laderas por los taludes de corte realizados para vialidad. En este sector los valores GSI ronda los 35.

Entre las progresivas Km 46+683 y Km 46+978, se construirá un Túnel 8 con una cobertura máxima de aproximadamente de 67 m, en roca meteorizada W_3 - W_2 blanda, esquistosa, calcárea, grafitosa y sericítica. Se conoce de la presencia de cuerpos lenticulares duros de mármoles, esquistos cuarzosos y eventualmente cuarcitas; de GSI 57 aproximadamente.

Las características topográficas y la presencia de una falla de rumbo N35W en el lecho de la desembocadura del río Cagua, sugiere un aumento de los estados tensionales en el macizo rocoso en su parte este, con sus respectivas incidencias en el parámetro RQD y en la clasificación geomecánica. Por ello, el valor GSI en la parte más somera del túnel se calcula alrededor de 30, y de 55 para la zona más profunda.

Destaca que en los alrededores del macizo rocoso, cerca de la zona de la ruta de la vía férrea, fueron observados taludes con agua goteando, lo que alerta sobre la posibilidad de flujos de agua al interior del macizo.

En el portal este del Túnel 8 existe un deslizamiento, aparentemente superficial, de roca descompuesta, probablemente influencia por la intervención humana para viviendas en los terrenos.

Estimamos que la remoción o excavación de estas rocas, se realizará a través de métodos convencionales, con uso esporádico del martillo de percusión. Frente estable temporalmente hasta pendientes de 4:1 en la cobertura superficial y 1:1 en la más profunda.

V.1.1.3.- TRAMO 20: Km 46+978 al Km 48+906 - Lomas de Níquel

V.1.1.3.1.- Ubicación relativa

Este tramo está representado en los planos geológicos 44 y 45, se ubica al este de la Boca del río Cagua y al sur del cauce del río Tuy. La carretera que une la Boca de Cagua y el pueblo de Satuque, se encuentra, en la mayor parte de su recorrido, paralela y relativamente cercana al trazado de la ruta, lo que facilita la realización de algunos sondeos a máquina sobre la ruta. Para la fecha de redacción del presente informe se están ejecutando los sondeos que se listan en la tabla 8 que se muestra a continuación:

Perforación	Coordenadas		Cota (m)	Progresiva (Km)	Longitud (m)
	Este	Norte			
TT-24	489.223	1.132.135	436,0	47 + 030	30,0
TT-25	489.223	1.132.135	411,0	47 + 130	30,0
TT-26	489.516	1.132.070	454,0	47 + 330	20,0
TT-28	490.226	1.132.040	412,0	48 + 460	30,0
TT-29	490.261	1.132.043	415,0	48 + 980	30,0

Tabla 8: Datos de Perforaciones

V.1.1.3.2.- Generalidades: Topografía, Geología Estructural y Geodinámica Externa

La vía ferroviaria se construirá sobre un conjunto de estribaciones de rumbo promedio N40E, que nacen en la ladera norte de una fila de línea de cresta este-oeste. Dicha fila se ubica al sur de la zona de estudio. El relieve atravesado por la vía férrea, tiene cotas que oscilan entre los 406 m y 469 m.

Desde el punto de vista de la geología estructural, la zona está influenciada por la presencia de una falla de corrimiento que atraviesa el cauce del río Tuy, sin embargo, se observan patrones de fallas y alineaciones de relieve asociadas a la Falla de Tácata. Por ello, en el mapa se cartografiaron un conjunto de fracturamientos inferidos cuyos rumbos oscilan entre N30W y N10E; los cuales se observan sobre todo en el extremo este del tramo.

Los planos de foliación en el tramo son penetrativos y presentan un rumbo predominante N75E. Se observa también un patrón secundario de orientación N40E (ver anexo VII-3). Los planos de diaclasas presentan una tendencia principal N50W y una secundaria N20E (ver anexo VII-3).

El río Tuy en esta zona, continúa presentando un comportamiento meandriforme, con las zonas de socavación asociadas y otras consideraciones ya realizadas para el Tramo 19. También, es relativamente frecuente la presencia de quebradas de erosión concentrada.

V.1.1.3.3.- Caracterización de los tipos litológicos

- Filitas y esquistos sericíticos: de composición mineralógica aproximada es de 50% sericita, 20% grafito y cantidades variables de cuarzo y plagioclasas.
- Esquistos cuarzo – grafitosos: son rocas muy deformada de color gris oscuro, que en algunos casos se intercalan con lentes de cuarcita. Son frecuentes las vetas de calcita, que presentan un espesor aproximado de 0,5 cm.
- Filitas grafitosas: en afloramiento presentan color gris oscuro a gris claro. Esta roca aparece intercalada con lentes de cuarcitas y esquistos cuarzosos. Presenta además abundantes vetas de calcita y cuarzo.
- Esquistos cuarzo (45%) – feldespáticos (35%) – grafitosos (5%) – micáceos (5%): en muestra de mano son de color gris y muy replegados. En sección fina (figura 6) se pueden apreciar los granos de cuarzo fracturados, y una mezcla de grafito y de minerales micáceos principalmente muscovita (ver anexo IV-A-11).

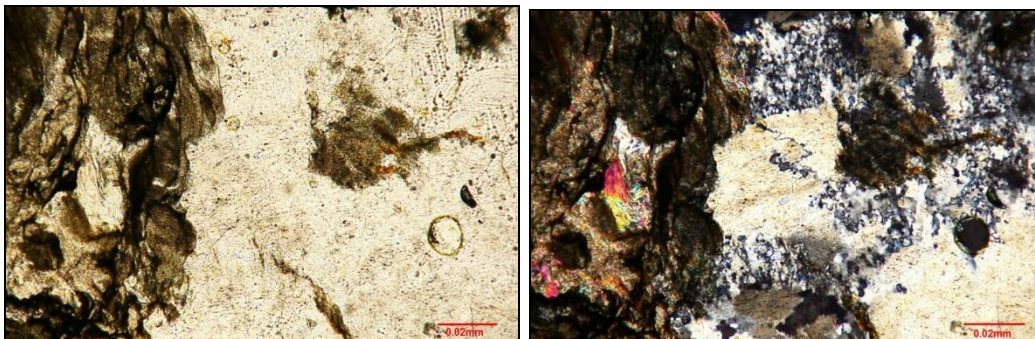


Figura 8: Muestra LN020 en sección fina. Detalles en nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha) de esquistos cuarzo feldespático con grafito y micas.

En menor cantidad de afloramientos, pudo encontrarse:

- Peridotita serpentizada: roca muy dura y masiva. En afloramiento presenta color verde claro. Mineralógicamente está compuesta en más de 50% por antigorita, así como por 25% de grafito y 15% de piroxeno. En sección fina se observa la presencia de piroxenos alterando a clorita (ver anexo IV-A-3).

En éste tramo también se hallaron escasos cuerpos de mármol, de cuarcitas, filitas y esquistos calcáreos.

V.1.1.3.4.- Consideraciones Geológico – Geotécnicas detalladas por obra

Las rocas presentes en esta zona están constituidas principalmente por rocas meteorizadas W_3 blandas y muy blandas. Los valores GSI oscilan entre 15 y 25. Las rocas que constituyen esta unidad se presentan muy deformadas y friables, sin embargo los mencionados cuerpos locales de rocas duras (cuarcitas, peridotitas serpentizadas, esquistos cuarzosos y feldespáticos), poco meteorizadas (W_2 y W_1), alcanzan valores de GSI de 60 y 25 MPa de resistencia a la compresión simple.

Entre las progresivas Km 46+978 y Km 47+303 la vía atraviesa la Boca del río Cagua en un viaducto. La perforación TT-25, muestra que el subsuelo en esta zona está constituido por una intercalación esquistos sericíticos grafitosos meteorizados (W_4 y W_3) y filitas grafitosas ligeramente meteorizadas (W_2). La desembocadura está ampliamente socavada por el curso del río Cagua. El viaducto atravesará una falla de rumbo N40W en la parte central del río Cagua.

Entre las progresivas Km 47+303 y Km 47+730 la vía se construirá sobre cortes en trinchera, viaductos y cortes en media ladera. Atravesará cuerpos mayores de roca dura, que se hacen menos competentes hacia las zonas más cercanas al río Tuy. Debido al grado de meteorización y la friabilidad de la roca será necesaria la realización de obras de contención de taludes. Los valores GSI oscilan entre 55 y 63. En esta zona la remoción de materiales podrá realizarse a través de métodos

convencionales, con uso del escarificador. El frente de excavaciones será temporalmente estable hasta pendientes de 1:1.

Entre las progresivas Km 47+730 y Km 48+607 la vía estará soportada por viaductos y cortes de media ladera en rocas blandas. Los GSI oscilan entre 20 y 45. Eventualmente es posible encontrar cuerpos aislados de rocas duras. En la Qda. Alambique el viaducto estará fundado sobre una zona interpretada de falla con rumbo N10W.

En esta zona se realizan los sondeos TT-28 y TT-29, las rocas están representadas por esquistos cuarzo-sericíticos grafitosos blandos meteorizados (W_3) hasta los 30m para TT-28, mientras, que la roca medianamente meteorizada (W_2) está a 14 m en TT-29. En ambos casos, la roca está intensamente fracturada.

La evidencias observadas en campo indican que en las laderas donde se desarrollan las obras se han producido en el pasado actividad de flujos de roca y deslizamientos, producto entre otras cosas de la socavación por el curso anterior del río Tuy, que eventualmente pudiese reactivarse ante una subida del caudal.

Entre las progresivas Km 48+607 y Km 48+906 se avanza por un cuerpo lenticular interpretado de tamaño considerable, de esquistos cuarzosos y feldespáticos, así como algunas cuarcitas, los valores GSI oscilan entre 45 y 60.

Entre Km 48+700 y Km 48+800, se observó la presencia de un deslizamiento de tamaño considerable en la ladera (ver mapa geológico 45), lo que afectará la estabilidad de las estructuras de corte a realizar. En esta misma zona y hasta la progresiva Km 48+906 convergen existen dos sistemas de fractura y la Falla de Tácata (dextral), lo que aumenta localmente el grado de fracturamiento del macizo.

V.1.1.4.- TRAMO 21: Km 48+906 al Km 52+469 - Alrededores de Satuque

V.1.1.4.1- Ubicación relativa

Este tramo está representado en los planos geológicos 46, 47 y 48. Geográficamente la zona corresponde con los macizos rocosos que se ubican al este y al oeste de la Qda. Satuque, en los cuales se desarrollan los túneles 9 y 10 de la vía férrea. Para la fecha de realización del presente informe se están en ejecución las perforaciones mostradas en la tabla 9:

Perforación	Coordenadas		Cota (m)	Progresiva (Km)	Longitud (m)
	Este	Norte			
TT-37	492.568	1.131.791	440	50+408	28
TT-38	492.844	1.131.735	405	50+648	28
TT-39	492.932	1.131.709	395	50+780	30
TT-39A	492.932	1.131.709	-	-	28,5

Tabla 9: Datos de Perforaciones

V.1.1.4.2- Generalidades: Topografía, Geología Estructural y Geodinámica Externa

Fisiográficamente la zona donde aflora el macizo rocoso oeste está constituida por un conjunto de estribaciones de orientación N30E. El macizo este corresponde con una colina alargada de orientación aproximada N50W. Las cotas máximas atravesadas por la vía férrea oscilan entre los 654 m, para el macizo este y 580 m para el macizo oeste. La cota mínima es de 391 m, se registra en un valle de falla que separa ambos macizos, que corresponde con la Qda. Satuque.

La mencionada alineación topográfica corresponde con un patrón regional de orientación de las topoformas. El accidente estructural más importante de este tramo está constituido por la Falla de Tácata, de movimiento transcurrente dextral con rumbo aproximado N65W, existen en la zona numerosos patrones de fallas conjugadas a esta manifestación principal.

Se observaron en las quebradas, normalmente alineadas con los mencionados patrones estructurales predominantes, procesos geodinámicos de erosión concentrada o carcaveo.

Los planos de foliación presentan una orientación preferencial N65E y una secundaria de orientación N7E (ver Anexo VII-4), sin embargo, en buena parte del terreno no es visible debido a la abundante capa de suelo residual que da cobertura al relieve. Los planos de diaclasas son diversos, mostrándose una incipiente tendencia en el rumbo N10W (ver Anexo VII-4).

V.1.1.4.3- Caracterización de los tipos litológicos

Litológicamente el tramo es muy homogéneo. Se trata principalmente esquistos y filitas sericíticas (65%) y grafitosas (20%), con contenidos menores de cuarzo (10%) y plagioclasas (5%).

En todo el tramo, la roca es friable y se encuentra muy deformada. Esta litología se descompone, generando un suelo residual en las laderas que está por el orden de los 10 m de espesor.

Minoritariamente, en la zona se encuentran también afloramientos de esquistos feldespáticos – micáceo. En afloramiento esta litología presenta un color verdoso y teñido de óxido de hierro, con foliación ligeramente marcada. En sección fina (figura

7) se aprecia abundancia de feldespatos K (50%) además de la mezcla de minerales micáceos (20%), cristales de ortopiroxenos (12%), óxido de hierro (8%) grafito (7%) así como también la presencia de fragmentos de rocas ígneas con plagioclasas (3%). (Para mayor detalle ver anexo IV-A7).

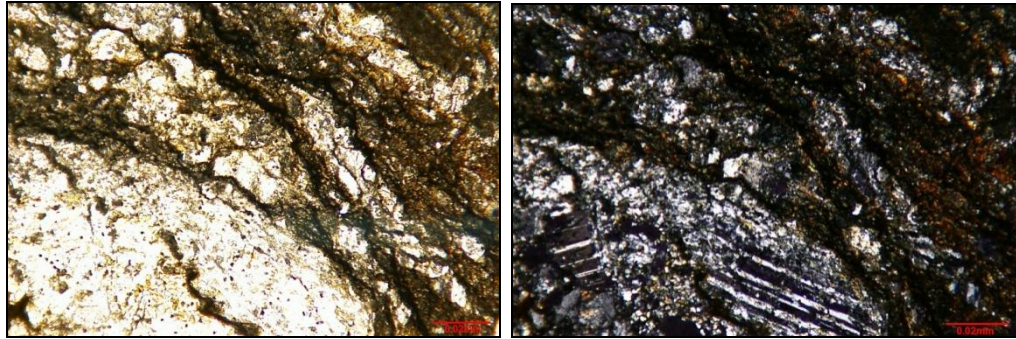


Figura 9: Muestra LN010 en sección fina. Detalles en nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha) de esquisto feldespático-micáceo.

Se observan además, en el interior de las unidades mencionadas, que son principalmente de rocas blandas, cuerpos lenticulares de litologías duras, compuestas principalmente por esquistos cuarzosos, lentes de cuarcitas y mármol.

V.1.1.4.4- Consideraciones Geológico – Geotécnicas detalladas por obra

El Túnel 9 se construirá en la litología antes mencionada. Los valores GSI en los portales del Túnel 9, se calcularon en 35 mientras que al interior se estiman en 60. La remoción de materiales podrá realizarse con métodos convencionales y uso del martillo de percusión. Se tendrá un frente de excavación temporalmente estable hasta pendientes de 3:2 en la parte superficial, y 1:1 en la parte más profunda.

El sondeo TT-37 realizado en el portal este del Túnel 9, muestra que el subsuelo en esta zona es una intercalación de esquistos cuarzosos, peridotitas serpentinizadas y cuarcitas, cuyos valores de resistencia a la compresión simple se estiman superiores a

los 25 MPa, y GSI que rondan los 50. Además de esto, la presencia de brechas de falla en la perforación atestigua una zona de falla en la Qda. Satuque.

Entre las progresivas Km 50+294 y Km 50+838, está prevista la ejecución de taludes de corte y un viaducto, sobre la periferia del macizo este y los sedimentos de la Qda. Satuque. A través de las perforaciones TT-38 y TT-39, se sabe que los estribos y pilas del viaductos, se fundarán sobre un subsuelo con un espesor máximo de 5 m, de material limo arenoso aluvional, al que subyace una intercalación de esquistos cuarzos, esquistos calcáreos y grafitosos, peridotitas serpentinizadas y cuarcitas; blandas y duras, meteorizadas y descompuestas (W_3 y W_4). La descomposición de las rocas en este sector y el socavamiento de la Qda. Satuque, hacen necesaria la realización de obras de contención para los taludes de corte.

El Túnel 10, será excavado en su parte este en una litología similar a la descrita para el Túnel 9. Debe mencionarse sin embargo, que es apreciable un aumento relativo del espesor de suelo residual en las laderas, con respecto al macizo oeste.

Además de esto es visible en superficie un aumento de la presencia de los cuerpos de rocas metavolcánicas, lo que probablemente se traduce en un aumento la cantidad de dicha litología en el subsuelo.

A partir de la progresiva Km 51+600 se observa una orientación constante en los planos de foliación (N10W30N), así como un aumento notable en la presencia de los mencionados lentes de mármol. Hacia el portal este, en la progresiva Km 52+469, se observa una convergencia de fallas y fracturamientos, lo cual se refleja en los bajos valores de RQD en dicho portal. Por ello, se calcula que el valor GSI en el portal oeste es de 20, para el interior del macizo de 56, mientras que en el portal este será de 30. La remoción de materiales podrá realizarse con métodos convencionales y uso del martillo de percusión. Se tendrá un frente de excavación estable temporalmente hasta

pendientes de 4:1 en la parte superficial, y 1:1 en la parte más profunda.

En esta zona las rocas se encuentran más afectadas por la presencia de múltiples fracturamientos y fallas, sin embargo, el espesor de suelo residual, impide obtener un mejor seguimiento de la evolución de los patrones de foliación y diaclasas.

V.1.1.5- Tramo 22: Km 52+469 al Km 58+000: Qda. Cangrejo - Tácata

V.1.1.5.1- Ubicación relativa

Este tramo está representado en los planos geológicos 48, 49, 50, 51, 52, 53 y 54. Este tramo está limitado por la Qda. Cangrejo en el oeste y el poblado del Tácata al este, al norte por el Pico Los Lechosos y al sur por el Sitio Pedregal. A nivel de infraestructura se corresponde principalmente con el Túnel 11.

V.1.1.5.2- Generalidades: Topografía, Geología Estructural y Geodinámica Externa

Topográficamente la zona está constituida por un conjunto de colinas plegadas, donde puede observarse una línea de cresta que se alinea ligeramente en un rumbo N80W, variando paulatinamente hacia la dirección norte-sur.

Desde el punto de vista de la geología estructural, la Falla de Tácata es el principal elemento de control del relieve. En las proximidades del Km 54+000, en los alrededores del área de estudio, se observó una ensilladura de falla que deja al descubierto la real extensión de este accidente estructural. La vía férrea, en este tramo se encontrará paralela a la falla, sin embargo, todos los patrones de fracturamiento, conjugados a ella, se encuentran afectando el macizo que atraviesa la obra, en dos direcciones preferenciales, que se comentarán posteriormente.

Hidrográficamente la Qda. Colorado y la Qda. Las Piñas, que corren a través de la Falla de Tácata, dominan la zona, con un conjunto de quebradas afluentes en la ladera sur del macizo de interés. Las quebradas afluentes presentan un alto potencial en el movimiento de bloques angulares de gran tamaño, visible a lo largo de sus cauces lo cual se pudo observar durante la realización del estudio geológico de superficie. Se espera que este comportamiento que se observa superficialmente, también se repita al interior del macizo, generando zonas de posibles caídas de bloques durante la excavación. El mapa geológico 51 muestra la ubicación de dichas quebradas.

Desde el punto de vista de la geodinámica externa, cabe mencionar que se observaron quebradas de erosión concentrada o carcaveo debidamente cartografiadas.

Debido a la abundancia de accidentes geológicos estructurales, los planos de foliación y diaclasas presentan orientaciones muy variables.

V.1.1.5.3- Caracterización de los tipos litológicos

Litológicamente el tramo se constituye de un “melange” de rocas metaígneas y metasedimentarias, que van aumentando su dureza de oeste a este, mostrándose, debido a ello, un aumento en el espesor aparente del suelo residual de Este a Oeste, desde los 4 m a los 12 m.

Los principales tipos litológicos encontrados son los siguientes:

- Esquistos sericíticos: además del predominante contenido de sericita (60%), la mineralogía de estas rocas presenta cantidades variables de cuarzo y grafito, en algunos casos con presencia de vetas de cuarzo y pocas veces interdigitadas con cuerpos de mármol.

- Mármoles: en afloramiento la roca es de color gris, hábito masivo y muy competente. En sección fina, las muestras muestran el maclado característico de la calcita metamórfica, ésta roca se encuentra compuesta aproximadamente por 100% de calcita. (ver anexo IV-A-38).

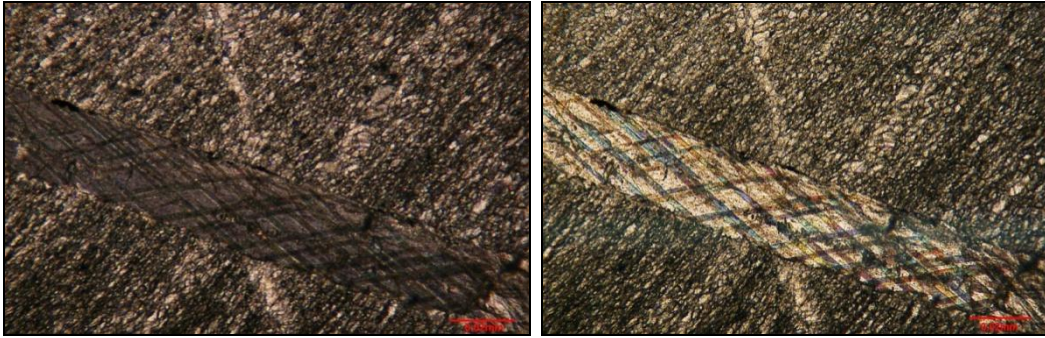


Figura 10: Muestra FI005 en sección fina. Detalles en nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha) de un mármol.

- Esquistos cuarzo (40%) – feldespáticos (35%) – grafitosos (15%) – calcáreos (5%): en afloramiento, estas rocas son de color verde, foliación penetrativa y presentan vetas de calcita en dirección de la foliación. En sección fina (figura 9) se observa la marcada foliación de la roca, además de la dirección en que se encuentran alargados paralelamente a la foliación los cristales de cuarzo y feldespatos (para más detalles ver anexo IV-A-36).

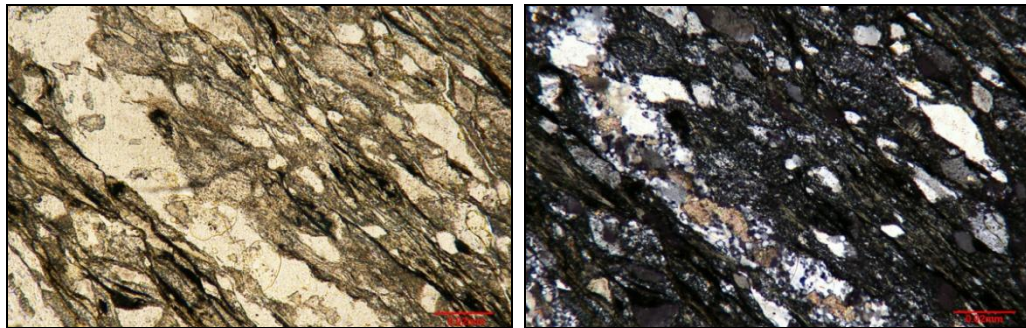


Figura 11: Muestra FI003 en sección fina. Detalles en nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha) de un mármol.

- Anfibolitas feldespáticas: en afloramiento se trata de una roca masiva, muy dura y fracturada. Está compuesta principalmente por anfíboles específicamente actinolita (60%), feldespatos potásicos (30%), plagioclasas (5%) y grafito (5%) (ver anexos IV-A-22).

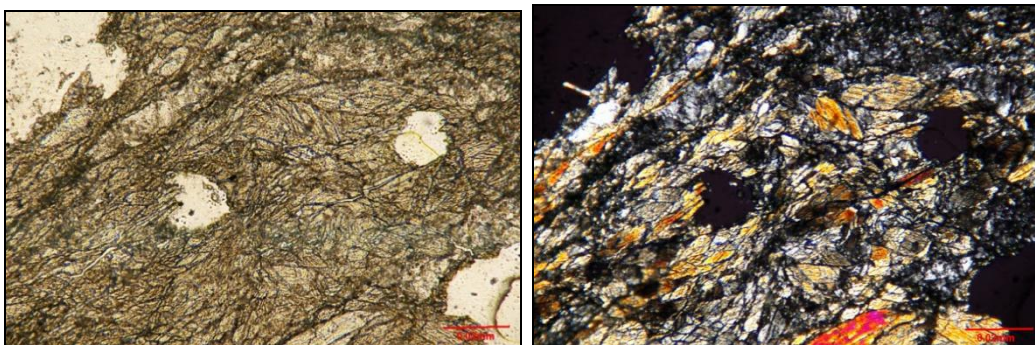


Figura 12: Muestra TA001 en sección fina. Detalles en nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha) de una anfibolita feldespática.

- Esquistos cuarzo (37%) – sericíticos (20%) – feldespáticos (15%) – micáceos (13%): en muestra de mano, la roca se presenta con delgadas vetas de cuarzo en dirección de la foliación. En afloramiento, es común observar al interior de estas rocas, “boudines” de gneises graníticos (ver Anexo III-A – Foto TA51). En sección fina (ver figura 11) se observa además de los principales minerales constituyentes, la presencia de cristales de epidoto y apatito como accesorio a la roca (ver anexo IV-A-23).

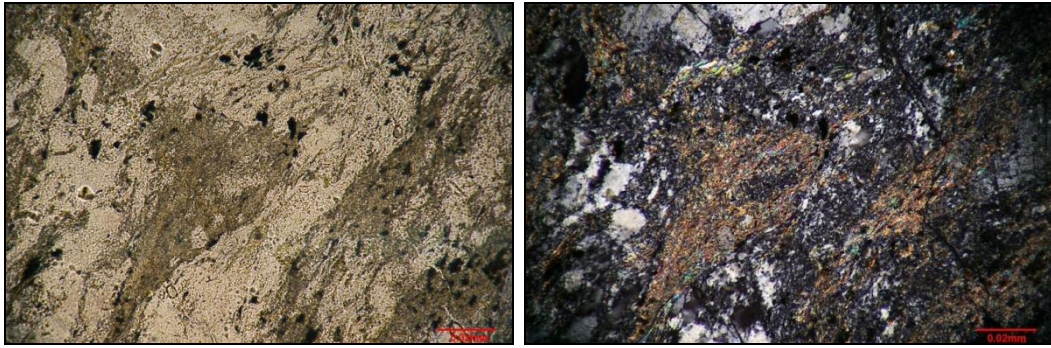


Figura 13: Muestra TA002 en sección fina. Detalles en nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha) de esquistos cuarzo sericítico feldespático micáceo

- Cuarcitas: en afloramiento presentan color gris blanquecino, hábito masivo y son muy competentes. En sección fina se observa el cuarzo como componente principal (70%), además de éste mineral la roca posee también una cantidad considerable de calcita (18%) y de feldespatos potásicos (9%) (ver anexos IV-A-24).

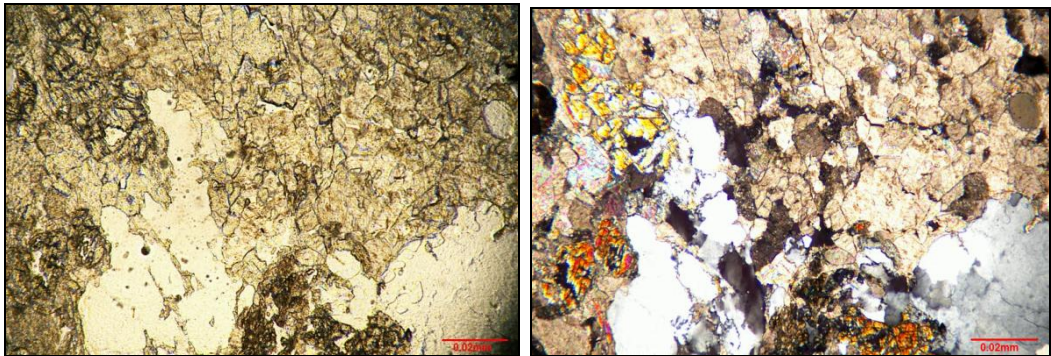


Figura 14: Muestra TA003 en sección fina. Detalles en nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados (derecha) de una cuarcita.

En éste tramo también se encontraron afloramientos menores de esquistos grafitoso y metacherts (ver Anexo III-A - Foto TA46).

V.1.2.5.4- Consideraciones Geológico – Geotécnicas detalladas por obra

Entre las progresivas Km 52+469 y Km 53+008, se proyecta un viaducto que se fundará sobre la Qda. Cangrejo, constituida por sedimentos gravosos y arenosos; cantos rodados de gneises, anfibolitas, mármoles, cuarcitas y fragmentos de rocas metamórficas. El espesor de material aluvional ronda los 10m. Subyacente al mencionado material aluvional, la Qda. Cangrejo está constituida por rocas blandas; esquistos cuarzosos, sericíticos y en algunos casos grafitosos; con GSI alrededor de 40.

Debido a las dificultades de acceso vehicular, es probable que no se realicen sondeos a máquina en esta zona durante esta etapa del proyecto.

Debido a la variabilidad de los rasgos geológicos, se procede a realizar una descripción litológica y estructural subdividiendo el tramo en tres bloques:

- Tramo 22 – Bloque 1: está comprendido entre las progresivas Km 53+008 y Km 55+100. Compuesto por rocas meteorizadas (W_3 y W_2), de cuerpos blandos intercalados con cuerpos duros. Las rocas duras son esquistos cuarzosos, micáceos, sericíticos, calcáreos y cloríticos; que presentan vetas de cuarzo y boudines de gneises graníticos. Las rocas blandas son esquistos sericíticos y grafitosos. Es común encontrar cuerpos de mármoles muy meteorizados interdigitados en dicha litología. Los valores GSI varían entre 25 y 45, para las mencionadas litologías.

Desde el punto de vista de la geología estructural, el bloque está definido principalmente por una zona de fallas con buzamientos muy variables, pero con una notoria componente transcurrente. En los mapas geológicos 49 y 50, puede observar la traza de una falla de rumbo N45W, que pareciera limitar la preponderancia de una litología más carbonática al sur. El conocimiento real de las características del

subsuelo en esta zona debe ser mejorado con la realización de sondeos a maquinas en las etapas siguientes del proyecto. Existe un patrón de fracturamiento de rumbo N25W, debidamente cartografiado, que atraviesa la vía férrea en repetidas ocasiones.

- Tramo 22 – Bloque 2: está comprendido entre las progresivas Km 55+100 y Km 57+000. Compuesto por rocas meteorizadas (W_3 y W_2), duras y muy duras; principalmente esquistos cuarzosos, cuerpos lenticulares de gneises graníticos, anfibolitas, cuarcitas, mármoles, metacherts (metaftanita), serpentinitas y rocas metavolcánicas, todas intensamente fracturadas.

La foliación y el diaclasamiento son dispersos. Es en esta zona donde se presenta con mayor intensidad el mencionado movimiento de bloques angulares de gran tamaño en las quebradas. Los valores GSI calculados en base al muestreo en las quebradas cercanas, se estima que puede alcanzar 80, manteniendo una media de 55, determinando que el avance se puede realizar con uso del martillo de percusión y algunas voladuras. Se contará con un frente de excavación estable temporalmente hasta pendientes de 1:1.

Entre las progresivas Km 55+450 y Km 55+700 se cartografía un cuerpo de dureza sobresaliente, gneises granítico meteorizado (W_2 y W_1).

- Tramo 22 – Bloque 3: se desarrolla entre las progresivas Km 57+000 y Km 58+000, y se representa en los planos geológicos 54, 55, 56 y 57. Está constituido por rocas duras y muy duras que encuentran una manifestación superficial de rocas blandas. Por ser ésta la parte más superficial del Túnel 11, la ruta atravesará materiales que pierden competencia por los procesos de meteorización. Las rocas son esquistos cuarzosos y sericíticos, cuarcitas y rocas metavolcánicas. Los valores GSI oscilan al interior del túnel entre 50 y 60, y entre 30 y 40 para la parte superficial.

Estructuralmente este sector está afectado por la Falla de Tácata, donde se desarrolla la Qda. Las Piñas. La foliación y el diaclasamiento son variables motivado por la presencia de dicho accidente.

Dadas las circunstancias el avance en esta zona superficial del Túnel 11, podrá realizarse con uso frecuente del martillo de percusión y uso de voladuras parciales. Se tendrá un frente de excavación estable temporalmente hasta pendientes de 1:3 en la parte superficial, y 2:3 en la parte más profunda.

V.1.2.- Diseño para el sostenimiento de un túnel

Se calculó el sostenimiento para el túnel 6 (42+551 – 44+070), para ello se inició el trabajo clasificando la excavación tomando en cuenta la cobertura sobre el túnel. Para determinar dicha cobertura se requiere calcular el ancho de sólido de carga (B), el cual depende de las dimensiones del túnel (ver figura 15), y del ángulo de fricción del macizo rocoso.

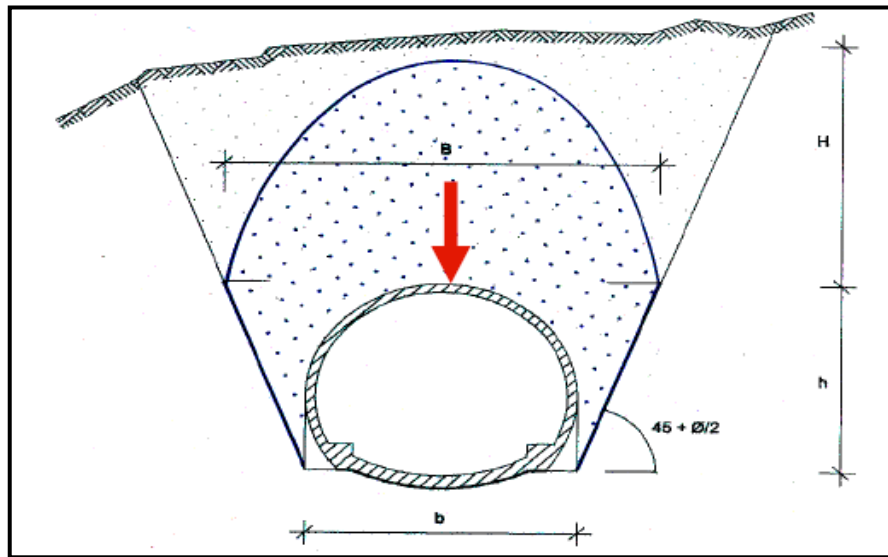


Figura 15: Sección tipo de un Túnel. (Tomado de Perri y De Marco 2006)

A lo largo del túnel 6 se observan variaciones en cuanto a la litología, estas variaciones se identificaron a partir de las clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos en este caso usando los valores de RMR de la clasificación de Bieniawsky correspondientes a macizos rocosos que se encuentran cercanas a la zona, además se realizó interpolación entre los ángulos de fricción obtenidos en la planillas RMR y los que establece Bieniawsky en su tabla (ver tabla 3), de igual forma se hizo con los valores de la cohesión, para así seleccionar un valor conservador para evitar algún inconveniente al momento de la excavación. A continuación los valores utilizados:

RMR= 50

Cohesión (C) = 2-3 Kg/cm²

Ángulo de fricción = 25 °– 35 °

El ancho de sólido de carga viene dado por:

$$B = b + 2 \cdot h + \text{tag} (45^\circ - \Phi/2)$$

Donde:

b= 13,80m (ancho del túnel)

h= 12,27m (altura del túnel)

$\Phi = 33^\circ$ (ángulo de fricción)

La figura 15 muestra las dimensiones de túnel 6:

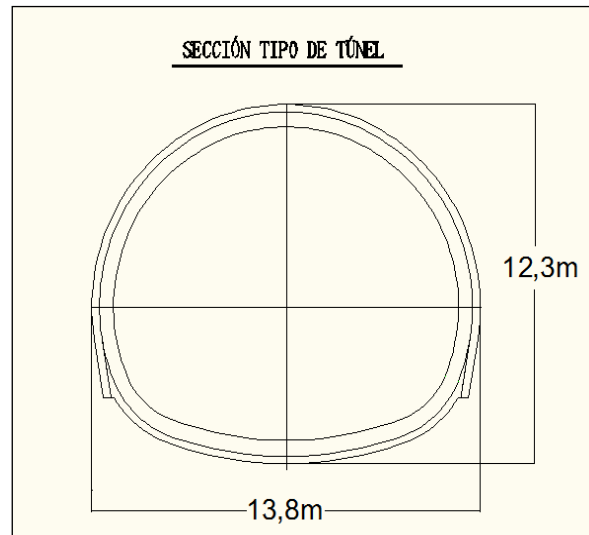


Figura 16: Sección del túnel 6

Sustituyendo en la ecuación anterior se obtuvo un ancho de carga (B) = 38,9m. Éste valor ayuda a establecer los límites entre las distintas coberturas como se muestra a continuación:

Cobertura superficial	Cobertura intermedia	Cobertura profunda
$H \leq B = H \leq 38,9\text{m}$	$H \leq 2.5B = H \leq 97,3\text{m}$	$H \geq 2.5B = H \geq 97,3\text{m}$

Tabla 10: Rangos de Coberturas

Seguidamente se procede a calcular las cargas actuantes sobre el soporte (P), dependiendo la cobertura.

- Cobertura superficial:** En este caso se calculó la carga vertical total que actuara sobre el túnel durante la excavación, basándose en las densidades de las rocas existentes en el tramo y altura de la cobertura. Ésta carga se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$P = \gamma H$$

Debido a que se trataba de una mezcla de roca dura y roca blanda se estimó ésta densidad, tomando en cuenta las características de las rocas y los ensayos de peso unitario que se le realizaron a ciertas muestras. Siendo éste valor $\gamma = 2,4 \text{ t/m}^3$. A continuación se muestra la tabla 11 con los valores de cargas puntales para las coberturas superficiales en distintos tramos:

COBERTURA SUPERFICIAL			
Progresivas	Cobertura (m)	Presión de cargas (P)	Soporte primarios*
42+515- 42+575	21	5,04 Kg/cm ²	Pf - 1
42+892 – 42+990	32	7,68 Kg/cm ²	Pf - 5
44+020 – 44+093	38	9,12 Kg/cm ²	Pf - 6

Tabla 11: Valores por tramos de las presiones de carga con sus respectivos soportes.

* Los soportes primarios fueron seleccionados por medio de la tabla de cálculo estructural de soporte (ver anexo XII). Se toma aquel soporte cuya capacidad supere el rango de demanda.

- **Cobertura intermedia:** Para este tipo de cobertura se calculó la presión de carga con la ecuación que se muestra a continuación:

$$P = \gamma \alpha (b+h)$$

Donde:

γ = densidad de las rocas presentes en el tramo (2,4 t/m³).

α = factor de cargas de Terzaghi. Dicho factor se determina con el ángulo de fricción del macizo rocoso, el cual se tomó el mismo que en la cobertura superficial ya que se trata de litologías semejantes. Por lo tanto el $\alpha = 0,40$ para un $\Phi = 33^\circ$.

$b = 13,80\text{m}$ (ancho del túnel)

$h = 12,27\text{m}$ (altura del túnel)

Sustituyendo estos datos en la ecuación anterior se obtienen los siguientes valores de cargas actuantes mostrados en la tabla 12:

COBERTURA INTERMEDIA			
Progresivas	Cobertura (m)	Presión de cargas (P)	Soporte primarios*
42+575- 42+892	90	2,50 Kg/cm ²	P – c1
42+990– 43+100	97	2,50 Kg/cm ²	P – c1
42+800– 43+020	94	2,50 Kg/cm ²	P – c1

Tabla 12: Valores por tramos de las presiones de carga con sus respectivos soportes.

- **Cobertura Profunda:** en la cobertura profunda las cargas actuantes se obtiene con la siguientes ecuaciones:

$$P_{cr} = 2P_0 - \sigma_{cm} / 1 + k$$

Donde:

$$P_0 = \gamma H$$

$$k = (1 + \text{sen } \Phi) / (1 - \text{sen } \Phi)$$

$$\sigma_{cm} = 2c \cos \Phi / (1 - \text{sen } \Phi)$$

Dado que a lo largo de todo el túnel se mantiene la misma litología los valores de ángulo de fricción (Φ), y peso unitario (γ) son los mismos a los usados en las coberturas anteriores. Es decir, $\Phi = 33^\circ$ y $\gamma = 2,4 \text{ t/m}^3$

Debido a que en el tramo de cobertura profunda existen considerables variaciones en las alturas de las mismas, se divide en subtramos. Sustituyendo en la ecuación, se obtiene los siguientes valores de presión crítica que se muestran en la tabla 13:

COBERTURA PROFUNDA			
Subtramos	Progresivas	Cobertura (m)	Presión crítica (Pcr) t/m²
1	42+100 – 43+200	133	125,48
2	43+200 – 43+734	208	206,35
3	42+734 – 43+200	140	132,04

Tabla 13: Valores por tramos de las presiones críticas con sus respectivos soportes.

Luego de calcular las presiones críticas en cada uno de los tramos se prosiguió a realizar las curvas características (ver anexos XII) tomando en cuenta la presión crítica, los radios de plastificación y la deformación radial, para así determinar el valor de las presiones internas y poder determinar el sostenimiento primario más adecuado, las ecuaciones usadas se exponen en el anexo XII. En la tabla 14 y 15 se muestran todos los datos y resultados obtenidos:

DATOS	
Módulo de Young (E)*	112695 t/m ²
Módulo de Poisson (ν)*	0,25
Radio de la excavación	6,9 m

Tabla 14: Datos usados para los cálculos en la cobertura profunda

*El módulo de elasticidad y el módulo de Poisson fueron estimados en base a las muestras ensayadas y a las características de la roca.

La tabla 15 muestra los valores de presión inicial (P_i) y crítica (P_{cr}) para cada subtramo de la cobertura profunda, así como también la deformación radial elástica la cual fue calculada igualando la presión crítica y la presión interna. Además fue se obtuvieron cada uno de los radios de plastificación y las deformaciones radial plásticas para los tres subtramos con valores de P_i menores a la P_{cr}

RESULTADOS			
	SUBTRAMO 1	SUBTRAMO2	SUBTRAMO 3
Presión de inicial (P_o)	321,6 t/m ²	499,2 t/m ²	336 t/m ²
Resistencia a la compresión sin confinar (σ_{cm})	92,08 t/m ²	92,08 t/m ²	92,08 t/m ²
Relación de Hoek (k)	3,39	3,39	3,39
Presión critica (P_{cr})	125,48 t/m ²	206,35 t/m ²	132,04 t/m ²
Deformación radial elástica (u_{ie}) para $P_i = P_{cr}$	15mm	22,4mm	15,6 mm
Radio de plastificación (r_{p1}) para $P_i=80\%P_{cr}$	7,23m	7,34m	7,24m
Radio de plastificación (r_{p2}) para $P_i= 60\%P_{cr}$	7,86m	8,07m	7,88m
Radio de plastificación (r_{p3}) para $P_i= 40\%P_{cr}$	8,71m	9,12m	8,76m
Radio de plastificación (r_{p4}) para $P_i= 25\%P_{cr}$	9,63m	10,32m	9,71m
Deformación radial plástica (u_{i1}) para $P_i= 80\%P_{cr}$	16,2mm	25,3mm	17,0mm
Deformación radial plástica (u_{i2}) para $P_i=60\%P_{cr}$	19,8mm	31,6mm	20,7mm
Deformación radial plástica (u_{i3}) para $P_i=45\%P_{cr}$	25,6mm	42,8mm	26,9mm
Deformación radial plástica (u_{i4}) para $P_i=25\%P_{cr}$	32,8mm	58,1mm	34,7mm

Tabla 15: Resultados obtenidos en el cálculo de cobertura profunda

En la tabla que se muestra a continuación se muestran los valores de presión de estabilización (P_e) que fueron determinados por medio de las curvas características realizadas en cada subtramo de la cobertura profunda (ver anexo XII), tomando en cuenta valores que fuesen menores a la presión crítica, para luego seleccionar un soporte dependiendo la demanda.

COBERTURA PROFUNDA		
Subtramos	Presión de estabilización (P_e)	Soporte
1	Cuando $P_i = 60\% P_{cr}$ $P_e = 7,0 \text{ Kg/cm}^2$	P- f 4
2	Cuando $P_i = 40\% P_{cr}$ $P_e = 8,0 \text{ Kg/cm}^2$	P- f 5
3	Cuando $P_i = 60\% P_{cr}$ $P_e = 7,0 \text{ Kg/cm}^2$	P- f 4

Tabla 16: Presiones de estabilización para cobertura profundas

V.1.3.-Análisis de estabilidad de los portales del túnel 6

V.1.3.1.- Portal este – Progresiva 44+093

Antes de realizar las consideraciones pertinentes a la estabilidad del talud de corte del portal este del Túnel 6, debe indicarse que una de las recomendaciones que se realizará en el capítulo correspondiente, atañe a la necesidad de cambiar la ubicación del portal propuesta en la vista de planta del plano geológico 41. Como está planteado el portal se construirá en la progresiva Km 44+147, sin embargo la sección geológica muestra que en esta ubicación, ni siquiera la línea TDR (tope de riel), se encuentra al interior del macizo rocoso. Siendo ésta la circunstancia planteada, se recomienda comenzar el túnel en la progresiva correspondiente para que la cobertura no sea menor de 20 m; por ello se procede a plantear la obra en la progresiva Km 44+093.

Para el análisis de estabilidad de los taludes de corte realizados para el portal este del Túnel 6 se debe considerar que la data estructural recolectada se presenta muy variable a lo largo de la quebrada ubicada al oeste del Parador Turístico Paramacay, mostrada en el plano geológico 41. Esta variabilidad de los planos de foliación y diaclasa se debe a la presencia de una zona de falla debidamente cartografiada.

Ante la ausencia de acceso al punto exacto donde se realizará la obra de contención del talud de corte, se procede a tratar estadísticamente la data disponible en las zonas cercanas, por medio de procedimientos estereográficos en el programa DIPs de la firma Rocscience.

En la siguiente tabla se muestra la data estructural introducida en el programa:

PUNTO	ID	TIPO	PLANO	DIP; DIRECTION	
-	1	TALUD	N34E70S	70	124
TT209	2	Foliación	N70E PV	89	340
	3	Diaclasa	N20W80N	80	70
TT213	4	Foliación	N80W30S	30	190
TT214	5	Foliación	N85E27S	27	175
	6	Diaclasa	N80W75S	75	190
	7	Diaclasa	N52E60N	60	305
TT215	8	Foliación	N85E50S	50	175
	9	Diaclasa	N-S57W	57	270
	10	Diaclasa	N-S33W	33	270

Tabla 17: Data estructural

En la figura 17 se muestra el estereograma de densidad de polos resultante, en donde se evidencia que la data disponible no se concentra de forma sobresaliendo en alguna nube. Por ello, se procede a realizar el análisis cinemático de estabilidad del talud de corte necesario para el portal este del Túnel 6, con todos los planos medidos.

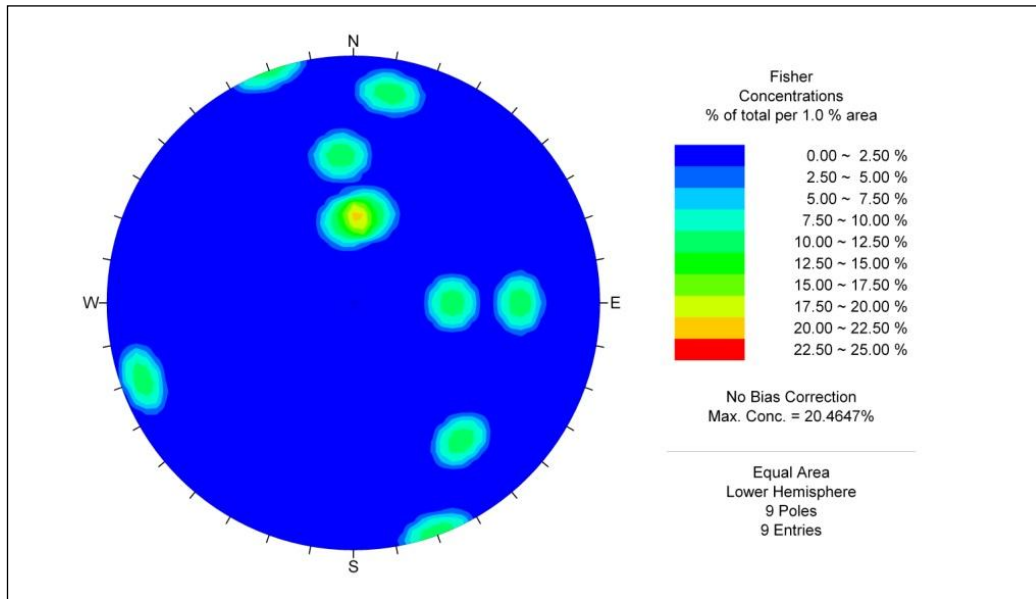


Figura 17: Estereograma de densidad de polos resultante

La figura 18: muestra, que no existen planos que representen posibilidad cinemática de falla de tipo planar ni volcante. Sin embargo, se presenta posibilidad cinemática de falla a través de cinco cuñas.

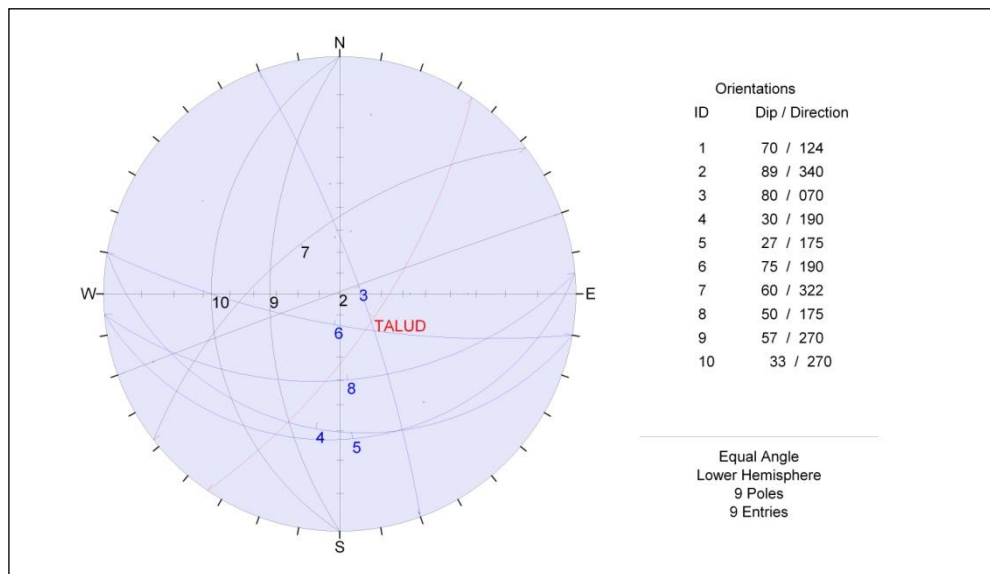


Figura 18: Estereogramas que contiene los datos del talud

Ante la ausencia de ensayos de corte en estas discontinuidades que permitan descartar fallas por el ángulo de fricción en las discontinuidades, utiliza el programa SWEDGE para calcular los factores de seguridad y las dimensiones de las cuñas generadas.

En los anexos ANEXO IIA-30 y ANEXO IIA-31, puede verse que no se reporta presencia de agua en las discontinuidades, las rugosidades de las diaclasas son onduladas y la abertura menor a 0,1 mm. Ante estas condiciones, se establece arbitrariamente valores conservadores de los parámetros de la roca, para poder realizar el análisis de estabilidad a través de un modelo determinístico. Se tomará la cohesión como nula y un ángulo de fricción de 15°. Además de esto, se trabaja con el peso específico establecido para el respectivo paquete de rocas blandas (2,4 ton/m³) y un coeficiente sísmico de aceleración horizontal correspondiente al municipio Guaicaipuro, del estado Miranda (0,3 g).

Cuña	Planos (ID)	FS	Volumen de cuña (m³)
A	3 - 4	0,38	4446,51
B	3 - 5	0,33	5655,19
C	3 - 6	0,06	8,29
D	3 - 8	0,17	520,45
E	4 - 5	0,89	1214,29
F	6 - 8	1,105	2360,62

Tabla 18: Muestra los resultados mencionados.

A pesar de los bajos valores de los factores de seguridad de las cuñas C y D, el volumen de posible movimiento de masa es pequeño en relación con las cuñas A y B. Por ello, se trabajará la estabilización en base a la cuña B, que además de ser inminentemente inestable, es la que representa mayor riesgo geotécnico dado el

volumen de la masa asociado (ver tabla 18). La figura 19 muestra la intersección de los planos 3 (Joint 1) y 5 (Joint 2), así como la cara del talud (Slope Face) y el corte realizado por encima del talud (Upper Face).

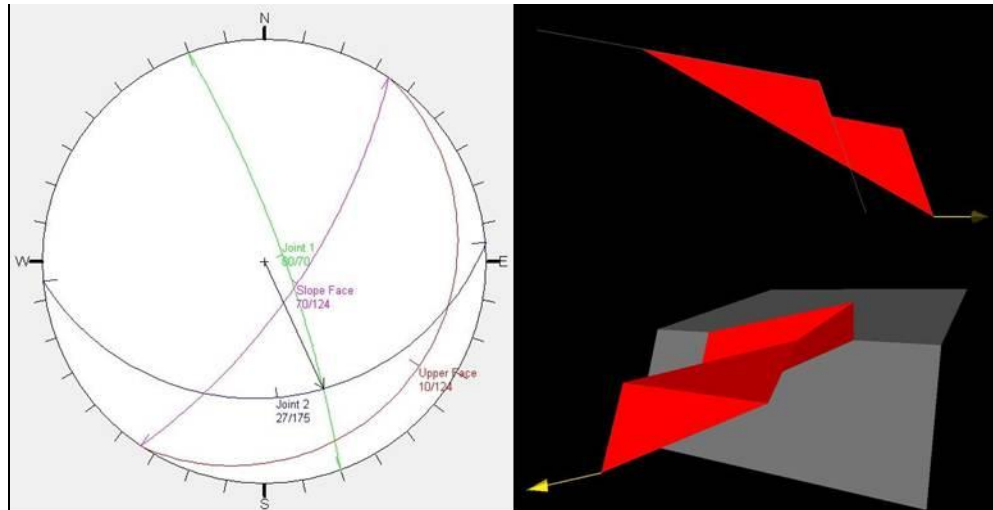


Figura 19: La red estereográfica equiangular (izquierda) muestra la intersección de los planos 3 y 5 que generan una falla en cuña, la flecha muestra la dirección del desplazamiento. Del lado izquierdo superior se observa una vista lateral de la cuña desplazada y en el recuadro izquierdo inferior se muestra la cuña en perspectiva.

Se procede a recalcular el factor de seguridad inicial (0,33) luego del diseño de una pantalla de concreto proyectado de 0,25 m de espesor, con un valor arbitrario de resistencia al corte de 200 ton/m². Adicionalmente se aplica un esfuerzo estabilizador de 15 ton/m², que se aplica con rumbo perpendicular al del talud y con inclinación de 10° respecto a la horizontal en buzamiento contrario al del talud. Ante esta obra el factor de seguridad definitivo es 1,79; lo cual no es excesivo, dado que no los valores de fricción son estimados y los costos asociados a una eventual falla del talud son muy elevados en comparación con los asociados a la realización de la obra de estabilización.

En base a lo anterior, se propone utilizar anclajes compuestos de 4 torones de 5/8", que suman una fuerza de 60 ton dadas las consideraciones de cedencia de los aceros utilizados en los torones.

A través de la ecuación:

$$F_a = T_a / A$$

Donde:

F_a: Fuerza de anclaje = 15 ton/m²

T_a = Fuerza de tracción de la combinación de torones = 60 ton

A = separación horizontal * separación vertical

Se calcula la necesidad de anclajes separados a 2 m x 2 m (vertical x horizontal). Tomando en cuenta la pendiente del talud, la pantalla tiene en realidad, dimensiones de 21,3 x 40 m. Por ello, la fila superior de anclajes se coloca a 1,3 m abajo del tope del talud. Nótese, que las longitudes mencionadas se miden sobre la cara del talud.

Se coloca adicionalmente una fila inferior de anclajes a 1 m de la base del talud. Los anclajes se inclinan 15° respecto a la horizontal buzando contra la pendiente del talud. Se colocan geodrenes separados a 4 m en la vertical y 4 m en la horizontal, en los puntos medios de los anclajes, con una inclinación de 3° en la dirección de la pendiente del talud.

Para calcular las dimensiones del bulbo del anclaje se procede a utilizar la fórmula:

$$L_b = FM * T_a * Fm / \pi * D_p * \tau_u$$

Donde:

L_b : Longitud de bulbo (m)

FM: Factor de mayoración de carga aplicada = 2

Ta: Fuerza de tracción de la combinación de torones = 60 ton

Fm: Factor de minoración de la resistencia al corte del contacto bulbo - terreno= 1,5

D_p : Diámetro de la perforación = 0,075 m

τ_u : Resistencia al corte de la interfase bulbo – terreno, en este caso particular se considera un 10% de la resistencia a la compresión simple = 9.739 Kg/cm²

Por ser la menor resistencia a la compresión uniaxial registrada en la zona, la correspondiente a la muestra PM027 (ver anexo V-A), se toma este valor como el más adecuado para garantizar la confiabilidad de la obra (97,39 Kg/cm²).

Para los valores suministrados la longitud del bulbo se establece en 8 m. la tabla 19 muestra una síntesis de las características de los anclajes.

Fila de anclajes	Torones	Longitud total	Longitud Libre	Longitud del bulbo
De la 1 a la 5 (de tope a base del talud)	4 torones de 5/8"	30 m	22 m	8 m
De la 5 a la 10	4 torones de 5/8"	15 m	7 m	8 m
De la 11 a la 13	4 torones de 5/8"	10 m	3 m	8 m

Tabla 19: Características de los anclajes

V.1.3.2.- Portal oeste – progresiva 42+515

Al igual que el portal este, deben hacerse algunas consideraciones de la ubicación de la obra antes de adentrarse en el estudio de la estabilidad del talud de corte asociado a ella. Tal como está planteado en el proyecto, el portal se ubica en la progresiva Km 42+447. Sin embargo, en dicho punto la cobertura escasamente alcanza los 6,4 m. Por ello, se utiliza el criterio empleado para el portal este y se plantea la obra en la progresiva Km 42+515 en donde la cobertura es de 20 m.

El plano geológico 39, muestra la escasez de data estructural en la zona, ésto se debe a la presencia de una cobertura de suelo residual que enmascara los planos. Sin embargo, la observación de los sondeos a máquina más cercanos (TT-8 y TT-7), muestra que en menos de 10 m al interior del macizo, se accede a la roca. Dada esta condición y considerando que debe realizarse una remoción importante de tierra para llegar a la ubicación del talud de corte definitivo, y tomando en cuenta el conocimiento de la litología de la zona, se descarta la posibilidad de una falla circular y se procede a utilizar la data geológica más cercana para analizar la estabilidad del talud de corte en roca.

Se procede de igual forma como se hizo con el portal este. La tabla 20 muestra la data estructural introducida en el programa.

ID	TIPO	PLANO	DIP ;	
			DIRECTION	
1	TALUD	N20E70N	70	290
2	Foliación	N70E60S	60	160
3	Diaclasa	N30W60N	60	60
4	Diaclasa	N45W80S	80	225

Tabla 20: Data estructural del portal oeste – Túnel 6

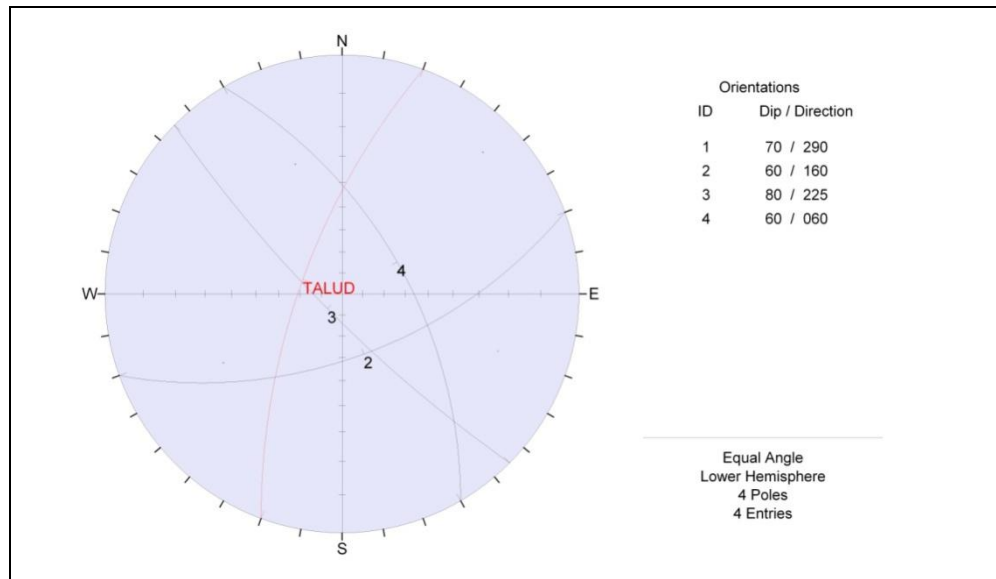


Figura 20: Estereogramas que contiene los datos del talud

Como se puede observar en la figura 20, ninguno de los planos representa posibilidad cinemática de falla planar, ni se forman cuñas inestables para el talud. Sin embargo, es recomendable la realización de una obra de contención del talud tipo pantalla anclada, en base a las siguientes consideraciones:

1. El talud tiene 20 m de altura.
2. La data geológica es escasa.
3. La roca en la zona descompone con facilidad a suelo residual.
4. La zona de realización de la obra corresponde a una intercalación de paquetes de roca dura con paquetes de roca blanda, pudiéndose ésta, situarse eventualmente en una roca poco competente.
5. La obra se ubica en una zona sísmicamente activa.
6. Los peligros asociados a la falla del talud son altos y los costos asociados a la obra de contención son mínimo en referencia a los del túnel, además que, de fallar el talud los costos serían elevados.

En base a lo comentado, se recomienda una obra de contención del talud, de altura 20 m y 40 de largo, que consiste en una pantalla de concreto proyectado de 0,25 m de espesor, con un esfuerzo de anclaje de 4,8 ton/m². Los anclajes estarían conformados por 3 torones de ½” que sumarían una fuerza de 30 ton. Esta configuración plantea anclajes separados a 2,5 m en la horizontal e igual distancia en la vertical.

Los anclajes se inclinan 20° respecto a la horizontal buzando contra la pendiente del talud. Se colocan geodrenes separados a 5 m en la vertical y en la horizontal, en los puntos medios de los anclajes, con una inclinación de 3° en la dirección de la pendiente del talud.

Se proponen anclajes de longitud total de 11m y 9m, para las primeras cinco y las últimas cinco filas, respectivamente. La longitud de bulbo se propone de 6m.

CAPÍTULO V

V.1.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Caracterización geológica – geotécnica por tramos a lo largo del trazado de la vía férrea

Se dividió la ruta en 5 tramos partiendo principalmente de consideraciones litológico – estructurales. La tabla 19 muestra una síntesis de la caracterización por tramos.

Tramo	Progresivas	Planos	Relieve	Litología
18	Km42+447 Km44+800	39 - 40 41	Colinas alargadas en dirección N - S	Esquistos cuarzosos, sericíticos, micáceos y feldespáticos. Peridotitas serpentinizadas. Filitas cuarzo grafitosas y rocas brechadas. Tendencias: Foliación (N70E), Diaclasas (N15E), Fallas (N – S)
19	Km44+800 Km46+978	41 - 42 43	Ladera norte de una colina alargada en N80E	Filitas y esquistos sericíticos, cuarzosos y grafitosos, en algunos casos micáceos y feldespáticos. Tendencias: Foliación (E - W), Diaclasas (N10E), Fallas (N80E)
20	Km46+978 Km48+906	44 - 45	Estribaciones de rumbo N40E	Filitas y esquistos sericíticos, cuarzosos y grafitosos, en algunos casos micáceos y feldespáticos. Peridotitas serpentinizadas. Tendencias: Foliación (N75E), Diaclasas (N50W), Fallas (N30W y N10E)
21	Km48+906 Km52+469	46 - 47 48 - 49	Estribaciones de rumbo N30E	Esquistos y filitas sericíticas, grafitosas, con cuarzo y plagioclasas. Se intercalan cuerpos lenticulares de cuarcitas y mármol. Tendencia de foliación (N75E)
22	Km52+460 Km58+000	49 - 50 51 - 52 53 - 54 55	Colinas alargadas en rumbo N80W muy plegadas	Esquistos sericíticos, cuarzosos y feldespáticos. Mármoles, anfíbolitas, cuarcitas y gneises graníticos

Tabla 21: Resumen de la caracterización geológica por tramos

Zonas que representan riesgo geotécnico

1. Con respecto a las zonas potencialmente peligrosas desde el punto de vista de los movimientos de masa, se identificaron dos deslizamientos importantes. El primero entre las progresivas Km 46+950 y Km 47+010, y el segundo entre las progresivas 48+700 y Km 48+780; ambos afectan obras de viaductos. Se recomienda la realización de por lo menos un sondeo a máquina en cada caso, para lograr una conocimiento de la magnitud real del movimiento de masa y adecuar el diseño a esta condición.

2. Las zonas de socavamiento producidas por el río Tuy y por el río La Encrucijada, debidamente cartografiada en los planos geológicos 41, 42, 43, 44 y 45; pueden representar una problemática geotécnica para las obras de estabilización de taludes de corte, ante un eventual aumento del caudal. Los diseños de las obras de estabilización de dichos taludes deberán ser adecuarse a estas condiciones, prestando especial atención a la fundación de las pantallas.

3. Sobre todo en el Tramo 1, se observó una importante correlación entre las zonas de descomposición de la roca esquistos grafitosos a suelo residual arcillo con el agua. Por ello, un mejoramiento de las condiciones hidrogeológicas al interior de los túneles 6 y 7 generará un mejor conocimiento de las zonas de riesgo. Además de esto, como es lógico pensar se encuentra menor competencia en a roca cercana a fallas geológicas, igualmente se observa que en dichas zonas se profundiza el espesor de los grados de mayor meteorización.

4. Entre las progresivas Km 55+700 a Km 56+000, que se representan en el plano geológico 52, el Túnel 11 transcurre en una zona donde se espera la caída de grandes bloques de roca dura durante la excavación. Para el momento de efectuar

dicha excavación, se mejorará el conocimiento de las discontinuidades en esta zona y podrán colocarse elementos sostenedores para remediar esta circunstancia.

5. En el caso específico del Túnel 6, que se estudia con detalle para fines de este trabajo, se establece la necesidad de una obra de contención del portal este tipo pantalla anclada de concreto proyectado, dado que se genera una cuña que resulta inestable según el estudio cinemático. La fuerza suministrada por anclajes de 4 torones de 5/8", genera una presión de 15 ton/m², que genera un factor de seguridad de 1,79. Se considera que esta obra de contención, es notablemente superior a los requerimientos geológicos reales, sin embargo, se opta por suministrar una propuesta conservadora.

6. Se propone un sostenimiento primario para el Túnel 6 de Pf-1, Pf-5 y Pf-6 para las coberturas superficiales; P-c1 para la cobertura intermedia; así como P-f4 y P-f5 para las coberturas profundas.

7. En la propuesta de diseño de sostenimiento del Túnel 6, debe tomarse en cuenta que la data geológica entre las progresivas Km 42+515 y Km 44+093, es relativamente pobre, además que, parámetros como el módulo de elasticidad y peso unitario, fueron estimados en base a las muestras ensayadas. Por ello, la propuesta de sostenimiento debe ser manejada con flexibilidad y se corregida durante el desarrollo de la construcción. Resalta, que en la progresiva Km 42+950, el túnel disminuye considerablemente su cobertura y pasa por debajo de una quebrada, pudiéndose en esta zona, presentarse flujos de agua en el frente de excavación.

Planificación de los sondeos y los ensayos geotécnicos realizados

8. El tramo Tejerías – Tácata, tratado en este estudio, a diferencia del tramo La Encrucijada – Tejerías; transcurre en buena medida en relieves abruptos con pocas rutas de acceso vehicular, lo cual dificultó en muchos casos la realización de los sondeos a máquina, exactamente sobre el trazado de la ruta. Además de ello, por cambios en la ruta inicialmente planteada, muchos sondeos planificados sobre el trazado, pasaron a estar alejados de éste. A su vez la geología de superficie se encontró limitada por la ausencia de afloramientos de roca en algunos tramos, producto de la cobertura de suelo residual. En base a estas consideraciones se realizó la Tabla 20 que muestra la valoración de grado de conocimiento de las condiciones de subsuelo y la geología de superficie.

Progresivas (Km)	Conocimiento del subsuelo	Estudio Geológico de Superficie	Observaciones
42+000 – 44+000	Óptima	Media	Escasez de afloramientos
44+000 – 48+900	Óptima	Óptima	Buenos afloramientos y rutas de acceso vehicular al trazado del ferrocarril
48+900 – 50+400	Media	Óptima	Escasez de accesos vehiculares al trazado del ferrocarril
50+400 – 50+900	Óptima	Óptima	-
50+900 – 58+000	Pobre	Óptima	Escasez de accesos vehiculares al trazado del ferrocarril

Tabla 22: Grado de conocimiento de los macizos rocosos

9. Entre las zonas donde se estima pobre el conocimiento de las condiciones reales del subsuelo destaca el macizo rocoso entre la localidad de TÁCATA y QDA. Cangrejo (Tramo 5). Para la fecha de redacción del presente, se recomendó y aprobó

la realización de una perforación de 200 m de profundidad en diámetro HQ (56 mm) en la progresiva Km 56+900, en donde se cuenta con una buena vialidad de acceso vehicular. A pesar que el sondeo recomendado no llegará hasta la línea TDR, su realización, permitirá un conocimiento del perfil de meteorización, variabilidad litológica y condiciones hidrogeológicas. Sería adecuado la realización de secciones petrográficas en las distintas litologías encontradas en dicha perforación para mejorar la clasificación y el perfil de meteorización.

10. Respecto a los ensayos realizados se valora que la distribución de éstos en la zona es óptima, como es natural limitada por la variación de la densidad de afloramientos disponibles. Resalta la ausencia de ensayos especiales, como ensayos de corte en discontinuidades.

Utilización de los materiales de los cortes

11. Por analogía con los macizos rocosos del tramo La Encrucijada – Tejerías, que resultaron de calidad A-2-4; todo el material proveniente de los cortes a media ladera y en trincheras que se realizarán entre las progresivas Km 44+400 y Km 51+000, serán también A-2-4, y podrán ser aprovechados para el relleno de terraplenes, principalmente en el tramo La Encrucijada - Tejerías.

12. En el Tramo 5, entre las progresivas Km 53+000 y Km 54+120, se estima que durante la construcción del Túnel 11 se recolectará una cantidad importante de materiales pétreos calcáreos que puede ser aprovechado para la elaboración de concretos.

Trazado de la ruta del ferrocarril

13. La ruta seleccionada no es óptima, desde el punto de vista que coloca la ruta en zonas donde se deberán desarrollar cortes en trincheras y cortes a media ladera en lugar de túneles. Los planos geológicos 41, 42, 43, 44 y 45; muestra que una ruta ubicada escasas decenas de metros al sur, transcurriría en túneles y escasos cortes en trinchera. Dadas las condiciones de meteorización y el tipo de rocas se estima que a largo plazo los costos asociados al mantenimiento de la vía elevarán los gastos asociados a dicha infraestructura, además del aumento considerable de los costos ambientales.

14. Dadas las condiciones litológicas y los procesos de geodinámica externa que afectan a la zona de desarrollo del proyecto, se estima que un factor sumamente importante y que es dejado de lado en muchos proyectos, es una correcta y adecuada planificación del mantenimiento de la vía férrea lo cual se traducirá definitivamente en un mejor funcionamiento.

15. Para la fecha de elaboración del presente informe, no se cuenta con información de ensayos geotécnicos de las perforaciones. La actual información debe por tanto, ser mejorada con el conocimiento de los nuevos ensayos, lo cual mejorará las clasificaciones y permitirá aumentar la data en los perfiles, con información de resistencia a la compresión simple y mejoramiento de los perfiles de meteorización.

16. Los ensayos de aguas realizados muestran que los niveles de cloruros y sulfatos de las muestras recolectadas se encuentran en los parámetros aceptables de acuerdo a la norma COVENIN, en función de no convertirse en agresivas para las obras en concreto.

Los ensayos

17. Dada la poca competencia de la roca en la superficie, fue imposible realizar cortes en cubo o núcleos provenientes de las perforaciones, de muchas de las muestras recolectadas durante las jornadas de geología de superficie y sondeos a máquina. Esto, limitó los datos de resistencia a la compresión simple, sin embargo, de dicho comportamiento de la litología, pudieron estimarse valores para la realización de la caracterización geomecánica.

18. Se valora que la cantidad de análisis petrográficos realizados es significativa y engloba los principales tipos de litologías encontrados. Sin embargo, el estudio petrográfico muestra que muchas de las rocas eran similares, por lo que se estima que con un número menor de secciones finas, se hubiesen obtenidos resultados similares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUDEMARD, F. (1984). *Evaluación geológica de la cuenca del Tuy para fines de investigaciones neotectónicas*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, inédito.
- AUDEMARD, F. et al. (2000). *Map and Database of Quaternary Faults in Venezuela and its Offshore Regions*. U.S.G.S. y FUNVISIS. Caracas.
- AUDEMARD, F. DE SANTIS, F. y SINGER, A. (1995). *Sistema de falla de La Victoria, Venezuela norcentral: Trazas activas, complejidades estructurales, cinemática y sismicidad asociada*. IX Congreso Latinoamericano de Geología, FUNVISIS. Caracas.
- BECHARA, L. y MATOS, H. (2006). *Estudio geológico y caracterización geomecánica de la zona comprendida entre Charallave y Paracotos, estado. Miranda*. U.C.V., Caracas.
- BICKEL, J. y KUESSEL, T. (1982). *Tunnel engineering handbook*. Van Nostrand Reinhold, New York. 670p.
- BIENAWSKI, F. (1989). *Engineering Rock Mass Classification*. Wiley. Springer. Austria.
- CELADA, T. (2003). *Guía de estudios de la cátedra de Obras Subterráneas*. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica superior de Ingenieros de Minas de Madrid. Inédito. Madrid.
- CARRANZA., TORRES, C. y FAIRHURST, C. (2000). *Application of the convergent-confinement method of tunnel desing to rock masses that satisfy the Koek-Brown failure criterion*. *Tunneling and underground Space Technology*. Vol.15. Ed. Elsevier Science.

- DE MARCO, P. (1995). *Determinación de la Resistencia mecánica de las rocas mediante ensayos de laboratorio*. Trabajo de ascenso. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 37p.
- DE MARCO, P. (2004). Guía de estudios de la cátedra de mecánica de rocas. Universidad Central de Venezuela. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Departamento de Minas. Inédito. Caracas.
- DE MARCO, P. y PERRI, G (2006). *Análisis y Proyectos de Túneles*. Universidad Central de Venezuela. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Departamento de Minas. Inédito. Caracas.
- DIMITRIOS K. (2005). *Tunelling and Tunnel Mechanics, A Rational Approach to Tunnelling*. Springer. Austria.
- GRASES, J., ALTEZ, R. y LUGO, M. 1999. *Catálogos de sismos sentidos o destructores 1530/1998. Academia de ciencias físicas, matemáticas y naturales*, vol. XXXVII. Facultad de Ingeniería. UCV. Caracas.
- GONZÁLEZ, L. FERRER, M. ORTUÑO., L. OTERO, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación. Madrid. 774p.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C., ITURRALDE, J.M. y PICARD, X. (1980). *Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas*. Ediciones FONINVES, Tomos I y II.
- HERNÁNDEZ, M. y MARTÍNEZ, R. (2008). *Análisis de los Tucutunemo, edo. Aragua progresivas 0+000 – 0+200*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado, para optar al título de Ingeniero Geólogo, inédito
- KAYE, M. (1947). Fisiografía y geología del área Qda. “Las Minas”, región de Los Teques. *Acta Venezolana*. 2(1-4): 47-82.

LOYO, B. (1983). *La evolución geomorfológica de la Cordillera de la Costa al sur de la Falla de la Victoria*. Seminario de Investigación Aplicada I, Cátedra de Geomorfología, Departamento de Geología, U.C.V. Inédito.

LOYO, B. (1986). *Estudio tecto-estratigráfico de la cuenca del Tuy*, edo. Miranda, Venezuela. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado, para optar al título de Ingeniero Geólogo, inédito.

HOEK, E. (2006). *Practical Rock Engineering*. Toronto – Canadá.

PERRI, G. (1990). *Diseño geotécnico de túneles*. U.C.V. Caracas.

UCAR, R. (2002). *Manual de anclajes en obras de tierra*. Universidad de los Andes Facultad de Ingeniería. Mérida – Venezuela.

URBANI, F. y RODRÍGUEZ, J. (2004). *Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa Venezuela*. U.C.V., Caracas.

VÁZQUEZ, R. y GONZÁLEZ, H. (2007). *Geología Aplicada a la Ingeniería Civil*. Ed. Limusa. Pp.256.

PERRI, G. (1979). *Apuntes para el Curso de Mecánica de Rocas*. Tomo II. Inédito. Universidad Central de Venezuela.

SINGER, A. (1977). *Síntesis Regional de la Evolución Geomorfológica de la cordillera de la Costa, en el área de Caracas*. V *Cong. Geol. Venezolano*, Caracas, 5:55-62.

SALCEDO, D (1983). *Macizos Rocosos: Caracterización, resistencia al corte y mecanismos de rotura*. Conferencia 25 Aniversario de la Sociedad Venezolana de Mecánica del Suelo e Ingeniería de Fundaciones, Caracas, pp. 143-215.

VAN BERKEL, D. (1988). *Estudio geológico del área Tácata – Altagracia de la Montaña, estado. Miranda*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, inédito.

VARELA, P. (2007). *Caracterización geotécnica y estudio geológico de un área ubicada entre los sectores Araguaita y una zona cercana a la quebrada Obispo a lo largo de la autopista de Oriente “Gran Mariscal de Ayacucho”, estado. Miranda*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, inédito

ZAMBRANO, A. (1970). *Estudio fisiográfico de la cuenca del río Tuy*. *Bol. Geol.* Caracas, 11(21): 3-206.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

CÁCERES, V. (S/F). *Aplicación de la Mecánica de Rocas en el Diseño de Túneles (según Barton y Bieniawski)*. Consultada el 26 de octubre www.arqhys.com/contenidos/mecanica-tuneles.html.

HOEK, E. (2004). *Practical Rock Engineering*. Consultada el 14 de Junio de 2009, <http://www.rocscience.com/hoek/PracticalRockEngineering.asp>

Código Geológico de Venezuela. Consultada el 23 de Marzo de 2009, <http://www.pdvsa.com/lexico/>.

ANEXOS