



TRABAJO FINAL

***CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO EN EL
SECTOR DEL TÚNEL CORTA VETA ORTIZ Y SU
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DESDE EL PORTAL
DE ACCESO HASTA LA PROGRESIVA 130;
COMPLEJO MINERO CAPILLITAS
ANDALGALÁ-CATAMARCA-ARGENTINA***

Estrella Giselle Marquez

Universidad Nacional de Catamarca
Facultad de Tecnología y Ciencias. Aplicadas
Departamento de Geología
Catamarca, Julio 2018



Caracterización del Macizo Rocoso en el Sector Del Túnel Corta Veta Ortiz y su Clasificación Geomecánica desde el Portal de Acceso hasta la Progresiva 130 metros; Complejo Minero Capillitas-Andalgalá-Catamarca-Argentina.

Estrella Giselle, Marquez

Trabajo Final de Grado presentado como requisito para obtener el título de
Licenciatura en Geología

Director
Lic. Atilio del Carmen Fabián

“Jehová con sabiduría fundó la tierra; afirmo los cielos con inteligencia. Con su ciencia los abismos fueron divididos y destilan rocío los cielos.”

Proverbios 3: 19-20

Reina Valera 1960.

AGRADECIMIENTOS

El conocimiento de las Cs. de la Tierra deslumbraron mi ser al contemplar la perfecta y magnífica creación del Señor. Gracias doy principalmente a Dios Padre, Hijo y Espíritu Santo por darme amor, vida, salud y la fortaleza para llegar hasta esta instancia.

A mi amado esposo y compañero Diego Machado por brindarme su amor, su apoyo espiritual, su ayuda en este trabajo y a su hermosa hija Mía Machado por su aliento.

A mi amada abuela Berta Carrizo y a mis amados padres Gloria Marquez y Daniel Chagaray, quienes me brindaron su amor, consejos, por sus continuas oraciones, enseñarme valores y darme una educación. A mis amados hermanos Alan, Elías y Daniela Córdoba, Daniel y Abigail Chagaray por darme su afecto, brindarme su compañía, su aliento y apoyo incondicional.

A toda la familia, mi querido padre Marcelo Córdoba; mi cuñada y amiga Melisa Quinteros y a mis amados sobrinos, Jazmín, Nazaret, Juan y Álvaro Córdoba por su gran amor y esperanza. A mis queridos suegros Oscar Machado y Cristina Acosta, a la dulce abuela Cristina Vázquez, tíos, tías, primos y primas (Marquez, Giordani, Fernández, González, Machado y Acosta) por su gran apoyo y creer en mí.

A mis amados hermanos de la fe en el Señor Jesucristo por apoyarme con sus oraciones, a los pastores Daniel Tolledo, María y Jose Lera, Natalia y Leo Marquez.

A la Facultad de Tecnología y Cs. Aplicadas, a mi amigo y director Atilio Fabian por aceptarme como tesista y al tribunal Jorge Rojas, Silvia Watkins y Alfredo Marchioli, por la gentileza de evaluar el trabajo. A los profesores que tuve durante la carrera de geología por brindarme sus conocimientos y enseñarme esta hermosa profesión: Fátima Vilches, Graciela Córdoba, Ana María Salas, Ingrid Ovejero, Marcela Varela, Estela Ibañez, Margarita Sánchez, Trinidad Vergara, Adriana Niz, Adriana Vega, Toselli, G. Moreno, J. Eremchuk, Palomeque, J. Ojedas, Irupe Ocampo, etc. Y a los que ya no están al profe Medina y Papetti muchas gracias.

A mis amigos y compañeros de la UNCA, Vanesa Font, Jose Pedraza, Exequiel Coronel, Ana Moya, Eugenia García, Jazmín Méndez, Yanina González, Juan Guerrero, Carla de la Rosa, Jose Artaza, Gonzalo Martínez, Enzo Brizuela, Cintia Carrizo, Ramiro Valdez, Karina Rodriguez, Fernanda García, Silvana Cativa, Yamila Salim, Franco Francille, Noelia Carrizo, Florencia Vega, Laura Reales, Marcelo Costello, Lionel Viel, Javier Diaz, Eugenia Nieva, Sofia Medina, etc.

A las personas de la empresa CAMYEN, al presidente Ing. Daniel Issi por su permiso para realizar el trabajo final en el sector de Mina Ortiz y a los trabajadores y amigos del Complejo Minero Minas Capillitas: Lorena Azurmendi, Mauricio Aibar, Luis Assum, Fernando Basaldúa, Hugo Muro, Sonia Chayle, Carmen Reynoso, Héctor Cruz, Jose María, Martin Cruz, Omar Reynoso, Ramon, Oscar Reynoso, Erick Gómez, Joni Pihuala, Tona Gómez, etc. Finalmente, a los amigos y compañeros mineros que conocí en Cerro Atajo por brindarme su apoyo incondicional Jose Gallardo, Guillermo Mendoza, Mauricio Atampiz, Miriam Reynoso, Atilio Contreras, etc.

Estrella Giselle Marquez

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN	2
1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Objetivo general	3
1.3 Objetivos específicos.....	3
1.4 Ubicación del área de estudio	3
1.4.1 Vías de acceso	3
1.4.2 Relieve, Hidrografía y Clima.....	4
1.4.3 Flora y Fauna.....	5
1.4.4 Consideraciones Geográficas	5
1.4.5 Sismicidad Instrumental	6
CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Mecánica de Rocas.....	7
2.2 Macizos Rocosos	7
2.3 Factores Geológicos.....	7
2.3.1 Clasificación litológica	7
2.3.2 Meteorización y Alteración	8
2.3.3 Discontinuidades Estructurales	8
2.3.4 Características de las Discontinuidades.....	9
2.3.5 Presencia de agua en las excavaciones	10
2.3.6 Esfuerzos (Estado tensional)	10
2.4 Criterio de falla de Hoek-Brown	11
2.4.1 Propiedades de la Roca Intacta	12
2.4.2 Parámetros de Mohr-Coulomb	13
2.4.3 Módulo de deformación.....	14
2.5 Clasificaciones Geomecánicas	14
2.5.1 Antecedentes.....	14
2.5.2 Clasificación de Terzaghi	15
2.5.3 Índice de Designación de la Calidad de la Roca (RQD)	17
2.5.4 Clasificación RMR (Rock Mass -Rating).....	18
2.5.5 Índice de Calidad de Túneles (NGI)	19
2.5.6 Clasificación de Hoek y Brown (GSI)	21
CAPITULO 3 METODOLOGIA.....	23
3.1. Etapa I: Trabajo de Gabinete.....	23
3.2 Etapa II: Trabajo de Campo.....	23
3.2.1 Metodología del Mapeo en Superficie	23
3.2.2 Metodología del Logueo Geotécnico.....	25
3.2.3 Metodología para el Mapeo de Geomecánico	28
3.3 Etapa III: Ensayos de Laboratorio.....	34
3.3.1 Determinación de la densidad de la roca	34

3.3.2 Resistencia a la compresión uniaxial	34
3.4 Etapa IV- Análisis de datos mediante Software específicos.....	36
3.4.1 Software RocLab	36
3.4.2 Software Unwedge.....	38
CAPÍTULO 4 RESULTADOS	40
4.1 Marco Geológico Minero.....	40
4.1.1 Geología	40
4.1.2 Estratigrafía	40
4.1.3 Historia Geológica.....	41
4.1.4 Tectónica	41
4.1.5. Tipo de Yacimiento	42
4.1.6 Antecedes Mineros del Sector de Estudio.....	42
4.2 Mapeo del macizo rocoso en la superficie del Sector TCVO	43
4.3 Logeo del macizo rocoso en los sondajes del Sector TCVO.....	50
4.3.1 Descripción general de la matriz y sus discontinuidades:.....	50
4.3.2 Caracterización geomecánica del macizo rocoso.....	53
4.4 Clasificación Geomecánica del TCVO (Pa-P130).....	62
4.5 Análisis de las propiedades del macizo rocoso.....	70
4.5.1 Propiedades de la matriz rocosa densidad.....	70
4.5.2 Resistencia de la matriz rocosa (sgci)	70
4.5.3 Resistencia equivalente mediante software específico (RocLab)	72
4.5.4 Análisis de cuña en el TCVO (PA-P130).....	75
CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
5.1 Conclusiones.....	79
5.2 Recomendaciones.....	80
5.2.1 Sector de Falla potencialmente inestable (Progresiva 120 a 130m)	80
5.2.2 Sector con sobre excavación (Progresiva 60 a 70 m)	80
5.2.3 Cuña inestable (Progresiva 112 a 114 m)	80
CAPITULO 6 BIBLIOGRAFÍA Y ANEXO.....	81
6.1 Bibliografía	81
6.2 Anexo	82
6.2.1 Mapa (Geológico-Estructural) y Planos (TCVO).....	82
6.2.2 Planillas (Trabajo de Campo).....	88



RESUMEN

El Sector del Túnel Corta Veta Ortiz (TCVO) se ubica en un macizo rocoso de composición granítica perteneciente al Batolito Capillitas (Paleozoico); unidades volcánicas (Cenozoico) perforan el sustrato granítico con procesos coetáneos que generaron soluciones hidrotermales dando lugar al depósito Epitermal del Complejo Minero Capillitas(CMC).

Ante la necesidad de realizar la caracterización del macizo rocoso donde se emplaza el TCVO y obtener su clasificación geomecánica desde el portal de acceso (PA) hasta la progresiva (Prog.) 130m, se presenta el siguiente estudio producto de 4 etapas de trabajo que consistieron en: (1) Investigando a partir de los antecedentes del área de influencia el marco geológico-minero; (2) Aplicando procedimientos y metodología basada en la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas para registrar las características de la matriz rocosa y las discontinuidades a partir de mapeos de superficie de los afloramientos rocosos naturales (5 mapeos con un total de 157 m lineales); Realizando el logueo de 3 sondajes a diamantina HQ (en total 554 m); el mapeo geomecánico del interior del TCVO (130 m); (3) Ejecutando ensayos de resistencia a la compresión uniaxial (probetas representativas) y de densidad (roca fresca y alterada). (5) Y finalmente para analizar la información registrada del macizo se utilizaron softwares específicos (Dips, RocLab y Unwedge) obteniendo sus gráficas para exponer los resultados, además de la confección las figuras y cuadros.

Se presenta la caracterización del macizo rocoso del sector de estudio definiendo las características principales de la matriz rocosa (litología, estructura, textura, resistencia, alteración) y de sus discontinuidades (tipo, orientación, características generales); se presenta la calidad del macizo rocoso (PA-Prog 130m) del TCVO, donde se identificaron tres sectores (falla principal, sobreexcavación y formación de una cuña) que presentan inestabilidad proclives a caída de bloques de roca, por lo tanto, se ofrecen las recomendaciones en base al estudio.

Se adjunta en el anexo: el mapa Geológico- Estructural del área de influencia; los planos geomecánicos (sectorizado con los estándares) y geológico- estructural (litología y discontinuidades) del TCVO y las planillas con los registros obtenidas en el trabajo de campo.

Palabras claves: TCVO, Mecánica de Rocas, Caracterización y Clasificación del Macizo Rocoso.



CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN

El CMC es en tipo de Yacimiento Epitermal, se integra por numerosas vetas (sulfuros polimetálicos en ganga de cuarzo y carbonato) que fueron explotadas desde la antigüedad por sus riquezas metalíferas (Au-Cu) y en la actualidad se extrae la piedra semipreciosa denominada rodocrosita ($MnCO_3$). La concesión se encuentra a cargo de la empresa provincial Cámara Minera y Energética Sociedad del Estado (CAMYEN S.E), quienes llevaron a cabo a construcción del TCVO para formar el nuevo acceso de explotación a la Veta Ortiz, con objeto de mejorar la producción.

El estudio geomecánico del terreno que constituye el soporte (material de excavación) de una obra subterránea es fundamental al contribuir a su seguridad mediante la cuantificación del conjunto de sus propiedades geológicas para aplicaciones constructivas mediante los Sistemas de Clasificaciones Geomecánicas. Ante la necesidad de investigar las propiedades mecánicas de las rocas en el sector del TCVO se presenta el siguiente Seminario exhibiendo su contenido en 6 Capítulos : (1) *Introducción*, exponiendo el planteamiento del problema, objetivos y la ubicación del área de estudio con sus vías de acceso; (2) *Marco Teórico*, afirmado en las bases y fundamentos de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas; (3) *Metodología*, se divide en 4 etapas de trabajo (gabinete, campo, laboratorio y análisis de datos) donde se explica los procedimientos y/o técnicas aplicadas; (4) *Resultados* de las diferentes etapas de trabajo mencionadas; (5) *Conclusiones*, se presenta un análisis global del macizo y se identifica los sectores de inestabilidad dentro TCVO efectuando las recomendaciones de fortificación a partir del estudio realizado; (6) *Bibliografía y Anexo* (mapa, planos y planillas de registros).

1.1 Planteamiento del Problema

El estudio teórico y práctico del macizo rocoso (matriz rocosa y discontinuidades), permite conocer y predecir su comportamiento geomecánico ante la acción de obras aplicadas en su entorno físico, en el caso de una excavación subterránea la estabilidad puede verse afectada cuando factores naturales o inducidos generan condiciones desfavorables y como consecuencia presentar riesgos de caída de bloques de rocas de manera inesperada ya sea de la corona y / o los hastiales, por lo tanto, con la advertencia suficiente a un problema potencial se puede encontrar una solución adecuada mediante la caracterización y clasificación del macizo rocoso.

El Complejo Minero Capillitas no cuenta con el estudio del macizo rocoso donde se emplaza el Túnel Cortaveta Ortiz (TCVO) que permita contribuir a la optimización del método de laboreo para dar vía al mejoramiento de las condiciones de estabilidad del macizo (anclajes, inyecciones, cerchas) y obtener los elementos claves para el diseño, adecuado de labores inherentes a los procesos de explotación del mineral que al ser controlados mediante una adecuada planificación permita evitar accidentes y situaciones imprevistas.



1.2 Objetivo general

Realizar la caracterización del macizo rocoso en el sector del túnel Cortaveta Ortiz y su clasificación geomecánica desde el portal de acceso hasta la progresiva 130m para evaluar su estabilidad.

1.3 Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar el macizo rocoso en la superficie del área de estudio.
- ✓ Registrar y estudiar las propiedades del macizo a partir del logueo geotécnico de los sondajes ejecutados en el área de estudio.
- ✓ Clasificar el macizo rocoso desde Pa-Prg.130m (TCVO) a partir del índice RMR (Bieniawski, 1973) y Q (Barton, et al. 1974).
- ✓ Utilizar softwares específicos para el análisis de la información y obtención de los parámetros geomecánicos.
- ✓ Realizar la cartografía geológica-estructural del área de influencia.
- ✓ Obtener un plano geológico-estructural y geomecánico-sectorizado (Pa-Prg.130m) para visualizar resultados.
- ✓ Efectuar las conclusiones y recomendaciones finales.

1.4 Ubicación del área de estudio

1.4.1 Vías de acceso

El CMC se ubica a 27° 27' de Latitud Sur y 66° 30' Longitud Oeste, enclavada aproximadamente a 3.000 msnm, en el flanco nororiental de la Sierra de Capillitas, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca, República Argentina.

Desde San Fernando del Valle de Catamarca se accede tomando hacia el sur por la Ruta Nacional N° 38 (60 km) hasta la localidad de Chumbicha (Dpto. Capayán) donde se ubica el cruce con Ruta Nacional N° 60 (45 km) por la quebrada de La Cébila (límite entre Catamarca y la vecina provincia de La Rioja) hasta llegar al empalme de la Ruta Provincial N°46 que lleva a la ciudad de Andalgalá (130Km), desde la cabecera del departamento homónimo por la Ruta Provincial N° 47 (camino sinuoso y de tierra, Cuesta de Capillitas) y luego de recorrer 60 km se accede hacia mano izquierda para llegar al ingreso de las instalaciones de CMC (fig. 1).

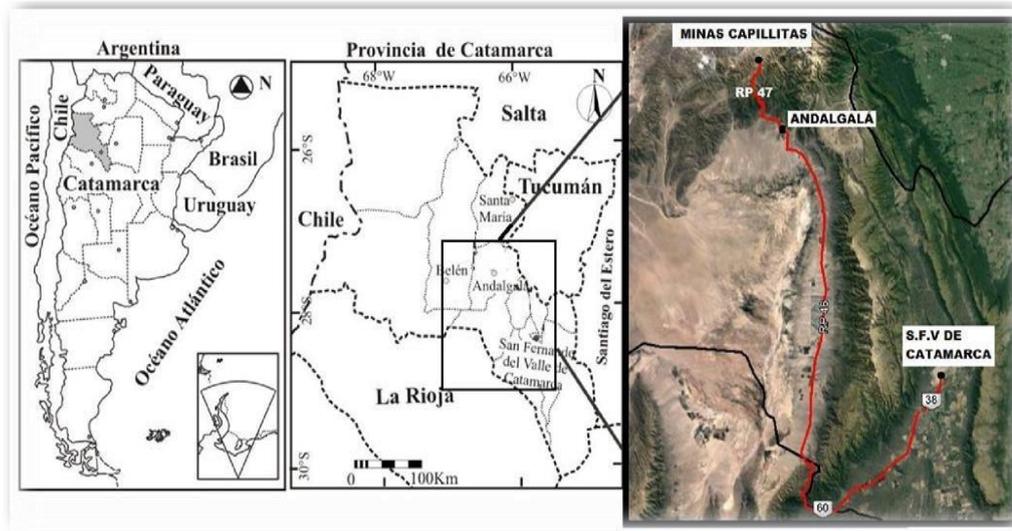


Figura 1: Ubicación y vías de acceso (imagen Google Earth).

Desde el ingreso a las instalaciones del CMC se prosigue por huella minera interna 3.6 Km hasta llegar a las coordenadas geográficas $20^{\circ} 27'$ de Latitud Sur y $66^{\circ} 23'$ Longitud Oeste donde se encuentra el sector de estudio que ocupa una superficie de 31.713m^2 (fig.2).

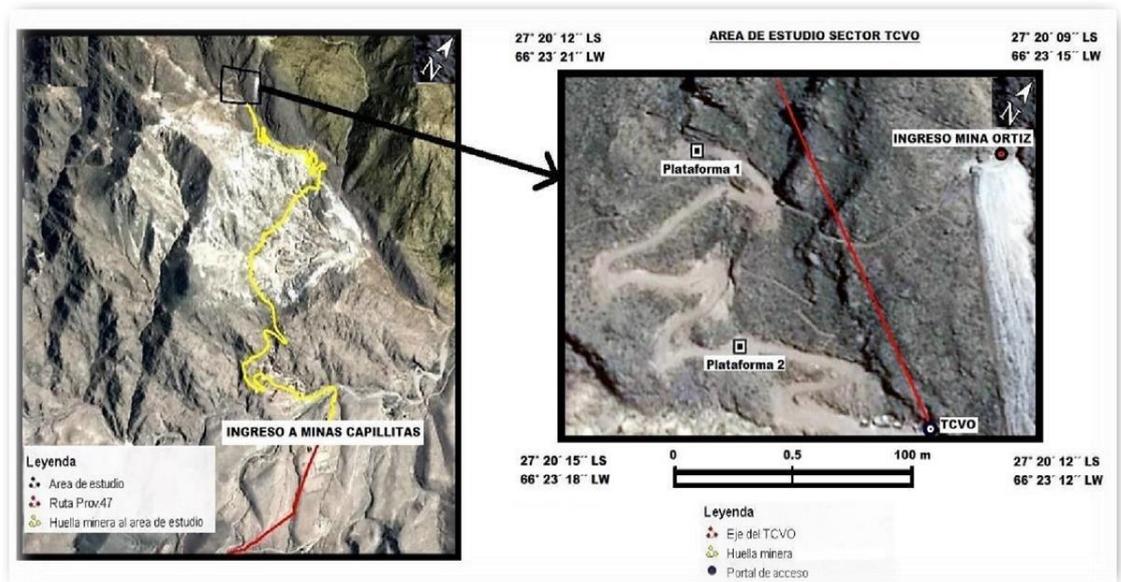


Figura 2. Ingreso al Sector de estudio, ampliado en imagen derecha (imagen Google Earth).

1.4.2 Relieve, Hidrografía y Clima

El relieve de la región es elevado e íntegramente montañoso y se enmarca en el paisaje de sierras y valles intermontanos o bolsones (áreas deprimidas). En el sector oriental de la zona de estudio se ubica la Sierra de Aconquija (altura máxima 5.552 msnm) que actúa como una barrera orográfica que influye en la disposición de las precipitaciones que traen los



vientos húmedos que provienen del Este captándola a sotavento y pasando secos a barlovento de esta (González Bonorino, 1950). Al norte del área de estudio se ubica el Campo del Arenal, una cuenca hidrográfica que estructuralmente es formada por depresión tectónica con una extensión aprox. de 600 Km² y una superficie de 17.994 Km².

Minas Capillitas posee un clima árido a semiárido con una temperatura media anual de 13°C y comienza a descender a mediados del otoño registrándose máximas mayores a 30° C en el mes de enero y mínimas en julio con valores menores a -0°C. Es un ambiente de sequedad relativa con escasas precipitaciones anuales aprox <200mm, la franja seca va de mayo hasta agosto mientras que los meses de máximo registro comprendido entre diciembre a febrero originan lluvias torrenciales esporádicas que transportan el material dendrítico de las áreas montañosas formándose pequeños cursos que bajan de las mismas erosionando los suelos, formando conos y abanicos aluviales.

El Río Minas es el capital hidráulico más importante (recibe al Río Blanco y Quebrada de las Conchas) circulando de SE a NW desemboca su caudal en el sector sureste del Campo del Arenal.

Las características climáticas áridas de la zona han determinado una generalizada presencia de acumulaciones arenosas a partir de la deflación diferencial de materiales aluviales. Los suelos del lugar se caracterizan como Ustortentes líticos y Haplusotoles líticos típicos de los paisajes montañosos.

1.4.3 Flora y Fauna

La flora típica de la zona son matorrales y bosque xerófila, la vegetación de media a alta montaña está adaptada para capturar el agua proveniente de la bruma o niebla (lluvia horizontal) que los lugareños llaman “barbudo”. En los llanos predomina el carácter arbustivo y en las proximidades de las sierras, los pastos naturales se dan en épocas de lluvia. Las especies típicas del lugar son: añagua, arcayuyo, cactus, cedron del cerro, muña, romerillo, etc.

Dentro de la fauna podemos nombrar al: cóndor andino, jotes de cabeza roja, águila mora, halcones, loros barraqueros, catitas serranas. Entre los mamíferos de mediano y gran porte podemos citar el zorro gris, chinchillas conocidas también como vizcacha serrana, gato montés o gato del pajonal, ocultos o tucu tucu, zorrinos, guanacos y pumas. También se pueden citar animales rurales y/o domésticos que existen en el área del proyecto y su área de influencia como equinos, ovinos, caprinos y ovejas.

1.4.4 Consideraciones Geográficas

La producción ganadera de la localidad de Minas Capillitas se concentra en caprinos y vacunos que abastecen las necesidades locales con carne y subproductos de estos como ser queso y leche.

La fuente más importante de trabajo se concentra en la minería donde generaciones enteras pasaron por el CMC.

En cuanto a los recursos hídricos, la existencia de ríos temporarios se debe a aguas surgentes de vertientes con poco caudal, escasa longitud con recorridos muy accidentados e



interrumpidos. El balance de agua a mayores alturas es positivo con escorrentías y cursos de agua en todo el año; sin embargo, los balances de agua en los piedemontes son negativos a causa de la baja precipitación, alta insolación y altas temperaturas.

El agua superficial es aprovechada para los animales razón por la cual las poblaciones se asientan cerca de los cursos de agua. El agua para el consumo humano se extrae de vertientes, principalmente por mangueras (un problema en invierno al congelarse) en menor medida de acequias y tachos.

Los servicios el distrito Minas Capillitas consisten en: una escuela (primaria – secundaria) y una hostería de alta montaña (Refugio del Minero). Las comunicaciones en vehículo están limitada a la Ruta Provincial N° 47 ya que constituye el único acceso al lugar.

1.4.5 Sismicidad Instrumental

Los registros de mayor interés con relación a la actividad de fallas neotectónicas son aquellos sismos cuyo hipocentro se ubica a menos de 30 kilómetros de profundidad. Especialmente aquellos registrados a menos de 10 kilómetros son los que pueden dar lugar a rupturas superficiales asociadas a las estructuras neotectónicas preexistentes. Los sismos superficiales (profundidades de hasta 70 km) son los que provocan ondas superficiales que pueden generar la ruptura de obras de ingeniería y desde el punto de vista sísmológico son de interés debido al riesgo que implican.

Aquellos sismos corticales someros (profundidad <25km) pueden producir importantes rupturas en superficie y numerosos efectos secundarios sólo con magnitudes cercanas a 5. La distribución de epicentros clasificados según Datos del NEIC e INPRES el registro de profundidad del hipocentro de sismos ubicados a menos de 30 km de profundidad se han registrado sobre la sierra de Aconquija. La deformación neotectónica en el sector norte del sistema de Aconquija llegaría al Holoceno (Hermanns y Schellenberger 2008). En la región de Catamarca los registros de sismicidad del Instituto Nacional de Prevención Sísmica (http://www.inpres.gov.ar/seismology/xultimos_sentidos.php) indican que esta actividad es frecuente y de intensidad baja posee un período sísmico de terremotos medios a graves cada 30 años aproximadamente.



CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO

2.1 Mecánica de Rocas

La mecánica de rocas se desarrolló como consecuencia de la utilización del medio geológico para obras superficiales, subterráneas y para la explotación de los recursos; tiene como objeto el estudio del comportamiento mecánico de los materiales rocosos y su respuesta ante la acción de fuerzas aplicadas en su entorno físico.

El proyecto de un túnel supone un grado de dificultad mayor que el resto de las estructuras que se integran en una obra porque requiere investigar las propiedades resistentes y deformacionales del terreno para plantear soluciones menos costosas y más seguras requiriendo de datos geológicos y geomecánicos para el diseño de sus fortificaciones. La estabilidad de un túnel implica que la excavación ha de preservar su forma y dimensiones para permanecer durante un periodo de tiempo definido en condiciones de plena operatividad.

2.2 Macizos Rocosos

Las masas rocosas aparecen en la mayoría de los casos afectadas por discontinuidades o superficies de debilidad que separan bloques de matriz rocosa o «roca intacta» constituyendo en conjunto los macizos rocosos.

2.3 Factores Geológicos

Los factores geológicos definen las características de la matriz rocosa y sus discontinuidades.

El tipo de roca y su grado de alteración van a determinar las propiedades resistentes de la matriz rocosa, la gran variabilidad de estas propiedades queda reflejadas en comportamientos mecánicos diferentes frente a las fuerzas aplicadas definiendo la resistencia del material y su modelo de deformación.

A continuación, se describen los factores naturales que influyen en el comportamiento del macizo rocoso:

2.3.1 Clasificación litológica

La roca es un conjunto de sustancias minerales que constituyen el material principal de la corteza terrestre, según su origen pueden ser clasificadas en ígneas, sedimentarias y metamórficas. La fábrica o petrofábrica es consecuencia de su génesis e historia geológica, presentando direcciones preferenciales de anisotropía por orientación de los cristales o granos y por los planos de foliación o esquistosidad, acuerdo con esto las rocas se pueden agrupar en cuatro clases:



- **Rocas cristalinas masivas**, están constituidas por partículas minerales mecánicamente entrelazadas y con orientación aleatoria en esta clasificación entran las rocas ígneas en general, las calizas líticas y las cuarcitas.
- **Rocas cristalinas foliadas**, se constituye de partículas minerales mecánicamente entrelazadas, poseen orientación preferencial a lo largo de la cual las rocas son menos resistentes. A este grupo pertenecen las rocas metamórficas foliadas como las filitas o los esquistos
- **Rocas con textura clástica cementada**, están formadas por partículas minerales cementadas; su resistencia y deformabilidad va a depender de la calidad del material cementante, las proporciones de grano del esqueleto, el grano de la matriz y el grado de empaquetamiento general. A este grupo pertenecen las rocas sedimentarias detríticas como las areniscas y los conglomerados. Las variedades más resistentes son las que poseen cemento silíceo donde sus partículas están bien empaquetadas y su porosidad es muy reducida.
- **Rocas con textura clástica consolidada**, se componen de partículas consolidadas que comprende básicamente el grupo de las lutitas dentro de las rocas sedimentarias y cuya resistencia se acrecienta con el grado de consolidación: arcillita, lodolita y limolita/shales arcilloso y shale lodoso/argilita.

2.3.2 Meteorización y Alteración

Los procesos geológicos que influyen en las condiciones resistentes de la roca es la meteorización que está presente en los afloramientos rocosos y/o la alteración provocada por los fluidos hidrotermales.

La meteorización está relacionada con la modificación que presentan las rocas en la superficie terrestre o en sus proximidades debido a la acción de los agentes atmosféricos; el grado de meteorización dependerá de las condiciones climatológicas, morfológicas y de la composición litológica. La meteorización puede ser física (forma nuevas fracturas) química (decoloración de la roca hasta la descomposición) y biológica (por actividad de los seres vivos).

La alteración hidrotermal se produce por la circulación de los fluidos o gases (magmáticos) de alta temperatura a través de las fracturas o zonas de fallas afectando a los rellenos de estas o sus cajas, provocan reemplazamientos y rellenos que modifican las condiciones del macizo rocoso en los cuales se emplazan. Algunos tipos de alteración, como la silicificación y en menor grado la calcificación mejora las características del macizo (incluyendo en zonas de falla); otros como la propilitización disminuyen levemente las condiciones debido a la presencia de cloritas en las paredes de las fracturas y la argilitización es la más desfavorable por el aumento de minerales arcillosos.

2.3.3 Discontinuidades Estructurales

Las masas rocosas difieren de la mayoría de otros materiales utilizados en la ingeniería, esta tiene discontinuidades de diferentes tipos que hacen que su estructura sea



discontinua. Las características de resistencia y deformabilidad del macizo dependen de las características de las discontinuidades estructurales porque actúan como planos de debilidad.

Las estructuras principales o mayores se originadas por grandes movimientos de la corteza terrestre, ocurridos antes, durante, o después de la formación de las rocas; dichos movimientos han generado sistemas de fallas geológicas que son de interés para entender el comportamiento del macizo.

Las estructuras secundarias o menores son las menos extensas, como las familias de diaclasa, la estratificación, etc. que se han formado después de la consolidación de la masa rocosa por las fuerzas de los movimientos epirogénicos y orogénicos.

2.3.4 Características de las Discontinuidades

Las características de las discontinuidades se determinan por su orientación, espaciamiento, aberturas, rellenos, asperezas o rugosidad, persistencia o continuidad y se describe a continuación:

- **Orientación**, comprende la posición espacial de las discontinuidades y queda definida por el azimut y la inclinación del plano. Por lo general los macizos rocosos presentan familias o sistemas de discontinuidades, el primer término se refiere a un conjunto de diaclasas paralelas y el segundo tiene que ver con agrupaciones típicas de diaclasas cada una de las cuales por lo general presenta la misma historia de esfuerzos; esta característica controla la posibilidad de que se presente condiciones favorables o desfavorables de estabilidad según la manera como influya la redistribución de esfuerzos en los planos reflejando el tamaño, la forma y posición espacial de los fragmentos o bloques de roca.
- **Espaciamiento**, este término se refiere a la separación media que existe entre discontinuidades adyacentes controlando el tamaño de bloques individuales de material rocoso, cuando el espaciamiento es muy denso tiende a presentarse condiciones de intenso fracturamiento, mientras que si es amplio la fracturación es menor la condición de entramamiento de bloques es por lo general favorable.
- **Persistencia**, es la extensión de una discontinuidad esta característica está relacionada con el grado de continuidad de las diaclasas, cuanto menor sea la persistencia la masa rocosa será más estable y cuanto mayor sea será menos estable. La resistencia al corte en este caso depende de la combinación de la resistencia inherente al corte de los puentes de roca intacta y aquella que se pueda desplazar a lo largo de la discontinuidad.
- **Rugosidad**, es la aspereza o irregularidad de la superficie de la discontinuidad. Cuanto menor rugosidad tenga una discontinuidad, menor fricción entre los planos y como consecuencia favorece al desplazamiento del bloque y cuanto mayor sea ésta la masa rocosa será más competente.
- **Apertura**, es la separación entre las paredes rocosas de una discontinuidad o el grado de apertura entre los planos, a menor apertura las condiciones de la masa rocosa serán mejores y a mayor apertura las condiciones serán más desfavorables.



- **Relleno**, son los materiales que se encuentran dentro de la discontinuidad, cuando los materiales son suaves la masa rocosa es menos competente y cuando éstos son más duros ésta es más competente.

2.3.5 Presencia de agua en las excavaciones

En los macizos el flujo de agua está concentrado preferencialmente en las diaclasas abiertas y dependen de la intercomunicación que existe entre estas y en ocurrencia de fallas.

En rocas estratificadas y/o fracturadas la presencia de agua puede ejercer presión, lavar el relleno de las fracturas y actuar como lubricante. La presencia de agua en la roca alterada o débil actúa en la pérdida de fricción en la estructura interna de la roca donde se forman planos de debilidad que generan deslizamientos de bloques; también dañan los sistemas de sostenimiento, produciendo corrosión a los elementos de hierro, acero y deterioro de concreto.

Es importante la observación de cambios de humedad en el techo y paredes de la excavación, ya que ayuda al reconocimiento de posibles fallas en el macizo rocoso como resultado de las variaciones de los esfuerzos. Si el agua empieza a filtrarse a través de la roca dentro de un área que es normalmente seca es un signo de que la roca está pasando por cambios de esfuerzo, estos cambios harán que las fracturas se abran o se extiendan empezando a manifestarse la humedad. Similarmente, si un área normalmente con presencia de agua empieza a secarse también deberá tomarse como una indicación de que la roca está ganando esfuerzos o se está equilibrando a la excavación.

2.3.6 Esfuerzos (Estado tensional)

Los esfuerzos naturales a los que están sometidas las rocas en la corteza terrestre se deben a movimientos producto de la interacción de las placas tectónicas provocan la deformación o fracturamiento de las rocas determinando los modelos de deformación y el comportamiento mecánico del conjunto del macizo

En todo macizo rocoso inalterado existe un campo de esfuerzos originados por el peso de la roca suprayacente, cuando se realiza una excavación en un macizo rocoso este campo sufre modificaciones al producirse la excavación, estos esfuerzos modificados que podemos llamar “empujes de roca” son muy variables con el tiempo y posición, por tanto, es casi imposible la medición de sus dimensiones e intensidades.

En la zona del macizo rocoso que circunda al límite de la excavación se puede crear contracciones que sobrepasan a las tensiones admitidas por la roca entonces la excavación es inestable, por lo tanto, la roca circundante necesita ser soportada con el fin de conseguir equilibrio y su estabilización.

En cualquier caso, un factor importante en las excavaciones subterráneas es el estado tensional in situ que siempre es afectado por la excavación de forma que las tensiones principales se alteran tanto en magnitud como en dirección siendo necesario establecer dónde se concentran las tensiones y si la tensión máxima alcanza la resistencia del macizo.

La estabilidad de una labor está relacionada con el comportamiento del medio en que se practica, si una excavación es realizada en un medio elástico sólo aparecerá grandes



deformaciones elásticas para niveles de tensión muy grandes, un medio elastoplástico (perfecto o con reblandecimiento) pueden aparecer deformaciones muy grandes (y permanentes) a niveles de tensión relativamente moderados y en un medio fisurado puede haber deslizamiento o separación de bloques.

2.4 Criterio de falla de Hoek-Brown

El criterio de falla de Hoek-Brown se desarrolló en un comienzo para determinar la resistencia de los macizos de roca dura. El criterio se ha aplicado a una amplia variedad de macizos rocosos incluyendo rocas de muy mala calidad, estas aplicaciones especiales han necesitado cambios con respecto al criterio original. La determinación de resistencias equivalentes en términos de cohesión y ángulos de fricción se aplican en software programado en términos del criterio de falla de Mohr-Coulomb.

El criterio de falla generalizado de Hoek-Brown para macizos rocosos fracturados está definido por:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \times \left(m_b \times \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad (1)$$

Donde σ'_1 y σ'_3 son los esfuerzos efectivos principales mayor y menor respectivamente en la condición de falla, m_b es el valor de la constante m de Hoek-Brown para el macizo rocoso, s y a son constantes que dependen de las características del macizo rocoso y σ_{ci} es la resistencia a la compresión uniaxial de los trozos o bloques de roca intacta que conforman el macizo rocoso.

Es posible obtener algunas relaciones matemáticas exactas entre el criterio de Hoek Brown expresado en términos de los esfuerzos principales mayor y menor con la envolvente de Mohr definida en términos de los esfuerzos normal y de corte. Sin embargo, estas relaciones son difíciles de manejar y el procedimiento original usado por Hoek-Brown es más práctico. En este procedimiento la ecuación (1) se emplea para generar una serie de valores triaxiales simulando ensayos in situ a escala real y se usa un proceso estadístico de ajuste de curvas para obtener una envolvente de Mohr equivalente la cual está definida por la ecuación:

$$\tau = A \times \sigma_{ci} \times \left(\frac{\sigma'_n - \sigma_{tm}}{\sigma_{ci}} \right)^B \quad (2)$$

Donde A y B son constantes que dependen del material, σ'_n es el esfuerzo normal efectivo y σ_{tm} es la “resistencia a la tracción” del macizo rocoso. Esta “resistencia a la tracción” que representa la trabazón de los bloques de roca cuando éstos no pueden dilatarse libremente y está dada por:

$$\sigma_{tm} = \frac{\sigma_{ci}}{2} \times \left(m_b - \sqrt{m_b^2 + 4s} \right) \quad (3)$$

En orden a utilizar el criterio de Hoek-Brown para evaluar la resistencia y la deformabilidad de los macizos rocosos fracturados.

2.4.1 Propiedades de la Roca Intacta

Para los bloques de roca intacta que conforman el macizo rocoso la ecuación (1) se simplifica a:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \times \left(m_i \times \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + 1 \right)^{0,5} \quad (4)$$

La relación entre los esfuerzos principales efectivos en la condición de falla para un tipo de roca dado está definida por dos constantes la resistencia en compresión no confinada σ_{ci} y una constante m_i . Debe notarse que el rango de valores del esfuerzo principal menor utilizado en los ensayos es crítico para la determinación de valores confiables de estas dos constantes. En la derivación original de los parámetros σ_{ci} y m_i , Hoek & Brown [1] usaron el rango $0 < \sigma_3' < 0,5 \sigma_{ci}$ y para ser consistente es esencial que se use el mismo rango en cualquier serie de ensayos triaxiales sobre probetas de roca intacta.

Cuando no es posible realizar pruebas de laboratorio, se pueden utilizar las Tabla 1 y 2 para estimar los valores de σ_{ci} y m_i .

Clase (a)	Calificación de la roca según su resistencia	Resistencia uniaxial (MPa)	Indice de carga puntual (MPa)	Estimación en terreno de la resistencia	Ejemplos
R6	Extremadamente Resistente	> 250	> 10	Golpes de martillo geológico sólo causan descostramientos superficiales en la roca.	Basalto fresco, chert, diabasa, gneiss, granito, cuarcita.
R5	Muy Resistente	100 – 250	4 – 10	Un trozo de roca requiere varios golpes de martillo geológico para fracturarse.	Anfibolita, arenisca, basalto, gabro, gneiss, granodiorita, caliza, mármol, riolita, toba.
R4	Resistente	50 – 100	2 – 4	Un trozo de roca requiere más de un golpe con el martillo geológico para fracturarse.	Caliza, mármol, filitas, arenisca, esquistos, pizarras.
R3	Moderadamente Resistente	25 – 50	1 – 2	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe del martillo geológico, pero no es posible descostrar la roca con un cortaplumas.	Arcillolita, carbón, concreto, esquistos, pizarras, limolitas.
R2	Débil	5 – 25	(b)	Un golpe con la punta del martillo geológico deja una indentación superficial. La roca puede ser descostrada con una cortaplumas pero con dificultad.	Creta, sal mineral, potasio.
R1	Muy Débil	1 – 5		La roca se disgrega al ser golpeada con la punta del martillo geológico. La roca puede ser descostrada con un cortaplumas.	Roca muy alterada o muy meteorizada.
R0	Extremadamente Débil	0,25 – 1		La roca puede ser indentada con la uña del pulgar.	Salbanda arcillosa dura.

Tabla 1: estimación en terreno de la resistencia en compresión uniaxial. (a) Clases según Brown. (b) Para rocas con una resistencia en compresión uniaxial <25MPa los resultados del ensayo de carga puntual son pocos confiables.

Tipo de Roca	Clase	Grupo	Textura			
			Gruesa	Media	Fina	Muy Fina
SEDIMENTARIAS	Clásticas		Conglomerado (22)	Arenisca 19	Limolita 9	Arcillolita 4
	No Clásticas		←----- Grauwaca -----> (18)			
			←----- Creta -----> 7			
			←----- Carbón -----> (8 - 21)			
Carbonatos		Brechas (20)	Caliza Esparítica (10)	Caliza Micrítica 8		
Químicas			Yeso 16	Anhidrita 13		
METAMORFICAS	No Foliadas		Mármol 9	Rocas Córneas (19)	Cuarcita 24	
	Levemente Foliadas		Migmatita (30)	Anfibolita 25 - 31	Milonitas (6)	
	Foliadas		Gneiss 33	Esquistos 4 - 8	Filitas (10)	Pizarras 9
IGNEAS	Intrusivas	Claras	Granito 33		Riolita (16)	Obsidiana (19)
		Oscuras	Granodiorita (30)		Dacita (17)	
			Diorita (28)		Andesita 19	
		Gabbro 27	Dolerita (19)	Basalto (17)		
		Norita 22				
Extrusivas Piroclásticas			Aglomerados (20)	Brechas (18)	Tobas (15)	

Tabla 2: Valores de la constante m_i de la roca intacta para distintos tipos de rocas (los valores entre paréntesis corresponden a estimaciones).

2.4.2 Parámetros de Mohr-Coulomb

El término del criterio de falla de Mohr-Coulomb en el cual la resistencia del macizo rocoso queda definida en términos de esfuerzos efectivos por la cohesión c' y el ángulo de fricción ϕ' . Para el criterio de Mohr-Coulomb hay una relación lineal entre los esfuerzos efectivos principales mayor y menor, σ'_1 y σ'_3 :

$$\sigma'_1 = \sigma_{cm} + k \times \sigma'_3 \quad (5)$$

Donde σ_{cm} es la resistencia en compresión uniaxial del macizo rocoso, y k es la pendiente de la relación lineal entre σ'_1 y σ'_3 . Los valores de c' y ϕ' se pueden calcular de las siguientes ecuaciones:



$$\sin \phi' = \frac{k - 1}{k + 1} \quad (6)$$

$$c' = \frac{\sigma_{cm}}{2 \times \sqrt{k}} \quad (7)$$

2.4.3 Módulo de deformación

Los módulos de deformación de macizos rocosos están dados por:

$$E_m \text{ [GPa]} = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} 10^{\frac{GSI-10}{40}} \quad (8)$$

La ecuación 8 se utiliza cuando $\sigma_{ci} \leq 100$ MPa. Cuando $\sigma_{ci} > 100$ MPa, se utiliza la siguiente expresión:

$$E_m \text{ [GPa]} = \left(1 - \frac{D}{2}\right) 10^{\frac{GSI-10}{40}} \quad (9)$$

Obsérvese que la ecuación original propuesta por Hoek y Brown ha sido modificada por la inclusión del factor D, para tener en cuenta los efectos de los daños de las voladuras y la relajación de esfuerzos; es un factor que depende sobre todo del grado de alteración al que ha sido sometido el macizo rocoso por los efectos de las voladuras o por la relajación de esfuerzos. Varía desde 0 para macizos rocosos in situ inalterados hasta 1 para macizos rocosos muy alterados.

2.5 Clasificaciones Geomecánicas

En una obra de ingeniería se precisan datos cuantificables y susceptibles de ser modelizados. La cuantificación del conjunto de propiedades geológicas para aplicaciones constructivas es posible mediante los sistemas de clasificaciones geomecánicas que tiene sus fundamentos en la geología y en el comportamiento mecánico de las rocas habitualmente empleado para expresar el grado de estabilidad de la obra.

2.5.1 Antecedentes

Se acepta que fue Terzaghi (1946) quien propuso la primera clasificación del macizo rocoso orientada a la construcción de túneles. Sus datos provenían de túneles sostenidos fundamentalmente por cerchas metálicas. Más tarde en 1963 Deere (Blanco, 1998. González de Vallejo, 1998) propuso un índice de la calidad de las rocas basado en la recuperación de testigos denominado el sistema Rock Quality Designation (RQD) o Índice de Calidad de las Rocas. Este índice de uso generalizado es muy útil en las Clasificaciones Geomecánicas de los Macizos Rocosos formando parte de un sin número de ellas.

Desde la aparición de la clasificación de rocas de Terzaghi (1946) propuesta para calcular cargas de roca sobre arcos metálicos de túneles han aparecido numerosas clasificaciones semejantes. De las últimas conocidas vale la pena destacar la del CSIR



(consejo Surafricano para Investigación Científica e Industrial), desarrollada por Bieniawski y la del NGI (Instituto Geotécnico Noruego) propuesta por Barton, Lien y Lunde.

La sencillez de los métodos propuestos por Bieniawski (1973) y Barton, Lien y Lunde (1974) contribuyeron definitivamente a su rápida aceptación y expansión.

El índice RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton que establecen diferentes grados de calidad del macizo en función de las propiedades de la matriz rocosa y de las discontinuidades proporcionando valores estimativos de sus propiedades resistentes globales. El índice permite caracterizar macizos rocosos y calcular sostenimientos en excavaciones subterráneas. Se trata en los dos casos de combinar atributos del macizo rocoso (de tipo geológico, geométrico y tensional) en un número único relacionado con la calidad global de la roca.

Otro índice aplicado para evaluar la calidad de los macizos es el Índice Geológico de Resistencia (GSI) propuesto por Hoek (1995) y se usa para evaluar la calidad de los macizos de rocas en excavaciones para túneles, constituye un buen ejemplo que ilustra la caracterización de macizos en ingeniería.

En la actualidad con la introducción de la computación, como por ejemplo los softwares (RocLab, etc.) para el cálculo de estabilidad de las obras, diseño del sostenimiento, estado tensional alrededor de las excavaciones, entre otros (López Jimeno, 1998) han contribuido grandemente en el desarrollo científico y técnico de la geomecánica.

2.5.2 Clasificación de Terzaghi

Terzaghi propuso esta clasificación para calcular las cargas que deben soportar los marcos de acero en los túneles basado en el experimento de túneles ferroviarios con refuerzo de acero en los Alpes, destaca la importancia de la exploración geológica que deberá hacerse antes que se termine el diseño y sobre todo insiste en conseguir información sobre los defectos en la formación de la roca. Terzaghi define los términos de la clasificación de rocas (tuneleo) como sigue:

- **Roca Inalterada**, no tiene fisuras ni ramales. Por lo tanto, cuando se rompe lo hace a través de la roca sana. Debido al daño que se hace a la roca con el uso de explosivos puede caer del techo desgajes de roca varias horas o varios días después de la voladura, esta condición se llama desprendido. La roca dura o inalterada también puede verse afectada por chasquidos lo que implica la separación espontánea y violenta de láminas de roca de las paredes o del techo.
- **Roca Estratificada**, está constituida por capas unitarias con pocas o ninguna resistencia a la separación a lo largo del plano limítrofe entre estratos. La capa puede haberse debilitado o no debido a fracturas transversales, los desprendimientos son comunes en este tipo de rocas.
- **Roca Medianamente Fisurada**, tiene fisuras y ramales, pero los bloques entre las juntas están soldados que las paredes verticales no necesitan refuerzo; en rocas de este tipo se puede encontrar a la vez el desprendimiento y el chasquido.

- **Roca Agrietada en Bloques**, es una roca químicamente inalterada o casi inalterada cuyos fragmentos se encuentran totalmente separados unos de otros; esta clase de rocas puede necesitar además laterales en las paredes.
- **Roca Triturada**, pero químicamente sana tiene la apariencia de ser producto de trituradora, si los fragmentos en su mayoría o todos son del tamaño arena y no ha habido cementación la roca triturada que esta abajo del nivel de las aguas freáticas tienen las propiedades de una arena saturada.
- **Roca Comprimida**, avanza lentamente en el túnel sin aumento perceptible de volumen; es un porcentaje elevado de partículas microscópicas o submicroscópicas de micas o de minerales arcillosos de poca expansibilidad.
- **Roca Expansiva**, avanza básicamente en el túnel debido a su propia expansión; la capacidad de esponjamiento parece estar limitada a las rocas que contienen minerales arcillosos como la montmorillonita con una alta capacidad de expandirse.

La clasificación de Terzaghi representa el movimiento de roca suelta hacia el túnel. Durante la construcción del túnel habrá algún relajamiento de la cohesión, de la formación rocosa arriba y en los lados del túnel (fig.3).

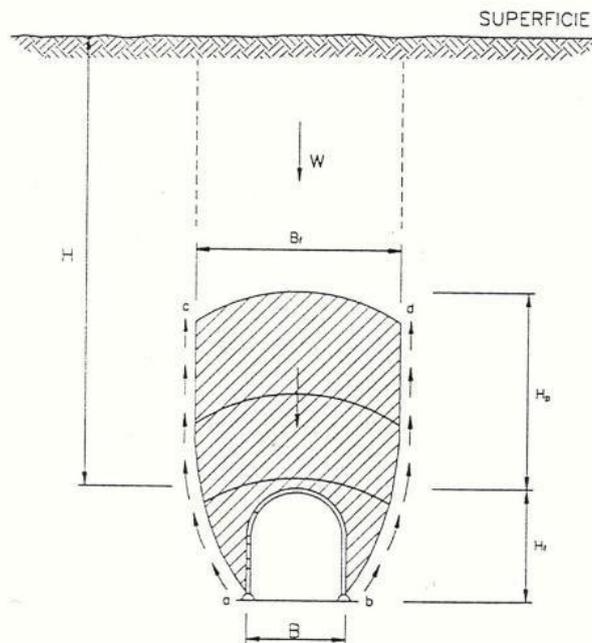


Figura 3: Diagrama de carga de roca sobre un túnel (Terzaghi, 1943)

La roca suelta dentro del área $a c d b$ tendera a interrumpir en el túnel, a este esfuerzo se opondrán fuerzas de fricción a lo largo de los límites laterales $a c$ y $b d$, estas fuerzas de fricción transfieren la parte más importante del peso de la carga de roca W al material de los lados del túnel. El techo y los lados del túnel no tienen que soportar más que el resto de la carga que equivale a una altura H_p . El ancho B_1 de la zona de la roca donde existe movimiento, dependerá de las características de la roca y de las dimensiones H_t y B del túnel.

Terzaghi realizo muchas pruebas en maquetas utilizando arena sin cohesión para estudiar la forma de lo que él llamaba el "arco del suelo" encima del túnel.

La clasificación de las rocas Terzaghi clasifica los terrenos en 9 tipos atendiendo esencialmente a las condiciones de fracturación en las rocas y a la cohesión o expansividad en los suelos considera la disposición de la estratificación respecto al túnel en la previsión de desprendimientos que se resumen en tres normas específicas:

- La estratificación vertical en el techo será estable en general, pero se pueden producir caídas de bloques en una altura de 0.25 b (b es el ancho del túnel)
- La estratificación horizontal de gran potencia y con pocas juntas la excavación será estable sin roturas lo valores son de aplicación para dimensiones de sostenimientos clásicos cercha y hormigón que se consideran conservadores para rocas de buena calidad y su campo de aplicación es para túneles de tamaño medio del orden de 8 metros.
- La estratificación horizontal de pequeña potencia y/o gran cantidad de juntas, en el techo se desarrollarán roturas formándose un arco apuntado sobre el túnel con anchura la de este y altura la mitad de la dimensión anterior este proceso es progresivo y se detendrá si se coloca rápidamente un sostenimiento.

2.5.3 Índice de Rock Quality Designation (RQD)

EL RQD fue desarrollado por Deere en 1967 para proveer un estimado cuantitativo de la calidad de la masa rocosa a partir de los testigos de perforación diamantina. El RQD es definido como porcentajes de piezas de testigos intactos mayores de 100 mm (4 pulgadas) en la longitud del testigo. El testigo deberá tener por lo menos un tamaño Nx (54.7 mm o 2.15 pulgadas de diámetro) y deberá ser perforado con un cilindro de doble tubo de perforación (fig.4).

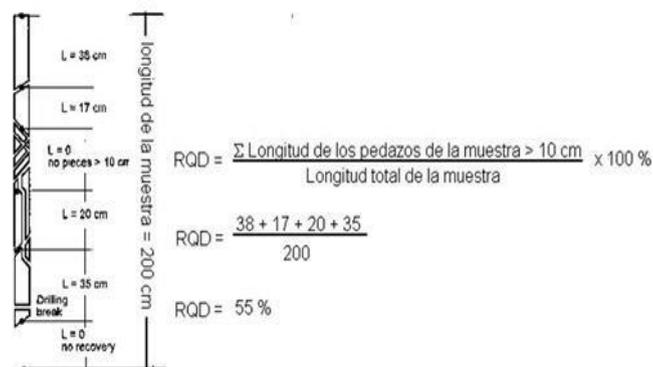


Figura 4: Ilustración del procedimiento del cálculo de la ecuación RQD (Deere, 1967).

Priest y Hudson (1976) sugieren cuando no se tiene testigos de perforación, pero las trazas de las discontinuidades son visibles en afloramientos superficiales o en socavones exploratorios el RQD puede ser estimado a partir formula empírica siguiente:

$$RQD = 100 \times e^{-0.1(\lambda)} (0.1\lambda + 1)$$

Donde λ = Numero de discontinuidades por metro lineal.



La calidad del macizo se clasifica según el valor obtenido del RQD en:

1. RQD 0-25Muy Mala
2. RQD 25-50.....Mala
3. RQD 50-75.....Regular
4. RQD 75-90Buena
5. RQD 90-100Excelente

2.5.4 Clasificación RMR (Rock Mass Rating)

Desarrollada por Bieniawski en 1973 con actualizaciones en 1979 y 1989, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo. Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

1. Resistencia de la roca a la compresión (IRS)
2. Rock Quality Designation (R.Q.D.)
3. Distancia entre las discontinuidades (Js)
4. Condición de las discontinuidades (Jc)
5. Aguas subterráneas
6. Orientación de las discontinuidades con respecto al eje del túnel.

Para obtener el Índice RMR para una excavación se suman las 5 variables o parámetros calculados, eso da como resultado un valor índice (RMR básico). El parámetro 6 que se refiere a la orientación de las discontinuidades con respecto al eje de la excavación.

$$\mathbf{RMR = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6}$$

La incidencia de estos parámetros en conjunto determina el comportamiento geomecánico de un macizo que se expresa por medio del índice de calidad RMR que va de 0 a 100 y según su valor hace una clasificación de 5 clases de macizo:

- Clase 1 es de calidad muy buena y queda comprendido en el rango de 81 a 100
- Clase 2 es de calidad buena y el índice queda comprendido en el rango de 61 a 80
- Clase 3 es de una calidad regular y el índice queda en el rango de 41 a 60
- Clase 4 es de una calidad mala y el índice queda comprendido en el rango de 21 a 40
- Clase 5 es una calidad muy mala y el índice queda comprendido en el rango de 0 a 20

A partir de la clasificación Bieniawski propone las medidas de sostenimiento según su clase son:

- Muy buena 81-100. Sin sostenimiento, Pernos puntuales $L = 1.4 + (0.18 \times W)$
- Buena 61-80. Puntuales $L = 1.4 + (0.18 \times W)$
- Normal 41-60. Pernos – Esp. 1.5, $L = 1.8 + (0.18 \times W)$, Shotcrete 50mm
- Malo 21-40. Shotcrete 100mm, Pernos – Esp. 1m, $L = 2 + (0.18 \times W)$
- Muy malo < 20 Arcos. Shotcrete 150mm, Pernos– Esp. 1m, $L = 3 + (0.18 \times W)$



2.5.5 Índice de Calidad de Túneles (NGI).

Basándose en una gran cantidad de casos de tipo de inestabilidad en excavaciones subterráneas, Barton, Lien y Lunde del Norwegian Geotechnical Institute (NGI) (Instituto de Geotecnia de Noruega), propusieron un índice para determinar la calidad del macizo en túneles. El método de clasificación de NGI o de Barton et al. (1974) se desarrolló para estimar la fortificación de túneles en función del índice Q de calidad geotécnica, definido como:

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

Los parámetros que definen estos cocientes son el *RQD* que es la designación de la calidad de la roca definida por Deere et al. (1967), *J_n* es un coeficiente asociado al número de sets de estructuras presentes en el macizo rocoso (Joint Set Number), *J_r* es un coeficiente asociado a la rugosidad de las estructuras presentes en el macizo rocoso (Joint Roughness Number), *J_a* es un coeficiente asociado a la condición o grado de alteración de las estructuras presentes en el macizo rocoso (Joint Alteration Number). *J_w* es un coeficiente asociado a la condición de aguas en las estructuras presentes en el macizo rocoso (Joint Water Reduction Factor) y *SRF* es un coeficiente asociado al posible efecto de la condición de esfuerzos en el macizo rocoso (Stress Reduction Factor).

El cociente *RQD/J_n* corresponde a una estimación del tamaño de los bloques que conforman el macizo rocoso; *J_r/J_a* corresponde a una estimación de la resistencia al corte entre bloques, representa las características de la fricción de las paredes de las fisuras o de los materiales de relleno y el cociente *J_w/SRF* representa lo que Barton et al. (1974) denomina esfuerzo “activo”.

El valor de Q puede variar desde 0.001 hasta 1000 con rangos que clasifican al tipo de roca como se detalla a continuación:

- Excepcionalmente mala entre valores comprendidos en 0,001 – 0,01
- Extremadamente mala si se registra valores entre 0,01 a 0,1
- Muy mala entre los valores 0,1 y 1
- Mala entre valores de 1 y 4
- Media entre valores de 4 a 10
- Buena entre valores de 10 a 40
- Muy buena entre valores de 40 y 100
- Extremadamente buena entre 100 y 400
- Excepcionalmente buena entre 400 y 1000

Para poder relacionar el índice de Calidad Q con el comportamiento de una excavación subterránea y las necesidades de ademe de esta, Barton, Lien y Lunde definieron un elemento cuantitativo adicional que llamaron “*La dimensión equivalente De*” de la excavación. Esta dimensión se obtiene al dividir el ancho, diámetro o altura de la excavación por una cantidad llamada “relación de soporte de la excavación” (*ESR: Excavation Support Ratio*).

$$D_e = \frac{\text{Ancho de la Excavación, diámetro o altura (m)}}{\text{relación de soporte de la excavación ESR}}$$

La excavación de soporte de la excavación *ESR* tiene que ver con el uso de pretender dar a la excavación y hasta donde se puede permitir cierto grado de inestabilidad. Barton da los siguientes valores del coeficiente *ESR* según el tipo de excavación:

- Excavaciones mineras provisionales valor comprendido entre 3 – 5
- Excavaciones mineras permanente, túneles de conducción de agua para obras hidroeléctricas (con la excepción de las cámaras de alta presión para compuertas), túneles piloto (exploración), excavaciones parciales para cámaras subterráneas grandes valor de 1.6
- Cámaras de almacenamiento, plantas subterráneas para el tratamiento de aguas, túneles carreteros y ferrocarriles pequeños, cámaras de alta presión, túneles auxiliares valor de 1.3
- Casas de máquinas, túneles carreteros y ferrocarrileros mayores, refugios de defensa civil, portales y cruces de túnel con valor de 1.0
- Estaciones nucleoelectricas subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones para deportes y reuniones, fábricas valor de 0.8

La relación entre el índice de Calidad para Túneles *Q* y la dimensión equivalente *D_e* de una excavación que se sostendrá sin ademe (fig. 5).

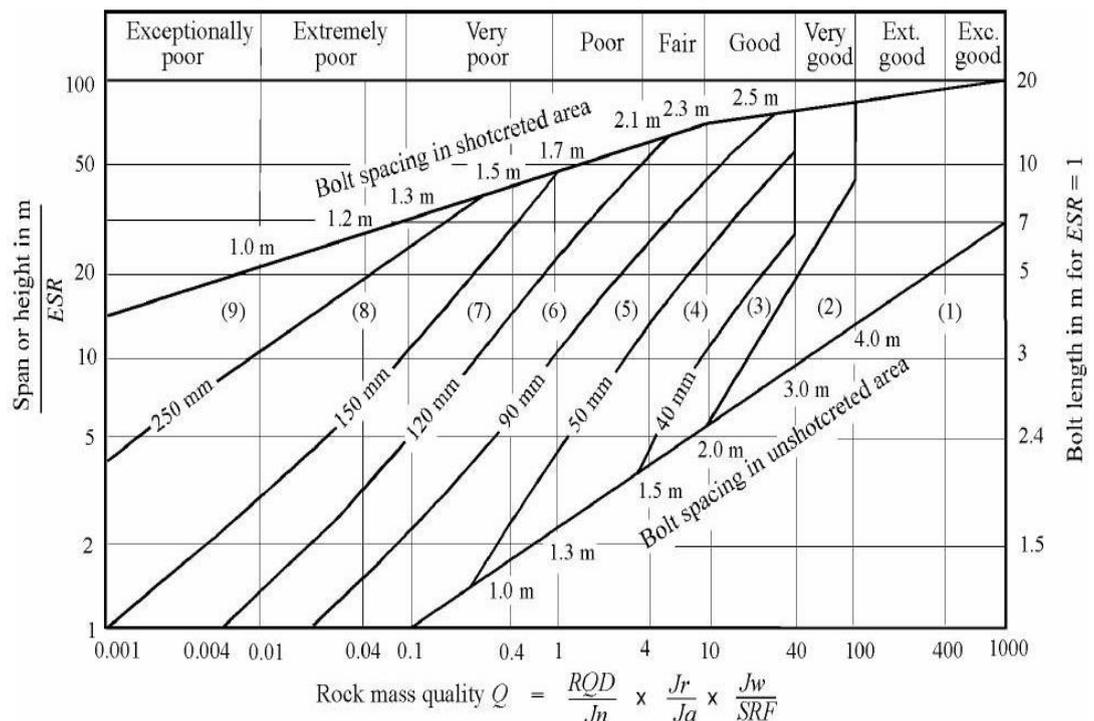


Figura 5- Categoría de Soporte según Barton y Grimstad, (Kaiser & Bawden, 1993).



Categoría de Sostenimiento (fig.5):

- 1) Sin Sostenimiento.
- 2) Bulonado Puntual, sb.
- 3) Bulonado Sistemático, B.
- 4) Bulonado Sistemático con hormigón proyectado, 40-100 mm, B+S.
- 5) Hormigón Proyectado con fibras, 50-90 mm y Bulonado S(fr)+B.
- 6) Hormigón Proyectado con fibra, 90-120 mm y bulonado S(fr)+B.
- 7) Hormigón Proyectado con fibras, 120-150 mm y bulonado S(fr)+B.
- 8) Hormigón Proyectado con fibras, >150 mm con bulonado y arcos armados a reforzados con hormigón proyectado, S(fr)+RRS+B.
- 9) Revestimiento de Hormigón, CCA

2.5.6 Clasificación de Hoek y Brown (GSI)

Hoek et al, (1995) han propuesto un índice geológico de resistencia, GSI (Geological Strength Index), que evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteración de las discontinuidades. A continuación, se presenta una clasificación de la masa rocosa que tiene el propósito de tener un conocimiento muy aproximado de las resistencias de las rocas (macizos de roca dura) propuesto por Hoek (1995). La resistencia de una masa diaclasada depende de las propiedades del material rocoso y de la libertad de estos fragmentos de roca a rotar o deslizar bajo diferentes condiciones de esfuerzos. La libertad está controlada por la forma geométrica de los fragmentos de roca y por las condiciones de las superficies que separan los bloques. Así por ejemplo fragmentos angulares de roca con superficies limpias y rugosas resisten más al desplazamiento que aquellas que contienen fragmentos redondeados por acción de la meteorización con algún tipo de relleno. El índice GSI de Hoek (1995) proporciona un sistema para estimar la reducción en la resistencia de la masa para diferentes condiciones geológicas (fig. 6).

RECOMENDACION DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO EN FUNCIÓN DEL ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA (GSI)		CONDICION SUPERFICIAL			
<p>PARA LABORES TEMPORALES DE 3.5x3.5m. A 4.5x4.5m.</p> <ul style="list-style-type: none"> Sin Sostenimiento / Perno Split Sets puntuales Pernos Split Sets sistemático Malla + Pernos Split Set Shotcrete 2" c/f + (Pernos Split Set o Pernos Hydrabolt) (Shotcrete 3"+ P. Hydrabolt) ó (Shotcrete 2"+ malla + P. Hydrabolt) Shotcrete de 2" + malla + P. Hydrabolt + Shotcrete Cuadros de madera <p>PARA LABORES PERMANENTES DE 3.5x3.5m. A 4.5x4.5m.</p> <ul style="list-style-type: none"> Sin Sostenimiento / Pernos Helicoidales puntuales Pernos Helicoidales sistemático Malla + Pernos Helicoidales Shotcrete 2" c/f + Pernos Helicoidales (Shotcrete 3"+ P. Helicoidal) ó (Shotcrete 2"+ malla + P. Helicoidal) Shotcrete de 2" + malla + Pernos Helicoidales + shotcrete Cimbras 		CONDICION SUPERFICIAL			
		BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente meteorizadas. La roca se fractura con muchos golpes de picota. (UCS: 100-250MPa) (R5)	REGULAR (R) Superficies lisas moderadamente meteorizada y alterada. La roca se fractura con uno o dos golpes de picota. (UCS: 25-100MPa) (R3 y R4)	POBRE (P) Superficies lisas altamente meteorizada. La roca se indenta superficialmente. (UCS: 5-25MPa) (R2)	MUY POBRE (MP) Superficie de zizalla altamente meteorizada con finas capas de arcilla suave. La roca se indenta profundamente (UCS: <5MPa) (R0 y R1)
ESTRUCTURA					
	LEVEMENTE FRACTURADA (LF) Roca masiva con fracturas ampliamente espaciadas. (2 a 6 fracturas por metro) (RQD 95% - 100%)	LF/B	LF/R	—	—
	FRACTURADA (F) Macizo Rocoso con bloques bien trabados no perturbado, bloques cúbicos formados por 3 sets (6 a 12 fracturas por metro) (RQD 75% - 95%)	F/B	F/R	F/P	—
	MUY FRACTURADA (MF) Macizo Rocoso con bloques moderadamente trabados parcialmente perturbado, bloques multiangulares formados por 4 o más sets (12 a 20 fracturas por metro) (RQD 50% - 75%)	MF/B	MF/R	MF/P	MF/MP
	INTENSAMENTE FRACTURADA (IF) Plegada y/o fallada con bloques angulosos con poco contenido de finos formados por muchas intersecciones de sets (> 20 fracturas por metro) (RQD < 50%)	—	IF/R	IF/P	IF/MP
	TRITURADA O BRECHADA (T) Macizo Rocoso extremadamente fracturado con bloques angulosos y redondeados con alto contenido de finos. (RQD 0%)	—	—	T/P	T/MP

Figura 6: El índice GSI de Hoek (1995).



CAPITULO 3 METODOLOGIA

3.1. Etapa I: Trabajo de Gabinete

El trabajo comienza con la etapa de gabinete donde se realizó una intensa recopilación y análisis crítico de la información existente del CMC. Los antecedentes geológicos y mineros son diversos por la antigüedad e importancia científica de este yacimiento, desde la Hoja Geológica de Capillitas 12d (Gonzales Bonorino, 1850) hasta publicaciones científicas. Si bien el macizo rocoso del sector de estudio no cuenta con antecedentes geomecánicos, la empresa brindó informes y trabajos inéditos, (mapas, planos y estudios previos a la construcción del TCVO) que fueron de suma importancia para la ubicación y conocimiento de las tareas ejecutadas dentro del sector de estudio.

Se confeccionó un mapa geológico y estructural del área de influencia (escala 1:20.000) para generar la cartografía geológica-estructural del área de influencia.

3.2 Etapa II: Trabajo de Campo

El trabajo de campo se desarrolló en el sector del TCVO, tuvo como objetivo registrar las propiedades de la matriz rocosa y sus discontinuidades para ello fue necesario efectuar el mapeo de las superficies expuestas en la superficie, efectuar el logueo geotécnico y realizar un mapeo geomecánico dentro del TCVO.

Para las descripciones se utilizó la nomenclatura y clasificación normalizada establecidas la ISRM. Las observaciones y la toma de datos se realizaron de manera sistemática con el apoyo de procedimientos se examina todos los factores según una secuencia lógica sin omitir ningún tipo de información básica.

3.2.1 Metodología del Mapeo en Superficie

El mapeo del macizo se realizó en afloramientos ubicados en la superficie del sector de estudio y se desarrolló en estaciones ubicadas estratégicamente para realizar un trabajo seguro debido a las condiciones del terreno.

Los datos se toman a lo largo de una línea imaginaria a la altura del pecho (mapeo lineal) de manera sistemática y empleando tarjetas estandarizadas. La información se introduce en una planilla cuyo formato permite almacenar la información de manera ordenada y sencilla (anexo planillas) que posteriormente es analizada y procesada en la siguiente etapa incluyendo el uso de software (Dips). Se realizó el registro fotográfico para incluir en el informe.

Equipamiento requerido: brújula, cinta métrica, piqueta, lupa, navaja, aerosol, planillas y tarjetas geomecánicas, cámara fotográfica, EPP.

El trabajo comienza con la división de zonas según su material constituyente (macizos, suelo, etc.) a partir de una observación visual para ubicar las estaciones de mapeo, luego se procede a tomar su ubicación con GPS (coordenadas se registran en Campo Inchauspe Faja 3), la dirección (azimut) de mapeo con brújula tipo brunton y se mide su longitud con una cinta métrica.



Para determinar la clasificación litológica del afloramiento se reconoce el conjunto de minerales principales que compone la matriz rocosa a partir de una observación visual (lupa geológica). La resistencia de la roca se determina in situ aplicando el Índice de Campo (tabla 1-ISRM), que corresponde a una valoración cualitativa tabulada para establecer una estimación cuantitativa del rango de resistencia uniaxial y el trabajo consiste en limpiar la capa de alteración superficial para comenzar con la prueba de navaja y se pasa a los golpes con la piqueta y los resultados se comparan con la tabla 1.

Para el estudio de las discontinuidades se requiere en principio determinar su ubicación (progresiva) a lo largo de la línea de mapeo y se comienza de izquierda a derecha empleando la cinta de medición se registra el lugar donde la discontinuidad intercepta o corta la línea de mapeo; luego se observa el tipo de discontinuidad (diaclasas, fallas, etc.) y se mide su orientación utilizando la brújula (tipo brunton) para obtener su azimut (ángulo medido en el plano horizontal y va de 0° a 360°) y dips (ángulo medido en el plano vertical de 0° a 90°) para lo cual se aplicó la regla de la mano derecha; la condición de la discontinuidad se obtiene con la observación y puntuación de las siguientes características: la persistencia, se visualiza la longitud o extensión superficial del plano; la rugosidad se determina por la aspereza o irregularidad de la superficie del plano con una estimación visual (perfiles estándar) y al tacto; la apertura es esta distancia o separación entre las paredes rocosas y se mide perpendicular al plano; el relleno se compone de los materiales que se encuentran dentro de la discontinuidad; la alteración/meteorización de estar presente se determina su intensidad. Una vez que se analizadas estas propiedades se emplea la tabla 3 para obtener los valores correspondientes.

CONDICION DE LA FRACTURA = A+B+C+D+E					
PERSISTENCIA	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
PUNTUACION (A)	6	4	2	1	0
ABERTURA	<0.01	0.01-0.1	0.1-1	0.1-5	>5
PUNTUACION (B)	6	5	4	1	0
RUGOSIDAD	muy rugosa	rugosa	ligeramente rugosa	ondulada	suave
PUNTUACION (C)	6	5	3	1	0
RELLENO	sin relleno	duro<5mm	duro>5mm	blando<5mm	blando>5mm
PUNTUACION (D)	6	4	2	2	0
ALTERACION	no alterada	levemente alterada	moderadamente alterada	muy alterada	suelo residual
PUNTUACION (E)	6	5	3	1	0

Tabla 3: Condición de las discontinuidades (ISRM, 1981).

La frecuencia es el espaciado que existe entre las discontinuidades y se obtiene con una cinta métrica colocándola perpendicularmente a los planos para registrar la distancia entre las mismas comparando los resultados con la tabla 4.

DESCRIPCIÓN	ESPACIADO DE LAS JUNTAS	TIPO DE MACIZO ROCOSO	VALORACIÓN
Muy separadas	> 2 m	Sólido	20
Separadas	0,6 – 2 m.	Masivo	15
Moderadamente juntas	200– 600 mm.	En bloques	10
Juntas	60 – 200 mm.	Fracturado	8
Muy juntas	< 60 mm.	Machacado	5

Tabla 4: Descripción del espaciado (ISRM,1981)



Las orientaciones de las discontinuidades se analizan por un tratamiento estadístico mediante el uso del software Dip (Rocscience) obteniendo el diagrama de rosetas y de sus polos de esfuerzo.

3.2.2 Metodología del Logueo Geotécnico

El logueo geotécnico consiste en observar, describir, medir y aplicar la puntuación de los estándares geomecánicos con el uso de tablas establecidas por la ISRM. La información obtenida queda registrada en la planilla de logueo (anexo planillas). El objetivo es obtener datos de las propiedades del macizo (tipo de roca, resistencia, características de las discontinuidades, etc.) encontrando límites de zonas de roca débil y de roca más resistente para conocer su comportamiento mecánico.

Se requiere para el trabajo planillas de mapeo, tarjetas estandarizadas y equipamiento como EPP, cinta métrica, piqueta, lupa, planillas, cámara fotográfica, piqueta, etc. El procedimiento se detalla a continuación:

1. Se ordenan las cajas porta testigo para desplegar y luego se lavar con agua antes de comenzar a loguear para limpiar el lodo de perforación se usaron una botella y un pincel. Se verifica que los extremos del testigo coincidan.
2. Se registra la profundidad o longitud de la corrida por cada tramo perforado (de taco a taco) con una cinta métrica y se compara con los datos del taco para controlar la profundidad de la perforación.
3. La recuperación es la longitud de la roca que sale en el tramo. Hay varias razones de tener una falta de roca, y lo más importante es explicar la falta, por razón natural (zona de falla) o mecánica (por problemas en la perforación).
4. Para determinar el Índice de calidad de la roca (RQD), primero se identifican las fracturas naturales de las que son mecánicas dentro del tramo y se marca con crayón de color amarillo las fracturas mecánicas y con rojo las fracturas naturales. Se aplica la fórmula de Deere y con la cinta métrica se suma toda la longitud de fragmentos de los testigos, en donde la distancia entre las fracturas naturales es más de 10 cm. Cuando la distancia entre fracturas naturales es menor de 10 cm, no se suman estos fragmentos. Si la roca tiene una dureza de 0 a 1,5 no se incluyen estos tramos al RQD (fig. 2- ecuación 8). Una vez determinado el RQD se compara con la tabla 5.

ÍNDICE DE CALIDAD RQD	CALIDAD	VALORACIÓN
0 -25	Muy mala	3
25 – 50	Mala	8
50 – 75	Regular	13
75 – 90	Buena	17
90 - 100	Excelente	20

Tabla 5 Clasificación de macizo rocoso según Deere, 1967.

5. El número de fracturas naturales es la sumatoria de todas las fracturas naturales dentro del tramo perforado (taco a taco). Para identificar las fracturas naturales, se busca estas características: que posean márgenes y bordes redondeados; la continuidad de la

fractura debe cruzar todo el diámetro del testigo; contener relleno alterado o superficies alteradas que es una indicación del caudal de fluido dentro de una fractura abierta; los dos lados de la fractura no se unen bien y/o hay espacio cuando se unen; si la fractura parece cerrada pero tiene relleno blando como arcilla o panizo, es una fractura o zona de debilidad y se la considera como una fractura natural y si la fractura es muy fresca se la considera inducida (mecánica) durante el proceso de perforación. Si hay alguna duda entre natural o mecánica, se la considera como natural.

6. El número de fracturas mecánicas es la sumatoria de las mismas dentro del tramo perforado. Para identificar las fracturas mecánicas, se busca las siguientes características: márgenes o bordes filosos y se unen perfectamente, fracturas que no tienen continuidad, superficies inalteradas y frescas.
7. El número de fracturas es la sumatoria de las fracturas naturales y las mecánicas dentro del tramo perforado (img. 1).



Imagen 1: En líneas rojas las fracturas naturales y en amarillo las mecánicas.

8. Longitud de roca fracturada y cálculo del FRF (formula 13): Se considera una zona de fractura cuando contiene una cantidad de fracturas que no son posibles contar, como zonas de roca molida, triturada y/o fracturada. También se incluye zonas de baja dureza (dureza de R0 o/y R0.5) en la longitud de roca fracturada. Se mide la longitud de esas zonas con la cinta y se coloca en la planilla (LONG. DE ROCA FRACT.) se realiza una descripción corta (zona fracturada, zona alterada, falla) en los comentarios. Después se calcula el número de fracturas (FRF) usando la longitud de la zona en centímetros, dividirla entre 5 y sumar una fractura más.

$$FRF = \frac{\text{LONG. DE ROCA FRACT. (cm)}}{5} + 1 \quad (13)$$

La razón de medir esta zona y de poner los comentarios es para indicar una zona de falla (img. 2), zona débil o zona de alto fracturamiento en el logueo.



Imagen 2: Longitud de roca fracturada, zona de falla.

9. Grado de fracturamiento es un parámetro muy importante para la caracterización del macizo rocoso. Para obtener el grado de fracturamiento se emplean los valores obtenidos de la recuperación (cm) y el número de fracturas (natural, mecánica y el FRF) aplicando la formula siguiente:

$$\text{GRADO} = \frac{\text{RECUPERACIÓN (cm)}}{\text{NÚMERO DE FRACTURAS (FRF + FN + FM)}} \quad (14)$$

Según corresponda la intensidad se coloca o no un signo que puede ser negativo cuando mayor es la intensidad del fracturamiento o positivo si es de menor intensidad (tabla 6).

Grado	Espaciamiento Medio de las Fracturas	Descripción
A- A A+	<1cm	Mayormente panizo de falla o roca alterada con/sin pocos fragmentos de roca. Panizo y roca molida o roca alterada. Roca molida con/sin poco panizo, o una mezcla de roca alterada con fragmentos de roca fresca.
B- B B+	1 a 5cm	Roca molida - diámetro de los fragmentos 1 a 2.33cm. Roca muy fracturada con menor de 30% del pared de pozo evidente. Roca molida - diámetro de los fragmentos 2.33 a 3.67cm. Puedes ver algunas paredes del pozo con los fragmentos. Roca fracturada - espaciamiento de fracturas 3.67 a 5cm. Puedes ver el diámetro entero del pozo con los fragmentos.
C- C C+	5 a 10cm	Espaciamiento medio de roturas 5 a 6.67cm. Espaciamiento medio de roturas 6.67 a 8.33cm. Espaciamiento medio de roturas 8.33 a 10cm.
D- D D+	10 a 20cm	Espaciamiento medio de roturas 10 a 13.33cm. Espaciamiento medio de roturas 13.33 a 16.67cm. Espaciamiento medio de roturas 16.67 a 20cm.
E- E E+	>20cm	Espaciamiento medio de roturas 20 a 30cm. Espaciamiento medio de roturas 30 a 60cm. Espaciamiento medio de roturas >60cm.

Tabla 6: Grado de fracturamiento. (ISRM. 1981)

10. Clasificación de la dureza: se emplea el índice de campo empírico medido con pruebas de navaja y seguido a golpe de piqueta según corresponda (imagen 3). Para asignar la dureza se selecciona un testigo de tamaño de 10 a 15 cm más o menos; primero se usa la uña para rasgar, después la navaja y después golpes con la piqueta. Según la clasificación en la tabla 1 se obtiene la dureza que corresponde a códigos alfanuméricos.



Imagen 3 Prueba de dureza en testigos empleando la navaja

11. El grado de alteración o meteorización se obtiene a partir de las descripciones de la tabla 7. Para clasificar la roca en los diferentes niveles de alteración, se determina el grado denominado por las letras A, B, C, D, F. Por ejemplo, el grado A cuando la roca se encuentra completamente alterada / meteorizada y un grado F para una roca fresca o con incremento en la competencia por alteración (silicificación); cada grado se divide en tres según su intensidad llevando el signo negativo después de la letra (grado) si la intensidad es alta y el signo positivo si la intensidad es baja; entre estos opuestos se encuentra el grado propiamente dicho que no lleva signo.

Grado	Descripción
A- A A+	Suelo Residual/Zona de Falla - La textura original de la roca se encuentra destruida.
B- B B+	Completamente intemperizada/alterada - Se observa remanentes de la textura original y estructuras relicticas de la roca, pero la roca se descompone y es friable.
C- C C+	Altamente intemperizada/alterada - La roca se decolora y el esfuerzo se reduce significativamente debido al intermperismo.
D- D D+	Moderadamente intemperizada/alterada - La roca se decolora pero el esfuerzo solo se afecta débilmente - discontinuidades intemperizadas.
E- E E+	Débilmente intemperizada/alterada - El esfuerzo de la roca no cambia - el intemperismo solo afecta a las fracturas.
F- F F+	Fresca e inalterada - La alteración puede resultar en un incremento de la competencia de la roca (silicificación).

Tabla 7 Tabla para obtener el grado de alteración. (ISRM, 1981)

3.2.3 Metodología para el Mapeo de Geomecánico

Se aplica el mapeo lineal y en detalle desde el portal de acceso hasta la progresiva 130 del TCVO. El trabajo consiste en observar, medir y describir los parámetros del macizo rocoso. Se utilizaron tablas estandarizadas (ISRM) para las características de la roca

sectorizadas en progresivas cada 4 metros. Se evalúan características representativas del macizo con el fin de obtener los índices Q y RMR (Pa-Pg130).

Para ingresar al TCVO la labor tiene que estar saneada y libre de equipos pesados (para realizar un trabajo seguro), se realiza un recorrido para verificar las condiciones de la labor y los posibles sectores de inestabilidad como el frente de avance que es el sector más vulnerable por las voladuras y ante esta circunstancia se toman precauciones de evitar el tiempo de permanencia en los sectores inestables evitando el trabajo en el frente de avance. Para comenzar a trabajar se marcan las progresivas en el hastial derecho con una cinta métrica y se marca la numeración correspondiente con aerosol. La información se registra aplicando un mapeo lineal y en detalle a lo largo de una línea (imaginaria) a la altura del pecho que se toma como referencia. El estudio de la matriz rocosa se realiza observando con lupa geológica reconociendo su litología, alteración, textura y estructura; para obtener su resistencia se emplea el índice de campo (tabla 1). Para estudiar las discontinuidades se registra su progresiva con la ayuda de una cinta métrica y se mide su orientación con la brújula tipo brunton (azimut y dip) se aplica el método de la mano derecha. Se determina los sistemas de diaclasas (sets) fig. 7.

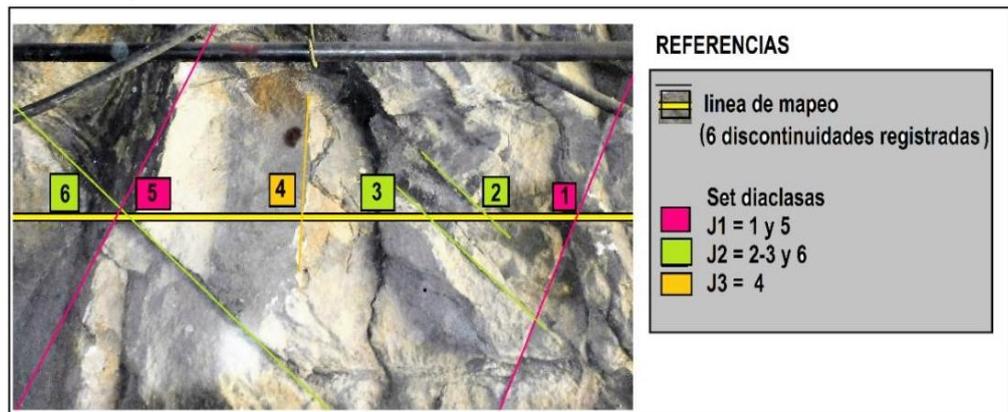


Figura 7: mapeo lineal realizado a lo largo del hastial derecho.

Los parámetros geomecánicos de Bieniawski se obtienen a partir de:

1. Resistencia de la Roca Intacta (IRS): para estimar la dureza de la roca intacta se emplea el índice de campo (tabla 1) mediante esfuerzos aplicados en ambos hastiales utilizando una navaja y golpes de piqueta; obteniendo el valor equivalente a Mpa se usa la tabla 10.

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)	ENSAYO DE CARGA PUNTUAL (MPa)	VALORACIÓN
Extremadamente dura	>250	> 10	15
Muy dura	100 – 250	4 – 10	12
Dura	50 – 100	2 – 4	7
Moderadamente dura	25 – 50	1 – 2	4
Blanda	5– 25		2
Muy blanda	1 – 5	<1	1
			0

Tabla 10: Resistencia de la roca intacta y su valor para la clasificación de Bieniawski.



2. Índice de Calidad de la Roca (Rock Quality Designation): el índice RQD se obtiene a partir del método de Priest y Hudson (1976) utilizando la siguiente formula:

$$RQD = 100 e^{(0.1\lambda)} (0.1\lambda + 1)$$

Donde (λ) = nº de fractura / longitud de mapeo (longitud de 4 m). Una vez obtenido el índice RQD se emplea la tabla 11.

ÍNDICE DE CALIDAD RQD	CALIDAD	VALORACIÓN
0 -25	Muy mala	3
25 - 50	Mala	8
50 - 75	Regular	13
75 - 90	Buena	17
90 - 100	Excelente	20

Tabla 11 RQD para la clasificación de Bieniawski.

3. El espaciamiento entre las discontinuidades (J_s): es la frecuencia de discontinuidades y se obtiene al medir la distancia entre las mismas (perpendicular) utilizando la tabla 4.
4. Condición de la Fractura (J_C): consiste en determinar las condiciones inherentes de la cara de las discontinuidades donde se observa características como *la longitud de la discontinuidad*, abertura, rugosidad, relleno, alteración y se obtiene el valor empleando la tabla 3.
5. El agua subterránea es la condición que se observa en hastiales y corona con el fin de identificar sectores con presencia de agua como humedad y goteo; según corresponde se coloca el valor usando la tabla 12.

CAUDAL POR 10 M DE TÚNEL	RELACIÓN PRESIÓN	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
	AGUA - TENSIÓN MAYOR		
Nulo	0	Seco	15
< 10 litros/min	< 0,1	Ligeramente húmedo	10
10-25 litros/min	0,1 - 0,2	Húmedo	7
25-125 litros/min	0,2 - 0,5	Goteando	4
>125 litros/min	> 0,5	Fluyendo	0

Tabla 12 valores según Bieniawski para la condición de agua presente en la excavación.

6. La orientación de las discontinuidades con respecto al eje del túnel se obtiene a partir de un análisis estructural que considera la orientación de las discontinuidades con respecto al eje del túnel; se determina a partir de la tabla 13.

Dirección Perpendicular al Eje de la obra				Dirección Paralelo al Eje de la obra		
Excav. Con buzamiento.		Excav. Contra buzamiento		Excav. Con buzamiento.		Excav. Contra buzamiento
Buz	Buz	Buz	Buz	Buz	Buz	Buzamiento
45° - 90°	20° - 45°	45°-90°	20° - 45°	45° - 90°	20° - 45°	0 - 20°
Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable	Medio	Cualquier dirección es desfavorable
0	-2	-5	-10	-12	-5	-10

Tabla 13: valor para excavaciones según Bieniawski.

- Para obtener el índice RMR se suman los 6 valores obtenidos de las tablas estandarizadas y sectorizando en progresivas de 4m. Una vez obtenido el valor del RMR se utiliza la tabla 14 para obtener la calidad del macizo rocoso.

Clase	Calidad de Roca	RMR
I	Muy Buena	81 - 100
II	Buena	61 - 80
III	Regular	41 - 60
IV	Mala	21 - 40
V	Muy Mala	0 - 20

Tabla 14 clasificación de la calidad de la roca a partir del índice RMR.

Los parámetros de Barton se obtienen a partir de:

- El valor del RQD que se obtuvo con la fórmula de Priest y Hudson (1976).
- El coeficiente J_n (Joint Set Number) se determina al medir las orientaciones de las discontinuidades que representan las familias interceptadas; se emplea la tabla 15 para obtener su valor.

Jn número de familias	
Roca Masiva, sin diaclasas	0,5
Roca Masiva, con pocas diaclasas	1
Una familia de diaclasas	2
Una familia y algunas diaclasas aleatorias	3
Dos familias de diaclasas	4
Dos familias y algunas diaclasas aleatorias	6
Tres familias de diaclasas	9
Tres familias y algunas diaclasas aleatorias	12
Cuatro o mas familias, roca muy fracturada	15
Roca Triturada	20

Tabla 15 Coeficiente J_n según el número de familias que contiene el macizo rocoso.



3. El coeficiente J_r (Joint Roughness Number) es un valor que se obtiene al observar el plano, forma (ondulada, plana o lisa, etc.) y rugosidad de la discontinuidad utilizando la tabla 16.

J_r coeficiente de rugosidad	
Diaclasas Limpias	
Diaclasas discontinuas	4
Diaclasas onduladas, rugosas e irregulares	3
Diaclasas onduladas, lisas	2
Diaclasas onduladas, perfectamente lisas	1,5
Diaclasas planas, rugosas o irregulares	1,5
Diaclasas planas, lisas	1
Diaclasas planas, perfectamente lisas	0,5
Relleno impide contacto entre las dos caras	
Materiales arcillosos, arenoso o triturado	1

Tabla 16 valores empleados según la rugosidad de los planos de discontinuidades

4. Para obtener el valor de J_a (Joint Alteration Number) se determina la condición o grado de alteración de las discontinuidades utilizando la tabla 17.

J_a coeficiente de alteración	
Sin minerales de relleno	
Discontinuidad cerrada, dura	0,75
Discontinuidades inalteradas	1
Ligera alteración	2
Alteraciones arcillosas	4
Relleno en pequeño espesor	
Con partículas arenosas	4
Minerales arcillosos no blandos	6
Minerales arcillosos blandos	8
Minerales arcillosos expansivos	9
Relleno en gran espesor	
Roca triturada/desintegrada y arcilla	10
Zona de arcilla limosa o arenosa	5
Zona arcillosa de gran espesor	20

Tabla 17 empleada para obtener el coeficiente de alteración J_a

5. El coeficiente J_w , asociado a la condición de agua presente en el macizo se obtiene a partir de una observación de los hastiales y corona donde se verifica su estado de humedad (seco, goteo o flujo de agua), intensidad y lavado de relleno; los valores estimados se obtienen de la tabla 18.

DESCRIPCIÓN	Jw	Presión del agua Kg/cm ²
- Excavaciones secas o de influencia poco importante.	1	<1
- Fluencia o presión medias. Ocasional lavado de los rellenos de las Diaclasas.	0.66	1-2.5
- Fluencia grande o presión alta, considerable lavado de los rellenos de las Diaclasas.	0.33*	2.5-10
- Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas, decayendo con el tiempo.	0.1-0.2*	>10
- Fluencia o presión de aguas excepcionalmente altas y continuas, sin disminución.	0.05-0.01*	>10

Los valores presentados con el Signo * son solo valores estimados. Si se instalan elementos de drenaje, hay que aumentar Jw

Tabla18 valores empleados para obtener el coeficiente Jw.

6. EL coeficiente SRF (Stress Reduction Factor) asociado a la condición de esfuerzos en el macizo rocoso se obtiene con la observación según indica la tabla 19.

1.-Zona débil que interceptan la excavación y pueden causar caídas de bloques.	SRF	3.-Roca fluente, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostática.	SRF
A. Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor.	10	M. Presión de Flujo suave.	5-10
B. Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50 m.).	5	N. Presión de flujo intensa.	10-20
C. Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente. (Profundidad de excavación > 50 m.).	2.5	3.-Roca expansiva, actividad expansiva química dependiendo de la presencia del agua.	S.R.F
D. Varias zonas de fractura en roca competente libre de arcilla, roca suelta alrededor. (Cualquier profundidad).	7.5	O. Presión Expansiva suave.	5-10
E. Sólo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla (Profundidad de excavación < 50 m.)	5	P. Presión expansiva intensa.	10-15
F. Sólo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla. (Profundidad > 50 m.).	2.5		
G. Diaclasas abiertas sueltas, muy fracturadas. Cualquier profundidad.	5		
2.-Rocas competentes con problemas tensionales en las rocas	σ_1 / σ_3	σ_1 / σ_2	SRF
H. Tensiones pequeñas cerca de la superficie.		>13	2.5
I. Tensiones medias.	> 200	13-0.33	1.0
J. Tensiones altas estructura muy compacta, favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales.	200-10	10-5	0.66-0.33
K. Explosión de roca suave (roca Masiva).	5-2.5		0.33-0.16
L. Explosión de roca fuerte (roca masiva.)	<2.5		<0.16

Observaciones al SRF:

σ_1 y σ_3 son las resistencias a la compresión y tracción respectivamente de la roca, σ es el esfuerzo principal máximo que actúa en la roca.

Reducir los valores del SRF en un 25 a 50% si las zonas de rotura solo influyen pero no interceptan a la excavación.

En los casos que la profundidad de las clave del túnel sea inferior a la altura del mismo se sugiere aumentar el SRF de 2.5 a 5.

Para campos de tensiones muy anisótropos cuando $5 \leq \sigma_1 / \sigma_3 \leq 10$, reducir el σ_1 / σ_2 a 0.8 y 0.8 σ_1 / σ_3 .

Tabla 19: Se presentan tres situaciones para obtener los valores para SRF.



7. Una vez obtenidos los coeficientes de Barton, se introducen los valores en la fórmula siguiente:

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

8. Una vez obtenido el índice Q la calidad del macizo se obtiene de la tabla 20.

Valor de Q	Calidad del Macizo
$Q \leq 0.01$	Excepcionalmente Mala.
$0.01 < Q < 0.1$	Extremadamente Mala.
$0.1 < Q < 1$	Muy Mala.
$1 < Q < 4$	Mala.
$4 < Q < 10$	Regular o Media.
$10 < Q < 40$	Buena.
$40 < Q < 100$	Muy Buena.

Tabla 20: Calidad de macizo rocoso a partir del índice Q.

3.3 Etapa III: Ensayos de Laboratorio

3.3.1 Determinación de la densidad de la roca

La densidad natural o húmeda es la relación entre la masa de una muestra de roca en su estado natural, con un cierto contenido de humedad y el volumen que ocupa (Oyanguren y Monge, 2007). Se expresa mediante:

$$\delta = \frac{m}{v}$$

Donde δ es densidad, m es la masa de la muestra (gr) y v volumen desplazado (cm^3)

3.3.2 Resistencia a la Compresión Uniaxial

Para realizar el ensayo de compresión uniaxial de las probetas obtenidas de los sondajes (ejecutados en el sector de estudio) se emplea la siguiente metodología:

1. Se realiza la selección de muestras con el volumen de la probeta de diámetro de 64 mm, debe tener una longitud mayor a 130 a 140 mm luego cortarlas al tamaño mencionado. La roca incluye todos los componentes sin mostrar irregularidades ni defectos (que influyan la cinemática de su ruptura) como ser: clastos de tamaño grande, amígdalas, vetillas, estructuras selladas, huecos, fracturas u otro tipo de discontinuidades.
2. Se recolectan muestras representativas de la unidad litológica en estudio con el mismo tipo y grado de alteración. Cada probeta es identificada mediante secuencia siguiente de identificación: Roca - Sondaje / Metraje - Número de la probeta (imagen 4).



Imagen 4: Muestras seleccionadas para ensayo de compresión uniaxial.

3. Preparación de las muestras: se miden las probetas a una longitud de 130 a 140 mm, con el pie de metro y se marca con marcador permanente para luego cortar con la sierra circular de modelo sensitiva (img.5).



Imagen 5: izquierda sierra sensitiva; derecha probetas ya cortadas

4. Se pesan en la balanza de precisión
5. Se instala la probeta al centro de la prensa de compresión y se acciona el sistema hidráulico (imag.6).

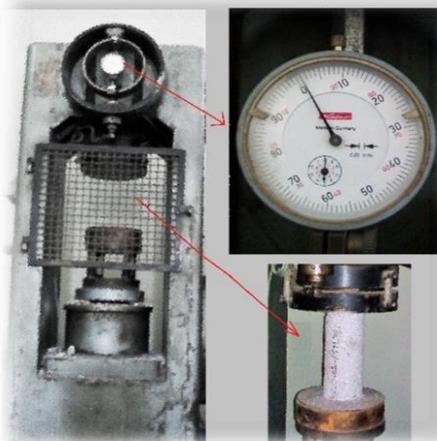


Imagen 6. Equipo utilizado en el ensayo de Compresión Uniaxial

6. Se registra la carga de ruptura. Se debe observar el tipo de ruptura y las características geológicas y geotécnicas de la muestra de roca.
7. Para calcular el esfuerzo de Compresión Uniaxial se utiliza la siguiente relación:

$$\sigma_c = \frac{p}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

σ_c = resistencia a la compresión uniaxial

p = carga de ruptura (N)

D = diámetro de la probeta (mm)

3.4 Etapa IV- Análisis de datos mediante Software específicos

3.4.1 Software RocLab

Es un programa de computación que permite determinar los parámetros de resistencia del macizo rocoso, de acuerdo con el Criterio de Rotura Generalizado de Hoek-Brown, es un producto de libre distribución desarrollado por Rocscience Inc.

La tarea de determinar propiedades del macizo rocoso se realiza para proporcionar datos de entrada a los programas de análisis numérico, que requieren definición de las propiedades del material para ejecutar cálculos. El software RocLab proporciona estimaciones confiables de las propiedades de la resistencia de masa rocosa como cohesión, ángulo de fricción, módulo de deformación y resistencia a la tracción.

Se procede de la siguiente manera:

1. Con el valor Mpa de resistencia uniaxial (probetas ensayadas) se selecciona el sigci (MPa), figura 8.

VALORES INTRODUCIDOS

Field Estimate of Strength	Examples	Strength (MPa)
Specimen can only be chipped with a geological hammer.	Fresh basalt, chert, diabase, gneiss, granite, quartzite.	>250
Specimen requires many blows of a geological hammer to fracture it.	Amphibolite, sandstone, basalt, gabbro, gneiss, granodiorite, limestone, marble, rhyolite, tuff.	100-250
Specimen requires more than one blow of a geological hammer to fracture it.	Limestone, marble, phyllite, sandstone, schist, shale.	50-100
Cannot be scraped or peeled with a pocket knife, specimen can be fractured with a single blow from a geological hammer.	Claystone, coal, concrete, schist, shale, siltstone.	25-50
Can be peeled with a pocket knife with difficulty, shallow indentation made by firm blow with point of a geological hammer.	Chalk, rock-salt, potash.	5-25
Crumbles under firm blows with point of a geological hammer, can be peeled by a pocket knife.	Highly weathered or altered rock.	1-5
Indented by thumbnail.	Stiff fault gouge.	0.25-1

Uniaxial Compressive Strength (sigci): 61 MPa

Figura 8: cuadro para la selección del valor de la resistencia sgci.

2. Se selecciona el GSI correspondiente; figura 9.

VALORES INTRODUCIDOS

Hoek-Brown Classification

sigci 30 MPa

GSI 50

mi 10

D 0

Pick GSI Value

Rock Type: General

GSI Selection: 67

OK

STRUCTURE	SURFACE CONDITIONS				
	VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70	67		
VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60	50		
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			40		
DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				30	
LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes					20
					10

DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES

DECREASING SURFACE QUALITY

Figura 9: cuadro para seleccionar el valor GSI.

3. Selección del valor de la litología (fig.10).

VALORES INTRODUCIDOS

Hoek-Brown Classification

sigci 30 MPa

GSI 50

mi 10

D 0

Pick Mi Value

List of Mi Values

- Agglomerate 19 ± 3
- Gabbro 27 ± 3
- Granite 32 ± 3
- Granodiorite 29 ± 3
- Noirite 20 ± 5
- Porphyries 20 ± 5

Selected Mi Value

Mi Value: 32

Filter List

Rock Type

- Sedimentary
- Igneous
- Metamorphic

Texture

- Coarse
- Medium
- Fine
- Very Fine

OK Cancel

Figura 10: Cuadro correspondiente a la litología de la matriz rocosa *mi*.

4. Finalmente se selecciona el factor de disturbancia (fig.11)

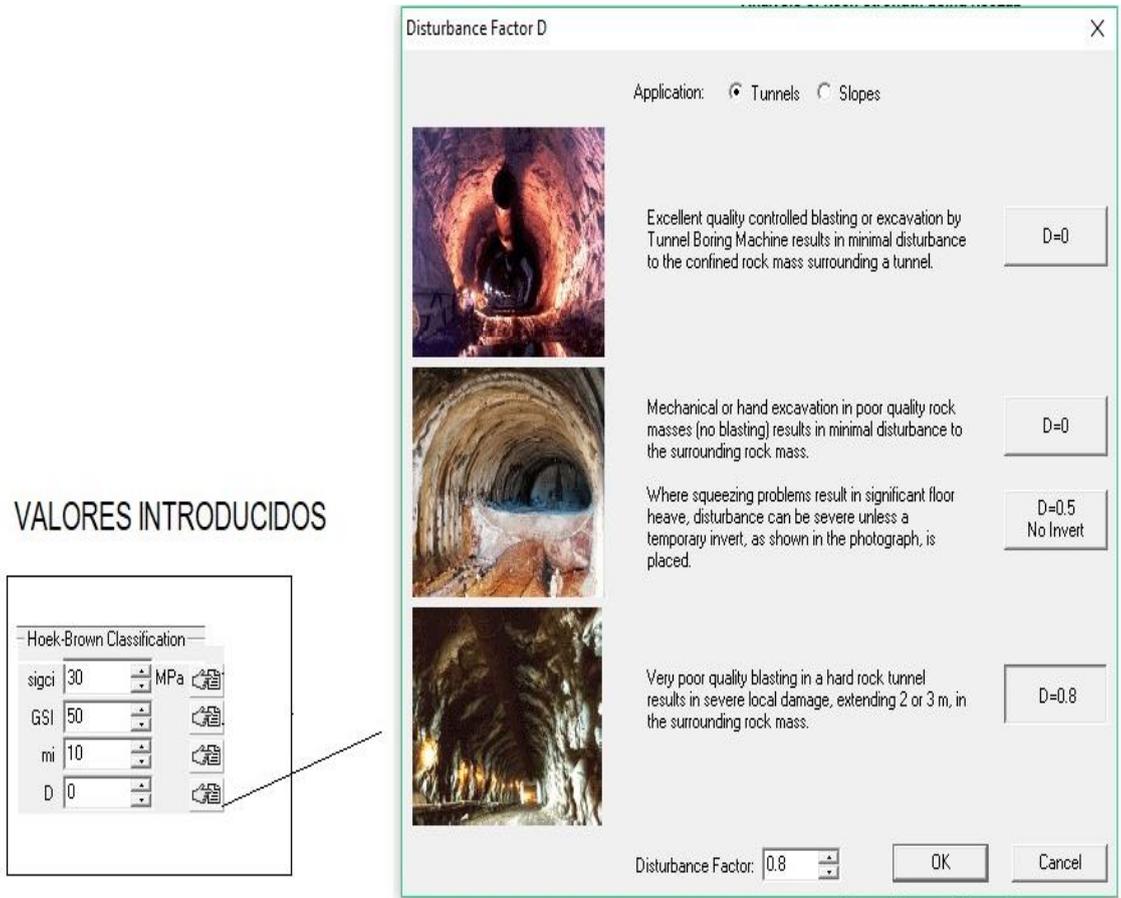


Figura 11 Cuadro para introducir el factor de disturbancia D.

3.4.2 Software Unwedge

El Unwedge es un programa de análisis de estabilidad de cuñas y visualización de discontinuidades estructurales que interceptan en excavaciones subterráneas en macizo rocoso. Permite calcular el factor de seguridad de cuñas inestables, y modelizar la influencia de los elementos de refuerzo en su estabilidad

Con objeto de analizar las cuñas se introduce los valores de las discontinuidades interceptadas a lo largo del TCVO de la siguiente manera:

1. Se construye la labor (1) y se introduce los valores de Dip y Dip Dir. (2) fig. 12.

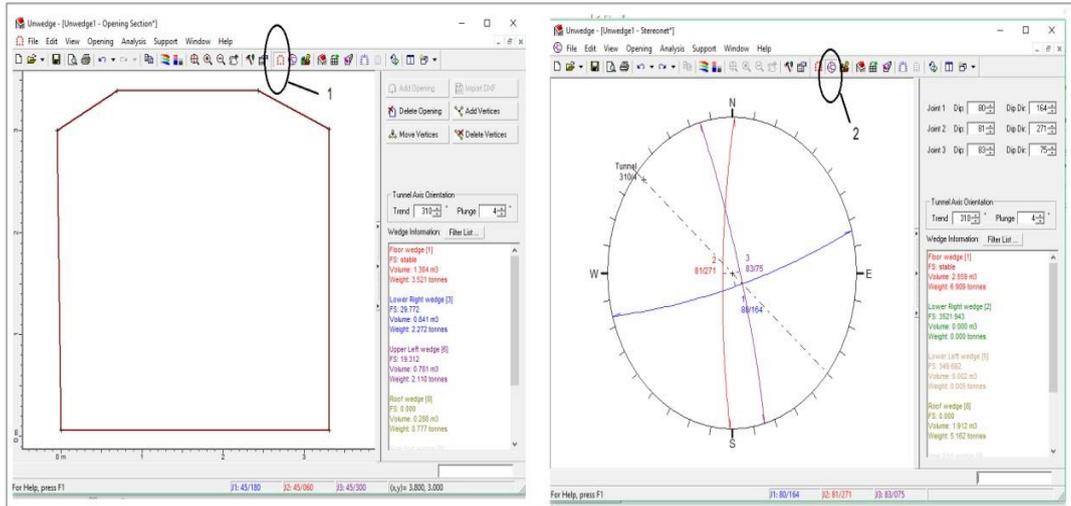


Figura12 derecha (1) construcción de la labor; izquierda (2) introducir valores de dip dip-Dir.

- Se analiza la formación de cuña visualizando el factor de seguridad FS para obtener las medidas de sostenimiento figura 13.

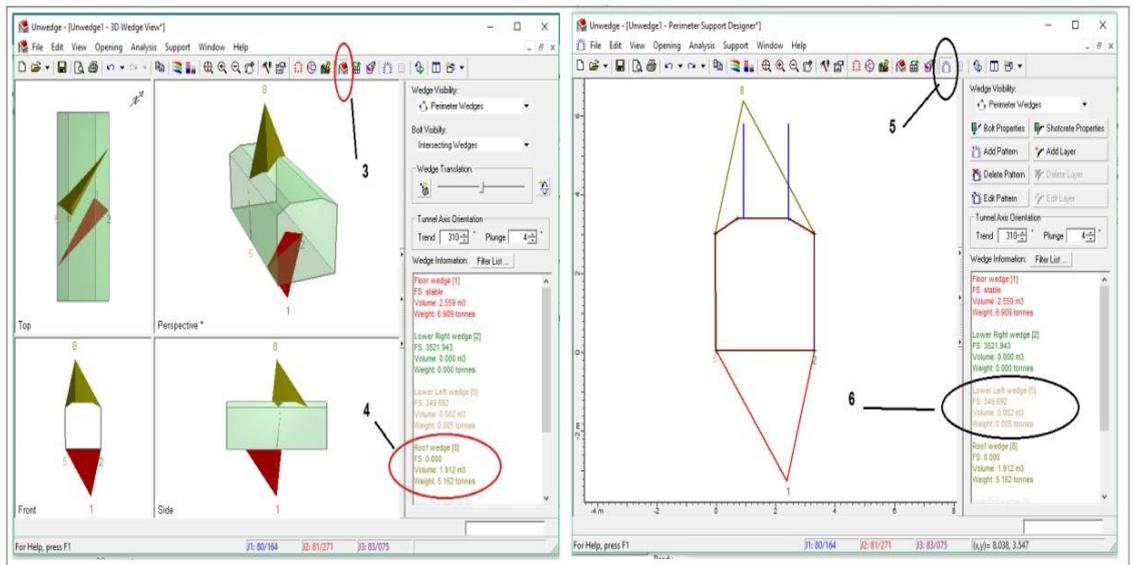


Figura 13: Análisis de cuña y medidas de sostenimiento.



CAPÍTULO 4 RESULTADOS

4.1 Marco Geológico Minero

4.1.1 Geología

La región de estudio se ubica en la provincia geológica de Sierras Pampeanas Noroccidentales (Caminos, 1979). Las rocas del basamento cristalino están representadas por granitoides (paleozoico) que forman parte del Batolito Capillitas, estudios realizados indican que estas rocas plutónicas se formaron bajo condiciones de presión < 6 Kbar y temperaturas de 750 - 800°C (Rossi et al., 2002; Toselli et al., 2002). Unidades volcánicas cenozoicas grupadas bajo el nombre de Complejo Volcánico (Gonzales Bonorino, 1950) perforan el sustrato granítico y forman un cuerpo discordante o chimenea volcánica; procesos coetáneos generan fluidos hidrotermales dando lugar a un depósito Epitermal con vetas mineralizadas que se alojan en las vulcanitas y las rocas plutónicas. Sedimentos modernos (cuaternarios) tienen poca participación, se conservan en los flancos menos inclinados de la Sierra o como relictos preservados de la erosión en las partes más elevadas de las misma.

4.1.2 Estratigrafía

La estratigrafía de la zona se caracteriza por las rocas más antiguas representadas por un basamento granítico paleozoico elevado por fallas inversas; unidades cenozoicas volcánicas y sedimentos cuaternarios con menor participación.

1) Paleozoico Inf- Ordovícico (Granito Capillitas)

Es un granito (adamellítico) de color gris a rosado, su estructura es maciza y posee una textura porfírica que pasa gradualmente a granular. La composición modal de la roca posee cuarzo (38%), oligoclasa (22%), microclino (15%), biotita (13%), muscovita (12%) (Gonzales Bonorino, 1951).

Los afloramientos correspondientes al Batolito Capillitas fueron mencionados por primera vez en los trabajos regionales de González Bonorino (1950) y luego estudiado con más detalle por Toselli e Indri (1984), Indri (1986) y Toselli et al. (1996).

La edad según la facies peraluminoso del granito Capillitas corresponde al Ordovícico temprano, 470 ± 3 Ma, de acuerdo con una datación sobre circones, (U/Pb shrimp sobre circones, Rapela et al. 1999). Otras determinaciones K/Ar sobre roca total indican edades algo más jóvenes 442 ± 13 Ma y 426 ± 12 Ma (McBride et al., 1976) y 471 ± 15 Ma. Entre 471 y 414 Ma en base a dataciones radimétricas K/Ar compiladas por Aceñolaza et al. (1982).

2) Cenozoico- Mioceno-Plioceno (Complejo Volcánico)

Las rocas volcánicas tienen diversa participación de riolitas, dacitas, traquita y basaltos (Márquez Zavalía, 1988).

La Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA, 1978-81) consignó dos dataciones K/Ar realizadas sobre la dacita Pan de Azúcar y la riolita que dieron $5 \pm 0,5$ Ma. Esto ubicaría a estas rocas en el límite entre el Mioceno Sup. - Plioceno Inf. Dataciones K/Ar



en dacitas y riolitas asignaron una edad mínima de $5 \pm 0,5$ Ma (JICA, 1978-81). Un dique de pórfido dacítico que intruye la diatrema riolítica fue datado en 5,16 Ma (Sasso, 1997).

3) Cuaternario -Holoceno (sedimentos)

Los sedimentos tienen poca participación comprenden depósitos de gravas mal consolidadas asociadas directamente a los cursos superficiales más recientes de valles y quebradas. Están formados por gravas y bloques angulosos, sueltos, de mala selección, asociados a flujos torrenciales.

4.1.3 Historia Geológica

En el Cámbrico superior a Ordovícico inferior se produce la reactivación de subducción entre la corteza oceánica de la placa de Iapetus y la placa continental del protomargen del Gondwana afectando al antepaís Pampeano y a la cuenca post-pampeana provocando procesos de metamorfismo y magmatismo de arco (Ramos 1999). La actividad ígnea está representada por el Batolito Capillitas (Ordovícico Temprano-Medio) que se encuentra constituido por granitoides peraluminosos tipo-S característicos del magmatismo Famatiniano (Toselli et al., 1996; Pankhurst et al., 2000; Rossi et al., 2002), y por plutones menores coetáneos tipo-S y tipo-I de edad ordovícica (Knüver, 1983; Toselli, 1992; Rapela et al., 2005). La finalización de la Orogenia Famatiniana se asocia a la acreción del terreno Precordillera (Thomas y Astini, 1996; Aceñolaza et al., 2002; Finney, 2007).

La ausencia de rocas pertenecientes a las eras Paleozoica (medio-superior) y Mesozoica, no excluye que durante ese tiempo haya existido una deposición marina o continental que en los últimos periodos se pudo eliminar por la erosión que causó la peneplanicie del basamento cristalino (Gonzales Bonorino, 1950).

En la era Cenozoica se producen las erupciones de materiales piroclásticos con intrusiones volcánicas que tuvieron como fase final el ascenso de fluidos hidrotermales mineralizantes originando yacimientos metalíferos (Gonzales Bonorino, 1950).

Al principio del Holoceno las condiciones climáticas fueron cálidas y secas. Luego el clima se tornó frío y húmedo, sometiendo a condiciones glaciarias las partes altas del Aconquija (Gonzales et al 2000).

4.1.4 Tectónica

La región se caracteriza por fallas inversas que ascienden los bloques del basamento con alto ángulo en superficie tornándose lístricas en profundidad (González Bonorino, 1950). La sierra de Capillitas posee un rumbo NE-SW, consiste en un bloque de basamento granítico elongado de unos 15 km de largo por 5 km de ancho. Estructuralmente el bloque es simétrico, lo que indica un alto grado de erosión sobre ambas vertientes implicando el gran tiempo de exposición en la superficie. En su vertiente noroccidental se ubica la falla Lavadero de carácter inverso que eleva el bloque alcanzando un rechazo de 4000 m según Durand (1980); en su ladera suroriental se ubica el lineamiento Aconquija-Tucumán. Hay además fallas normales arrumbadas al NW que cortan a las anteriores.

El vulcanismo se halla vinculado con la horizontalización de la zona de subducción (entre los 27° y 33° S) de la placa de Nazca, en la zona interna del arco volcánico Mioceno de



los Andes Centrales. Los movimientos Andinos culminaron con el gran levantamiento del Plioceno que se extiende hasta el pleistoceno con los esfuerzos compresivos de la fase Diaguita que afectaron nuevamente a los bloques tectónicos del basamento con fracturación NE-SW (Dal Molin 2003).

4.1.5. Tipo de Yacimiento

El Distrito Minero Capillitas es un tipo de Yacimiento Epitermal de alta a intermedia sulfuración (Putz et al., 2009). Se integra por numerosas vetas que se alojan en las vulcanitas (chimenea Volcánica) y en las rocas plutónicas (Granito Capillitas) siguen un patrón de fracturas subrectangulares formado por dos sistemas con orientación NW-SE y NE-SW.

La alteración hidrotermal que acompaña a la mineralización consiste principalmente en alteración fílica y alteración argílica avanzada; teniendo a las vetas como centros de irradiación. La mineralogía primaria está representada por sulfuros y sulfosales en ganga silícica y carbonática; la secundaria por sulfatos, sulfuros, carbonatos y óxidos. El estudio mineralógico de detalle evidenció la presencia de más de 120 minerales entre especies primarias y secundarias (Márquez Zavalía, 1988). Los minerales primarios más representados son: pirita, esfalerita, galena, calcopirita, marcasita, pirrotina, tennantita, enargita, bornita, estannita y oro. Entre los minerales secundarios predominan calcosina, covellina, digenita, limonita, criptomelano, pirolusita y romanechita. Los minerales de ganga son fundamentalmente: cuarzo, alunita y rodocrosita.

4.1.6 Antecedes Mineros del Sector de Estudio

En un comienzo sus vetas fueron explotadas por sus riquezas metalíferas, el oro en épocas de aborígenes, el cobre en el siglo XIX y a principio del siglo XX se restringe exclusivamente a la extracción de la Rodocrosita una piedra semipreciosa compuesta por carbonato de manganeso (CO_3Mn).

Desde el año 2012 hasta la actualidad la explotación está a cargo de la empresa provincial Cámara Minera y Energética Sociedad del Estado (CAMYEN S.E). La producción se efectúa en tres "sectores de vetas", la 9 de Julio, 25 de mayo alojadas en la chimenea volcánica y la veta Ortiz se sitúa en la roca granítica. El sistema de explotación es de circado descendente y se realiza con dificultad con costos elevados por el bombeo semicontinuo que se requiere para bajar el nivel de agua en la profundidad de las labores. Estos inconvenientes y la falta del conocimiento de sus reservas ponen al yacimiento en una situación al límite. Se considera a la veta Ortiz como prioridad para empezar a solucionar estos inconvenientes y para dar vida útil a la mina. Estudios realizados (año 2014) en conjunto con la secretaria de minería (donde formo parte el prestigioso Dr. Peralta) dan lugar a una exitosa campaña de exploración en el sector de estudio (3 perforaciones diámetro del testigo, HQ) cuyos trabajos estuvieron a cargo de empresa contratista GOLAND SA. Con resultados favorables (etapa de exploración) se dio lugar (año 2015 -2016) a la construcción del TCVO, emplazado en las coordenadas $27^\circ 18' 38,5''$ LS y $66^\circ 39' 20,7''$ LW; con un azimut de 310° ; diámetro 3.50 x 3.50m y una longitud lineal de 220 m (fig.14).

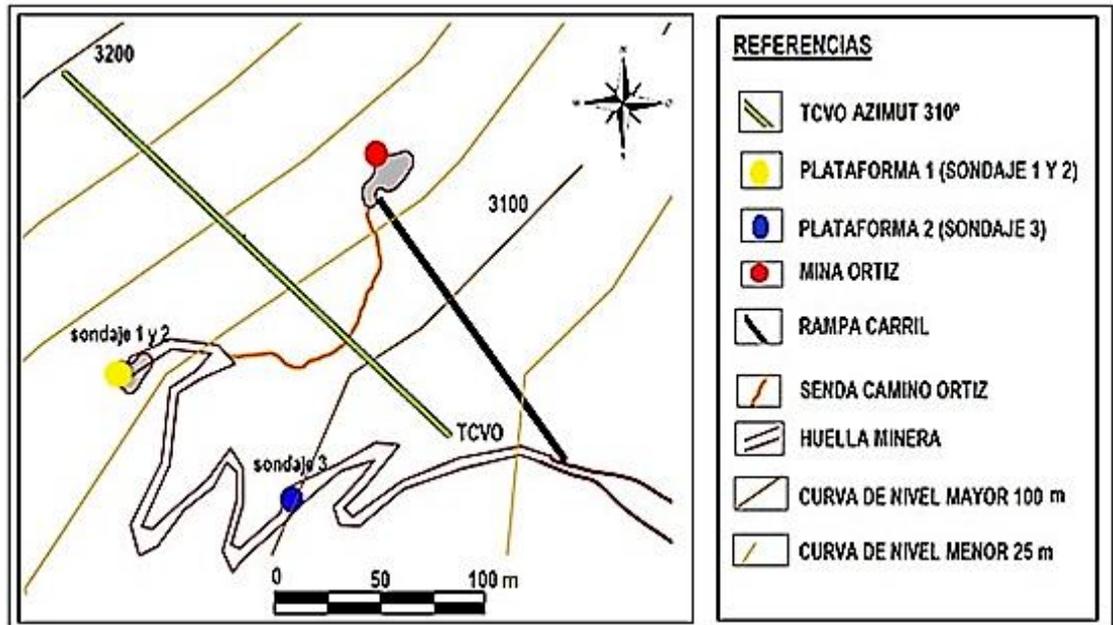


Fig14: Ubicación de los trabajos ejecutados en el sector de estudio (escala gráfica en metros).

El túnel en la actualidad forma el nuevo acceso al sector de explotación de la Veta Ortiz; esta obra permitió drenar el agua naturalmente dando solución a los costos de bombeo; a su vez cambio el método de explotación tradicional de circado descendente (difícil) a un sistema de minado más favorable de realce sobre saca (ascendente).

4.2 Mapeo del Macizo Rocoso en la Superficie del Sector TCVO

El sector donde se emplaza el TCVO es una región montañosa compuesta por afloramientos rocosos, que fueron aprovechados para comenzar con el estudio del macizo. Las condiciones en la superficie son favorables para realizar observaciones por la iluminación y extensión visual que nos brinda.

Se observa que los afloramientos se componen en su totalidad de una roca granítica y sus discontinuidades son aprovechadas por el agua, que en parte se infiltra y otra se drena formando tributarios esporádicos donde se ubican materiales de distintos tamaños desde bloques hasta limos y arcillas.

La topografía es complicada (pendientes abruptas) y el trabajo de mapeo (MP) se realizó en 5 estaciones de mapeo ubicadas (cuadro 1) estratégicamente para realizar un trabajo seguro, aprovechando la planchada de la plataforma 1 (PP1) huella minera y senda Ortiz (SO) distribuidos de la siguiente manera, MP1 en donde se ubicó la Plataforma 1; MP2, MP3 y MP4 afloramientos al costado de la huella minera y el MP5 en los afloramientos de la senda que lleva al ingreso antiguo de la mina Ortiz fig.15.

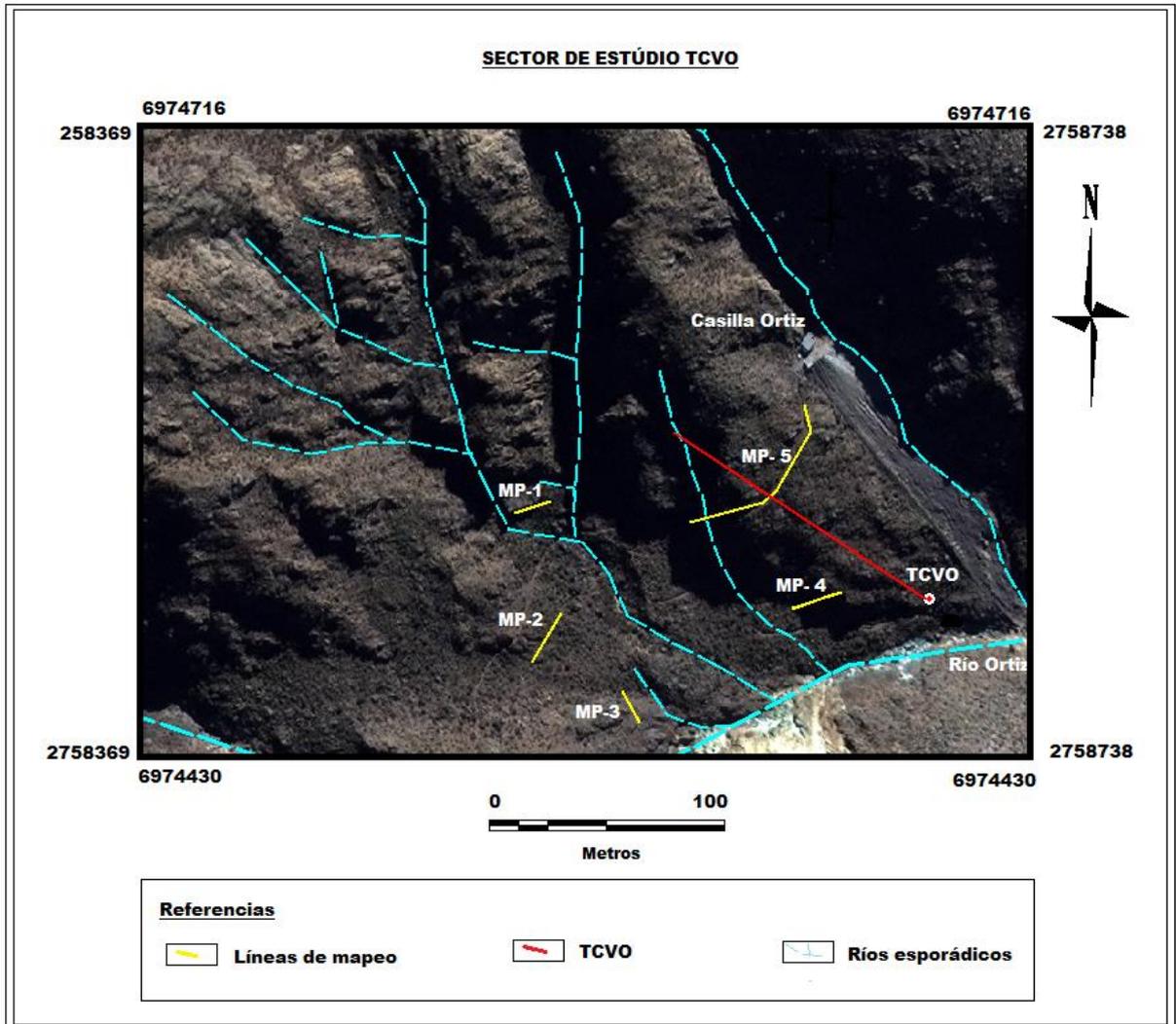


Figura 15: Estaciones de mapeo en líneas amarillas, en línea roja el TCVO.

MAPEO	PUNTO DE INICIO		Altura	PUNTO FINAL		Altura	Azimut	Metros
	X	Y		X	Y			
1	2758522	6974545	3140	2758535	6974550	3138	65	16
2	2758530	6974481	3120	2758544	6974504	3123	40	24
3	2758576	6974455	3099	2758568	6974470	3102	315	15
4	2758667	6974503	3084	2758691	6974523	3087	63	22
5	2758579	6974534	3138	2758619	6974548	3146	60	32
	2758619	6974548	3146	2758632	6974555	3143	55	8
	2758632	6974555	3143	2758649	6974585	3148	40	29
	2758649	6974585	3148	2758644	6974610	3158	10	11

Cuadro 1: ubicación de mapeos superficiales (coordenadas Campo Inchauspe Faja 3).

La clasificación litológica de la matriz rocosa registrada en los 5 mapeos se compone en su totalidad de una roca granítica de color gris a rosa, se reconoce macroscópicamente

minerales de cuarzo, plagioclasas, biotita y muscovita; posee una estructura masiva cristalina de textura granular media-gruesa (60 a 2 mm) y en ocasiones porfírica (fenocristales de feldespato K >60mm).).

La clasificación de la resistencia de la matriz en fresca es resistente (R4) a moderadamente resistente (R3) se observa que cuando es afectada por alteración argílica (selectiva en las plagioclasas) y a medida que su intensidad aumenta (pervasiva) su resistencia puede bajar a débil (R2) y muy débil (R1).

Los agentes de meteorización cambian el color en la roca (patinas negras) y no afectan a su resistencia (img.7).



Imagen 7: Granito alterado (R2).

Las discontinuidades que se registraron a lo largo de los 5 mapeos indican que existen tres sets predominantes (principales) J1-J2-J3 y uno aleatorio J4.

Las discontinuidades le confieren al macizo rocoso un tipo de fracturamiento masivo y en bloques (rectangulares) formados por la intersección de tres sets J1 y J2 con inclinación vertical a sub vertical y J3 con inclinación moderada que corta perpendicular a los anteriores (fig. 16).

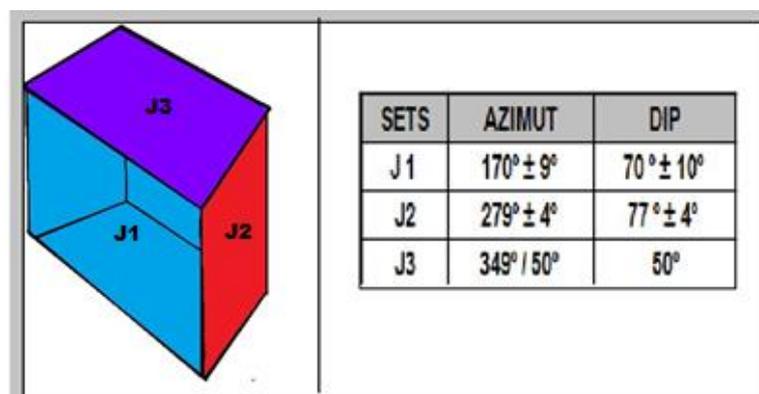


Figura 16: Modo de fracturamiento en bloque; representación gráfica del set J1; J2 y J3.

Las características observadas para cada set se describen de la siguiente manera:

- J1 es el set principal o claramente predominante posee rumbo NNW con inclinación vertical a subvertical (SW). La persistencia típica $20\text{ m} \pm 10\text{ m}$; el espaciamiento o frecuencia es moderado a separado; el tipo de relleno en general son patinas de MnO con espesor $<5\text{mm}$ de color negro (posible pirolusita); los planos son ondulados rugosos.
- J2 es el segundo set principal, definido por un rumbo ENE con inclinación vertical a subvertical (NE); la persistencia típica $20\text{ m} \pm 10\text{ m}$; el espaciamiento es moderado a separado; los rellenos son $<5\text{mm}$ son patinas de MnO de color negro; los planos son ondulados con rugosidad moderada.
- J3 es el tercer set; con rumbo NW e inclinación subvertical (NNE) el espaciamiento es separado a moderado; los rellenos son $<5\text{mm}$ son patinas de MnO de color negro; los planos poseen moderada rugosidad.

Se registran diaclasas secundarias o menos conspicuo representados rumbos aleatorios asociados a las principales. Se observa un fracturamiento en bloques grandes (img. 8).



Imagen 8: El macizo presenta un modo de fracturamiento en masivo y bloques (MP1)

El MP1 tiene un azimut 65° y una longitud de 16m; las orientaciones registradas corresponden a:

- J1 con orientación definida por el azimut $170^\circ \pm 9^\circ$ y dip $70^\circ \pm 10^\circ$ (SW).
- J2, definido por un azimut $279^\circ \pm 4^\circ$ y dip de $77^\circ \pm 4^\circ$ (NE).

- J3 es el tercer set; con orientación de azimut 349° con dip de 50° (NNE)
- EL set secundario o menos conspicuo representada por un azimut 86° con dip 89° (SE).

El diagrama de roseta de diaclasas con su polo de esfuerzo (fig.17) muestra tres tendencias en los rumbos de las discontinuidades, $N5^\circ W$ (J1), $N65^\circ E$ (J2) y $N85^\circ W$ (J3). Se observa que las discontinuidades más representativas se encuentran representados por la Jn_1 y su polo de esfuerzo en el cuadrante ENE.

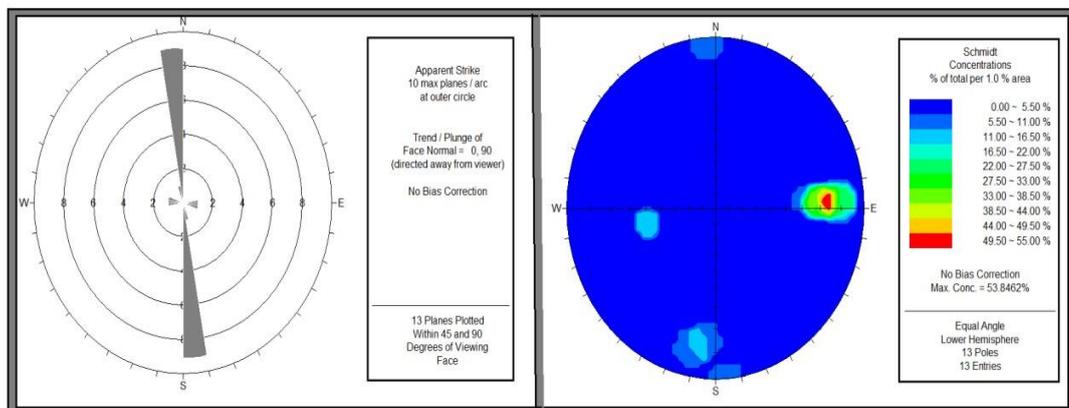


Figura 17: MP1 diagrama de rosa de diaclasas (izquierda) y polo de esfuerzos (derecha).

El MP2 posee un azimut de 40° con una longitud de 24 m. Es posible observar este afloramiento rocoso por la huella minera que lo deja al descubierto, ya que es un sector cubierto por material de derrubio. Los sets de diaclasas interceptados corresponden a los siguientes sets:

- J1 con orientación definida por el valor del azimut y dip de $176^\circ \pm 4^\circ / 66^\circ \pm 3^\circ$ (SW). Una aleatoria de $163^\circ/89^\circ$.
- J2 con orientación definida por el valor del azimut y dip de $238^\circ \pm 3^\circ / 77^\circ \pm 5^\circ$ (NW).
- J3 con orientación definida por el valor del azimut y dip de $305^\circ / 35^\circ$ (NE).
- J4 es un secundario asociado J2 con orientación definida por el valor del azimut y dip de $69^\circ/49^\circ$ (SE). Jn_5 Una aleatoria de $289^\circ/87^\circ$.

En este afloramiento por su dirección se observa mejor las discontinuidades J2 obteniendo sus polos de esfuerzo en el cuadrante NE, SE y SW. Fig. 18.

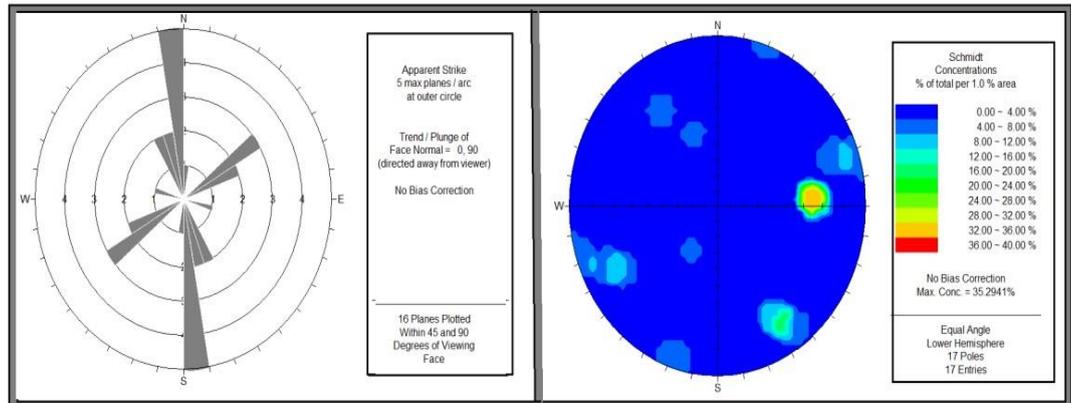


Figura 18: MP2 diagrama de rosetas (izquierda) y polo de esfuerzos (derecha).

El MP3 posee un azimut de 315° con una longitud de 15 m. Los sets registrados corresponden a:

- J1 con orientación definida por el valor del azimut de $175^{\circ} \pm 1^{\circ}$ y dip $63^{\circ} \pm 3^{\circ}$ (SW).
- J2 con azimut de 241° y dip 81° (NW).
- J3 es secundario asociado J1 con orientación definida por el valor del azimut de $348^{\circ} \pm 5^{\circ}$ y dip $43^{\circ} \pm 12^{\circ}$ (NE), con una aleatoria de $315^{\circ}/88^{\circ}$.
- J4 es un secundario asociado Jn2 con orientación definida por el valor del azimut y dip de $65^{\circ} / 76^{\circ}$ (SE).

Se observan cuatro sets NNW, SSE, NE y WSW Y ENE en la rosa de diaclasa y sus polos de esfuerzo en los cuatro cuadrantes. Fig. 19.

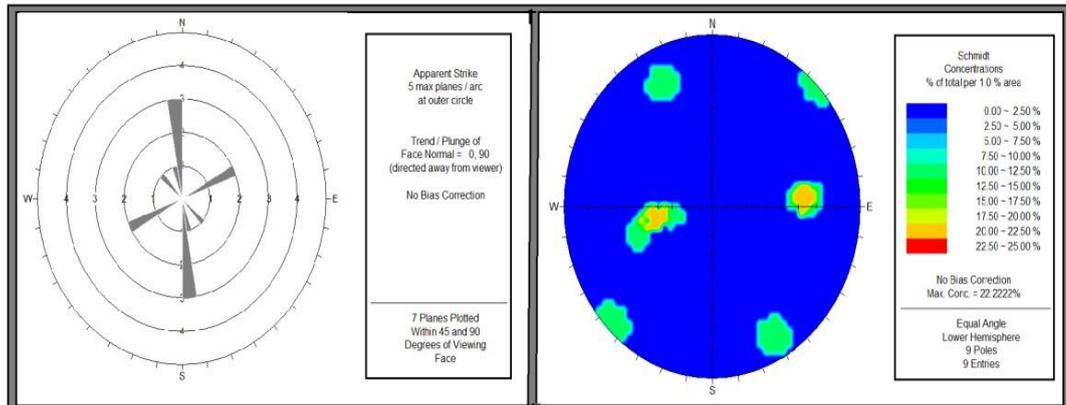


Figura 19: MP3 diagrama de rosetas (izquierda) y polo de esfuerzos (derecha).

El MP4 posee un azimut de 63° y posee una longitud total de 22m; se registraron los siguientes sets de diaclasas:

- J1 con orientación definida por el valor del azimut y dip de $175^{\circ} \pm 4^{\circ} / 75^{\circ} \pm 4^{\circ}$ (SW); con una variación de $163^{\circ} \pm 3^{\circ} / 70^{\circ} \pm 2^{\circ}$.
- J2 con orientación definida por el valor del azimut y dip de $223^{\circ} \pm 3^{\circ} / 80^{\circ} \pm 6^{\circ}$ (NW).

- J3 es un set secundario asociado J1 con orientación definida por el valor del azimut y dip de $355^\circ / 22^\circ$ (NE).
- J4 es un secundario asociado J2 con orientación definida por el valor del azimut y dip de $63^\circ / 65^\circ$ (SE), con una aleatoria de $70^\circ/28^\circ$.

Se registra principalmente el set 1 en la rosa de diaclasa SSE y su polo de esfuerzo en el cuadrante NE. Fig. 20.

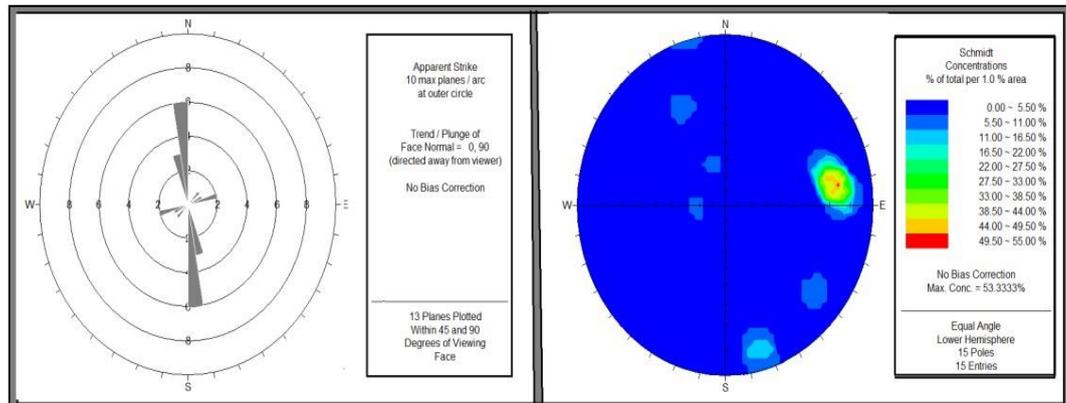


Figura 20: MP3 rosa de rumbo (izquierda) y polos de esfuerzos (derecha).

La MP5 se ubica en la senda que lleva al ingreso de la mina Ortiz y tiene diferentes rumbos iniciando con azimut de 60° (32m), 55° (8m), 40° (29m) y 10° (11m). con una longitud total de 86 m. Se registraron los siguientes sets de diaclasas:

- J1 con orientación definida por el valor del azimut y dip de $174^\circ \pm 4^\circ / 66^\circ \pm 8^\circ$ (SW), se incluye en este set las orientaciones de azimut y dip siguientes $156^\circ \pm 4^\circ / 72^\circ \pm 7^\circ$; $164^\circ \pm 4^\circ / 68^\circ \pm 13^\circ$ y $184^\circ \pm 4^\circ / 69^\circ \pm 9^\circ$.
- J2 con orientación definida por el valor del azimut y dip de $260^\circ \pm 10^\circ / 73^\circ \pm 4^\circ$ (NW).
- J3 es un secundario asociado Jn1 con orientación definida por el valor del azimut y dip de $300^\circ \pm 20^\circ / 62^\circ \pm 1^\circ$ con dirección de inclinación NE.
- J4 es un secundario asociado Jn2 con orientación definida por el valor del azimut y dip de $85^\circ \pm 1^\circ / 87^\circ \pm 2^\circ$ con dirección de inclinación SE.

Se registra principalmente el set 1 con su rosa de diaclasa NNE y su polo de esfuerzo en el cuadrante ENE Fig. 21.

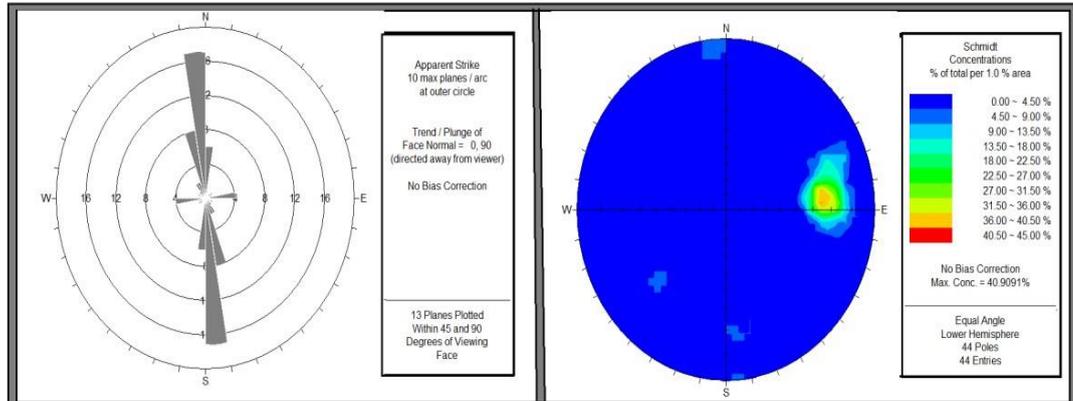


Figura 21: MP5 diagrama de rosetas (izquierda) y polo de esfuerzos (derecha).

4.3 Logueo del macizo rocoso en los sondajes del Sector TCVO

El logueo geotécnico se aplicó a 3 sondajes que se realizaron en el sector del TCVO (fig.14). El sondaje 1 se ubicó en la plataforma de perforación N°1 ($27^{\circ} 20' 11,9''$ LS $66^{\circ} 23' 20,1$ LW), con una orientación de 0° (azimut), -45 (dip) posee profundidad final de 160 m; el sondaje 2 se encuentra en la misma plataforma (1), con azimut 0° , dip -60 , su profundidad final es de 170m y el sondaje 3 se ubicó en la plataforma N°2 ($27^{\circ} 20' 23,9.$ '' LS y $66^{\circ} 22' 49, 6''$ LW), con un azimut 20° , dip -45° y su profundidad final es de 224m.

Con los registros obtenidos del trabajo realizado se completaron las planillas de logueo (anexo) que fueron posteriormente analizados para presentar los resultados que se presenta a continuación.

4.3.1 Descripción general de la matriz y sus discontinuidades

La matriz rocosa registrada en los tres sondajes se compone del granito capillitas, se reconoce los minerales de cuarzo, plagioclasas, biotita y muscovita (imag.9). La roca posee una estructura masiva cristalina con textura granular (gruesa) a porfírica (fenocristales de feldespato k).



Imagen 9 Granito Capillitas, estructura masiva con textura granular.

La resistencia de la matriz según el índice de campo determina una roca resistente para el granito fresco (sin alteración) y se clasifica como R4; se observa en estos sectores discontinuidades aisladas a lo largo del tramo y en ocasiones la ausencia de esta (img. 10).



Imagen 10 macizo rocoso fresco (sin alteración) R4, fracturamiento masivo (sin fractura).

En tramos con algunas fracturas el índice de resistencia es R3 moderado y cuando la frecuencia de fracturas aumenta el índice decaee a R2 débil (img.11).

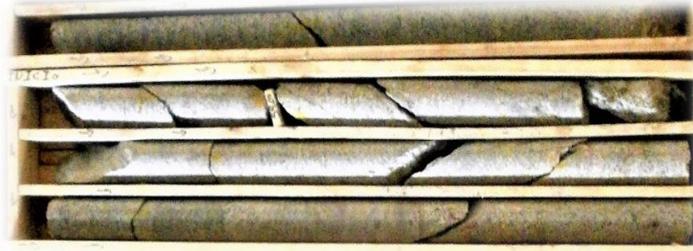


Imagen 11 tramo con el granito moderadamente alterado (la alteración afecta a las fracturas), con índice de dureza R3.

Cuando la frecuencia de fracturas (cercano a zonas de fallas) aumenta la roca se vio afectada por el ingreso de flúidos hidrotermales que provocaron la alteraron argílica de la roca disminuyendo su resistencia a muy débil R1 y extremadamente débil R0 en zona de falla (imagen 12).



Imagen 12: R2 y cuando atraviesa la zona de falla llega a R0 (pérdida de fino).

Se identificaron las discontinuidades por los márgenes y bordes redondeados; la continuidad de la fractura que cruza todo el diámetro del testigo; contienen relleno como ser patinas de óxidos, calcita (duro) y arcillas blandas (producto de la alteración argilica), sulfuros (ej. pirita) y si ambos lados de la fractura no se juntaban bien y/o hay espacio cuando se juntan. Las fracturas mecánicas se identificaron por poseer bordes filosos, ambos lados de la fractura se unen perfectamente cuando se juntan y poseen la superficie del plano fresca. Las

características observadas en la superficie del plano son en general rugosos y ondulados (RO). Imagen 13.



Imagen 13: Superficies onduladas rugosa con óxidos ocre (izquierda) y rugosas onduladas con patinas de óxidos (derecha).

En las cizallas (SR) las superficies son planas rugosas (PR) producto de estrías (movimiento). imagen 14.



Imagen 14 Planos de cizalla, rellenos duros de calcita y MnO.

Las fracturas que presentan alteración poseen rellenos arcillosos y la superficie de rugosidad es menos pronunciada formando planos lisos (PL) y ondulados lisos (OL) img 15.



Imagen 18: Fracturas naturales, a la izquierda con relleno arcilloso.

En sectores de falla la recuperación es menor que la longitud de la corrida, se justifica esta pérdida de material fino como perdida junto con el lodo de perforación (imagen 15).



Imagen 15 Impacto de la Veta Ortiz (sulfuros+ rodocrosita) en sector de falla.

Se observa un control estructural en la formación de la veta (img. 16).



Imagen 16: Contacto del Granito (roca de caja) con la veta Ortiz (textura brechada).

4.3.2 Caracterización Geomecánica del Macizo Rocoso

Con objeto de visualizar los resultados del logueo geotécnico se confeccionaron gráficas sectorizando en cada sondaje las siguientes características del macizo rocoso:

- **Índice RQD** (Deere, 1967), se clasificó la calidad del macizo a lo largo de los sondajes sectorizando tramos de roca mala (rojo), regular (naranja), buena (celeste) y excelente (azul), se representan los resultados en la figura 22.
- **Grado de fracturamiento** se obtuvo para caracterizar al macizo rocoso según el fracturamiento de la roca, se representan sectores de roca molida A (rojo), molida con fragmentos rocosos B (naranja), con fracturamiento de espaciado medio C (verde), con fracturamiento de espaciado moderado D (celeste), con fracturas espaciadas E (azul). Los resultados se representan en la figura 23.
- **El índice de resistencia** se obtuvo para clasificar a la roca de los sondajes según su resistencia (tabla 1), determinando tramos de roca muy débil R1 (rojo), débil R2 (naranja), moderadamente resistente R3 (celeste), resistente R4 (azul); se representan los resultados en la figura 24.
- **Grado de alteración**, determinó la calidad de la roca a partir del análisis de los datos (recuperación, número de fracturas y el FRF) usando la fórmula 14 y la tabla 6 ISRM (1981). sectorizando los tramos en A suelo/zona de falla (rojo), B, completamente intemperizada/alterada (naranja), C altamente alterada (verde), D moderadamente alterada (celeste), E débilmente alterada (azul); se representan los resultados en la figura 25.



REFERENCIAS	
MM	MUY MALO0 a 25%
M	MALO.....25-50%
R	REGULAR.....50-75%
B	BUENO.....75-90%
EXC	EXELENTE.....90-100%

Figura 22: Superior grafica de los 3 sondajes sectorizados según el índice RQD, inferior cuadro de referencias.



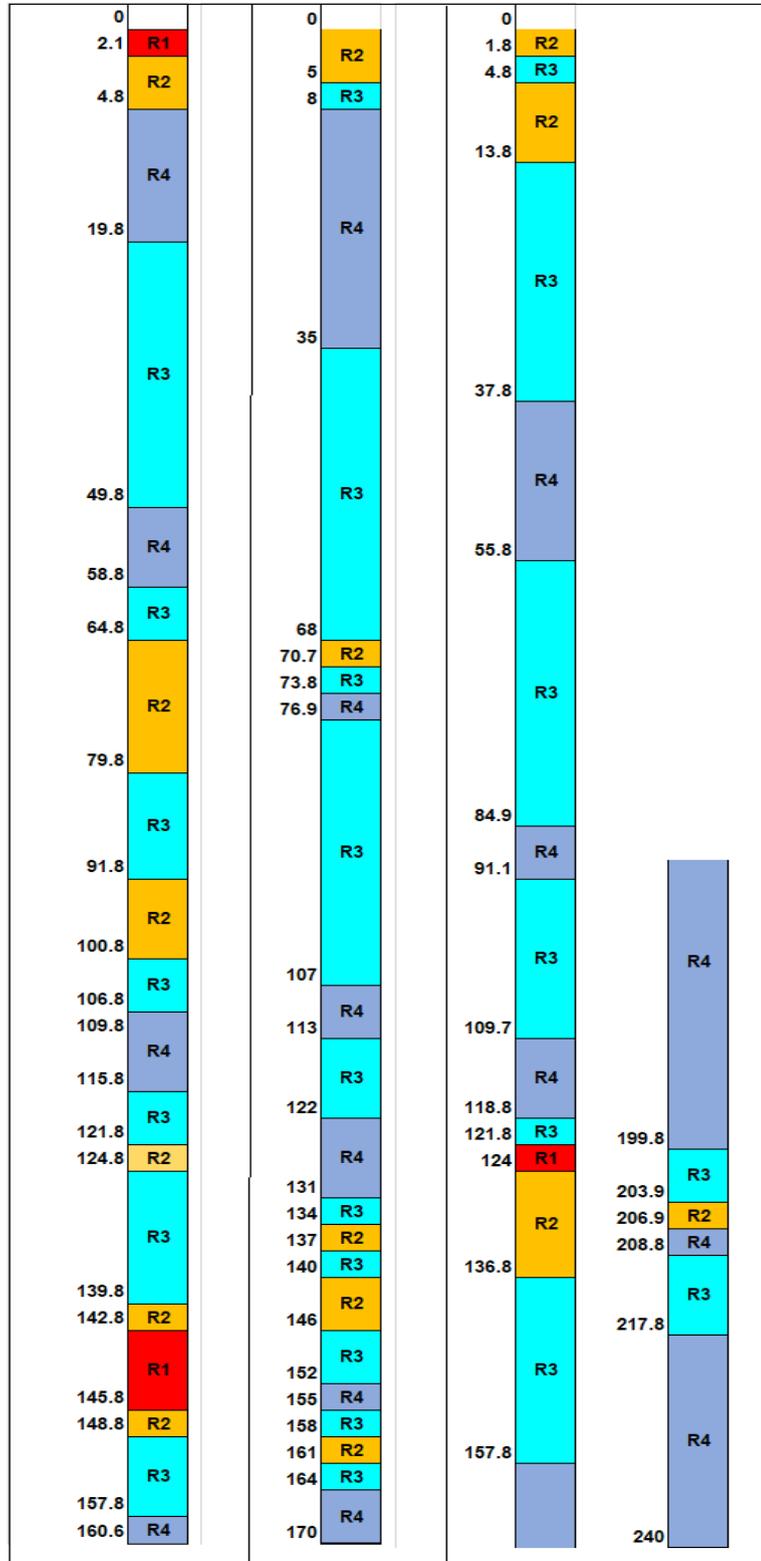
REFERENCIAS	
A- A A+	Mayormente panizo de falla o roca alterada con/sin pocos fragmentos de roca. Panizo y roca molida o roca alterada. Roca molida con/sin poco panizo, o una mezcla de roca alterada con fragmentos de roca fresca.
B- B B+	Roca molida - diámetro de los fragmentos 1 a 2.33cm. Roca muy fracturada con menor de 30% del pared de pozo Roca molida - diámetro de los fragmentos 2.33 a 3.67cm. Puedes ver algunas paredes del pozo con los fragmentos. Roca fracturada - espaciamiento de fracturas 3.67 a 5cm. Puedes ver el diámetro entero del pozo con los fragmentos.
C- C C+	Espaciamiento medio de roturas 5 a 6.67cm. Espaciamiento medio de roturas 6.67 a 8.33cm. Espaciamiento medio de roturas 8.33 a 10cm.
D- D D+	Espaciamiento medio de roturas 10 a 13.33cm. Espaciamiento medio de roturas 13.33 a 16.67cm. Espaciamiento medio de roturas 16.67 a 20cm.
E- E E+	Espaciamiento medio de roturas 20 a 30cm. Espaciamiento medio de roturas 30 a 60cm. Espaciamiento medio de roturas >60cm.

Figura 23: Superior grafica de los 3 sondajes sectorizados según su grado de fracturamiento, inferior cuadro de referencia.



CLASIFICACIÓN DE LA DUREZA SEGÚN SU RESISTENCIA

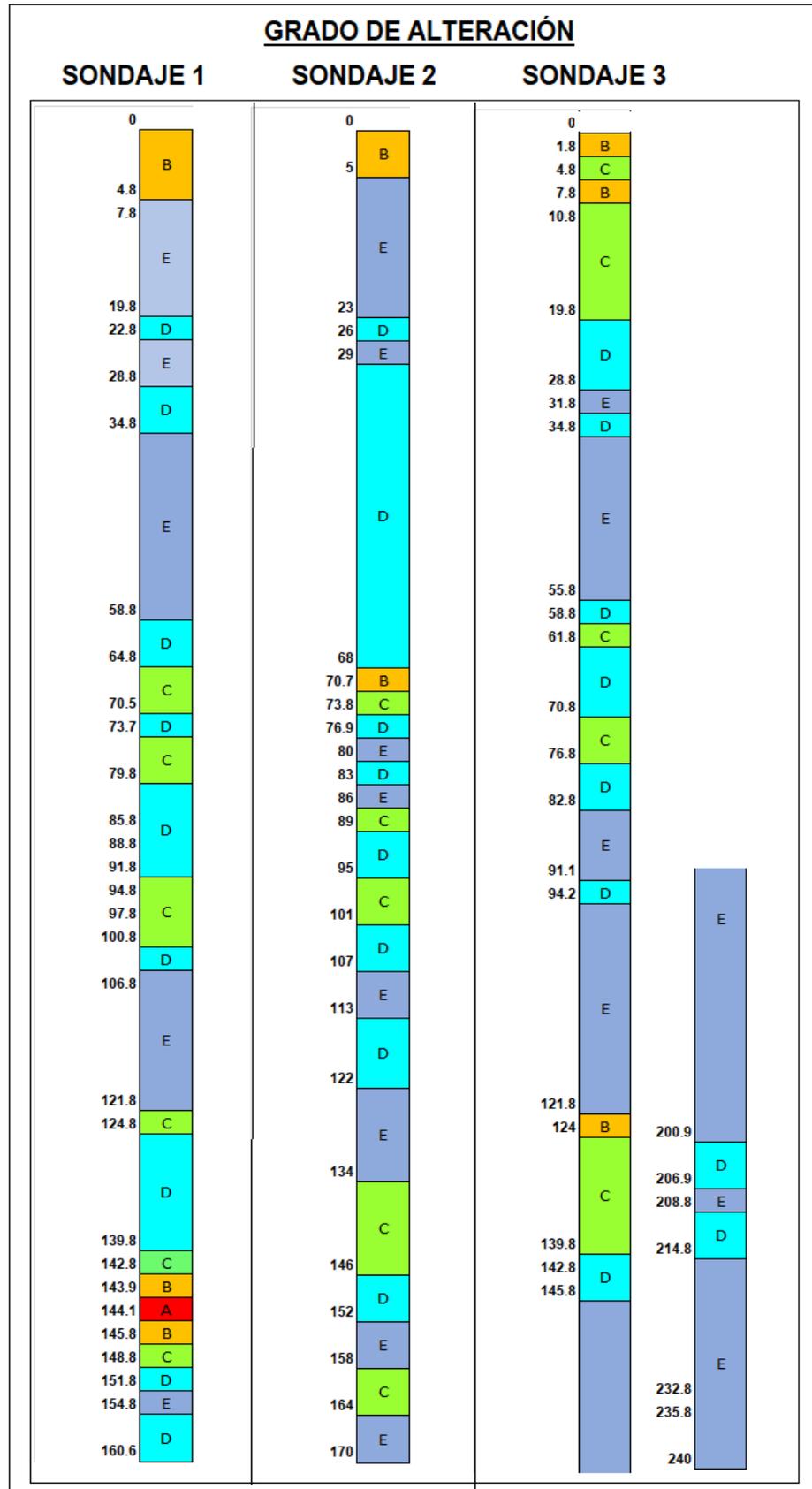
SONDAJE 1 SONDAJE 2 SONDAJE 3





<u>REFERENCIAS</u>	
R4	Resistente
R3	Moderadamente resistente
R2	Débil
R1	Muy Débil

Figura 24: Superior grafica de los 3 sondajes sectorizados según el índice de Resistencia, inferior cuadro de referencias.





REFERENCIAS	
A- A A+	Suelo residual/ Zona de falla- La textura original se encuentra destruida
B- B B+	Completamente intemperizada/alterada - Se observa remanentes de la textura original y estructuras relicticas de la roca, pero la roca se descompone y es friable.
C- C C+	Altamente intemperizada/alterada - La roca se decolora y el esfuerzo se reduce significativamente debido al intemperismo.
D- D D+	Moderadamente intemperizada/alterada - La roca se decolora pero el esfuerzo solo afecta débilmente - discontinuidades intemperizadas.
E- E E+	Débilmente intemperizada/alterada - El esfuerzo de la roca no cambia - el intemperismo solo afecta a las fracturas.

Figura 25 graficas de los sondajes sectorizando al macizo según su grado de alteración.

4.4 Clasificación Geomecánica del TCVO (Pa-P130)

El trabajo se realizó durante la construcción del TCVO (hasta la progresiva 130m). Las observaciones del material rocoso se efectuaron en los hastiales, corona y en el frente de explotación (con seguimiento en el acopio). La roca donde se emplaza la labor se compone del granito capillitas, se reconoce minerales de cuarzo, plagioclasas, biotita y muscovita; posee una estructura masiva cristalina con textura granular gruesa a porfírica (imagen .17).



Imagen 17: Granito con una venilla fina de carbonato (TCVO).



Imagen 18 veta (sulfuros +carbonato) relleno una fractura en el granito (TCVO).

La resistencia de la matriz rocosa se determinó a partir del índice de campo (tabla1), los resultados obtenidos establecieron una clasificación de moderadamente resistente (R3) a resistente (R4) en sectores de roca fresca y cuando se presenta afectada por los procesos de alteración (argílica) su resistencia es clasificada como débil (R2) hasta llegar a muy débil en zona de falla (R0).

Las estructuras interceptadas son de tres tipos: diaclasas, en general sus planos son ondulados rugosos (OR) sin relleno o < 2mm patinas de óxidos; cizallas con planos rugosos

y relleno <5mm de carbonatos; fallas de superficie ondulada suave o plano liso con rellenos arcillosos de espesor variable (imagen 19).



Imagen 19: granito afectado con alteración argílica; dos discontinuidades que convergen aumentando el halo de alteración con efecto de disminución en la resistencia (R2).

Se intercepta un sector de roca fracturada con presencia de goteo desde la progresiva 120 a 130m (halo de fracturamiento) y contiene una falla que atraviesa longitudinalmente al túnel en desde la progresiva 124m (hastial derecho) hasta la 128m (hastial izquierdo) y se compone de roca triturada con abundante presencia de arcilla (imagen 20, 21 y 22).



Imagen 20: Hastial derecho inicio de falla progresiva 124, roca muy alterada con presencia abundante de arcilla, limonita y óxidos (ocres).



Imagen 21 sector de falla atravesando la corona (progresiva 124 y 128m), se observa goteo en la corona con superficies claras que corresponden a desprendimientos recientes.



Imagen 22 Hastial falla interceptando en el hastial izquierdo (progresiva 128m).

Se observa en la labor algunos sectores con humedad provocada por la infiltración de agua que recorre por las fracturas (imagen 23).

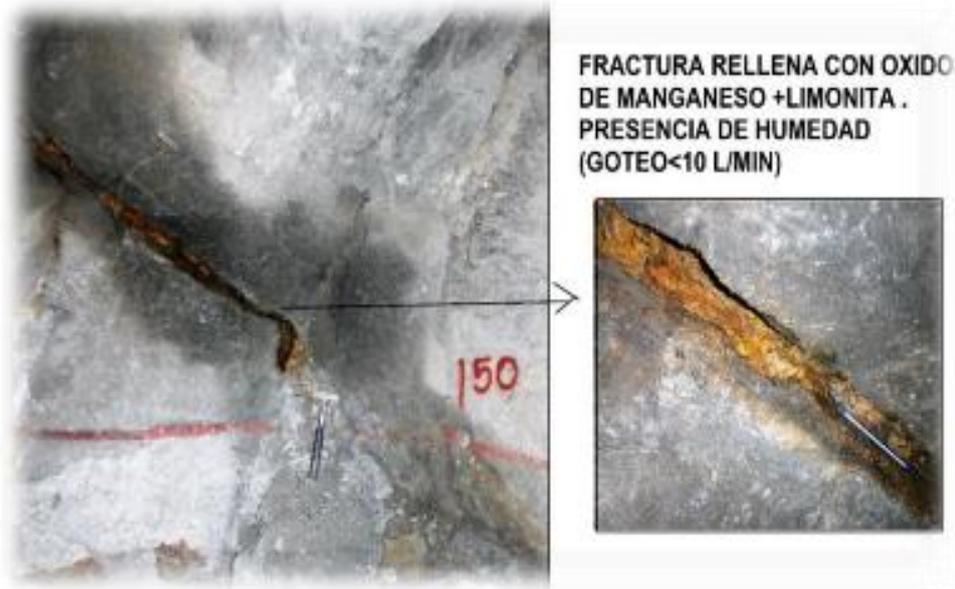


Imagen 23 Progresiva 54m se observa humedad en el hastial que se canaliza por una falla (Az 83°/ dip 56°) con 39mm de relleno de limonita y óxidos ocres.

En la progresiva 60 a 70 m la dimensión de la labor se ensancha progresivamente hasta terminar en 11m x 5m (fig. 24).



Imagen 24 Sector de labor con dimensión 11m x 5 m progresiva 70 m. Macizo rocoso con fracturamiento en bloques; presencia de humedad.

Las discontinuidades interceptadas con mayor frecuencia a lo largo del mapeo geomecánico corresponde a los sets principales J1 y J2 sus orientaciones son favorables con respecto al eje del túnel; y con menor frecuencia se intercepta el set J3 que presenta condición desfavorable (tabla 13). Se realiza la visualización de los resultados discontinuidades (fig. 25 a y b).

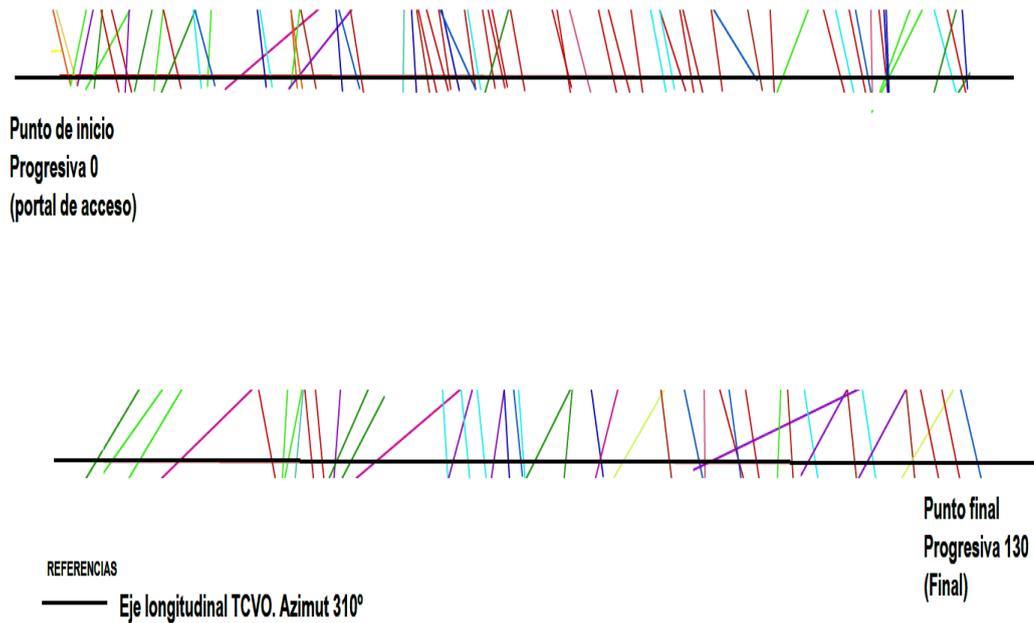


Figura 25 a- discontinuidades representadas en el perfil longitudinal del TCVO

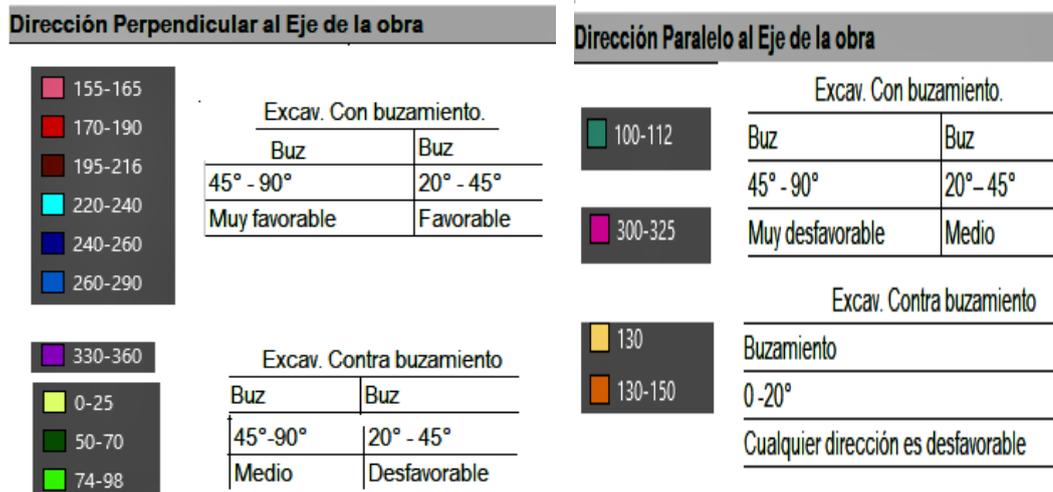


Figura 25 b- Análisis estructural de las discontinuidades con respecto al eje del TCVO empleando la tabla 13.

Para el análisis de las discontinuidades se ingresan las orientaciones interceptadas en el TCVO en el software Dips y se obtienen las siguientes graficas de resultados (fig. 26 y 27).

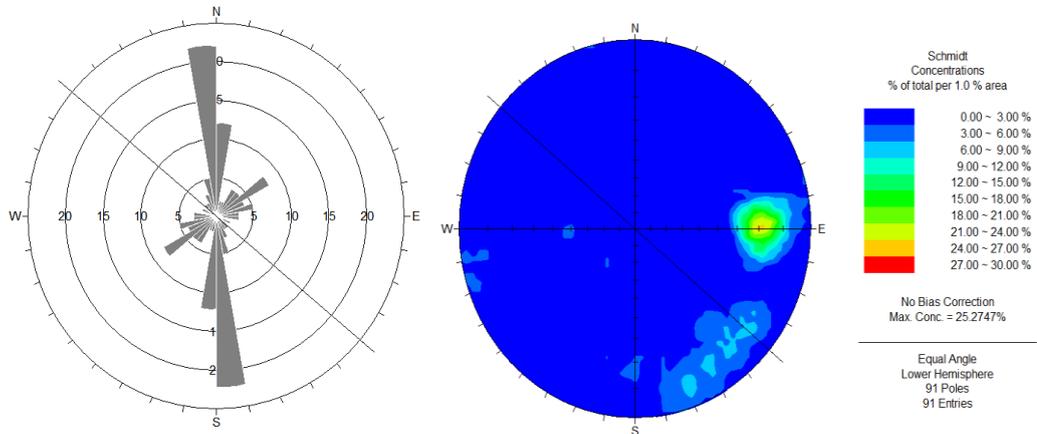


Figura 26 Diagrama de discontinuidades registradas en el TCVO; izquierda de rosa de diaclasas (izquierda) y derecha polo de esfuerzos (derecha). En línea negra el eje del TCVO.

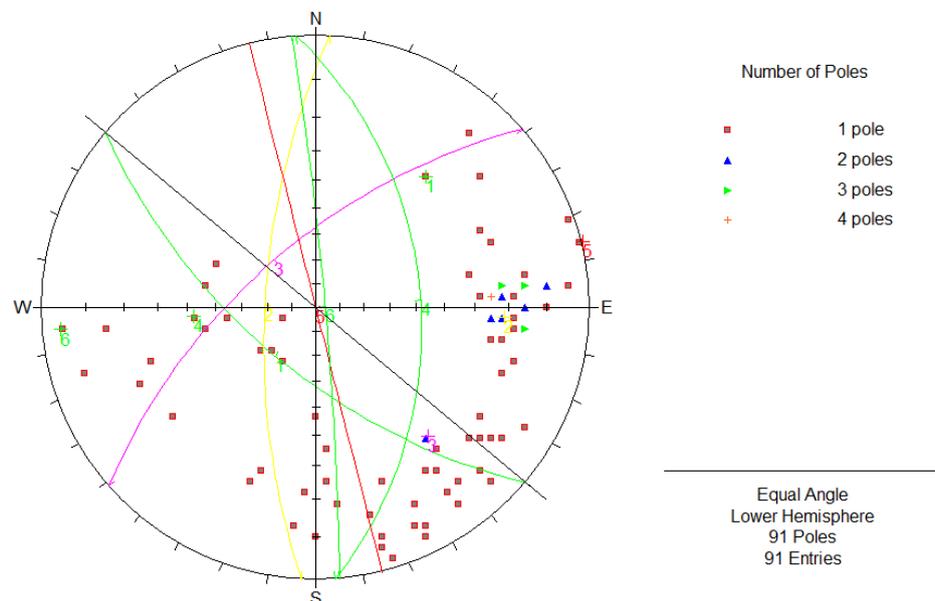


Figura 27 Diagrama de discontinuidades interceptadas en el TCVO se visualizan los polos de esfuerzos con sus planos.

Con el mapeo geomecánico (PA-Prog 130m TCVO) se obtienen y suman las 6 variables del RMR y con los coeficientes registrados se aplica la formula $(RQD/J_n \times J_r/J_a \times J_w/SRF)$ del índice Q.

A continuación, se presentan los resultados que se sectorizando los estándares en las progresivas del TCVO y se presenta de manera gráfica en las figuras 28 y 29.

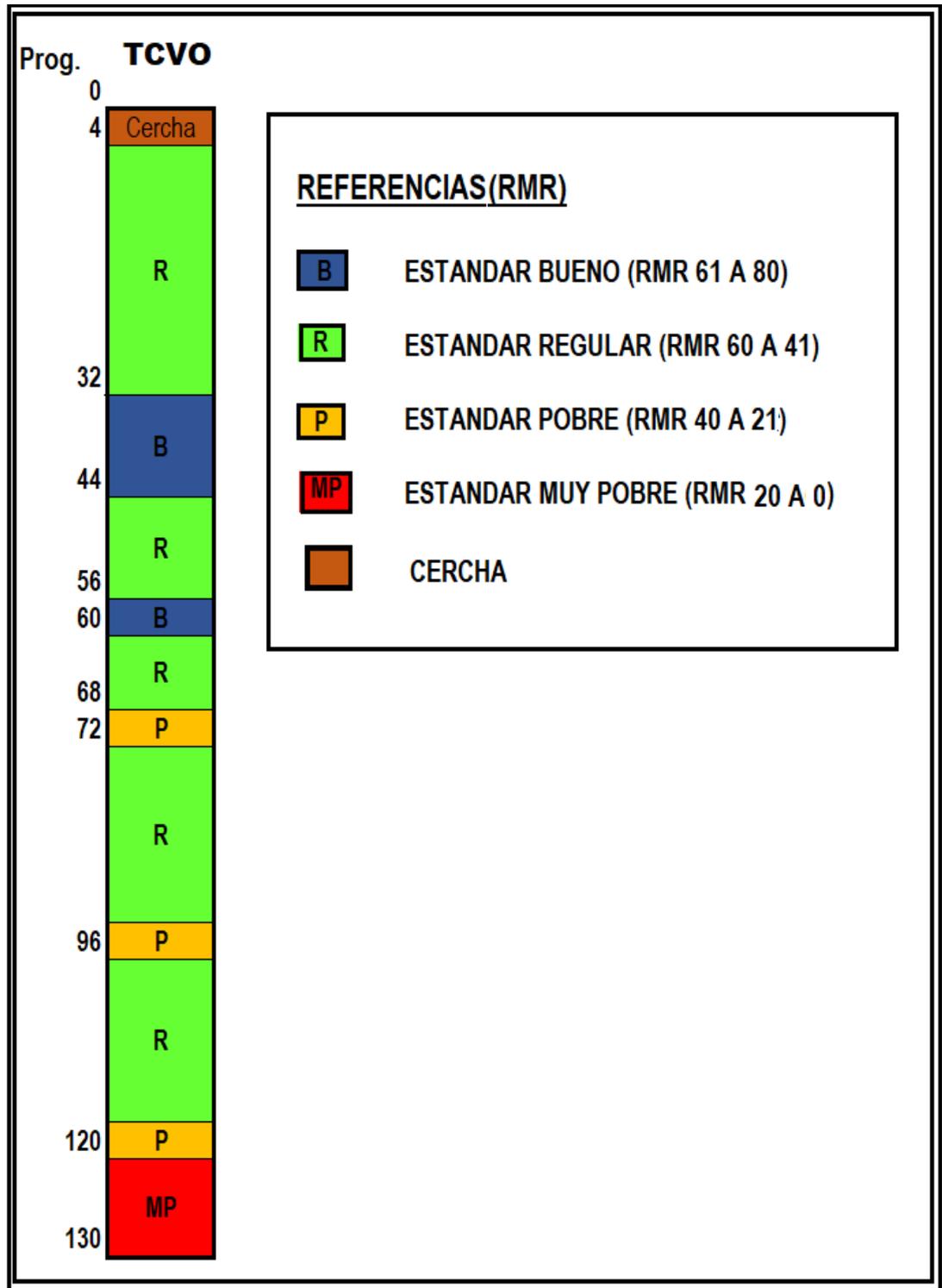


Figura 28: Índice RMR clasificando al macizo rocoso (PA-Prog 130m).

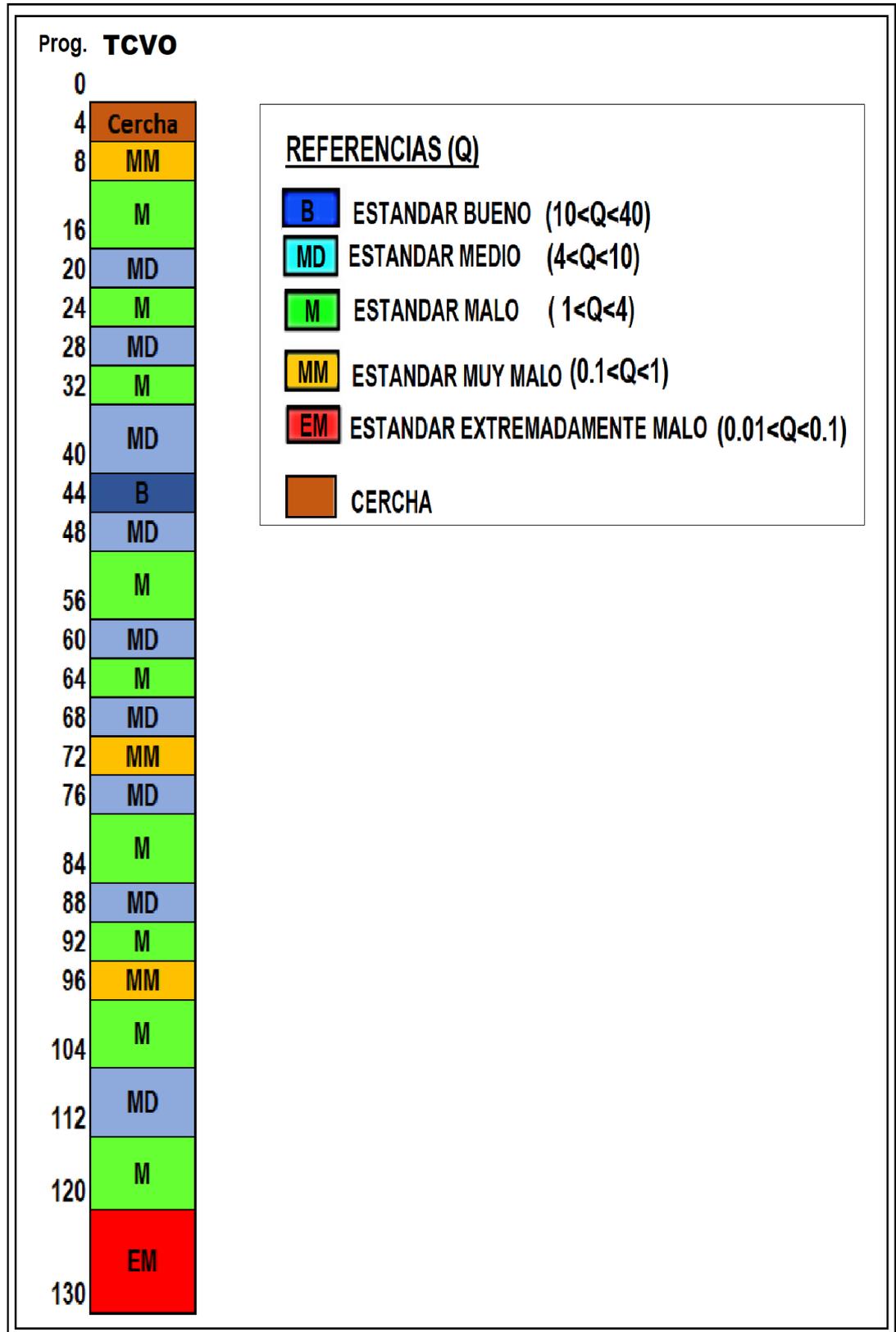


Figura 29: Índice RMR clasificando al macizo rocoso (PA-Prog 130m).



4.5 Análisis de las propiedades del macizo rocoso

Se presenta los resultados de las propiedades de la roca matriz obtenidos en laboratorio y analizados en software RocLab:

4.5.1 Propiedades de la matriz rocosa densidad

En una roca se puede distinguir la densidad natural y la densidad seca. En particular, la densidad natural es la que se emplea principalmente para los estudios de geotecnia, debido a que es importante definir en la roca sus condiciones naturales que involucran la presencia de agua en los poros.

Se obtiene el valor de densidad en seis muestras de granito (cuadro 2) obteniendo una densidad en promedio de 2.56 gr/cm^3 , con muestras frescas (GTO 1, 2 y 3) que poseen valores $>2.5 \text{ gr/cm}^3$ y muestras alteradas (GTO 3, 5 y 6) $<2.5 \text{ gr/cm}^3$.

LITOLOGIA	PESO Kg	VOLUMEN m3 (agua)	VOLUMEN ml (desplazado)	DENSIDAD gr/cm3
GTO-1	0.068	600	625	2.720
GTO-2	0.093	625	660	2.657
GTO-3	0.088	500	535	2.514
GTO-4	0.093	435	470	2.657
GTO-5	0.146	400	463	2.317
GTO-6	0.074	300	329	2.551

Cuadro 2: valores de densidad obtenidos para el granito fresco y alterado.

4.5.2 Resistencia de la matriz rocosa (sgci)

La resistencia de la matriz rocosa se obtuvo del ensayo de compresión uniaxial que se realizó en el laboratorio de Vialidad de la Provincia de Catamarca. El equipo utilizado consiste en una prensa hidráulica; el marco de cara cuenta con marcos oscilantes donde se apoya la probeta que aseguran la perpendicularidad de la sección basal de esta con respecto al eje de carga; durante el ensayo este equipo aplica carga compresiva al testigo hasta que sufre su ruptura. La velocidad de carga aplicada depende del tipo de roca ensayada y su grado de alteración.

El granito ensayado se presenta en estado fresco y alterado; las probetas obtenidos de los 3 sondajes fueron seleccionadas, preparadas (medidas, cortadas y pesadas) y ensayadas según las ISRM. Los resultados se presentan a continuación (cuadro 3).

ENSAYO COMPRESION UNIAXIAL - LABORATORIO VIALIDAD													
Pozo	Prog.	Muestra	Diámetro cm	Long. cm	Peso kg	Volumen	Densidad	Superficie (cm)	Lectura Prensa	Carga (Tn)	Tonelada	Resistencia kg/cm ²	MPa
1	46.21	A-01	6.34	15.80	1.4	498.54	2.72	31.57	51	10.60	10600	335.761799	33.00
1	154.58	A-03	6.33	16.00	1.4	503.20	2.71	31.45	80	16.50	16500	524.642289	51.50
1	40.93	B-01	6.38	16.00	1.4	511.24	2.66	31.95	64	13.10	13100	410.015649	40.20
1	151.50	B-04	6.30	15.90	1.3	495.39	2.71	31.15	54	11.20	11200	359.550562	35.20
1	75.88	C-02	6.36	15.90	1.3	504.87	2.66	31.75	17	3.70	3700	116.535433	11.42
1	92.00	C-04	6.28	16.10	1.3	498.44	2.68	30.95	27	5.60	5600	180.936995	17.50
1	95.72	C-05	6.35	16.00	1.3	506.45	2.57	31.65	20	4.20	4200	132.701422	13.00
2	84.03	A-03	6.35	15.80	1.4	500.11	2.71	31.65	56	11.60	11600	366.508689	36.00
3	108.64	A-06	6.42	16.20	1.4	530.70	2.60	32.75	65	13.50	13500	412.21374	40.42
3	238.80	A-12	6.34	16.30	1.4	515.94	2.69	31.70	95	19.75	19750	623.028391	61.10
3	111.70	B-06	6.35	16.30	1.4	516.59	2.70	31.70	95	19.75	19750	623.028391	61.10
3	235.03	B-10	6.35	16.40	1.4	519.11	2.64	31.65	91	18.80	18800	593.99684	58.25
3	141.70	C-02	6.40	16.10	1.3	517.67	2.54	32.20	10	2.20	2200	68.3229814	6.70
3	233.10	C-05	6.35	16.40	1.3	519.11	2.51	31.65	30	6.20	6200	195.8925750	19.22

Cuadro 3 ubicación de las probetas ensayadas con sus valores correspondientes.

Las probetas de granito fresco registraron un valor máximo de 61.10 MPa (mínimo 51.50 MPa) clasificando a la matriz como resistente (tabla 1), el modelo de ruptura observado es ondulado rugoso; los valores comprendidos entre 33 Mpa a 40.42 MPa clasificaron a la matriz como moderadamente resistente y su modelo de ruptura es ondulado moderadamente rugoso; las probetas de granito afectado por la alteración (argilica) registro el valor mínimo de 6.70 MPa (máximo de 19.22 MPa) y clasifico la resistencia de la matriz como débil con modelo de ruptura ondulada levemente rugosa (imagen 25).



Imagen 25: modo de ruptura del granito fresco con fractura rugosa ondulada (izquierda) y granito alterado con fractura ondulada levemente rugosa (derecha).



4.5.3 Resistencia equivalente mediante software específico (RocLab)

El programa proporciona una puesta a punto sencilla e intuitiva del criterio de rotura de Hoek-Brown, que permite una fácil obtención de estimaciones fiables de propiedades del macizo rocoso, así como también la visualización de los efectos que el cambio de parámetros del macizo rocoso produce sobre la envolvente de rotura.

A partir de los valores obtenidos de la resistencia a la matriz rocosa (Sigc) se determina la resistencia equivalente mediante el software RocLab un programa basado en la última versión del criterio generalizado de falla de Hoek-Brown términos de esfuerzos normales y al corte para obtener estimaciones confiables de las propiedades de la resistencia de masa rocosa (cohesión, ángulo de fricción, resistencia a la tracción y módulo de deformación) y visualizar los efectos del cambio de los parámetros en los sectores de falla con sus representaciones graficas (fig.30,31 y 32):

- **Clasificación de Hoek-Brown:**
sgci 61 Mpa (resistencia a la compresión uniaxial roca intacta),
GSI 77 (macizo de calidad regular),
 m_i 32 (constante de la roca intacta granito),
De 0.8 (factor de disturbancia en la excavación)
- **Criterio de Hoek -Brown:**
 m_b 8.139 (valor de la constante de Hoek en la masa rocosa),
 s 0.0307 y a 0.501 (constantes de las características de la masa)
- **Ajuste de Mohr- Coulomb:**
Cohesión 5.180 MPa
Ángulo de fricción 43.95 deg
- **Parámetros del macizo rocoso**
Resistencia a la tensión -0.230MPa
Esfuerzo compresivo 10.652MPa
Esfuerzo global 24.378 MPa
Módulo de deformación 9777.63 MPa

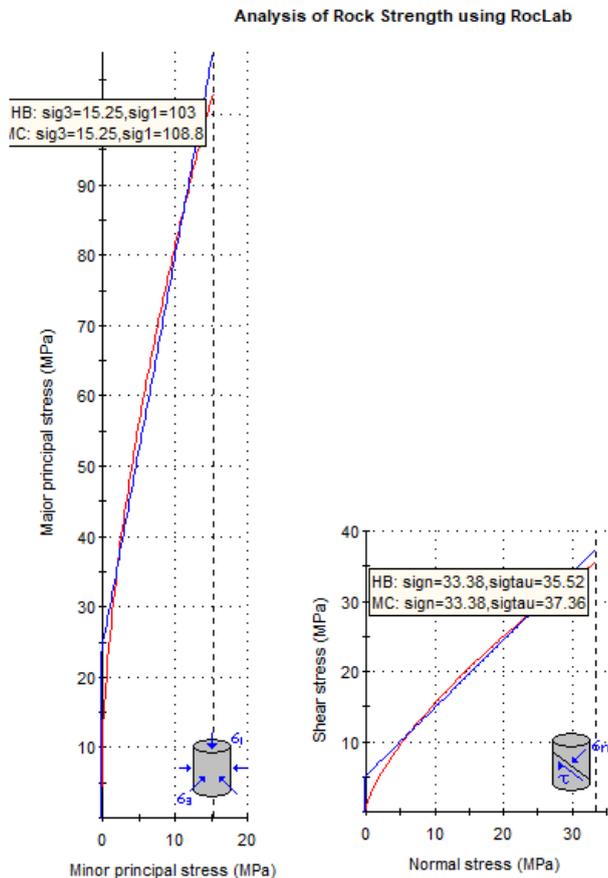


Figura 30: Grafica del valor máximo de resistencia máximo; se representa el esfuerzo principal (izquierda) y resistencia a la tracción (derecha). La curva Hoek Brown (rojo) y la envolvente Mohr Coulomb (azul).

- **Clasificación de Hoek-Brown**
 sgci 35 Mpa (resistencia a la compresión uniaxial roca intacta)
 GSI 63 (macizo de calidad mala)
 m_i 32 (constante de la roca intacta granito)
 De 0.8 (factor de disturbancia en la excavación)
- **Criterio de Hoek -Brown**
 m_b 3.537 es el (valor de la constante de Hoek en la masa rocosa)
 s 0.0037 y a 0.502 (constantes de las características de la masa)
- **Ajuste de Mohr- Coulomb**
 Cohesión 2.208 Mpa
 Ángulo de fricción 36.92 deg
- **Parámetros del macizo rocoso**
 Resistencia a la tensión -0.036 MPa
 Esfuerzo de esfuerzo compresivo 2.095 MPa
 Esfuerzo global 8.841 MPa
 Módulo de deformación 3102.36 MPa

Analysis of Rock Strength using RocLab

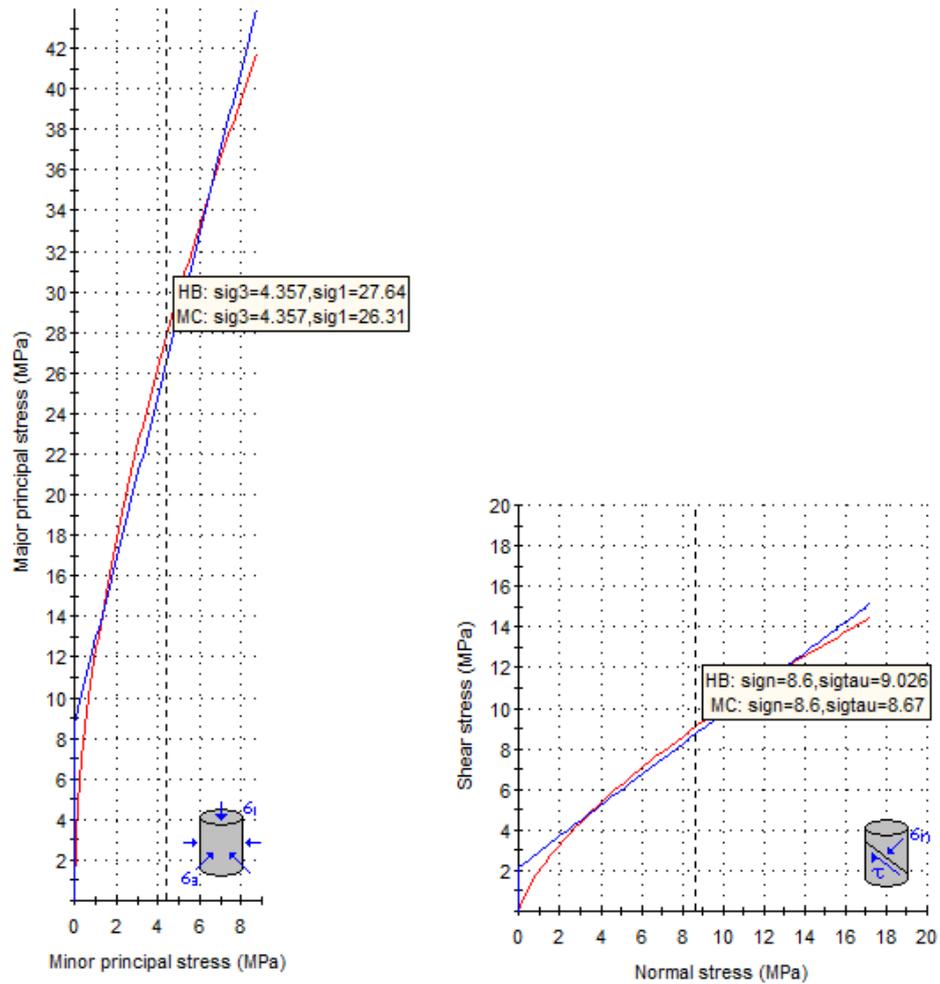


Figura 31: Grafica con valor de resistencia intermedio, se representa el esfuerzo principal (izquierda) y resistencia a la tracción (derecha). La curva Hoek Brown (rojo) y la envolvente Mohr Coulomb (azul)

- Clasificación de Hoek-Brown**
 sgc1 6.6 MPa (resistencia a la compresión uniaxial roca intacta),
 GSI 33 (macizo de calidad muy mala), m_i 32 (constante de la roca intacta granito), De 0.8 (factor de disturbancia en la excavación)
- Criterio de Hoek -Brown**
 m_b 0.593 es el (valor de la constante de Hoek en la masa rocosa),
 s $3.9 \cdot 10^{-5}$ y a 0.518 (constantes de las características de la masa)
- Ajuste de Mohr- Coulomb**
 Cohesión 2.208 MPa
 Ángulo de fricción 22.14 deg
- Parámetros del macizo rocoso**
 Resistencia a la tensión -0.000434 MPa
 Esfuerzo de esfuerzo compresivo 0.619 MPa

Esfuerzo global 0.619 MPa
Módulo de deformación 213.19 MPa

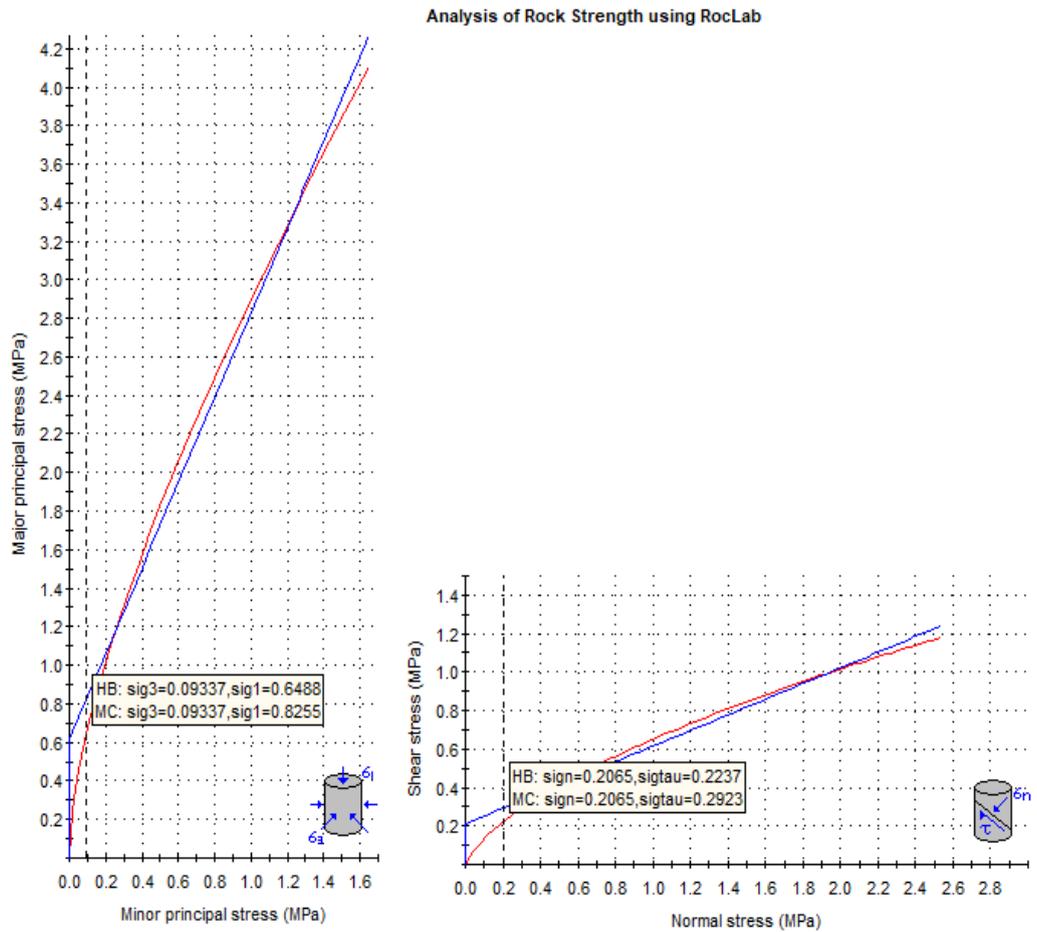


Figura 32: Grafica con valor de resistencia mínimo; se representa el esfuerzo principal (izquierda) y resistencia a la tracción (derecha). La curva Hoek Brown (rojo) y la envolvente Mohr Coulomb (azul)

4.5.4 Análisis de cuña en el TCVO (PA-P130)

Se identifica en la progresiva 112 a 114 m la formación de cuatro cuñas (1, 4, 5 y 8) que se forman por la intercepción de J1 (dip 16/ Dip Dir 70), J2 (dip 86/ Dip Dir 180) y J3 (dip 84/ Dip Dir 300) con el eje del túnel (figura 33, 34 y 35)

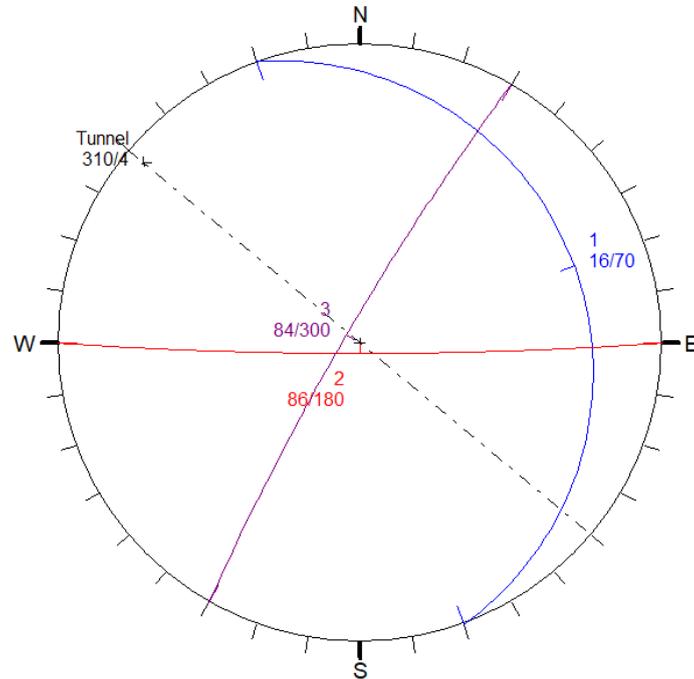


Fig. 33. Proyección estereográfica J1 (azul), J2 (roja), y J3 (violeta); en línea punteada observamos el eje del TVCO con rumbo 310°. Cuñas con su volumen, peso y su FS.

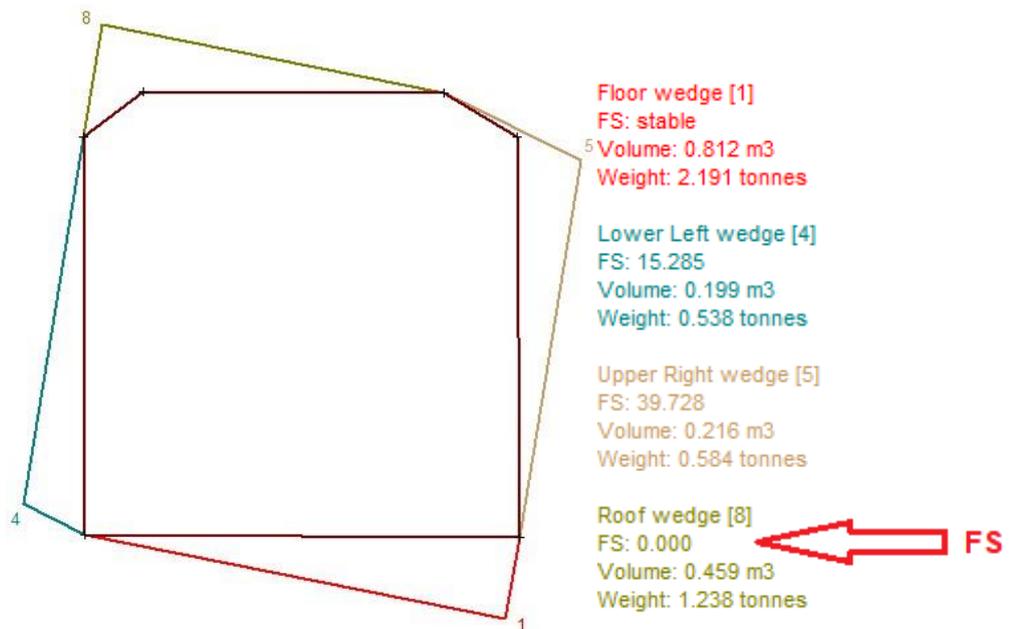


Fig34. perfil de la Cuña N°8 sin sostenimiento **FS=0**.

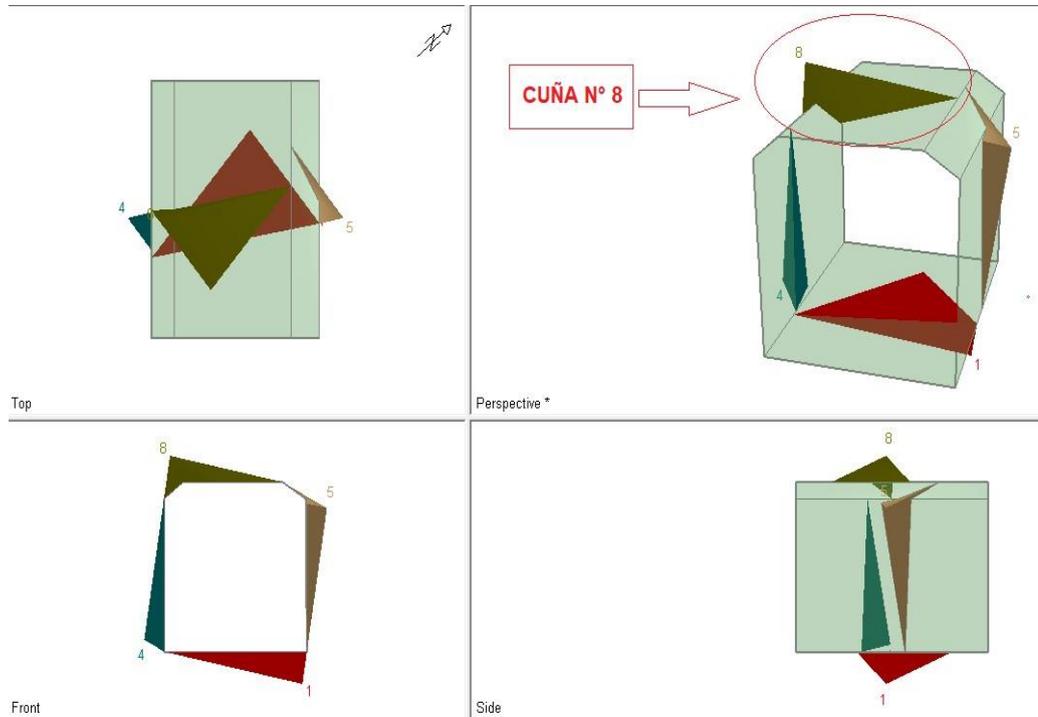


Fig. 35. Vista de cuñas en distintas perspectivas, es inestable N°8 (círculo rojo).

Se identifica en la progresiva 112m la formación de una cuña en la corona con un volumen total de 0.459 m^3 , un peso 1238 Tn y con un factor de seguridad (FS) de 0.0 (fig. 34).

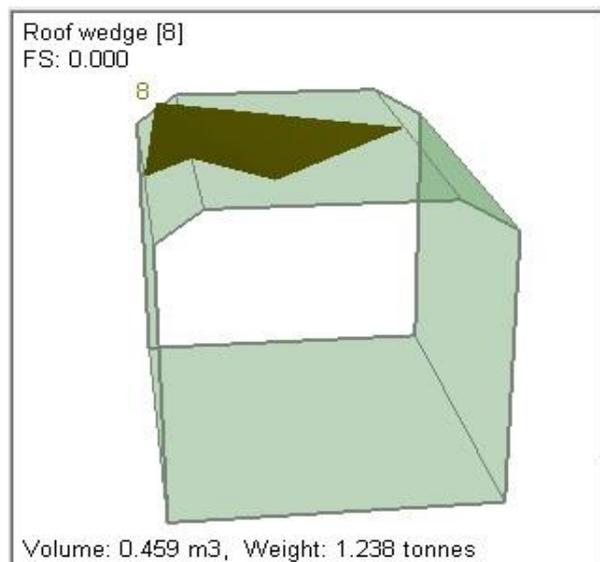


Fig33. Cuña N° 8, FS0

Se observa que la cuña N° 8 posee un FS 0 y con los elementos de fortificación se estabiliza (fig. 36).



Figura 36. perfil de la sección estudiada, se colocaron 3 cables bolt de 2 m de longitud, con un patrón de empinado de 1 m.

Cabe destacar que el FS factor de seguridad ahora es estable en la simulación con un valor de 21.085. (fig. 37)

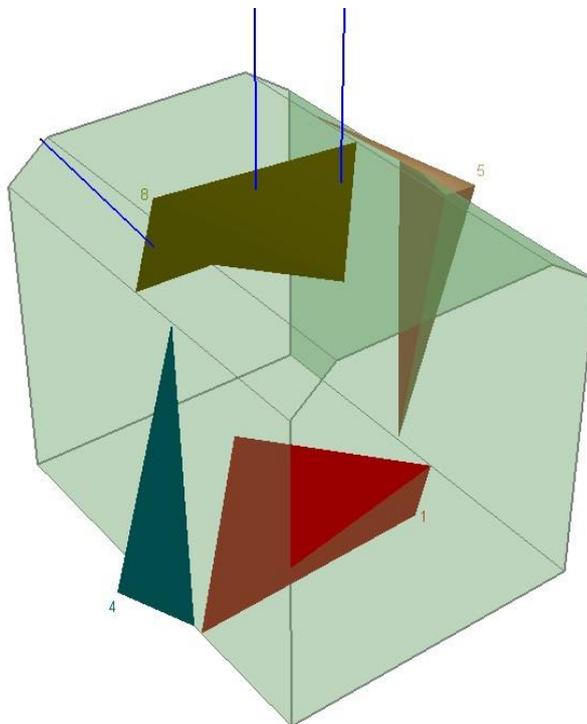


Figura 37. simulación 3D de la cuña con sus respectivos anclajes.



CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El macizo rocoso que se registró en el mapeo de superficie, sondajes y TCVO se compone en su totalidad por una matriz rocosa de composición granítica de estructura masiva cristalina y textura granular gruesa a porfírica. Los ensayos de densidad determinaron que esta roca posee una densidad promedio de 2.56 gr/cm^3 .

La matriz se presenta en general fresca y en zonas de fallas o algunas fracturas que permitieron la circulación de fluidos hidrotermales se encuentra afectada por una alteración argilica provocando una disminución de su resistencia. El índice de campo (ISRM,1981), clasifico al granito como resistente a moderado (sin alteración) y pasa de débil a muy débil según el grado de alteración que lo afecte hasta llegar a ser extremadamente débil en zona de fallas donde la alteración es pervasiva. Los valores obtenidos en ensayos de resistencia de compresión simple, junto con los análisis de su resistencia equivalente (Criterio de Hoek - Brown y Mohr- Coulomb) indicaron que el esfuerzo cortante disminuye considerablemente cuando la roca se encuentra alterada.

Las discontinuidades registradas en la superficie y en el interior del TCVO indica la existencia de 3 sets principales de diaclasas (J1 NNW; J2 ENE; J3 NW con inclinación vertical a subvertical), planos ondulados rugosos, rellenos < o >5mm (óxidos, carbonatos; sulfuros, etc.), con frecuencia baja y persistencia media que le confiere al macizo un fracturamiento masivo (bloque muy grande) de GSI 77 aprox. y en bloques de tamaño mediano con GSI 63 los cuales disminuyen progresivamente al acercarse a sectores de fallas llegando a un fracturamiento en bloques pequeños de GSI 33.

Con respecto al análisis de las orientaciones de las discontinuidades con el eje del túnel (tabla 13), indica que en su mayoría son favorables y se identifica con el software Unwedge solo una formación de una cuña potencialmente inestable (Prog. 112m).

Se observo que la presencia de agua en el interior de la labor en estudio se debe a infiltraciones a través de las fracturas, observando en hastiales y/o corona humedad hasta goteos.

Según el estudio realizado del macizo rocoso, junto a los resultados obtenidos del índice Q y RMR para él TCVO, concluye que la labor es estable en los tramos clasificados como:

- Q: bueno (Prog. 40 a 44) y medio a malo (Prog. 8-40, 44- 68, 72-92 y 96-120).
- RMR: bueno (Prog. 32 -44, 56-60) y regular (Prog. 4-32; 44-56; 60-68 ;72-92, 96-116).
La calidad del macizo disminuye en los siguientes sectores:
- Q: muy malo (Prog. 4-8; 68-72; 92-96) y extremadamente malo (Prog.120-130).
- RMR: pobre (Prog.68-72, 92-96,116-120) y muy pobre (Prog 120-130).

Se determina que el sector más inestable dentro del sector de estudio del TCVO se ubica en la Prog. 120 a 130 donde se dan factores desfavorables como la presencia de una falla que atraviesa toda la sección de manera oblicua, con gran potencia de material muy fracturado, abundante presencia de arcillas y goteo, observando además desprendimientos frescos en corona y hastiales. Le continua el sector de la Prog. 60 a 70m donde la labor comienza a aumentar su dimensión (11m x 5m) y la excavación el macizo queda expuesto a



mayores rasgos estructurales, observando la presencia de una falla que corta perpendicular a la labor y goteo.

Otro sector para considerar se da en la Prog.112m donde se detectó la formación de una cuña potencialmente inestable con FS 0 (factor de seguridad).

5.2 Recomendaciones

5.2.1 Sector de Falla potencialmente inestable (Progresiva 120 a 130m)

A partir del índice Q obtenido en este sector se recomienda el tipo de fortificación con categoría 7: Sostenimiento hormigón proyectado con fibras 120-150 mm y bulonado S(fr)+ B. Según el índice RMR clase V: costillas medianas a resistentes, espaciadas a 0.75 m con planchas de acero y tablestacas si se requiere.

5.2.2 Sector con sobre excavación (Progresiva 60 a 70 m)

Se recomienda aplicar el RMR III pernos sistemáticos, 4 – 5 m de longitud, espaciados 1- 1.5 m en la corona y hastiales con malla. A partir de Q categoría 5 sostenimiento hormigón proyectado con fibras, 50 -90 mm y bulonado S(fr)+ B.

5.2.3 Cuña inestable (Progresiva 112 a 114 m)

El software Unwedge para la cuña identificada en los 112-114m proporciona las siguientes recomendaciones:

CUÑA	PROG.	PESO(Tn)	VOLUMEN m3	CABLE BOLT CAPACIDAD Tn	SHOTCRETE cm2
8	112	1.238	0.459	10	10
ESPACIADO EN EL PLANO	CANTIDAD DE CABLES	LONG. DEL CABLE	ESPACIADO DEL PATRON	SIN/FS	CON/FS
2.5	3	2	1	0	21.085



CAPITULO 6 BIBLIOGRAFÍA Y ANEXO

6.1 Bibliografía

Angelelli V., Schalamuk I., Cagnoni J.; 1974. La Rodocrosita del Yacimiento Cuprífero de Capillitas, Dpto. Andalgalá, Prov. de Catamarca, República Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, Tomo XXIX, N° 1 (enero-marzo), pág. 105-127.

Barton, N Lien, R. y Lunden, J. (1974), Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. Rock Mechanics, Springer Verlag, vol 6 pp 189 – 236.

Bieniawski, Z.T. (1989). Engineering Rock Mass Classifications. John Wiley and sons, Inc.

Hoek-Brown, et al failure criterion – El criterio de rotura de Hoek-Brown – Edición 2002
González Bonorino, F. 1950. Geología y petrología de las hojas 12-D (Capillitas) y 13D (Andalgalá). Boletín Dirección General de Industria y Minería, 70. Buenos Aires.

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., y Oteo, C. (2004). Ingeniería Geológica. Pearson

Rock Mech. & Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 18. Pergamon Press. Romana, M. (1985).

New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. Int. Symp. On the role of rock mechanics

ISRM. Zacatecas, 49-53. IGME (1987). Manual de Ingeniería de Taludes. Capítulo 5: Caracterización Geotécnica de materiales, pp 117- 152.

JICA (Japan International Cooperation Agency), 1980-1981. Informe de Estudios Básicos sobre la Explotación de Recursos Minerales en la Zona Norte de la República Argentina. Tercera y Cuarta etapa.

Márquez Zavalía, M. F., 1988. Mineralogía y génesis del yacimiento Capillitas (Catamarca, República Argentina). Universidad Nacional de Salta, tesis doctoral, inédita. 258 p. Salta.

Mercedes, F., y González de Vallejo, L. (2007). Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

Oyanguren, P. R. y Monge L.A., 2007. Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes. Master Internacional “Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Minerales”. Modulo Medio Ambiente, Serie Postgrado.

Sönmez, H y Ulusay, R (2002). “A discussion on the Hoek-Brown failure criterion and suggested modifications to the criterion verified by slope stability studies”, Bulletin of Earth Science Application and Research Centre of University Hacettepe, Vol 26, pp77- 99.

Páginas Web

- <https://www.atlas.catamarca.gov.ar/>
- <https://www.rocscience.com/>

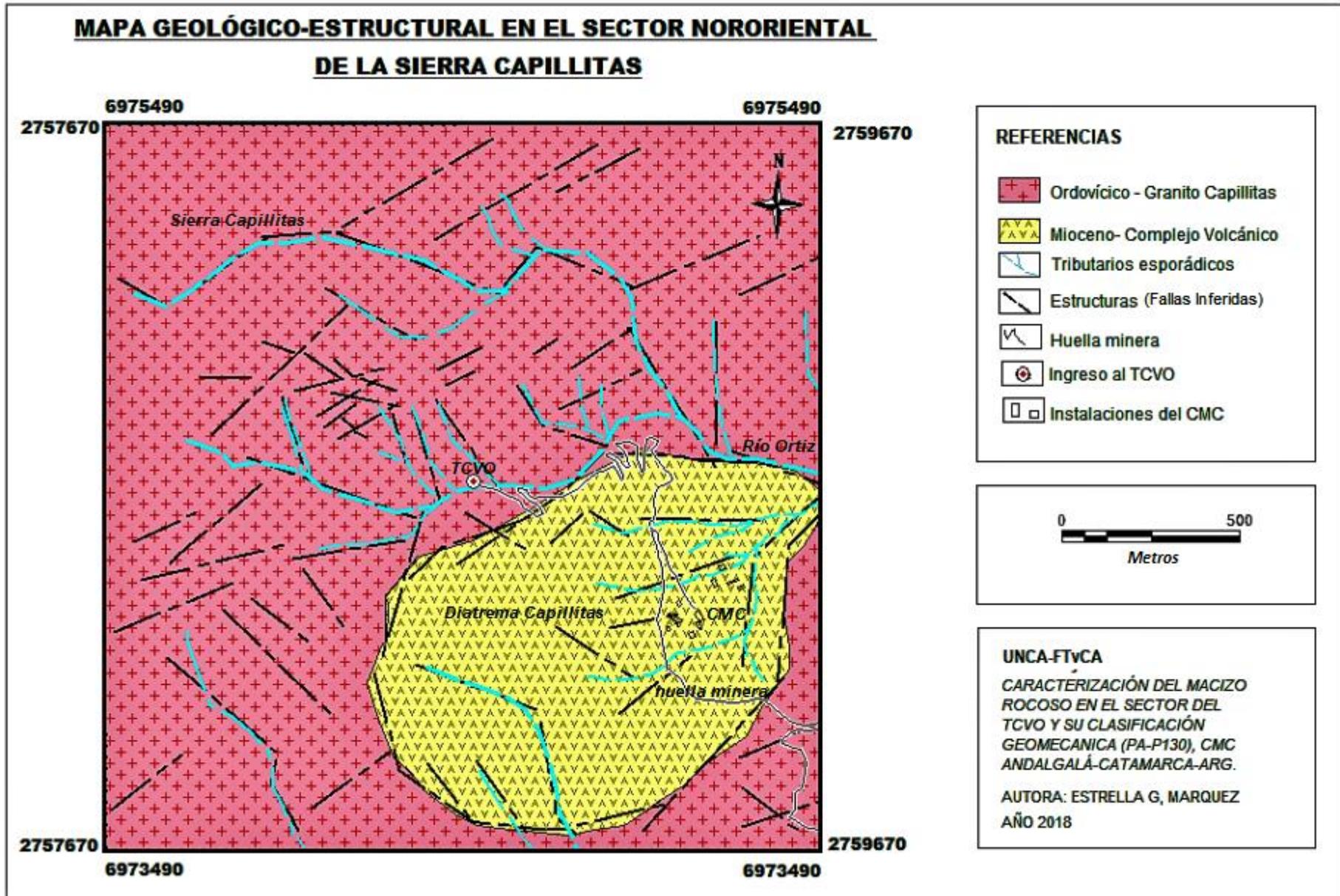


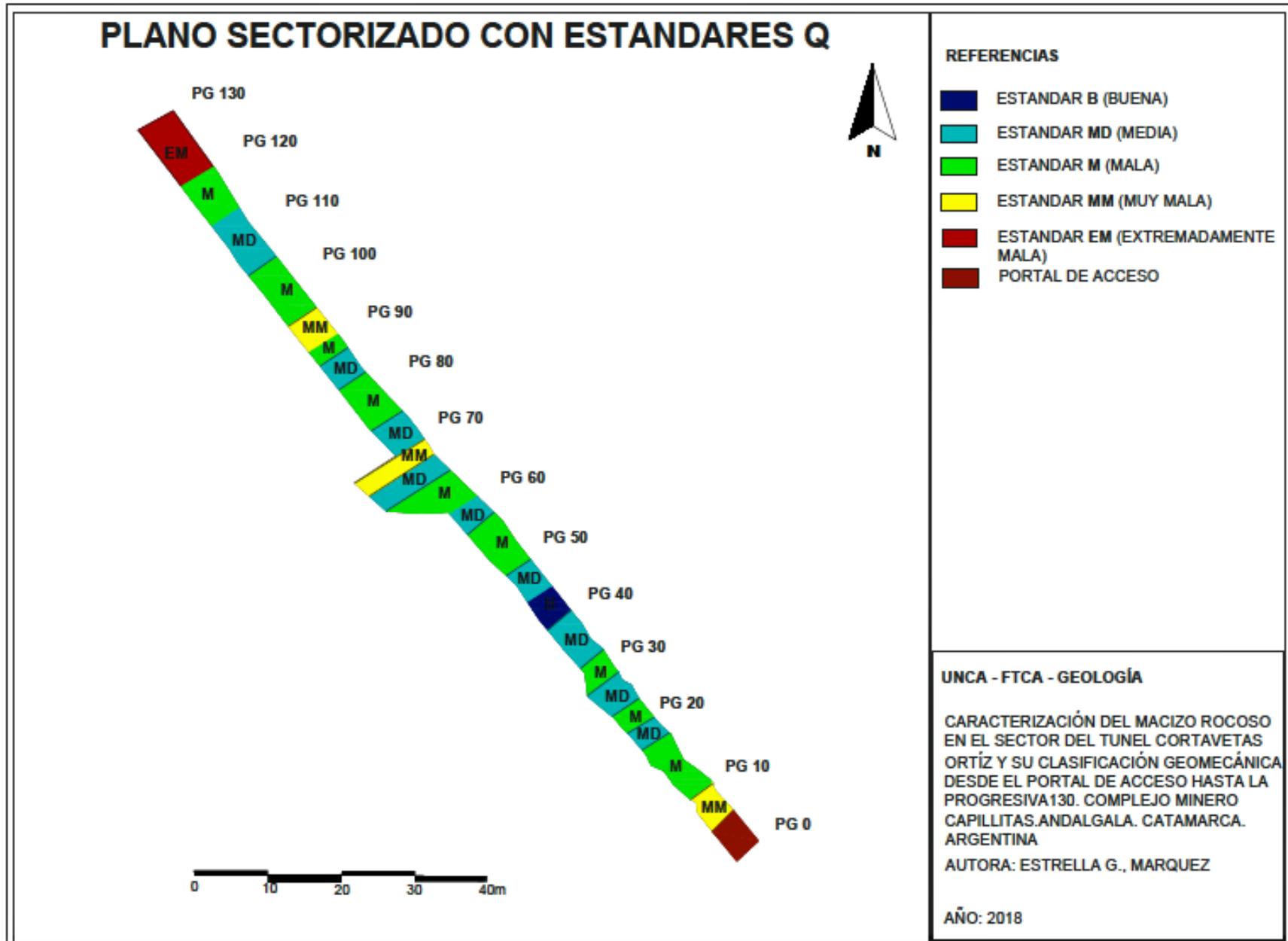
6.2 Anexo

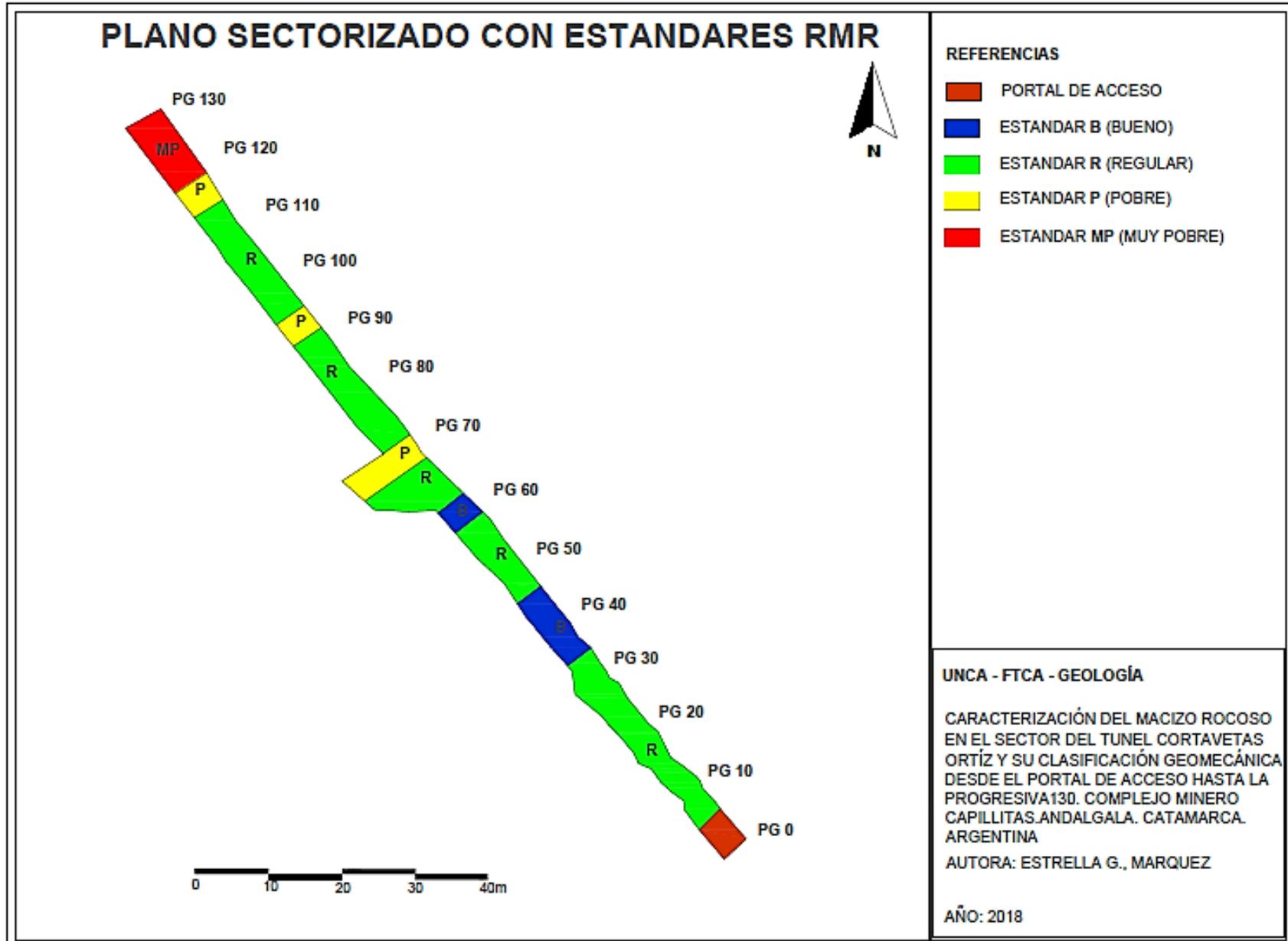
6.2.1 Mapa (Geológico-Estructural) y Planos (TCVO)

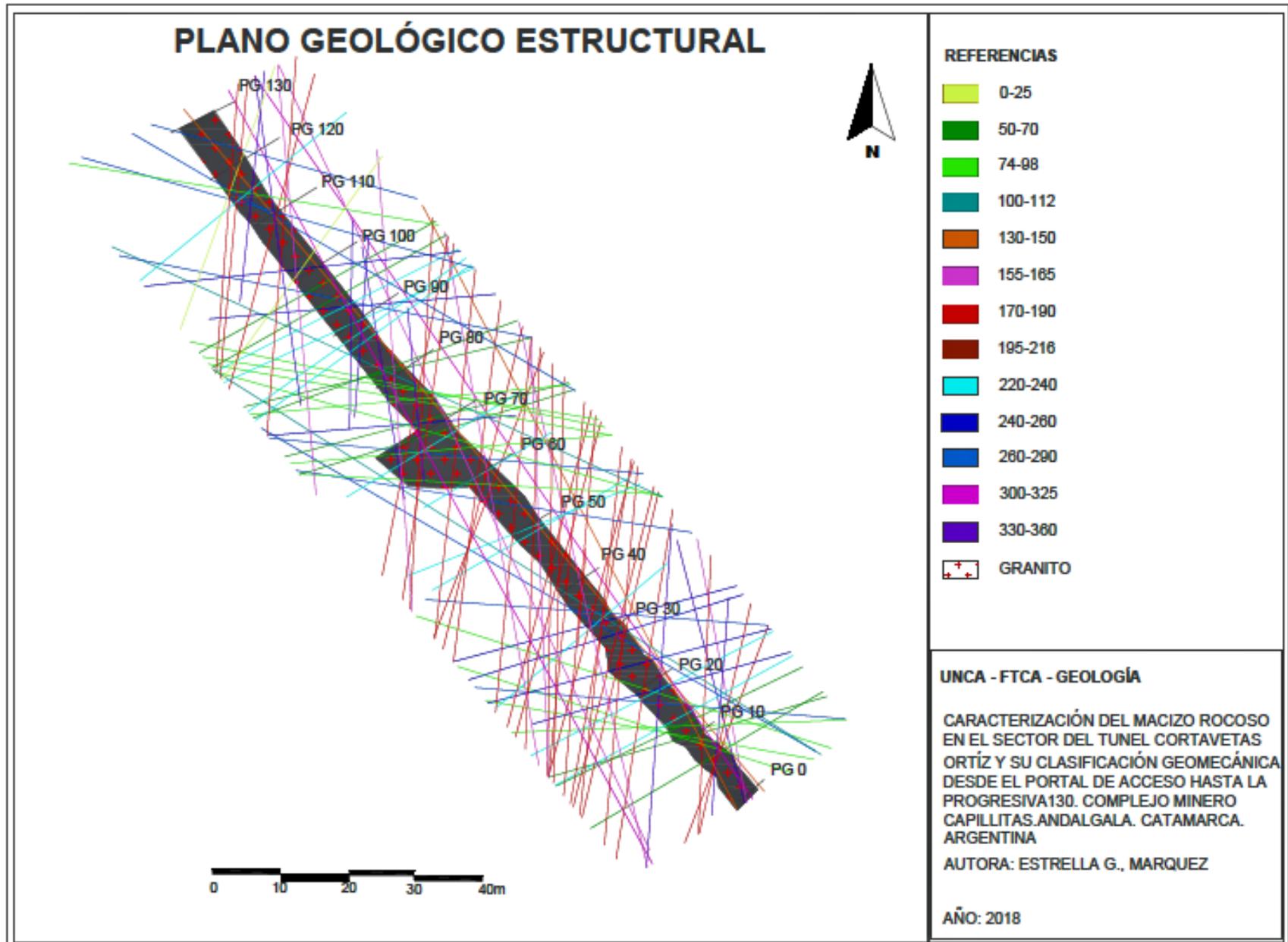
A continuación, se adjunta la siguiente información gráfica:

- Mapa geológico-Estructural (Sector Nororiental de la Sierra Capillitas)
- Plano Sectorizado (TCVO) con Estándares Q (Barton, et al 1974)
- Plano Sectorizado (TCVO) con Estándares RMR (Bieniawski, 1973)
- Plano Geológico- Estructural (TCVO).











6.2.2 Planillas (Trabajo de Campo)

Abreviaturas:

- MP (mapeo); Perst. (persistencia); Apert. (apertura); Rug. (rugosidad); Alt. (alteración); CF (condición de la fractura); Frec. (frecuencia); Resist. (resistencia); Rell. (relleno).
- Estructuras Jn (diaclasas); Sr (cizalla); FL (falla); Vn (venas o vetas).
- Minerales: ac arcilla; ox (óxidos); jar (jarosita); lim (limonita); py (pirita); CO₃ (carbonato); rho (rodocrosita); hemt (hematita); cal (calcita), ar (arena) y qz (cuarzo).
- Superficie de planos: OL (ondulado liso); OR (ondulado rugoso); PL (plano liso) y PR (plano rugoso).

I. Panilla de los Mapeos de Superficie

MP	Prog.	Azimut	Dip	Características de las discontinuidades					CF	Estructura	Frec.	Resist. (R)
				Perst.	Apert.	Rug.	Relleno	Alt.				
1	1.10	179	79	1	0	3	4	3	12	Jn	15	3
1	3.30	275	75	1	0	3	4	3	12	Jn	20	3
1	3.40	348	50	4	1	3	4	3	18	Jn	8	4
1	4.20	282	79	4	1	3	4	3	18	Jn	10	4
1	5.20	175	79	1	0	3	4	3	12	Jn	15	3
1	6.90	175	61	1	0	3	4	3	12	Jn	15	3
1	9.10	176	72	1	0	3	4	3	12	Jn	20	3
1	10.80	177	68	1	0	3	4	3	12	Jn	15	3
1	12.50	350	50	4	1	3	4	3	18	Jn	15	4
1	13.50	177	78	1	0	3	4	3	12	Jn	15	3
1	13.80	178	69	1	0	3	4	3	12	Jn	10	3
1	14.10	177	70	1	0	3	4	3	12	Jn	10	3
1	15.80	86	89	4	1	5	4	3	20	Jn	15	3
2	0.00	163	89	4	5	3	5	3	20	Jn	10	3
2	0.60	235	82	4	5	3	5	3	20	Jn	10	3
2	1.90	175	66	4	5	3	5	3	20	Jn	15	3
2	4.60	330	73	4	1	3	0	1	9	Jn	20	2
2	5.60	239	76	4	1	1	2	1	9	Jn	15	3
2	6.20	240	73	6	6	5	6	5	28	Jn	10	3
2	6.80	305	35	4	6	5	6	5	26	Jn	10	3
2	7.80	56	68	5	1	3	5	3	17	Jn	15	3
2	12.30	335	78	6	1	3	5	5	20	Jn	20	4
2	12.95	160	79	4	5	5	2	3	19	Jn	15	3
2	14.25	177	69	4	1	3	2	3	13	Jn	15	3
2	15.45	175	64	4	1	3	2	3	13	Jn	15	3



*Caracterización del Macizo Rocoso en el Sector del Túnel Cortaveta Ortiz y su
Clasificación Geomecánica desde el Portal de Acceso hasta la Progresiva 130 m;
Complejo Minero Capillitas-Andalgalá-Catamarca-Argentina.*



2	15.91	176	63	4	1	3	2	3	13	Jn	10	3
2	16.51	289	87	4	1	3	2	3	13	Jn	10	3
2	21.30	180	66	6	1	3	2	5	17	Jn	20	3
2	23.41	174	64	4	4	3	2	3	16	Jn	20	3
2	23.71	69	49	4	6	5	6	5	26	Jn	10	4
3	0.00	176	66	1	1	3	4	3	12	Jn	20	3
3	3.40	315	88	5	4	5	2	5	22	Jn	20	3
3	4.90	241	81	5	4	5	2	5	22	Jn	15	3
3	5.40	352	40	5	4	5	2	5	22	Jn	10	4
3	9.10	343	55	5	4	5	2	5	22	Jn	20	3
3	10.30	175	61	1	0	3	4	3	12	Jn	15	2
3	11.80	65	76	5	4	5	2	5	22	Jn	15	3
3	12.80	350	45	5	4	5	2	5	22	Jn	15	3
3	14.30	350	30	5	4	5	2	5	22	Jn	15	3
4	1.90	173	75	4	1	3	2	3	16	Jn	15	3
4	4.50	171	71	4	1	4	2	5	19	Jn	20	3
4	4.60	355	22	4	1	3	2	3	16	Jn	8	3
4	6.50	160	69	4	0	3	2	0	10	Jn	15	2
4	6.80	255	86	2	1	5	4	5	17	Jn	10	3
4	10.10	166	70	4	1	5	2	3	18	Jn	20	4
4	14.60	63	65	4	1	5	2	3	18	Jn	20	4
4	14.80	70	28	4	1	5	2	3	18	Jn	10	3
4	16.50	165	72	4	1	5	2	3	18	Jn	15	3
4	17.20	255	79	4	1	3	2	3	16	Jn	15	3
4	17.80	171	74	4	1	5	2	3	18	Jn	15	3
4	18.00	179	74	4	1	5	2	3	18	Jn	10	3
4	19.00	171	73	4	1	5	2	3	18	Jn	15	3
4	20.00	220	76	4	1	5	2	3	18	Jn	15	3
4	21.10	176	79	4	1	3	2	3	16	Jn	15	3
5	0.00	172	68	1	1	3	2	3	10	Jn	15	3
5	1.50	161	74	1	1	3	2	3	10	Jn	15	3
5	1.80	176	71	1	1	3	2	3	10	Jn	10	4
5	2.80	169	66	1	1	3	2	3	10	Jn	15	3
5	4.00	162	64	1	1	3	2	3	10	Jn	15	4
5	5.30	173	74	1	1	3	2	3	10	Jn	15	3
5	6.30	ND	ND	1	1	3	2	3	10	Jn	15	4
5	6.80	ND	ND	1	1	3	2	3	10	Jn	10	3
5	8.70	ND	ND	1	1	3	2	3	10	Jn	15	4
5	10.00	175	74	1	1	3	2	3	10	Jn	15	3
5	11.00	178	68	1	1	3	2	3	10	Jn	15	4
5	11.80	ND	ND	1	1	3	2	3	10	Jn	15	3
5	13.30	ND	ND	1	1	3	2	3	10	Jn	15	4



*Caracterización del Macizo Rocoso en el Sector del Túnel Cortaveta Ortiz y su
Clasificación Geomecánica desde el Portal de Acceso hasta la Progresiva 130 m;
Complejo Minero Capillitas-Andalgalá-Catamarca-Argentina.*



5	13.74	180	73	6	1	3	2	3	15	Jn	10	3
5	13.90	185	71	4	1	3	2	3	13	Jn	8	4
5	14.20	184	70	4	1	3	2	3	13	Jn	10	3
5	14.50	ND	ND	4	1	3	2	3	13	Jn	10	4
5	16.80	84	89	2	0	3	4	1	10	Jn	20	3
5	17.40	176	69	4	1	5	2	3	15	Jn	10	4
5	18.25	ND	ND	4	1	5	2	3	15	Jn	15	3
5	18.55	175	67	4	1	3	2	3	13	Jn	10	3
5	18.85	86	85	2	0	3	4	1	10	Jn	10	3
5	23.75	175	65	4	1	2	5	2	14	Jn	20	3
5	24.25	173	68	4	1	2	5	2	14	Jn	10	3
5	24.75	263	69	4	1	5	6	5	21	Jn	10	3
5	25.55	173	63	2	1	3	4	5	15	Jn	15	3
5	26.05	173	70	2	1	3	2	3	11	Jn	10	3
5	26.65	170	68	6	1	3	2	5	17	Jn	10	3
5	27.85	172	60	2	1	3	2	3	11	Jn	15	3
5	28.45	175	62	2	0	3	2	3	10	Jn	15	3
5	29.25	165	69	2	1	3	2	1	9	Jn	15	3
5	30.55	160	67	2	1	3	2	1	9	Jn	15	3
5	31.35	185	65	6	1	3	2	3	15	Jn	15	4
5	32.55	183	60	4	1	3	2	3	13	Jn	15	3
5	33.15	178	65	1	1	3	2	3	10	Jn	15	4
5	34.75	320	63	4	1	5	2	5	17	Jn	15	3
5	36.25	154	66	4	1	3	2	1	11	Jn	15	4
5	37.59	165	50	2	4	3	2	1	12	Jn	15	3
5	40.99	185	75	4	1	3	2	3	13	Jn	20	4
5	43.79	165	70	2	4	3	2	1	12	Jn	20	3
5	44.55	172	60	2	4	3	2	3	14	Jn	15	4
5	46.55	267	75	4	1	5	6	5	21	Jn	15	3
5	52.55	160	80	2	4	3	2	1	12	Jn	20	3
5	55.15	250	70	4	1	5	6	5	21	Jn	20	3
5	56.55	155	76	2	4	3	2	1	12	Jn	15	3
5	56.79	159	75	2	4	3	2	1	12	Jn	10	3
5	58.29	58	35	2	0	3	4	1	10	Jn	15	4
5	78.29	175	58	2	4	3	2	3	14	Jn	20	3
5	78.59	55	45	2	0	3	4	1	10	Jn	10	2
5	80.59	300	63	4	1	5	6	5	21	Jn	15	3
5	85.29	315	62	4	1	3	2	3	13	Jn	20	4



II. Planillas de Logeos Geotécnicos

Pozo	Desde	Hasta	Long. Corrida	Recup. (m)	Long.RF-CM	FRF	N°FN	N°FM	FRF + FN + FM	Grado	G° Frac	G° de Alt/Int	RQD	Dureza R
1	0.00	1.10	1.10	0.80	80	17	0	0	17	4.71	B+	B	0	1
1	1.1	2.1	1	0.3	30	7	0	0	7	4.29	B+	B	0	1
1	2.1	4.8	2.7	1.55	70	15	0	5	20	7.75	C	B+	57.4	2
1	4.8	7.8	3	3	0	1	0	12	13	23.08	E-	E	100	4
1	7.8	10.8	3	3	0	1	0	4	5	60.00	E+	E	100	4
1	10.8	13.8	3	3	0	1	1	9	11	27.27	E-	E	100	4
1	13.8	16.8	3	3	0	1	0	8	9	33.33	E	E	100	4
1	16.8	19.8	3	3	0	1	2	5	8	37.50	E	E	100	4
1	19.8	22.8	3	3	0	1	0	7	8	37.50	E	D	100	3
1	22.8	25.8	3	3	0	1	0	4	5	60.00	E	E	100	4
1	25.8	28.8	3	3	0	1	0	5	6	50.00	E	E	100	4
1	28.8	31.8	3	3	0	1	0	4	5	60.00	E	D	100	3
1	31.8	34.8	3	3	0	1	1	7	9	33.33	E	D	100	3
1	34.8	37.8	3	3	0	1	0	5	6	50.00	E	E	100	4
1	37.8	40.8	3	3	0	1	3	4	8	37.50	E	E	100	4
1	40.8	43.8	3	3	0	1	4	2	7	42.86	E	E	98	3
1	43.8	46.8	3	3	0	1	1	4	6	50.00	E	E	100	3
1	46.8	49.8	3	3	0	1	3	3	7	42.86	E	E	100	3
1	49.8	52.8	3	3	0	1	4	4	9	33.33	E	E	99	4
1	52.8	55.8	3	3	0	1	0	4	5	60.00	E	E	100	4
1	55.8	58.8	3	3	0	1	3	7	11	27.27	E-	E	100	4
1	58.8	61.8	3	3	0	1	9	9	19	15.79	D	D	95.33	3
1	61.8	64.8	3	3	0	1	12	4	17	17.65	D+	D	94.33	3
1	64.8	67.8	3	3	33	7.6	4	6	17.6	17.05	D+	C	89	2
1	67.8	70.5	2.7	2.7	50	11	13	12	36	7.50	C	C	65.92	2
1	70.5	73.7	3.1	3.1	0	1	5	13	19	16.32	D	D	98.7	2
1	73.7	76.7	3.1	3.1	0	1	4	7	12	25.83	E-	C	97.09	2
1	76.7	79.8	3.1	3.1	60	13	7	13	33	9.39	C+	C	95.48	2
1	79.8	82.8	3	3	0	1	4	6	11	27.27	E-	D	100	3
1	82.8	85.8	3	3	40	9	2	12	23	13.04	D-	D	96	3
1	85.8	88.8	3	3	0	1	0	9	10	30.00	E-	D	100	3
1	88.8	91.8	3	3	0	1	6	6	13	23.08	E-	D	97.33	3
1	91.8	94.8	3	3	100	21	7	12	40	7.50	C	C	93.66	2
1	94.8	97.8	3	3	30	7	4	11	22	13.64	D	C	86.66	2
1	97.8	100.8	3	3	70	15	1	16	32	9.38	C	C	91.33	2
1	100.8	103.8	3	3	0	1	2	8	11	27.27	E-	D	100	3



*Caracterización del Macizo Rocoso en el Sector del Túnel Cortaveta Ortiz y su
Clasificación Geomecánica desde el Portal de Acceso hasta la Progresiva 130 m;
Complejo Minero Capillitas-Andalgalá-Catamarca-Argentina.*



1	103.8	106.8	3	3	0	1	1	7	9	33.33	E	E	97	3
1	106.8	109.8	3	3	0	1	0	4	5	60.00	E	E	100	4
1	109.8	112.8	3	3	0	1	1	8	10	30.00	E	E	100	4
1	112.8	115.8	3	3	0	1	0	5	6	50.00	E	E	100	4
1	115.8	118.8	3	3	0	1	4	6	11	27.27	E-	E	97	3
1	118.8	121.8	3	3	0	1	4	3	8	37.50	E	E	96	3
1	121.8	124.8	3	3	0	1	8	6	15	20.00	D+	C	63.66	2
1	124.8	127.8	3	3	0	1	3	14	18	16.67	D	D	94.33	3
1	127.8	130.8	3	3	0	1	2	12	15	20.00	D+	D	97.33	3
1	130.8	133.8	3	2.9	0	1	3	10	14	20.71	E-	D	93.1	3
1	133.8	136.8	3	3	0	1	6	9	16	18.75	D+	D	86.66	3
1	136.8	139.8	3	3	0	1	0	12	13	23.08	E-	D	100	3
1	139.8	142.8	3	3	70	15	1	8	24	12.50	D-	C	76.66	2
1	142.8	143.9	1.1	1.1	110	23	3	0	26	4.23	B+	B	0	1
1	143.9	144.1	0.2	0.15	150	31	0	0	31	0.48	A+	A	0	1
1	144.1	145.8	1.7	1.5	150	31	0	0	31	4.84	B+	B	0	1
1	145.8	148.8	3	3	60	13	3	18	34	8.82	C+	C	76.66	2
1	148.8	151.8	3	3	20	5	0	10	15	20.00	D+	D	100	3
1	151.8	154.8	3	3	10	3	0	8	11	27.27	E-	E	100	3
1	154.8	157.8	3	3	0	1	8	7	16	18.75	D+	D	90	3
1	157.8	160.6	2.8	2.8	0	1	3	2	6	46.67	E	D	100	4
2	0	2	2	1.15	19	4.8	1	8	13.8	8.33	C+	B	90.5	3
2	2	5	3	2.8	70	15	12	9	36	7.78	C	B	38.5	2
2	5	8	3	3	0	1	2	7	10	30.00	E-	E	100	3
2	8	11	3	3	0	1	0	5	6	50.00	E	E	100	4
2	11	14	3	3	0	1	3	4	8	37.50	E	E	100	4
2	14	17	3	3	0	1	0	12	13	23.08	E-	E	100	4
2	17	20	3	3	0	1	0	7	8	37.50	E	E	100	4
2	20	23	3	3	0	1	3	4	8	37.50	E	E	100	4
2	23	26	3	3	30	7	1	3	11	27.27	E-	D	100	4
2	26	29	3	3	0	1	0	10	11	27.27	E-	E	100	3
2	29	32	3	3	0	1	2	5	8	37.50	E	D	100	4
2	32	35	3	3	0	1	3	5	9	33.33	E	D	100	4
2	35	38	3	3	0	1	3	6	10	30.00	E-	D	97	3
2	38	41	3	3	0	1	6	4	11	27.27	E-	D	100	3
2	41	44	3	3	0	1	4	7	12	25.00	E-	D	100	3
2	44	47	3	3	0	1	2	3	6	50.00	E	D	100	3
2	47	50	3	3	0	1	1	8	10	30.00	E-	D	100	3
2	50	53	3	3	0	1	1	9	11	27.27	E-	D	100	3
2	53	56	3	3	0	1	0	11	12	25.00	E-	D	100	3
2	56	59	3	3	0	1	0	6	7	42.86	E	D	100	3
2	59	62	3	3	0	1	5	3	9	33.33	E	D	100	3



Caracterización del Macizo Rocoso en el Sector del Túnel Cortaveta Ortiz y su
Clasificación Geomecánica desde el Portal de Acceso hasta la Progresiva 130 m;
Complejo Minero Capillitas-Andalgalá-Catamarca-Argentina.



2	62	65	3	3	0	1	0	4	5	60.00	E	D	100	3
2	65	68	3	3	0	1	1	6	8	37.50	E	D	100	4
2	68	70.7	2.7	2.7	145	30	2	13	45	6.00	C-	B	46.29	2
2	70.7	73.8	3.1	3.1	0	1	2	14	17	18.24	D+	C	100	3
2	73.8	76.9	3.1	3.1	0	1	0	4	5	62.00	E+	D	100	4
2	76.9	80	3.1	3.1	0	1	0	5	6	51.67	E	E	100	3
2	80	83	3	3	0	1	6	5	12	25.00	E-	D	91	3
2	83	86	3	3	0	1	1	3	5	60.00	E	E	100	3
2	86	89	3	3	0	1	9	7	17	17.65	D+	C	91.33	3
2	89	92	3	3	0	1	1	6	8	37.50	E	D	100	3
2	92	95	3	3	0	1	1	9	11	27.27	E-	D	100	3
2	95	98	3	3	38	8.6	1	11	20.6	14.56	D	C	87.33	3
2	98	101	3	3	20	5	4	9	18	16.67	D	C	100	3
2	101	104	3	3	0	1	0	10	11	27.27	E-	D	100	3
2	104	107	3	3	0	1	1	9	11	27.27	E-	D	100	3
2	107	110	3	3	0	1	1	1	3	100.00	E+	E	100	4
2	110	113	3	3	0	1	1	6	8	37.50	E	E	100	4
2	113	116	3	3	0	1	3	6	10	30.00	E-	D	97.33	3
2	116	119	3	3	26	6.2	4	0	10.2	29.41	E-	D	91.33	3
2	119	122	3	3	0	1	1	9	11	27.27	E-	D	100	3
2	122	125	3	3	0	1	0	5	6	50.00	E	E	100	4
2	125	128	3	3	0	1	1	6	8	37.50	E	E	100	4
2	128	131	3	3	0	1	1	6	8	37.50	E	E	100	4
2	131	134	3	3	0	1	0	10	11	27.27	E-	E	100	3
2	134	137	3	3	40	9	1	3	13	23.08	E-	C	86.66	2
2	137	140	3	3	10	3	3	8	14	21.43	E-	C	96.66	3
2	140	143	3	3	41	9.2	5	6	20.2	14.85	D	C	86.33	2
2	143	146	3	3	125	26	2	9	37	8.11	C	C	56	2
2	146	149	3	3	0	1	1	10	12	25.00	E-	D	100	3
2	149	152	3	3	0	1	0	15	16	18.75	D	D	100	3
2	152	155	3	3	0	1	0	8	9	33.33	E	E	100	4
2	155	158	3	3	0	1	1	9	11	27.27	E-	E	100	3
2	158	161	3	3	23	5.6	3	11	19.6	15.31	D	C	92.33	3
2	161	164	3	3	0	1	5	8	14	21.43	E-	C	92.66	3
2	164	167	3	3	0	1	0	11	12	25.00	E-	E	100	3
2	167	170	3	3	0	1	1	12	14	21.43	E-	E	100	3
3	0	1.8	1.8	0.45	45	10	0	0	10	4.50	B+	B	75	2
3	1.8	4.8	3	2.95	30	7	5	9	21	14.05	D	C	90	3
3	4.8	7.8	3	2.3	16	4.2	7	7	18.2	12.64	D	B	92	2
3	7.8	10.8	3	1.5	10	3	2	4	9	16.67	D	C	66.66	2
3	10.8	13.8	3	1.2	75	16	2	7	25	4.80	B+	C	75	2
3	13.8	15	1.2	0.35	25	6	1	1	8	4.38	B+	C	100	3



Caracterización del Macizo Rocoso en el Sector del Túnel Cortaveta Ortiz y su
Clasificación Geomecánica desde el Portal de Acceso hasta la Progresiva 130 m;
Complejo Minero Capillitas-Andalgalá-Catamarca-Argentina.



3	15	16.8	1.8	1.75	10	3	7	7	17	10.29	C+	C	90	3
3	16.8	19.8	3	3	20	5	5	9	19	15.79	D	C	93.33	3
3	19.8	22.8	3	3	10	3	3	6	12	25.00	E-	D	97.66	3
3	22.8	25.8	3	3	0	1	5	7	13	23.08	E-	D	98.66	3
3	25.8	28.8	3	3	0	1	2	8	11	27.27	E-	D	100	3
3	28.8	31.8	3	3	0	1	2	5	8	37.50	E	E	100	3
3	31.8	34.8	3	3	0	1	2	8	11	27.27	E-	D	100	3
3	34.8	37.8	3	3	0	1	0	13	14	21.43	E-	E	100	3
3	37.8	40.8	3	3	0	1	0	4	5	60.00	E+	E	100	3
3	40.8	43.8	3	3	0	1	3	3	7	42.86	E	E	100	3
3	43.8	46.8	3	3	0	1	2	7	10	30.00	E	E	100	3
3	46.8	49.8	3	3	0	1	1	3	5	60.00	E	E	100	3
3	49.8	52.8	3	3	0	1	1	5	7	42.86	E	E	100	3
3	52.8	55.8	3	3	0	1	2	3	6	50.00	E	E	100	3
3	55.8	58.8	3	3	0	1	6	6	13	23.08	E-	D	95.33	3
3	58.8	61.8	3	2.9	10	3	3	9	15	19.33	D+	C	97	3
3	61.8	64.8	3	3	0	1	0	6	7	42.86	E	D	100	4
3	64.8	67.8	3	2.9	10	3	3	12	18	16.11	D	D	94.33	3
3	67.8	70.8	3	2.9	10	3	1	9	13	22.31	E-	D	96.66	3
3	70.8	73.8	3	2.8	50	11	4	7	22	12.73	D-	C	100	3
3	73.8	76.8	3	2.98	10	3	9	7	19	15.68	D	C	91.66	3
3	76.8	79.8	3	3	0	1	2	6	9	33.33	E	D	100	4
3	79.8	82.8	3	3	13	3.6	1	10	14.6	20.55	E-	D	95.66	3
3	82.8	84.9	2.1	2.1	0	1	1	3	5	42.00	E	E	95.23	3
3	84.9	88	3.1	3.1	0	1	0	4	5	62.00	E+	E	100	4
3	88	91.1	3.1	3.1	0	1	0	6	7	44.29	E	E	100	4
3	91.1	94.2	3.1	3.1	0	1	1	11	13	23.85	E-	D	83.87	3
3	94.2	97.3	3.1	3.1	0	1	3	2	6	51.67	E	E	95.16	4
3	97.3	100.4	3.1	3.1	0	1	0	2	3	103.33	E+	E	100	4
3	100.4	103.5	3.1	3.1	0	1	0	9	10	31.00	E	E	95.8	4
3	103.5	106.6	3.1	3.1	0	1	0	2	3	103.33	E+	E	100	4
3	106.6	109.7	3.1	3.1	0	1	1	4	6	51.67	E	E	100	3
3	109.7	112.8	3.1	3.1	0	1		7	8	38.75	E	E	100	4
3	112.8	115.8	3	3	0	1	1	1	3	100.00	E+	E	100	4
3	115.8	118.8	3	3	0	1	1	5	7	42.86	E	E	98.33	4
3	118.8	121.8	3	3	0	1	0	8	9	33.33	E	E	100	4
3	121.8	124	2.2	2.2	70	15	0	6	21	10.48	D	B	76.66	2
3	124	124.8	0.8	0.8	0	1	0	6	7	11.43	D-	C	100	2
3	124.8	127.8	3	3	10	3	3	9	15	20.00	D+	C	96.66	2
3	127.8	130.8	3	2.9	10	3	3	10	16	18.13	D+	C	96.66	2
3	130.8	136.8	3	3	80	17	5	5	27	11.11	C	C	73.33	2
3	136.8	139.8	3	3	30	7	0	10	17	17.65	D+	C	90	2



Caracterización del Macizo Rocoso en el Sector del Túnel Cortaveta Ortiz y su
Clasificación Geomecánica desde el Portal de Acceso hasta la Progresiva 130 m;
Complejo Minero Capillitas-Andalgalá-Catamarca-Argentina.



3	139.8	142.8	3	3	0	1	1	9	11	27.27	E-	D	99.33	2
3	142.8	145.8	3	3	0	1	0	11	12	25.00	E-	D	100	3
3	145.8	148.8	3	3	0	1	2	6	9	33.33	E	E	100	3
3	148.8	151.8	3	3	0	1	0	5	6	50.00	E	E	100	3
3	151.8	154.8	3	3	0	1	0	7	8	37.50	E	E	100	3
3	154.8	157.8	3	3	0	1	0	6	7	42.86	E	E	100	3
3	157.8	160.8	3	3	0	1	0	6	7	42.86	E	E	100	4
3	160.8	163.8	3	3	0	1	0	5	6	50.00	E	E	100	4
3	163.8	166.8	3	3	0	1	1	6	8	37.50	E	E	100	4
3	166.8	169.8	3	3	0	1	0	1	2	150.00	E+	E	100	4
3	169.8	172.8	3	3	0	1	0	7	8	37.50	E	E	100	4
3	172.8	175.8	3	3	0	1	0	5	6	50.00	E	E	100	4
3	175.8	178.8	3	3	0	1	0	8	9	33.33	E	E	100	4
3	178.8	181.8	3	3	0	1	1	5	7	42.86	E	E	100	4
3	181.8	184.8	3	3	0	1	0	4	5	60.00	E	E	100	4
3	184.8	187.8	3	3	0	1	0	5	6	50.00	E	E	100	4
3	187.8	190.8	3	3	0	1	0	9	10	30.00	E	E	100	4
3	190.8	193.8	3	3	0	1	0	5	6	50.00	E	E	100	4
3	193.8	196.8	3	3	0	1	0	5	6	50.00	E	E	100	4
3	196.8	199.8	3	3	0	1	0	7	8	37.50	E	E	100	4
3	199.8	200.9	1.1	1.1	0	1	0	4	5	22.00	E-	E	100	4
3	200.9	203.9	3	3	0	1	0	2	3	100.00	E+	D	100	4
3	203.9	206.9	3	3	90	19	0	8	27	11.11	D-	D	70	2
3	206.9	208.8	1.9	1.9	0	1	0	1	2	95.00	E+	E	100	4
3	208.8	211.8	3	3	0	1	0	5	6	50.00	E	D	100	3
3	211.8	214.8	3	3	0	1	1	7	9	33.33	E	D	100	3
3	214.8	217.8	3	3	0	1	0	5	6	50.00	E	E	100	4
3	217.8	220.8	3	3	0	1	0	8	9	33.33	E	E	100	4
3	220.8	223.8	3	3	0	1	0	8	9	33.33	E	E	100	4
3	223.8	226.8	3	3	0	1	2	6	9	33.33	E	E	97.33	3
3	226.8	229.8	3	3	0	1	0	7	8	37.50	E	E	100	4
3	229.8	232.8	3	3	0	1	2	5	8	37.50	E	E	100	4
3	232.8	235.8	3	3	0	1	0	7	8	37.50	E	D	100	4
3	235.8	238.8	3	3	0	1	0	5	6	50.00	E	E	100	4
3	238.8	240	1.2	1.2	0	1	0	4	5	24.00	E-	E	100	4

Pozo	PROG	CF	JRC	Forma	Estructura	Apert.	Rug.	Rel.	Alter.	COMENTARIOS
1	13.45	16	3	LR	JN	1	3	4	3	Material de derrubio
1	16.88	16	11	OR	JN	1	3	2	3	rodocrosita 1-2mm (rosa pálido)
1	19.35	16	5	OL	JN	4	4	4	5	Ox+lim+py (diss)
1	32.90	22	5	OR	JN	4	5	4	5	Ox. (goh+jar)
1	37.97	20	3	PL	JN	4	3	4	5	Ox+lim



Caracterización del Macizo Rocoso en el Sector del Túnel Cortaveta Ortiz y su
Clasificación Geomecánica desde el Portal de Acceso hasta la Progresiva 130 m;
Complejo Minero Capillitas-Andalgalá-Catamarca-Argentina.



1	39.20	22	5	OL	JN	4	5	4	5	ox+py (diss)
1	40.47	22	5	OL	VN	1	5	4	3	rodocrosita 1-2mm (rosa pálido)
1	41.22	22	4	PR	JN	4	3	4	5	Ox(goh+jar)
1	41.84	20	4	PR	JN	4	3	4	5	Ox(goh+jar)
1	41.90	20	4	PR	JN	4	3	4	5	Ox(goh+jar)
1	42.13	22	3	OL	VN	4	3	4	5	Py+ac(Kao) +ox
1	46.67	22	3	OL	JN	4	3	4	5	patinas de ox
1	48.30	22	4	PR	JN	4	4	4	5	óxidos naranjas (jar)
1	49.32	6	3	PR	JN	1	3	2	3	ac (kao±ill)3mm
1	49.44	6	3	PR	JN	1	3	2	3	ac (kao±ill) 2mm
1	50.99	24	6	OR	JN	4	5	4	5	ox (goh+jar)
1	51.02	22	5	OR	JN	4	5	4	5	ox (manganeso)
1	52.00	9	3	PR	JN	1	3	2	3	ac 3mm +py diss
1	52.15	3	4	OL	JN	1	3	2	3	ac 2mm+py diss
1	56.78	2	3	PR	SR	1	3	0	1	ac 20 mm + ar
1	56.93	2	3	PR	SR	1	3	0	1	ac 20 mm + ar
1	58.41	4	3	PR	VN	1	3	2	3	ac 1 mm +py diss
1	60.26	7	3	PR	SR	1	3	2	3	ac 2 mm + ox (MnO)
1	60.54	20	4	PR	JN	4	3	3	5	ac 1 mm + ox (MnO)
1	60.63	22	5	PR	JN	4	4	6	5	Patinas ox (MnO)
1	60.84	22	4	PR	JN	4	3	6	5	Patinas ox (jar)
1	61.05	20	3	OL	JN	4	3	2	3	lim 1mm+jar
1	61.10	22	4	OR	JN	5	4	6	5	patinas de óxidos
1	61.24	24	3	OL	JN	1	3	2	3	ac 2mm+py diss
1	61.41	24	3	OR	JN	5	5	6	5	patinas de óxidos
1	61.65	7	4	PR	JN	1	3	2	3	ac 2 mm
1	62.02	7	3	PR	JN	1	3	2	3	ac 1 mm
1	62.55	22	5	OR	JN	5	4	2	3	Lim <1mm
1	62.88	21	4	OL	VN	4	4	4	3	sulfuros diss+jar
1	62.96	7	3	PR	JN	4	3	2	3	ac<2mm
1	63.05	3	3	PR	JN	1	3	1	1	ac 5mm +ox (gh)
1	63.27	22	5	OR	JN	5	5	4	3	py diss+ jar+pat ac
1	63.43	24	7	OR	JN	4	5	4	3	oxido de manganeso
1	63.64	7	3	PR	JN	4	3	2	3	ac<2mm
1	63.76	20	4	OR	JN	4	4	6	5	patinas de óxidos
1	64.08	20	3	OR	JN	4	3	6	5	patinas de óxidos
1	64.28	3	3	OL	JN	1	3	1	1	ac<5mm+rho+py diss
1	64.60	7	3	PL	JN	4	3	2	3	ac<3mm+ py diss+calcita
1	65.56	16	3	PL	JN	5	3	5	3	ac<1mm (patinas selectiva)
1	66.00	0	3	PL	FL	0	3	1	1	130mm de relleno ac+ar
1	66.60	7	3	PL	JN	5	3	2	3	ac<2mm
1	67.25	0	3	PL	FL	0	3	1	1	20 cm de relleno ac+ar



*Caracterización del Macizo Rocoso en el Sector del Túnel Cortaveta Ortiz y su
Clasificación Geomecánica desde el Portal de Acceso hasta la Progresiva 130 m;
Complejo Minero Capillitas-Andalgalá-Catamarca-Argentina.*



1	67.84	9	4	PR	JN	5	3	2	3	ac<2mm
1	68.10	2	3	PL	SR	0	3	0	1	ac 40mm
1	68.14	2	5	PR	SR	1	4	1	1	ac+ar 5mm
1	68.19	3	3	OL	JN	1	3	1	1	ac+ar<5mm
1	68.28	2	3	OL	SR	0	3	0	1	30mm ac+ar
1	68.37	2	3	PL	SR	0	3	0	1	60mm ac+ar
1	68.90	2	3	OL	SR	0	3	0	1	20mm ac+ar
1	68.98	9	4	PR	SR	4	4	1	2	estrías en CO3Ca duro
1	69.20	3	3	OL	SR	1	3	2	1	3mm ac
1	69.32	2	3	OL	SR	0	3	1	0	ac+ar 10mm
1	70.00	0	4	OL	FL	0	3	1	0	roca triturada con ac+ar 20 cm
1	70.30	0	4	OL	FL	0	3	1	0	roca triturada con ac+ar 30 cm
1	70.45	9	4	OL	SR	5	3	2	2	ac<5m
1	72.00	3	3	PR	JN	5	3	2	3	ac+ar 5mm
1	72.04	20	2	OR	JN	3	3	6	5	patinas de carbonato
1	72.50	6	3	PR	JN	3	3	2	2	ac<5mm
1	73.06	16	9	OR	VN	0	6	2	5	py diss+CO3Ca<5mm
1	73.20	16	2	OL	VN	1	4	2	5	py diss+CO3Ca<5mm
1	75.43	24	5	PR	JN	4	4	2	5	py diss+ CO3Mn 3mm
1	75.52	16	3	OR	JN	1	1	6	5	patina de carbonato
1	76.14	10	4	PR	JN	4	2	4	3	carbonato <2mm
1	76.47	16	4	OR	SR	4	4	4	3	carbonato 1 mm
1	78.04	16	3	OL	SR	4	3	4	3	carbonato a 1mm
1	78.10	16	5	OR	SR	4	5	6	5	patina de carbonato
1	78.35	9	2	OL	VN	3	2	4	5	py diss+ CO3Mn 3mm aprox
1	78.55	1	2	OL	SR	0	2	0	1	ac+ar 50mm
1	78.92	1	2	OL	SR	0	2	0	1	ac+ar 30mm
1	79.03	7	2	OL	JN	4	3	2	2	ac<2mm
1	79.10	3	3	OL	SR	4	3	2	2	py diss+ac<3mm
1	80.08	12	4	OR	SR	4	4	4	3	py diss+cal
1	80.55	16	3	OR	JN	4	3	4	3	py diss+cal
1	80.58	0	3	OL	SR	0	3	0	1	10 cm ac+ar
1	82.74	7	3	OL	SR	4	3	2	2	py diss+carbonato
1	84.16	3	3	OL	JN	1	3	2	3	ac+py diss <3mm
1	84.35	20	5	OR	JN	3	5	6	5	ac<1mm (patinas selectiva)
1	89.47	2	5	PL	SR	0	4	0	0	ac+ar+py diss+rho (10mm)
1	89.83	20	2	OR	VN	4	2	4	3	cal+py <5mm
1	90.57	22	5	OR	JN	4	5	4	3	py diss
1	90.64	25	5	OR	VN	4	5	4	3	py + rho<1mm
1	90.95	2	5	OL	VN	1	3	0	1	>5mm ac+py diss+ rho
1	91.50	20	3	OR	VN	4	3	4	3	py diss+rho <2mm
1	92.85	16	4	OR	VN	2	5	4	2	py diss+ac<3mm



Caracterización del Macizo Rocoso en el Sector del Túnel Cortaveta Ortiz y su
Clasificación Geomecánica desde el Portal de Acceso hasta la Progresiva 130 m;
Complejo Minero Capillitas-Andalgalá-Catamarca-Argentina.



1	93.35	20	4	OR	VN	2	5	4	2	py diss+ac<3mm
1	93.45	20	4	OR	VN	2	5	4	2	py diss+ac<3mm
1	94.06	7	4	PR	JN	2	4	3	2	py diss+ac<3mm
1	94.11	2	3	OL	SR	1	3	2	2	ac+ar<5mm
1	94.44	2	4	OL	JN	1	4	3	2	ac+ar 5mm
1	94.53	0	3	PL	FL	0	3	0	0	10 cm ac+ar
1	94.97	0	3	PR	SR	1	3	2	2	ac+ar 5mm
1	95.08	0	3	PL	FL	0	3	0	0	15 cm
1	96.03	9	3	PR	SR	2	3	2	2	ac+ar<5mm
1	97.00	9	3	PR	SR	2	4	2	2	ac+ar<5mm
1	97.94	0	3	PL	FL	0	3	0	0	15cm ac+ar
1	101.06	6	4	PR	SR	1	4	1	1	ac+ar 8cm
1	103.24	3	4	PR	SR	1	4	1	1	ac+ar 6cm
1	105.87	0	3	PL	FL	0	3	0	0	ac+ar 9cm
1	110.10	20	5	OR	SR	4	3	4	5	cal<2mm
1	117.34	22	4	OR	VN	1	3	4	5	py diss +cal<3mm
1	117.51	3	5	OL	JN	4	3	2	1	ac<5mm
1	117.60	24	7	OR	VN	1	5	2	3	py mass+rho aprox 2cm
1	118.64	21	9	OR	VN	1	3	4	3	py + carbonatos<5mm
1	120.20	22	4	OR	VN	1	3	4	3	py + carbonatos<5mm
1	121.03	7	3	OL	SR	1	2	2	1	ac<5mm
1	121.09	1	3	PR	SR	1	3	0	1	20mm ac+ar
1	121.70	0	3	PR	SR	1	3	0	1	50mm ac+ar
1	121.87	16	7	OR	JN	5	5	6	6	Sin relleno
1	121.92	16	6	OR	JN	5	5	6	6	Sin relleno
1	122.30	0	4	PR	SR	1	3	0	0	2 cm ar+ac
1	123.13	0	4	PR	SR	1	3	0	0	4 cm ac+ar
1	123.22	16	7	OR	JN	5	5	6	2	Sin relleno
1	123.27	16	7	OR	JN	5	5	6	2	Sin relleno
1	123.48	0	9	PL	FL	0	5	0	0	30 cm ac+ar
1	123.88	9	7	PR	SR	4	5	2	3	54 mm ac+ar
1	126.97	12	9	OR	JN	3	5	2	3	py+qz<5mm
1	127.01	0	4	OL	FL	0	3	0	0	13cm ac+ar
1	127.20	16	7	PR	SR	1	5	2	3	ac< 5mm
1	129.80	9	1	PR	SR	1	1	2	1	ac>5mm+py+lim
1	130.00	0	3	PL	FL	0	3	0	0	ac+ar 8cm
1	131.80	3	7	PR	SR	1	3	0	3	ac>5mm+py+lim
1	132.51	3	5	PR	SR	1	3	0	3	ac>5mm+py+lim
1	133.50	0	11	OL	FL	0	1	0	0	20cm
1	134.22	1	9	PR	SR	1	6	1	0	10mm ac+ar
1	134.32	0	7	PL	FL	0	5	0	0	14 cm de ac+ar
1	134.71	3	3	OR	JN	1	4	0	3	rho 2mm+ac 5mm



*Caracterización del Macizo Rocoso en el Sector del Túnel Cortaveta Ortiz y su
Clasificación Geomecánica desde el Portal de Acceso hasta la Progresiva 130 m;
Complejo Minero Capillitas-Andalgalá-Catamarca-Argentina.*



1	134.92	3	3	OR	JN	1	4	0	3	2cm ac+rho
1	135.38	16	11	OR	JN	1	5	2	3	py diss+ ac<5mm
1	136.51	1	11	PR	SR	0	5	0	0	4cm ac+ar
1	142.50	22	7	OR	JN	5	4	5	5	patinas de óxidos + py diss
1	142.80	1	11	PL	FL	0	1	1	0	Py+rho (botroideal)+ac. Veta
1	155.44	2	5	PR	SR	1	5	0	0	ac>5mm
1	155.54	2	4	PR	SR	1	4	2	1	ac>5mm
1	155.60	1	4	PR	SR	0	4	0	0	3 cm ac+ar
1	155.75	8	5	OR	JN	1	3	2	3	ac<5mm
1	155.81	16	13	PR	SR	4	4	2	3	ac<5mm
1	155.97	6	7	OR	JN	1	6	2	3	ac<5mm
1	156.27	8	4	PR	SR	1	5	0	3	ac<5mm
1	156.33	16	9	OR	JN	4	6	2	5	calcita
1	159.00	3	3	PR	SR	1	2	1	1	ac + calcita >5mm
1	160.03	3	5	PR	SR	1	3	1	1	py+rho+ac<2mm
1	160.10	1	4	PR	SR	1	3	1	0	ac+ar 2cm
2	0.38	24	4	OR	JN	4	4	3	3	Raíces, material de derrubio
2	3.00	16	5	OR	JN	4	5	3	3	óxidos pirolusita?
2	3.06	16	5	OR	JN	5	4	4	5	pat ox
2	3.09	16	5	OR	JN	5	5	4	5	pat ox
2	3.17	16	5	OR	JN	5	5	4	5	pat ox
2	3.24	16	5	OR	JN	5	4	4	5	pat ox
2	3.29	16	5	OR	JN	5	4	4	5	pat ox
2	3.37	16	5	OR	JN	5	5	4	5	pat ox
2	3.45	16	5	OR	JN	5	5	4	5	pat ox
2	3.58	16	5	OR	JN	5	5	4	5	pat ox
2	3.66	16	5	OR	JN	5	5	4	5	pat ox
2	3.80	16	5	OR	JN	5	4	4	5	pat ox
2	4.04	16	5	OR	JN	5	5	4	5	pat ox
2	6.36	24	5	OR	JN	5	5	4	5	pat ox
2	7.70	20	3	OR	JN	5	3	4	5	pat ox
2	11.80	24	5	OR	JN	5	5	4	5	pat ox
2	12.60	20	4	OR	JN	5	3	4	5	pat ox
2	12.84	16	3	OR	VN	1	1	2	3	ac<5mm+py diss
2	20.25	16	3	OR	JN	4	3	2	3	rho+ac<5mm
2	20.60	20	3	OR	JN	4	3	4	3	hemt+ MnO
2	22.75	20	4	OR	VN	4	4	4	3	hemt+ MnO
2	24.43	20	3	OR	JN	5	3	6	3	óxidos pirolusita?
2	29.61	20	4	OR	JN	1	4	4	3	óxidos
2	30.00	0	4	PL	FL	0	4	0	0	30cm de falla ac+ar
2	32.55	20	3	OR	JN	4	2	4	3	<2mm rho
2	34.30	16	2	OR	JN	4	2	4	3	<3mm cal



Caracterización del Macizo Rocoso en el Sector del Túnel Cortaveta Ortiz y su Clasificación Geomecánica desde el Portal de Acceso hasta la Progresiva 130 m; Complejo Minero Capillitas-Andalgalá-Catamarca-Argentina.



2	34.49	20	3	OR	JN	4	2	4	5	py diss+cal
2	35.44	20	4	OR	JN	4	5	4	5	py diss+cal
2	35.53	20	3	OR	JN	4	4	4	3	ox+cal<5mm
2	35.92	20	4	OR	JN	4	5	4	5	calcita
2	36.05	20	4	OR	JN	4	5	4	3	lim+ox
2	38.48	24	7	OR	JN	4	5	4	3	cal+ox 2mm
2	39.57	22	3	OR	JN	5	5	6	5	pat ox+ cal
2	39.67	20	3	OR	JN	5	3	6	5	pat ox+ cal
2	39.85	22	4	OR	JN	5	5	6	5	pat ox+ cal
2	40.17	20	3	OR	JN	5	3	6	5	pat ox+ cal
2	40.50	22	4	OR	JN	5	5	6	5	pat ox+ cal
2	41.30	20	3	OR	JN	5	3	6	5	pat ox+ cal
2	41.78	20	3	OR	JN	5	3	6	5	pat ox+ cal
2	43.05	9	3	OL	JN	1	3	2	3	ac+rho+py <5mm
2	43.70	20	3	OR	JN	5	3	6	5	cal
2	45.74	20	3	OR	JN	5	3	6	5	cal
2	45.90	20	3	OR	JN	4	3	4	3	ox jar?
2	47.50	20	3	OR	JN	4	3	4	4	ox ght
2	52.30	20	3	OR	SR	4	3	4	3	rho+ac<5mm
2	59.17	4	4	OL	JN	1	3	0	1	1cm ac+ar
2	59.45	0	7	PR	SR	0	5	0	1	3cm ac+ar
2	59.95	4	4	OL	JN	1	3	0	1	>5mm ac+ar
2	60.94	21	4	OR	VN	4	4	4	3	rho+py <5mm
2	61.77	20	3	OR	JN	4	3	4	3	rho+py <5mm
2	66.32	20	3	OR	VN	4	3	4	3	rho+py <5mm
2	68.00	0	3	PL	FL	0	3	1	0	68 a 69.45 ac+ar
2	69.60	6	3	PR	SR	1	3	2	3	ac+py diss <3mm
2	115.00	6	4	PR	SR	1	3	2	3	ac+py diss <3mm
2	71.50	24	4	OR	JN	4	3	4	3	cal+py diss
2	80.40	9	9	PR	SR	1	5	2	3	ac+ar>5mm
2	80.48	16	9	OR	JN	4	5	2	3	ac+ar<5mm
2	80.54	16	7	OR	JN	4	5	2	3	ac+ar<5mm
2	80.58	16	4	OR	JN	4	3	2	3	ac+ar<5mm
2	80.62	16	4	OR	JN	4	3	2	3	ac+ar<5mm
2	80.67	16	5	OR	JN	4	5	2	3	ac+ar<5mm
2	84.67	8	5	OL	JN	4	5	2	1	py +ac>5mm
2	86.98	0	4	PR	SR	0	4	0	0	6cm ac+ar
2	87.03	7	3	PR	SR	1	3	4	3	ac+py diss <3mm
2	87.11	4	5	OL	JN	1	5	2	3	ac+py diss <3mm
2	87.24	12	4	OR	JN	4	4	2	3	ac+py diss <3mm
2	87.31	12	5	OR	JN	4	5	2	3	ac+py diss <5mm
2	87.54	3	4	OL	SR	1	5	0	1	ac+py diss <3mm



*Caracterización del Macizo Rocoso en el Sector del Túnel Cortaveta Ortiz y su
Clasificación Geomecánica desde el Portal de Acceso hasta la Progresiva 130 m;
Complejo Minero Capillitas-Andalgalá-Catamarca-Argentina.*



2	88.54	12	5	OR	JN	4	5	2	3	ac+py diss <3mm
2	88.60	3	4	OL	JN	1	5	2	1	ac+py diss >5mm
2	89.29	2	4	PR	SR	1	3	1	1	ac+py diss >5mm
2	92.80	3	3	OL	JN	1	3	2	1	ac+py diss >5mm
2	95.90	0	4	PL	FL	0	4	0	0	38cm ac+ar
2	98.45	2	5	PR	SR	0	5	1	0	9cm
2	98.58	2	4	PR	SR	0	4	1	0	3cm ac+ar
2	99.54	7	4	PR	SR	4	4	2	2	py+rho+ac<5mm
2	100.75	22	5	OR	JN	4	4	4	3	py+rho+ac<3mm
2	105.72	8	4	OL	JN	4	4	2	2	py+rho+ac<5mm
2	109.40	20	4	OR	VN	4	3	6	3	py+rho+ac<3mm
2	111.44	7	3	OL	JN	4	3	2	1	py+rho+ac 5mm
2	113.00	18	4	OR	JN	4	3	2	3	py+rho+ac<3mm
2	113.08	4	5	OL	JN	1	5	1	1	5 cm
2	113.24	8	5	OL	JN	4	5	2	3	ac+ar<3mm
2	116.26	3	5	PR	SR	1	3	0	0	ac+ar 8cm
2	116.38	3	4	PR	SR	1	3	0	0	ac+ar 10cm
2	116.54	16	3	OR	SR	1	3	0	1	ac+ar<5mm
2	118.30	16	3	OR	JN	1	3	0	1	ac+ar<5mm
2	119.20	3	4	PR	SR	1	3	0	0	ac+py diss >5mm
2	122.22	24	5	OR	JN	1	5	4	3	ac+ar<5mm
2	129.70	8	3	PR	SR	1	3	2	3	ac+ar<5mm
2	136.40	0	4	PL	FL	0	3	0	0	40cm ac+ar
2	137.30	0	4	OR	FL	0	3	0	0	30cm ac+ar
2	137.76	3	3	OR	SR	1	3	0	1	3cm ac+ar
2	137.89	6	3	OR	SR	1	3	0	1	1cm ac+ar
2	140.24	0	4	OR	FL	0	3	0	0	41cm
2	141.42	0	4	OR	FL	0	3	0	0	13cm ac+ar
2	143.85	0	5	OR	FL	0	4	0	0	143.85 a 144.25 ac+ar
2	142.32	3	5	OR	SR	1	4	2	1	ac>5mm
2	142.54	3	5	OR	SR	1	4	2	1	ac>5mm
2	145.53	3	4	OR	SR	1	3	0	0	3cm ac+ar
2	145.60	0	4	OR	SR	0	3	0	0	10cm ac+ar
2	148.83	3	4	OR	SR	1	3	2	1	ac<5mm
2	155.93	3	3	OR	JN	1	3	1	1	ac+ar<5mm
2	158.52	24	1	OR	JN	5	3	3	3	patinas ac
2	160.06	3	3	OR	SR	1	3	1	1	ac+ar<5mm
2	160.87	3	3	OR	SR	1	3	1	0	ac+ar 2cm
2	161.60	9	3	OR	SR	1	1	1	1	py+cal
2	161.67	16	4	OR	JN	4	4	4	3	ac<5mm
2	161.95	3	3	OR	SR	1	1	1	0	ac+ar 2cm
2	162.02	3	3	OR	SR	1	1	1	0	ac+ar 1cm



*Caracterización del Macizo Rocoso en el Sector del Túnel Cortaveta Ortiz y su
Clasificación Geomecánica desde el Portal de Acceso hasta la Progresiva 130 m;
Complejo Minero Capillitas-Andalgalá-Catamarca-Argentina.*



2	162.10	3	3	OR	SR	1	1	1	0	ac+ar 2cm
2	167.35	20	3	OR	JN	5	3	2	3	cal+py diss
3	1.80	16	2	OR	JN	4	3	2	3	45cm roca alterada
3	2.40	5	2	OR	JN	1	5	0	1	30cm roca alterada
3	2.63	16	2	OR	JN	5	5	0	3	ox+ac<5mm
3	3.08	16	1	OR	JN	5	5	0	3	ox+ac<5mm
3	4.10	16	3	OR	JN	5	3	2	3	ox+ac<5mm
3	4.25	16	3	OR	JN	5	5	2	3	ox+ac<5mm
3	4.75	16	3	OR	JN	5	4	2	3	ox+ac<5mm
3	4.96	16	2	OR	JN	5	5	2	3	ox+ac<5mm
3	5.25	16	3	OR	JN	5	3	2	3	ox+ac<5mm
3	5.70	16	3	OR	JN	5	5	2	3	ox+ac<5mm
3	5.87	16	3	OR	JN	5	5	2	3	ox+ac<5mm
3	6.00	7	2	OR	JN	1	3	2	1	ox+ac<5mm
3	6.15	1	1	OR	SR	1	2	1	0	13 cm ac+ar
3	6.23	9	2	OR	SR	4	3	2	3	ac<5mm
3	6.60	9	2	OR	SR	4	3	2	3	ac<5mm
3	7.08	0	1	OR	SR	0	2	1	0	2 cm ac+ar
3	8.40	3	2	OR	JN	0	3	2	1	ar+ar 3cm
3	8.50	3	2	OR	JN	0	3	2	1	ar+ar 5cm
3	10.90	0	3	OR	FL	0	2	2	0	ar+ar 3cm
3	12.50	5	4	OR	JN	1	3	2	2	ac<5mm
3	14.01	0	4	OR	JN	0	3	2	1	ac+ar 15cm
3	15.20	0	4	OR	JN	0	3	0	1	ac+ar 10cm
3	15.30	0	3	OR	JN	0	3	0	1	ac+ar 2cm
3	15.55	12	3	OR	JN	4	5	2	3	ac+ox<5mm
3	15.60	12	3	OR	SR	4	3	3	1	ac+ar 3cm
3	15.74	16	3	OR	SR	0	5	0	1	ac+ar 5cm
3	16.40	3	1	OR	SR	0	3	0	0	ac+ar 15cm
3	16.50	3	1	OR	SR	0	3	0	0	ac+ar 5cm
3	17.60	12	2	OR	JN	4	3	2	3	cal+cl
3	17.90	16	5	OR	JN	1	3	2	3	cal+ac<5mm
3	18.55	12	3	OR	JN	1	3	2	3	cal+ac<5mm
3	19.10	7	3	OR	JN	1	2	2	1	cal+ac<5mm
3	19.30	10	3	OR	VN	1	3	4	3	cal+ac<5mm
3	21.10	20	5	OR	JN	5	3	4	5	py diss
3	21.17	9	4	OR	JN	1	3	0	1	ac+ar 5cm
3	22.20	9	3	OR	JN	4	3	2	1	py+cal
3	23.20	20	3	OR	JN	4	5	2	3	py diss
3	23.24	20	3	OR	JN	4	3	2	3	ac+py diss
3	23.42	20	3	OR	JN	1	5	2	3	ac+py diss
3	24.40	22	3	OR	JN	1	3	4	3	ac+py diss



*Caracterización del Macizo Rocoso en el Sector del Túnel Cortaveta Ortiz y su
Clasificación Geomecánica desde el Portal de Acceso hasta la Progresiva 130 m;
Complejo Minero Capillitas-Andalgalá-Catamarca-Argentina.*



3	25.20	20	4	OR	JN	1	6	2	3	ac+py diss
3	25.32	16	3	OR	JN	1	3	2	3	ar+ac<5mm
3	26.55	4	4	OR	JN	4	5	2	3	ar+ac>5mm
3	27.80	20	3	OR	JN	5	3	4	3	cal+py+ox
3	28.70	20	4	OR	JN	5	3	4	3	pat cal
3	29.85	20	4	OR	JN	3	5	2	3	venilla de calcita<2mm
3	30.35	20	3	OR	JN	3	5	2	3	pat ox
3	32.80	20	3	OR	JN	4	3	5	3	pat cal+py diss
3	33.60	4	2	OR	SR	4	2	2	3	ac<5mm
3	40.90	20	2	OR	VN	5	3	4	3	cal+py diss
3	42.45	20	3	OR	VN	5	3	4	3	cal+ac<5mm
3	43.40	24	4	OR	VN	4	5	6	5	pat ac
3	45.37	20	2	OR	JN	4	3	6	5	pat ac
3	45.50	20	2	OR	VN	5	3	6	5	pat ac
3	47.54	24	4	OR	VN	5	5	6	5	pat ac
3	50.50	20	4	OR	JN	4	3	6	5	pat ac
3	54.15	20	5	OR	JN	4	3	6	5	pat ac
3	54.35	20	5	OR	JN	4	3	6	5	pat ac
3	56.00	16	3	OR	JN	4	3	2	3	ac+ar <5mm
3	57.24	24	3	OR	JN	4	5	3	3	py diss+ac<3mm
3	57.63	20	4	OR	SR	4	3	4	3	py diss+ac<3mm
3	57.88	20	4	OR	SR	4	3	4	3	pat ox
3	58.62	16	3	OR	JN	4	1	6	4	cal+ox 2mm
3	58.66	18	3	OR	JN	4	3	2	3	py diss+ox <3mm
3	59.18	0	4	OR	FL	0	3	0	0	10cm ac+ar
3	59.27	4	4	OR	SR	5	4	2	1	ac+ar<5mm
3	59.44	3	5	OR	SR	6	3	1	1	ac+ar<5mm
3	64.93	5	2	OR	SR	1	4	0	0	ac+ar 5cm
3	66.89	6	1	OR	JN	2	3	2	3	pat ox
3	66.96	22	4	OR	JN	4	5	2	3	pat ac
3	70.30	9	3	OR	SR	4	3	4	3	pat ac
3	71.80	0	4	OR	FL	0	5	0	0	ac+ar 20cm
3	72.36	0		OR	FL	0	3	2	0	ac+ar 25cm
3	72.66	0	3	OR	FL	0	3	1	0	ac+ar 5cm
3	73.90	12	3	OR	SR	4	3	4	3	ox+py diss
3	74.36	16	4	OR	VN	4	5	2	3	cal +py diss<5mm
3	74.45	12	3	OR	SR	4	3	0	1	ac+ar 5cm
3	74.88	3	4	OR	JN	4	5	0	1	ac+ar 5cm
3	75.04	12	3	OR	SR	4	3	1	3	ac+ar<5mm
3	75.08	16	4	OR	SR	4	4	1	2	ac+ar>5mm
3	75.62	20	3	OR	JN	5	3	6	5	pat ox
3	75.64	24	4	OR	VN	4	4	4	5	rho 2mm+ac



Caracterización del Macizo Rocoso en el Sector del Túnel Cortaveta Ortiz y su
Clasificación Geomecánica desde el Portal de Acceso hasta la Progresiva 130 m;
Complejo Minero Capillitas-Andalgalá-Catamarca-Argentina.



3	76.32	22	3	OR	VN	4	3	4	5	py+cal
3	77.05	23	4	OR	VN	4	4	2	3	ac<mm
3	77.50	20	3	OR	SR	4	3	4	5	pat ox
3	80.77	0	2	OR	FL	6	3	0	0	ac+ar+rho 13cm
3	84.10	4	3	OR	SR	6	3	0	3	ac+ar<5mm
3	91.37	20	3	OR	VN	4	3	2	5	pat de cal
3	94.60	18	3	OR	VN	5	3	2	2	ac+ar<5mm
3	95.41	22	3	OR	JN	4	3	2	2	py+ox+rho
3	95.46	22	3	OR	JN	4	3	2	2	py diss+ac<5mm
3	109.65	22	3	OR	JN	4	3	2	3	ac+ar<5mm
3	115.15	20	3	OR	SR	4	4	2	2	ac+ar<5mm
3	115.20	24	4	OR	SR	4	5	4	5	ac+ar<5mm
3	116.44	22	3	OR	SR	4	4	4	3	rho+py <5mm
3	121.90	0	3	OR	SR	4	3	4	2	rho+py <5mm
3	123.20	0	2	OR	FL	4	3	0	0	123.2 a 123.90
3	124.70	1	3	OR	SR	4	3	1	1	ac+ar 10cm
3	125.14	1	4	OR	VN	4	3	4	1	ac+ar 5cm
3	125.60	1	3	OR	FL	4	3	1	1	ac+ar 5cm
3	127.94	16	2	OR	JN	4	4	2	3	ar+ac<5mm
3	128.78	1	4	OR	JN	1	4	3	1	ar+ac<5mm
3	130.57	14	4	OR	VN	4	5	4	5	rho+py diss<3mm
3	131.03	3	1	OR	VN	1	6	4	1	ac<5mm
3	132.78	16	3	OR	SR	4	3	0	3	ac+ar <5mm
3	132.88	24	3	OR	JN	4	3	4	3	ac+ar <5mm
3	133.00	20	3	OR	SR	4	3	0	3	ac+ar >5mm
3	133.90	16	3	OR	SR	4	3	0	3	ac+ar <5mm
3	134.25	3	3	OR	FL	0	3	0	1	ac+ar 30cm
3	135.45	3	3	OR	FL	0	3	0	1	ac+ar 15cm
3	136.23	0	3	OR	FL	0	3	0	1	ac+ar 10cm
3	136.53	0	3	OR	FL	0	3	0	1	ac+ar 25cm
3	136.20	0	3	OR	FL	0	3	2	1	ac+ar 30cm
3	141.14	0	3	OR	SR	6	3	2	1	ac>5mm
3	141.16	12	3	OR	JN	5	3	2	3	py +cal<5mm
3	146.34	16	3	OR	JN	5	3	4	5	py diss
3	146.90	12	4	OR	JN	4	4	2	5	pat cal
3	164.07	20	3	OR	VN	5	4	4	5	ac<5mm
3	179.15	3	3	OR	VN	5	4	4	3	ac<5mm
3	203.00	20	3	OR	FL	4	3	4	0	ac+ar 40cm
3	204.80	20	3	OR	FL	4	3	4	0	ac+ar 50cm
3	225.28	20	3	OR	SR	4	3	4	3	ac<5mm
3	230.58	20	3	OR	SR	4	3	4	3	ac<5mm
3	231.63	20	3	OR	SR	4	3	4	3	ac<5mm



III. Planillas del Mapeo Geomecánico del TCVO (Progresiva 0 a 130 m).

BARTON (TCVO)											
Progresivas		1	2	RQD/Jn	3	4	Jr/Ja	5	6	Jw/SRF	Q
Desde	Hasta	RQD	JN		Jr	Ja		Jw	SRF		
0	4	Portal de acceso									
4	8	98.63	15	6.58	2	6	0.33	1	2.5	0.4	0.88
8	12	99.28	12	8.27	3	3	1.00	1	2.5	0.4	3.31
12	16	99.53	12	8.29	2	6	0.33	1	2.5	0.4	1.11
16	20	99.53	9	11.06	3	3	1.00	1	2.5	0.4	4.42
20	24	98.98	15	6.60	3	4	0.75	1	2.5	0.4	1.98
24	28	99.87	4	24.97	3	4	0.75	1	2.5	0.4	7.49
28	32	98.63	12	8.22	3	4	0.75	1	2.5	0.4	2.47
32	36	98.98	4	24.75	3	3	1.00	1	2.5	0.4	9.90
36	40	99.73	4	24.93	3	3	1.00	1	2.5	0.4	9.97
40	44	99.73	2	49.87	3	4	0.75	1	2.5	0.4	14.96
44	48	99.28	4	24.82	3	4	0.75	1	2.5	0.4	7.45
48	52	99.73	9	11.08	2	4	0.50	0.66	2.5	0.264	1.46
52	56	99.87	4	24.97	2	8	0.25	0.66	2.5	0.264	1.65
56	60	99.87	4	24.97	3	4	0.75	1	2.5	0.4	7.49
60	64	98.98	12	8.25	3	4	0.75	1	2.5	0.4	2.47
64	68	99.87	2	49.94	2	4	0.50	0.66	2.5	0.264	6.59
168	72	99.28	15	6.62	2	8	0.25	0.66	2.5	0.264	0.44
72	76	99.87	2	49.94	2	6	0.33	1	2.5	0.4	6.66
76	80	99.28	15	6.62	3	4	0.75	1	2.5	0.4	1.99
80	84	99.87	4	24.97	2	8	0.25	0.66	2.5	0.264	1.65
84	88	99.73	2	49.87	3	4	0.75	1	2.5	0.4	14.96
88	92	99.28	9	11.03	3	4	0.75	0.66	2.5	0.264	2.18
92	96	77.5	12	6.46	2	8	0.25	0.66	2.5	0.264	0.43
96	100	99.73	9	11.08	3	4	0.75	1	2.5	0.4	3.32
100	104	99.87	9	11.10	3	4	0.75	1	2.5	0.4	3.33
104	108	99.53	4	24.88	3	4	0.75	1	2.5	0.4	7.46
108	112	99.53	4	24.88	3	4	0.75	1	2.5	0.4	7.46
112	116	99.53	12	8.29	3	4	0.75	1	2.5	0.4	2.49
116	120	99.73	12	8.31	2	6	0.33	1	2.5	0.4	1.11
120	124	20.5	20	1.03	2	12	0.17	0.66	5	0.132	0.02
124	128	20.5	20	1.03	2	12	0.17	0.66	5	0.132	0.02



Caracterización del Macizo Rocoso en el Sector del Túnel Cortaveta Ortiz y su Clasificación Geomecánica desde el Portal de Acceso hasta la Progresiva 130 m; Complejo Minero Capillitas-Andalgalá-Catamarca-Argentina.



128	130	50	20	2.50	2	12	0.17	0.66	5	0.132	0.06
-----	-----	----	----	------	---	----	------	------	---	-------	------

BIENIAWSKI (TCVO)														
Progresivas		1	2	3	Pers.	Apert.	Rug.	Rell.	Alter.	4	5	RMR	6	RMR
Desde	Hasta	Dureza	RQD	Espaciado						Condición	Agua		Orientación	
0	4	Portal de acceso												
4	8	3	20	15	4	0	2	2	1	9	15	47	-5	42
8	12	3	20	10	4	5	5	4	4	22	15	60	-5	55
12	16	4	20	10	4	4	5	4	3	20	15	59	-5	54
16	20	7	20	15	4	4	5	4	3	20	15	62	-5	57
20	24	4	20	15	4	4	5	4	3	20	15	59	-12	47
24	28	7	20	15	4	4	5	4	3	20	15	62	-5	57
28	32	4	20	10	4	4	5	4	3	20	15	59	0	59
32	36	7	20	15	4	4	5	4	3	20	15	62	0	62
36	40	7	20	15	4	4	5	4	3	20	15	62	0	62
40	44	7	20	15	4	4	5	4	3	20	15	62	0	62
44	48	4	20	15	4	4	5	4	3	20	15	59	0	59
48	52	4	20	15	4	2	3	2	3	14	10	48	-2	46
52	56	4	20	15	4	2	3	2	3	14	10	48	-5	43
56	60	7	20	10	4	4	5	4	3	20	15	62	0	62
60	64	4	20	10	4	4	5	4	3	20	15	59	0	59
64	68	4	20	15	4	4	5	4	3	20	10	54	-10	44
68	72	2	20	15	4	0	2	0	1	7	10	39	-10	29
72	76	4	20	20	4	4	5	4	3	20	15	59	-5	54
76	80	4	20	15	4	4	5	4	3	20	15	59	-12	47
80	84	4	20	15	4	4	5	4	3	20	10	54	-5	49
84	88	4	20	15	4	4	5	4	3	20	15	59	-5	54
88	92	4	20	20	4	4	5	4	3	20	10	54	-5	49
92	96	2	17	15	4	0	2	0	1	7	10	36	0	36
96	100	4	20	15	4	4	5	4	3	20	15	59	-10	49
100	104	4	20	20	4	4	5	4	3	20	15	59	-5	54
104	108	7	20	15	4	4	5	4	3	20	15	62	-5	57
108	112	7	20	15	4	4	5	4	3	20	15	62	-5	57
112	116	4	20	15	4	4	5	4	3	20	15	59	0	59
116	120	4	20	15	4	0	2	0	1	7	15	46	-10	36
120	124	2	3	15	4	0	5	0	1	10	10	25	-12	13
124	128	2	0	15	4	0	5	0	1	10	4	16	-12	4
128	130	2	8	15	4	0	5	0	1	10	4	24	-12	12



Caracterización del Macizo Rocoso en el Sector del Túnel Cortaveta Ortiz y su
Clasificación Geomecánica desde el Portal de Acceso hasta la Progresiva 130 m;
Complejo Minero Capillitas-Andalgalá-Catamarca-Argentina.



Discontinuidades TCVO					
Progresiva	Azimut	Dip	JRC	Estructura	Comentarios
4.12	150	68	PR	JN	Ac<2mm
4.60	130	64	PR	JN	patinas ox
5.20	98	70	OR	JN	Ac<2mm
5.70	335	70	PR	JN	patinas ox
6.55	50	80	PR	VN	Ac<2mm
7.20	90	46	OR	VN	Ac<2mm
7.40	189	69	PR	JN	Lim+ox 2mm
8.10	183	66	PR	JN	ox+ac<2mm
8.50	355	85	PR	JN	patinas ox
9.74	63	69	PL	JN	patinas ox
10.66	79	79	OR	JN	Ox+Co3 <2mm
11.60	172	69	PR	JN	patinas ox
12.10	54	39	OR	VN	py+qz+ox+lim<5mm
13.40	230	79	OL	VN	CO3+ac+py diss.
13.95	265	65	PR	SR	CO3+ac+py diss.
14.20	98	85	PR	FL	ox+ac+lim >5mm
17.80	245	78	PR	SR	ox+lim+ac. / movimiento bloque.5cm
18.10	233	74	PR	SR	patinas ox
18.30	316	26	OR	JN	ox+lim<5mm
20.00	131	82	OR	JN	ox<5mm
20.10	75	79	PR	JN	ox<2mm
20.20	140	75	OL	JN	ac+lim+CO3 <5mm
21.00	200	71	PL	JN	ox+ac<5mm
21.70	355	36	OR	VN	carbonato <5mm
23.10	245	82	PR	JN	patinas ox
23.80	290	65	OR	JN	ox<5mm
24.30	179	74	PR	JN	ox+lim<5mm
27.50	112	89	PR	JN	ox+lim<5mm
28.20	243	84	PL	JN	patinas ox
28.83	195	74	PL	JN	py+ox+lim<2m
29.12	183	69	PR	VN	Carbonato +py + lim
29.72	175	64	PL	JN	patinas ox
30.25	185	75	PR	JN	ox+lim<2mm
30.72	250	69	OR	JN	patinas ox
31.22	265	54	PR	JN	patinas ox
32.06	185	76	PR	JN	ar+ ac discontinuos
32.36	220	74	PR	JN	patinas de óxidos
33.31	180	74	PR	JN	ar+ ac discontinuos
33.81	176	63	PR	JN	ar+ ac discontinuos
34.06	182	71	PR	JN	ar+ ac discontinuos



*Caracterización del Macizo Rocoso en el Sector del Túnel Cortaveta Ortiz y su
Clasificación Geomecánica desde el Portal de Acceso hasta la Progresiva 130 m;
Complejo Minero Capillitas-Andalgalá-Catamarca-Argentina.*



35.36	186	73	PR	JN	ar+ ac discontinuos
38.26	175	66	PR	JN	py+ox+lim<2mm
38.46	175	74	PR	JN	Ox<2mm
39.58	155	66	PL	JN	ox+lim<2mm
41.40	178	69	PR	JN	patinas ox
42.20	185	66	PR	JN	patinas ox
43.40	171	76	PR	JN	py diss + ox + ac<2mm
44.90	230	64	PL	JN	ox+lim >5mm
45.57	238	72	PL	JN	ox+lim >5mm
45.87	167	61	PR	JN	patinas ox
46.82	173	74	OR	JN	ar+ac<2mm
47.32	178	68	PR	JN	ar+ac<2mm
48.92	175	76	PR	JN	py diss + ox + lim (goteo permanente < 10litros/min).
50.40	270	43	OL	SR	py diss + ox + lim (goteo permanente < 10litros/min).
51.50	212	72	PL	JN	patinas ox
52.63	175	85	PR	JN	ar+ac<2mm
54.16	83	56	PR	FL	goteo. FL-39mm
56.93	190	66	PR	JN	patinas ox
57.63	230	69	PR	JN	patinas ox
58.43	184	70	PR	JN	pat ox
58.98	265	72	PR	JN	patinas ox
59.58	160	88	PR	JN	patinas ox
60.24	175	79	PR	JN	pat ox+ lim<2mm
60.42	245	85	OR	SR	pat ox+ lim<2mm
60.59	254	87	PR	JN	patinas de óxidos
61.09	74	57	OL	JN	ox+ar <2mm
61.57	95	49	OR	JN	ox+ar <2mm
64.57	230	65	OR	JN	ox <2mm
64.73	65	81	OR	JN	lim<2mm
65.29	175	65	PR	SR	lim+ox+carbonatos <2mm
65.89	255	83	OR	JN	ox<2mm
67.19	65	44	OR	JN	patinas de óxidos de manganeso
68.39	89	39	PL	JN	patinas ox
70.00	75	44	PR	FL	roca muy alterada
73.50	325	29	PL	SR	ar+ac<2mm
77.70	178	72	PR	VN	venilla <3mm de carbonato +py diss+lim
78.90	90	84	OR	JN	ar+ac < 2mm
79.50	91	71	PR	JN	ar+ac < 2mm
79.90	105	81	OR	JN	ar+ac < 2mm
81.60	74	80	PR	JN	ac+lim>5mm
82.35	181	81	PR	JN	ac+lim>2mm
83.65	345	83	PR	VN	veta compuesta de sulfuros (esfalerita)+rho + py aprox 20cm



Caracterización del Macizo Rocoso en el Sector del Túnel Cortaveta Ortiz y su
Clasificación Geomecánica desde el Portal de Acceso hasta la Progresiva 130 m;
Complejo Minero Capillitas-Andalgalá-Catamarca-Argentina.



84.35	67	53	OR	JN	ar+ ac<2mm
85.35	60	48	OR	JN	ar+ ac<2mm
88.35	300	26	PR	JN	patinas de óxidos
90.90	225	84	PR	JN	ac<5mm
91.90	340	65	PR	VN	py diss+qz venilla de 2 a 3cm
92.20	225	80	PR	VN	ac<5mm
93.40	234	80	PR	FL	falla de 90 cm. Alteración argilica. Arcilla + roca fracturada R 1.5
94.54	355	76	OR	JN	qz+py<5mm
95.14	255	84	PR	JN	pat ac<2mm
95.84	271	80	PR	VN	ac+qz +py diss <5mm Humedad.
96.14	235	83	PR	JN	ac+ar<2mm
96.94	350	43	PR	JN	ac+ar<2mm
97.84	50	49	PR	JN	ac<2mm
99.34	50	81	PR	JN	ac<2mm
101.30	254	76	PR	JN	ac +ar
101.90	322	66	OL	JN	ar+ac<2mm
104.00	25	45	OL	JN	ac<2mm
106.00	216	78	PR	JN	ac<2mm
107.90	290	70	OR	SR	Py+ qz + ac. musc-2.5cm
108.60	165	90	PR	JN	ar+ ac discontinuos
110.25	175	65	PR	JN	ox+ac<2 mm
110.65	276	77	PR	JN	ox+ac<2mm
111.85	185	75	OR	VN	ar+ ac discontinuos
112.75	340	16	PR	JN	Py diss+ac <5mm
113.75	90	86	OR	JN	ox+ac<2mm
114.45	210	84	PR	JN	ac<2m+
115.95	220	75	PR	JN	ox+lim <2mm
116.65	357	47	OL	JN	ac<2mm
118.75	215	80	PR	JN	ox+ac<2mm
119.65	10	44	OR	JN	ox+ac<2mm
120.00	175	70	PR	JN	py diss+ lim<2mm
121.40	175	70	PR	JN	Ac.lim.G-1cm
122.80	275	68	PR	FL	G.120cm FL. Humedad
124.00	324	78	PL	FL	roca muy alterada con presencia de arcillas continuas >5mm
127.82	318	82	PL	FL	roca muy alterada con presencia de arcillas continuas >5mm
128.95	304	85	PL	FL	roca muy alterada con presencia de arcillas continuas >5mm