



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS  
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA



# CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA EN FAENAS SUBTERRÁNEAS DE PEQUEÑA MINERÍA, CASO DE ESTUDIO MINA LOS PEQUENES, REGIÓN DE COQUIMBO. CHILE.

Memoria para optar al Título de Geólogo

**CAROLINA ANDREA CISTERNA VALDEBENITO**

**Profesor Patrocinante:** Dr. Jorge Andrés Quezada Flory

**Profesores Comisión:** Msc. Abraham Elías González Martínez

Dra. Verónica Laura Oliveros Clavijo

Concepción, 2018

*Entre piedras y rodados  
Por la ladera del cerro  
Casi oculto al ojo humano  
Hay un angosto sendero*

*Cada atardecer desciende  
Cansado de la jornada  
Un minero como muchos  
Que hay en nuestra tierra amada*

*Con su lámpara a carburo  
Va camino hacia su hogar  
A ver sus seres queridos  
Y mañana... retornar*

*Hoy fue un día como muchos  
Al fondo del socavón  
Entregando su energía  
Alma, esfuerzo y sudor*

*Aún resuena en sus oídos  
Como sinfonía inmortal  
El golpe de su martillo  
Para extraer el metal*

*No hay descanso en la jornada  
Hay que ganar el sustento  
De él depende la familia  
Y hay que darle duro al cerro*

*La esperanza no la pierde  
Mañana será mejor  
Y obtendrá su recompensa  
Al final de su labor*

*Su casa será un refugio  
Pues no habrá preocupación  
Encontrará de todo en ella  
Pan, descanso, paz, y amor*

Lautaro Rozas Cortés  
Pequeño Minero, Comuna de Combarbalá

*A mis padres, Jazmín y Pablo.  
Mercedes Oyarce, querida tía. Gracias.*



## ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>RESUMEN</b>	
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Generalidades</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Objetivos</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 Ubicación y accesos</b> .....	<b>2</b>
<b>1.4 Método de trabajo</b> .....	<b>3</b>
1.4.1 Recopilación de información bibliográfica .....	3
1.4.2 Reconocimiento general .....	3
1.4.3 Mapeo de detalle tipo Línea de Detalle .....	3
1.4.4 Creación de una base de datos .....	4
1.4.5 Procesamiento de la Información .....	4
1.4.6 Compilación y Síntesis de los Resultados .....	5
<b>1.5 Antecedentes mineros y trabajos anteriores</b> .....	<b>5</b>
<b>1.6 Clima, flora y fauna</b> .....	<b>7</b>
<b>1.7 Agradecimientos</b> .....	<b>8</b>
<b>2. GEOLOGÍA REGIONAL</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1 Rocas Estratificadas</b> .....	<b>9</b>
2.1.1 Formación Arqueros Ka .....	9
2.1.2 Formación Quebrada Marquesa Kqm .....	10
2.1.3 Formación Confluencia MPlc .....	11
<b>2.2 Rocas Intrusivas</b> .....	<b>11</b>

2.2.1 Intrusivos graníticos a dioríticos Kigd .....	11
2.2.2 Intrusivos hipabisales andesíticos basálticos – dioríticos Kh .	12
<b>2.3 Estructuras</b> .....	13
2.3.1 Fallas .....	13
2.3.2 Pliegues .....	14
2.3.3 Discordancias .....	15
<b>2.4 Geología Económica</b> .....	15
2.4.1 Metálicos .....	15
2.4.2 No Metálicos .....	15
<b>3. GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO</b> .....	18
<b>3.1 Generalidades</b> .....	18
<b>3.2 Variación litológica y alteraciones en Socavón Los Pequeños</b> ...	19
<b>3.3 Estructuras geológicas principales</b> .....	22
<b>3.4 Interpretación de la historia geológica y mineralización</b> .....	23
<b>4. ANÁLISIS GEOMECÁNICO DEL SOCAVÓN LOS PEQUEÑOS</b> .....	25
<b>4.1 Análisis de los parámetros geomecánicos</b> .....	25
4.1.1 Grado de fracturamiento RQD .....	25
4.1.2 Familias de diaclasas Jn .....	26
4.1.3 Rugosidad Jr .....	27
4.1.4 Relleno y alteraciones Ja .....	29
4.1.5 Presencia de agua Jw .....	30
4.1.6 Factor de Reducción SRF .....	31

<b>4.2 Consideraciones y valoración de Q</b> .....	33
<b>4.3 Influencia de la orientación de la excavación</b> .....	35
<b>4.4 Zonificación de Q</b> .....	39
<b>4.5 Medidas correctivas en el Socavón Los Pequeños</b> .....	41
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	48
<b>6. REFERENCIAS</b> .....	50
<b>ANEXO 1</b> .....	52
<b>ANEXO 2</b> .....	62
<b>ANEXO 3</b> .....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1.1	Mapa de ubicación de la Mina Los Pequeños .....	2
1.2	Área de mapeo en línea de detalle .....	4
1.3	Producción porcentual de cobre de la región .....	6
2.1	Mapa geológico área de estudio .....	14
2.2	Representación esquemática de los yacimientos metalíferos .....	16
3.1	Vista en planta del socavón Los Pequeños .....	18
3.2	Fotografía de las estructuras principales en el Socavón Los Pequeños ..	19
3.3	Muestras descritas en el Socavón Los Pequeños .....	20
3.4	Fotomicrografía textura mirmequítica .....	21
3.6	Proyección en planta de la veta de interés y de la Falla Los Pequeños ..	22
3.7	Fotomicrografía veta de magnetita – apatito .....	23

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
4.1	Influencia de la orientación de la labor .....	36
4.2	Familia de diaclasas en el tramo 1 .....	38
4.3	Mapa geológico y zonificación geomecánica .....	41
4.4	Gráfico que relaciona la calidad de la roca (valor de Q) con el parámetro De .....	44
4.5	Distribución de las calidades del macizo rocoso por tramo .....	45

### ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>		<b>Página</b>
1.1	Cartilla de mapeo de franja de detalle .....	4
4.1	Caracterización de valores de RQD .....	25
4.2	Grado de fracturamiento de las rocas .....	26
4.3	Valorización $J_n$ según Barton .....	26
4.4	Valores de $J_n$ en base al número de familias de diaclasas .....	27
4.5	Valorización de $J_r$ según Barton .....	27
4.6	Valoración de $J_r$ para cada familia de diaclasas .....	28
4.7	Valorización de $J_a$ según Barton .....	29
4.8	Valores de $J_a$ para las distintas familias de diaclasas .....	30
4.9	Valorización de $J_w$ según Barton .....	30
4.10	Valorización de SRF según Barton .....	32
4.11	Valores de SRF para las familias de diaclasas por tramo .....	32
4.12	Tabla de mapeo geomecánica utilizado en terreno .....	33

<b>Tabla</b>		<b>Página</b>
4.13	Variabilidad de los parámetros $J_r$ , $J_a$ y SRF .....	34
4.14	Clasificación de Q de Barton .....	34
4.15	Clasificación de Q para pequeña minería .....	35
4.16	Relación entre las discontinuidades y dirección de la excavación .....	37
4.17	Valores de Q y su clasificación para cada tramo .....	40
4.18	Valoración de ESR según Barton .....	42
4.19	Tabla que relaciona Q con el valor de De .....	43



## RESUMEN

Se ha identificado en los últimos años, la estabilidad del macizo rocoso como uno de los principales problemas a la hora de realizar labores subterráneas en pequeña minería. Por esta razón se hace necesario identificar un método efectivo y sencillo, que otorgue parámetros básicos para la determinación de la estabilidad de la roca.

En este contexto, se ha realizado una caracterización geomecánica mediante el método Q de Barton de una faena subterránea ubicada en el sector de Tambillos, Región de Coquimbo, denominada Mina Los Pequenes. Dicha caracterización se realiza mediante un perfil geomecánico aproximadamente a 1 m de altura con respecto al piso de la labor, y debe considerar parámetros como RQD, número de familias de diaclasas ( $J_n$ ), rugosidad ( $J_r$ ), alteración de las diaclasas ( $J_a$ ), contenido de humedad ( $J_w$ ) y SRF, identificado como el índice de reducción por esfuerzo.

En este estudio se propone además, considerar factores como la dirección de la labor con respecto a las principales discontinuidades como por ejemplo fallas, vetas, entre otros; y con ello, realizar algunas modificaciones en los valores obtenidos según estas condiciones a ciertos tramos de la labor.

Se ha simplificado la categorización de Barton de 6 clasificaciones a tan sólo 3, a modo de reducir la complejidad para los pequeños mineros. De esta manera, se obtiene, para el caso de la faena Los Pequenes, tres zonas con calidad de roca mala, y donde es necesario fortificar. La primera asociada al inicio del socavón, la segunda a la Falla Los Pequenes (de comportamiento dextral), y la tercera zona es aquella asociada a la presencia de fluencia de aguas subterráneas y a la intersección de dos labores oblicuas entre sí.

Se recomienda por tanto fortificar con madera estos tramos, mediante marcos que no tengan una separación superior a 0,5 m.



## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Generalidades**

La Región de Coquimbo se caracteriza por presentar gran cantidad de faenas mineras de pequeña envergadura, denominadas como “Pequeña Minería”, que corresponde a aquella fracción de producción minera que no supera las 10.000 toneladas de extracción por mes (según la Empresa Nacional de Minería). En los últimos años se ha aumentado los esfuerzos por parte de organismos fiscalizadores, para disminuir los accidentes en algunos casos fatales, presentes en este sector, puesto que se conoce su actividad como una de las más riesgosas que existe.

Dado lo anterior, es que el Reglamento de Seguridad Minera de Sernageomin, ha marcado diferencias en los requerimientos del sector con respecto a la mediana y gran minería, aumentando las exigencias pero a su vez entendiendo las limitaciones que presentan los pequeños productores. Una de estas exigencias, es que en cualquier faena subterránea cuya sección de labor sea mayor a 2,5 m de ancho por 2,5 m de alto, debe presentar un estudio geomecánico que avale el auto sostenimiento de la roca, o bien la necesidad de fortificar.

Aunque no existe un artículo del Reglamento de Seguridad Minera que señale textualmente esta exigencia, eventualmente pueden solicitar estudios adicionales cuando la experiencia lo amerite. Es por ello, que Sernageomin solicita al equipo técnico de la Seremi de Minería (Secretaría Regional Ministerial de Minería), a cargo de formular los Planes de Explotación y Cierre en pequeña minería, un análisis adicional del macizo rocoso que respalde la condición geomecánica de las rocas.

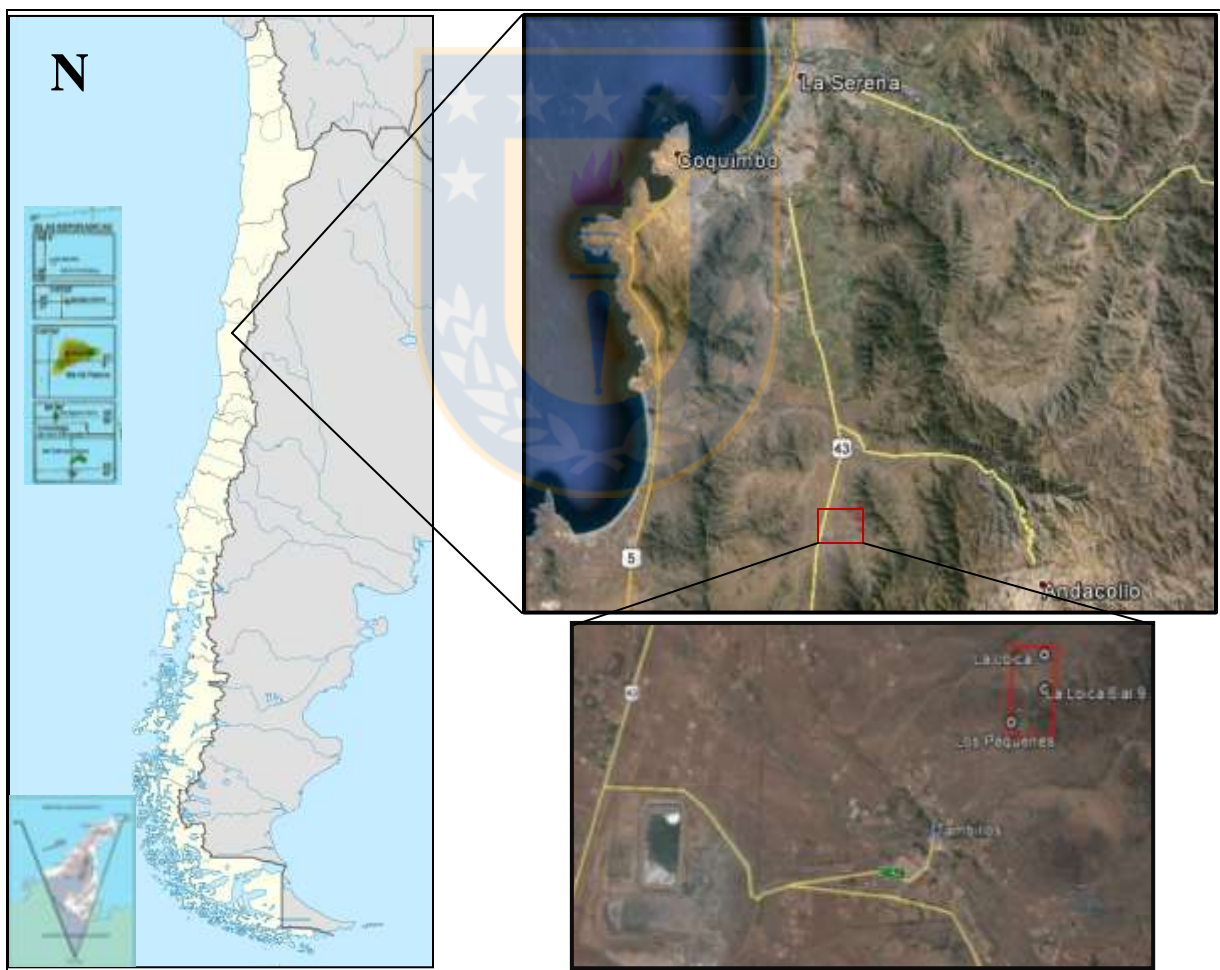
El presente trabajo propone una metodología viable en faenas de pequeña minería, mediante la relación de parámetros geomecánicos con características mineralógicas de las rocas formadoras del yacimiento. Esta metodología se basa en una faena denominada “Los Pequeños 1 al 7”, ubicada en la Provincia del Elqui, de la Región de Coquimbo.

## 1.2 Objetivos

Caracterizar geomecánicamente el macizo rocoso en un yacimiento de pequeña minería de la Región de Coquimbo, tipo vetas magnetita-apatito mediante el Índice Q de Barton (2000) y proponer modificaciones en el cálculo aplicables al sector, generar un mapa de zonificación geomecánica y proponer medidas correctivas.

## 1.3 Ubicación y accesos

El área de estudio se encuentra a una altura aproximada de entre 300 y 400 m.s.n.m., en una localidad denominada Tambillo. Pertenece a la comuna de Coquimbo de la Provincia del Elqui, en la Región de Coquimbo (figura 1.1).



**Figura 1.1 Mapa de ubicación de la Mina Los Pequeños.** Se aprecia el área de estudio cercana a la localidad de Tambillos.

El estudio se llevó a cabo en la mina “Los Pequeños 1 al 7”, faena de pequeña envergadura, ubicadas en las siguientes coordenadas UTM (Huso 19H, Datum WGS84): 6.657.920 m N; 286.346 m E.

Actualmente el acceso es por la ruta 43 (camino a Ovalle), 36,9 km al sur de la ciudad de La Serena, donde se ingresa a la localidad de Tambillo, al este de la ruta señalada. Ya en el pueblo, se accede por la calle Tarapacá a un camino de tierra de 2 km aproximadamente en dirección este, hasta llegar a las pertenencias de la mina.

#### **1.4 Método de Trabajo**

El presente trabajo ha considerado el desarrollo de las siguientes etapas, las que corresponden en el orden señalado.

##### **1.6.1 Recopilación de información bibliográfica**

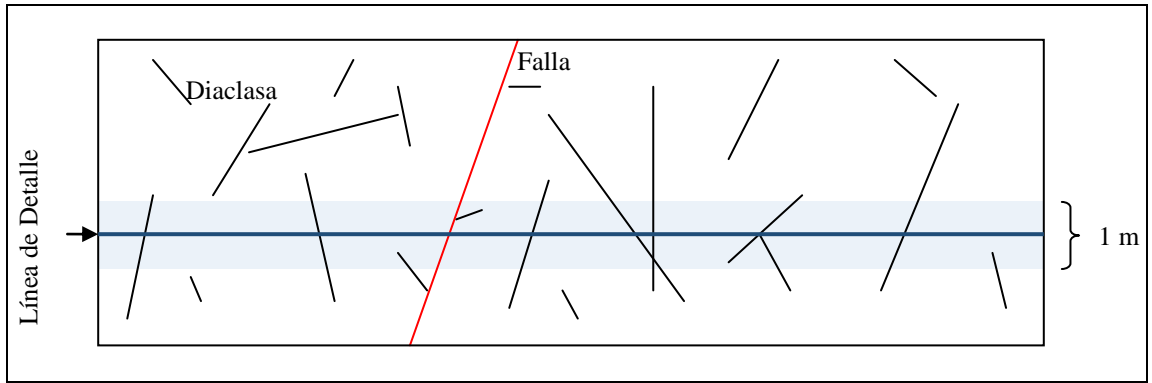
Se reúne información de investigaciones anteriores del sector a estudiar y de bibliografía geotécnica, con la finalidad de enlazar dichos antecedentes técnicos con las conclusiones obtenidas de esta investigación.

##### **1.6.2 Reconocimiento general**

Se realiza en terreno un reconocimiento del yacimiento mediante un mapeo geológico, del área de estudio. Esta etapa incluye la descripción de cortes transparentes y cortes pulidos-transparentes del túnel a estudiar en profundidad. Las muestras fueron tomadas en sectores donde se observa un cambio textural, de alteración y litológico de la roca, haciendo un total de 10 muestras de roca caja y veta.

##### **1.4.3 Mapeo de detalle tipo Línea de Detalle**

El método consiste en la delimitación imaginaria de una franja de mapeo en la pared de roca expuesta del socavón (Figura 1.3), esta franja es un plano vertical que tiene una anchura de 1 m y se extiende de norte a sur a lo largo del túnel por más de 500 m, la línea media de la franja se ubica a 1,50 m desde el suelo de la labor y es demarcada por una huincha métrica extendida de forma horizontal.



**Figura 1.2 Área de mapeo en línea de detalle.** En azul la línea de detalle y el área descrita alrededor de ella.

En esta metodología se registran en una cartilla de mapeo (tabla 1.1) los datos de todas las discontinuidades que aparezcan en el área delimitada, y además por tramo definido (se cambia de tramo por diferencias litológicas, o cambio en el rumbo o inclinación de la excavación). Cada estructura se caracteriza por parámetros geológicos y geométricos (orientación, separación, persistencia, etc.).

**Tabla 1.1 Cartilla de mapeo de franja de detalle**

Mina:			Norte:			Sur:				Ubicación		
UG	Metraje	Tipo	Orientación	Persist.	Frec.	Rugosidad	Abertura	Relleno	Alteración	Agua	SRF	Observaciones

#### 1.4.4 Creación de una base de datos

Introducción de los datos obtenidos en terreno en una tabla Excel, procurando ordenar adecuadamente los parámetros necesarios para su interpretación.

#### 1.4.5 Procesamiento de la Información

Se genera un mapa de la Geología básica del sector, de las alteraciones presentes, y del comportamiento del macizo rocoso mediante la fórmula Q de Barton. Este método, propuesto en 1974, relaciona seis parámetros dados por la expresión:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Donde:

$RQD$  = índice de calidad de la roca.

$J_n$  = índice de diaclasado que indica el grado de fracturación del macizo rocoso.

$J_r$  = índice de rugosidad de las discontinuidades.

$J_a$  = índice que indica la alteración de las discontinuidades.

$J_w$  = coeficiente reductor por la presencia de agua.

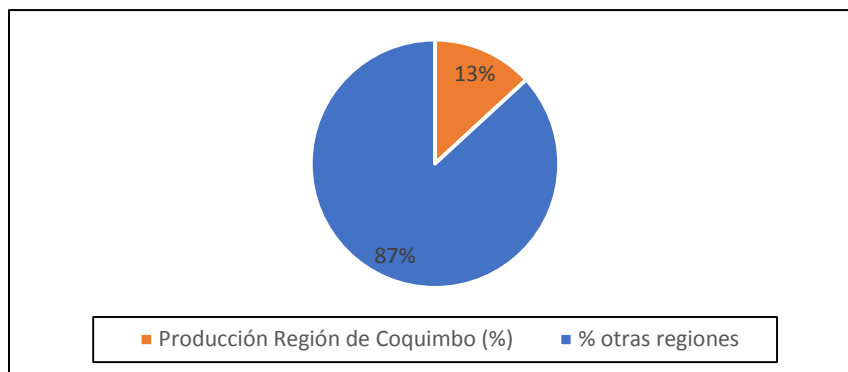
SRF (Factor de reducción) = coeficiente que tiene en cuenta la influencia del estado tensional del macizo rocoso.

#### 1.4.6 Compilación y Síntesis de los Resultados

Extracción de conclusiones y discusiones a partir de los resultados obtenidos de las etapas anteriores. Se entrega un mapa geológico que incluye la zonificación del comportamiento geomecánico del socavón, y recomendaciones respecto a las medidas correctivas de la fortificación existente y el método Q en sí.

### 1.5 Antecedentes mineros y trabajos anteriores

La Región de Coquimbo es la tercera región con mayor producción de cobre a nivel nacional, con cerca de 15.000 toneladas de cobre, que corresponde a un 13% (figura 1.4). Este antecedente es primordial a la hora de medir el impacto del desarrollo minero de la región, considerando además el sector de la pequeña minería, que mueve en gran parte la economía local.



**Figura 1.3 Producción porcentual de cobre de la región.**

Otro antecedente a destacar, son los accidentes ocurridos en pequeña minería en los últimos años, y en específico, los motivos de los casos fatales. Los accidentes fatales ocurridos entre 2010 a marzo del 2016 se deben principalmente a caída de rocas (fuente: Accidentabilidad Minera 2016, Sernageomin), lo cual hace alusión a la necesidad tanto de un buen desarrollo de las operaciones de extracción minera, como a la fortificación necesaria mediante una correcta caracterización del macizo rocoso.

Las faenas estudiadas son propiedad de Isabel Galleguillos, cuya explotación se remonta al año 2009. Durante los dos últimos años, el tonelaje mensual extraído promedia las 250 toneladas, con una ley de cobre total promedio de 1,5% Cu Total. La extracción se centra en sulfuros de cobre, los que son vendidos a Enami (Empresa Nacional de Minería), procesando el material en la Planta Delta de dicha empresa.

En general, los trabajos realizados en el área de estudio y en relación al sistema mineralizante asociado son muy escasos, destacando tan sólo dos estudios que se ligan a la zona de interés.

**BOWES y otros (1966)** reconocen las principales zonas radioactivas de la región, caracterizando cada una de ellas, entre las cuales se encuentra el distrito Tambillos. Se concluye que en el distrito Tambillos, las concentraciones tanto de cobre como de uranio disminuyen a medida que se profundiza el sistema, y que las vetas mineralizadas se adelgazan sobre los 200 m de longitud, afectadas por fallas NW - SE.

**ESPINOZA (1979)** postula un mecanismo de emplazamiento y génesis para los depósitos de la Franja Ferrífera de Chile, asociando el hierro y la apatita como formación secundaria en una fase

gaseosa, debido a que contienen aniones altamente volátiles. Se propone dos ideas de la concentración del hierro: a partir de rocas ya formadas de composición intermedia, o bien a partir de hierro inmiscible dentro del magma.

**CUADRA (1979)** resume las conclusiones más importantes de estudios geológicos – radiométricos realizados entre 1975 y 1979 en el distrito minero Tambillos (minas San Lorenzo, San Felipe y Bellavista). El trabajo concluye que existe una baja cantidad de reservas presentes debido a la gran explotación a la fecha del estudio en aquellas vetas cuya radioactividad es mayor; mientras que las vetas menos explotadas, sólo tendrían beneficio en la extracción de cobre y no de uranio.

**CHÁVEZ (1994)** realiza una caracterización mineralógica del depósito estratiforme de magnetita- Cu – Au – Ag San Cristóbal, ubicado en las cercanías de Tambillo, perteneciente a la Franja Ferrífera de Atacama - Coquimbo. Se discute la relación genética del yacimiento con depósitos tipo Skarns anfibolíticos de Cu – Fe, ubicados en Perú, dado su carácter polimetálico.

### **1.5 Clima, Flora y Fauna**

La región presenta una amplia variedad de climas que van desde estepárico costero a templado frío en zonas de mayor altitud geográfica; y dado que se encuentra entre zonas desérticas hacia el norte y templadas mediterráneas hacia el sur, se considera una región de transición.

La zona de interés se encuentra específicamente en un clima estepárico costero o nuboso, que influye desde la línea de costa hasta 40 km hacia el interior. Se caracteriza por presentar abundante nubosidad, humedad, temperaturas moderadas y un promedio de 130 mm de precipitaciones anuales con un periodo seco de ocho a nueve meses.

En general, la región presenta estepa arbustiva abierta con predominio de la especie *acacia caven* (espino). También se encuentra cactáceas y un tapiz herbáceo. En cuanto a la fauna, predominan el zorro culpeo, el chungungo y el lobo de pelos. Entre las especies de aves se encuentran garumas, liles, petreles, entre otras; además de lagartos de diversos tamaños e insectos variados.



## 1.6 Agradecimientos

A la Secretaría Regional Ministerial de Minería de la Región de Coquimbo, por apoyar la realización de esta Memoria. Al Seremi de Minería, don Igor Díaz, y la administradora del programa FNDR, Verónica Cáceres, por las facilidades otorgadas tanto para las salidas a terreno como para el tiempo utilizado en gabinete para desarrollar este trabajo.

A la Empresa Nacional de Minería por facilitarme algunos antecedentes requeridos en esta Memoria.

A la señora Isabel Galleguillos, propietaria de la faena estudiada, quien estuvo dispuesta y entusiasta desde el primer día en facilitarme la entrada a su mina.

Al Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción, por el apoyo técnico y logístico entregado. A todos los funcionarios y administrativos. A Carolina Rojas por su apoyo a tiempo y certero, incluso a distancia, que permitió llevar a cabo de manera adecuada todo trámite administrativo como parte del proceso de titulación. A todos los auxiliares del departamento, a don Raúl, don Iván, Carlitos, Mauricio y Pedro; por hacer de este departamento un lugar acogedor para nuestros días de universitarios, y estar siempre dispuestos a tender la mano ante nuestras necesidades sin importar la hora o el tiempo que demanden. A Lucy, por facilitarnos de manera amable y cordial el material de biblioteca durante años.

A mi profesor Patrocinante, Dr. Jorge Quezada Flory, por apoyar sin reparos este trabajo, y entregarme sus observaciones de manera profesional. De igual manera a los profesores Dra. Verónica Oliveros y Msc. Abraham González, por sus acotaciones para perfeccionar mi Memoria. Profesor Abraham, gracias por entregarnos esa imagen paternal durante los años que duró la carrera, siempre con un consejo que iba de la mano al conocimiento técnico. A todos ellos, y a cada uno de los docentes del departamento, por haberme entregado los conocimientos en el aula que utilicé en este estudio y actualmente en mi trabajo.

Papitos, gracias por prepararme toda la vida para ser la profesional que hoy soy. Hermanitos, mis lucecitas eternas, gracias por apoyarme en los trámites que no podía realizar a distancia. Los quiero mucho.



## 2. Geología Regional

La zona de estudio está conformada tanto por rocas volcánicas andesítico-basálticas, como intrusivas de composición diorítica a monzonítica. En general, la distribución y relaciones genéticas de las unidades y estructuras presentes son bastante simples, destacando la acción de las intrusiones cretácicas sobre la unidad volcánica de temporalidad anterior. La mineralización se asocia a la subprovincia metalogénica de hierro y apatita del geosinclinal andino (Ruiz y otros, 1965), la cual ocurrió en una fase posterior a la intrusión del cuerpo magmático. El sector en particular se caracteriza por la presencia de vetas NNE - SSW emplazadas como relleno de fracturas y afectadas por fallas NNW - SSE con desplazamiento en el rumbo; donde se propició la precipitación de minerales de cobre y uranio que le han dado un valor económico a la zona.

### 2.1 Rocas Estratificadas

#### 2.1.1 Formación Arqueros Ka

Definida inicialmente en 1962 por Aguirre y Egert, corresponde a una secuencia de rocas volcánicas de composición andesítica-basáltica, de color gris oscuro a pardo oscuro, intercaladas con calizas, areniscas y lutitas de colores ocre, pardo anaranjado y verde. Tiene estratificación gruesa, de 2 a 40 m de potencia por estrato, y de aspecto macizo. No presenta base expuesta y subyace a la Formación Quebrada Marquesa (Hauteriviano – Albiano temprano) mediante un sistema de fallas que permite observar localmente contacto de erosión. Se ha determinado desde Thomas (1967), hasta Emparán y Pineda (2006), un espesor de la unidad de miles de metros (2.000 hasta 5.400 m), los que aumentan hacia el sur. Así, también el ancho de afloramiento de la unidad va desde los 2 m en el norte de la carta Andacollo - Puerto Aldea, hasta los 14 m en el sur de ella.

En el sector de estudio, la Formación Arqueros se distribuye en una franja NNW, limitada al oeste por la Falla Romeral, y al este, por la Falla El Cobre. Se caracteriza por una gran variación lateral de facies, lo cual fue señalado inicialmente por Thomas en 1967 “hay un paso gradual de depósitos marinos en el norte a continentales en el sur”; y que posteriormente fue aseverado por Emparán y Pineda (2006).

En base a dataciones  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en anfíbola de una andesita porfídica, se obtuvo una edad de 129,1  $\pm$  3,2 Ma que corresponde al Límite Barremiano - Hauteriviano. Además, en la sección media de la unidad que contiene rocas sedimentarias fosilíferas, se han obtenido edades paleontológicas a partir de su contenido faunístico, indicando una edad probablemente berriasiana - hauteriviana inferior (Pérez y Rubilar, 2002). Con los antecedentes señalados, es posible asignar a esta formación una edad neocomiana.

Se ha propuesto un ambiente depositacional inicial de un sistema de rift, caracterizado por una importante actividad volcánica basáltica (facies basales de la unidad) con afinidad con el manto. Posteriormente, el magma evolucionó a una composición andesítica, permitiendo el aumento en la depositación de rocas piroclásticas debido a un volcanismo más explosivo. Dicho sistema de rift, estuvo limitado al este por fallas de crecimiento que permitieron formar una cuenca subsidente que acomodó las secuencias volcánicas formadas en un ambiente marino somero (con intercalaciones de rocas sedimentarias de este ambiente). El cese de la actividad de las fallas y la variación de magma a una composición intermedia a ácida, habrían causado la colmatación de la cuenca (Emparán y Pineda, 2006).

### 2.1.2 Formación Quebrada Marquesa Kqm

Rocas sedimentarias y volcánicas, de origen continental, y de color pardo medio a pardo rojizo. Presenta intercalación de rocas sedimentarias marinas de colores claros en sus niveles estratigráficos inferiores. Sobreyace en contacto de erosión a la Formación Arqueros, con una dirección aproximada N10°W y manteo variable de entre 34° - 60° E. Existe una parte importante que se pone en contacto con la Formación Arqueros mediante un sistema de fallas, del cual forman parte las fallas El Álamo y El Cobre. Subyace en discordancia angular a los Estratos Quebrada Yungay. Está intruída por las unidades plutónicas Kigd, Kmd y las unidades hipabisales Kih y Kh (Emparán y Pineda, 2006).

Está conformada por brechas epiclásticas, areniscas, lutitas, limolitas y calizas en parte fosilíferas, ignimbritas, tobas de caída y brechas piroclásticas con intercalaciones de andesitas, andesitas de anfíbola – piroxeno y de anfíbola de textura afanítica y porfídica y basaltos de piroxeno - olivino; que se distribuyen en una franja de 7 a 16 km de ancho con una tendencia

NNW (paralela a la Formación Arqueros), al este de las fallas El Álamo y El Cobre. Se caracteriza por presentar una gran variación lateral de espesor, litología y alternancia de facies.

El contenido faunístico indica una edad hauteriviana para los niveles inferiores de la unidad, mientras que las edades radiométricas arrojan una edad de  $112 \pm 4$  Ma (K - Ar en roca total);  $110,8 \pm 1,2$  Ma (U- Pb en circón);  $109 \pm 3$  Ma (K - Ar en biotita);  $106,8 \pm 1,2$  Ma ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en biotita); entre otras que determinan el mismo rango de edad: Albiano - Turoniano, la cual se correlaciona con la Formación Cerrillos (Arévalo, 2005 en Emparán y Pineda, 2006).

Se interpreta que la unidad se depositó en un ambiente de hemigraben limitada hacia el oeste por el sistema de fallas El Álamo y El Cobre, consideradas como fallas de crecimiento; con la presencia de un frente volcánico al este del sistema de fallas con actividad explosiva, donde además hubo transgresiones marinas que depositaron las intercalaciones sedimentarias de la Formación. Con los procesos anteriores, la cuenca se habría colmatado, con lo cual se depositaron principalmente facies continentales volcánicas en torno a calderas volcánicas.

### 2.1.3 Formación Confluencia MPLc

Secuencia sedimentaria continental con débil litificación de color pardo, con una altura de 100 m formando planicies o terrazas en los valles y quebradas principales. Está conformada por facies fluviales (a) constituidas por gravas gruesas bien redondeadas, con intercalaciones de areniscas poco consolidadas y lentes de limos; y facies aluvionales (b) que conforman conos de cabeceras, constituídas por brechas muy gruesas con abundante matriz limoarenosa. Ambas facies engranan entre sí. Se apoya discordantemente sobre rocas mesozoicas, específicamente en el sector de estudio, sobre la Formación Arqueros y en inconformidad sobre rocas intrusivas graníticas a dioríticas e intrusivos hipabisales.

## 2.2 Rocas Intrusivas

### 2.2.1 Intrusivos graníticos a dioríticos Kigd

Corresponde a rocas plutónicas de composición diorítica a granítica, con mayor predominio de las primeras. Son de textura de grano grueso a medio, con tendencia porfídica en dioritas y de grano fino en los granitos. El color en las primeras es predominantemente pardo con tonalidades

rojas a grises, y en las segundas es gris (con tonalidad clara o rosada) y rosado. Comprende dioritas de piroxeno-anfíbola, de piroxeno y de anfíbola; monzodioritas de anfíbola-piroxeno-biotita y de anfíbola-piroxeno; monzogranito de anfíbola-biotita. Forman plutones compuestos y simples de tamaño variable de 6 a 120 m<sup>2</sup>, mostrando una delgada franja de tendencia NNW - SSE. Intruye a la Formación Arqueros, debido a lo cual se forma una aureola importante de metamorfismo de contacto en algunos sectores; y a su vez, esta unidad está intruída por diques y stocks de unidades hipabisales Kh (ver punto 2.2.2) y Ksih.

Se han realizado dataciones K - Ar en biotita en el Plutón central que intruye la zona estudiada, arrojando una edad de  $122 \pm 3$  Ma y  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en biotita de  $120,9 \pm 1,1$  Ma; interpretadas como edades cercanas a la cristalización. De esta manera, y complementando a otras edades obtenidas, las edades radiométricas interpretadas cercanas a la cristalización para esta unidad, se sitúan en el rango 122 – 110 Ma (Cretácico Inferior alto).

#### 2.2.2 Intrusivos hipabisales andesíticos basálticos – dioríticos Kh.

Definidas por Emparán y Pineda (2006), como rocas hipabisales de composición andesítica y andesítica – basáltica a diorítica porfídica y microdiorítica. Se distinguen dos facies en terreno debido a sus características texturales: una facies (a) de textura “ocoítica” caracterizada por el tamaño que alcanzan los fenocristales (8 a 22 mm en plagioclasas y 2 a 10 mm en minerales máficos); y una facies (b) de textura porfídica media a afanítica con cristales de tamaño inferior a 6 mm. En el sector estudiado domina la presencia de la facies (b), la que forma principalmente stocks de 0,3 a 8 km<sup>2</sup> de dimensión, con formas irregulares, pero con tendencia a una orientación N - S. En menor medida se presenta en diques regulares con potencias de 0,6 a 12 m y de diversas orientaciones.

Es frecuente encontrar la presencia de oxidados de cobre, limonitas y en parte, calcopirita, en los límites de estos cuerpos con la roca caja, particularmente donde la roca caja corresponde a la Formación Quebrada Marquesa (Kqm).

Presenta dos facies que se diferencian por sus características petrográficas: (a) el máfico característico es el piroxeno, seguido por el olivino, variando de andesítica a andesítica – basáltica. Su color es predominantemente gris pardusco, moteado de blanco por los fenocristales

de plagioclasa. La facies (b) en tanto, varía de diorítica a andesítica, estando dominada por la presencia de anfíbola y piroxeno (la primera en mayor cantidad). Es común la alteración a hematita y/o magnetita, reemplazando los máficos o rellenando intersticios en la masa fundamental. Los colores predominantes son pardo claro y gris pardusco.

Se han obtenidos edades radiométricas en la facies (b) de K-Ar en roca total, arrojando una edad de  $96 \pm 3$  Ma., la cual es concordante con las relaciones de contacto e indicaría para esta unidad una edad del Cretácico Superior temprano (96-94 Ma).

## 2.3 Estructuras

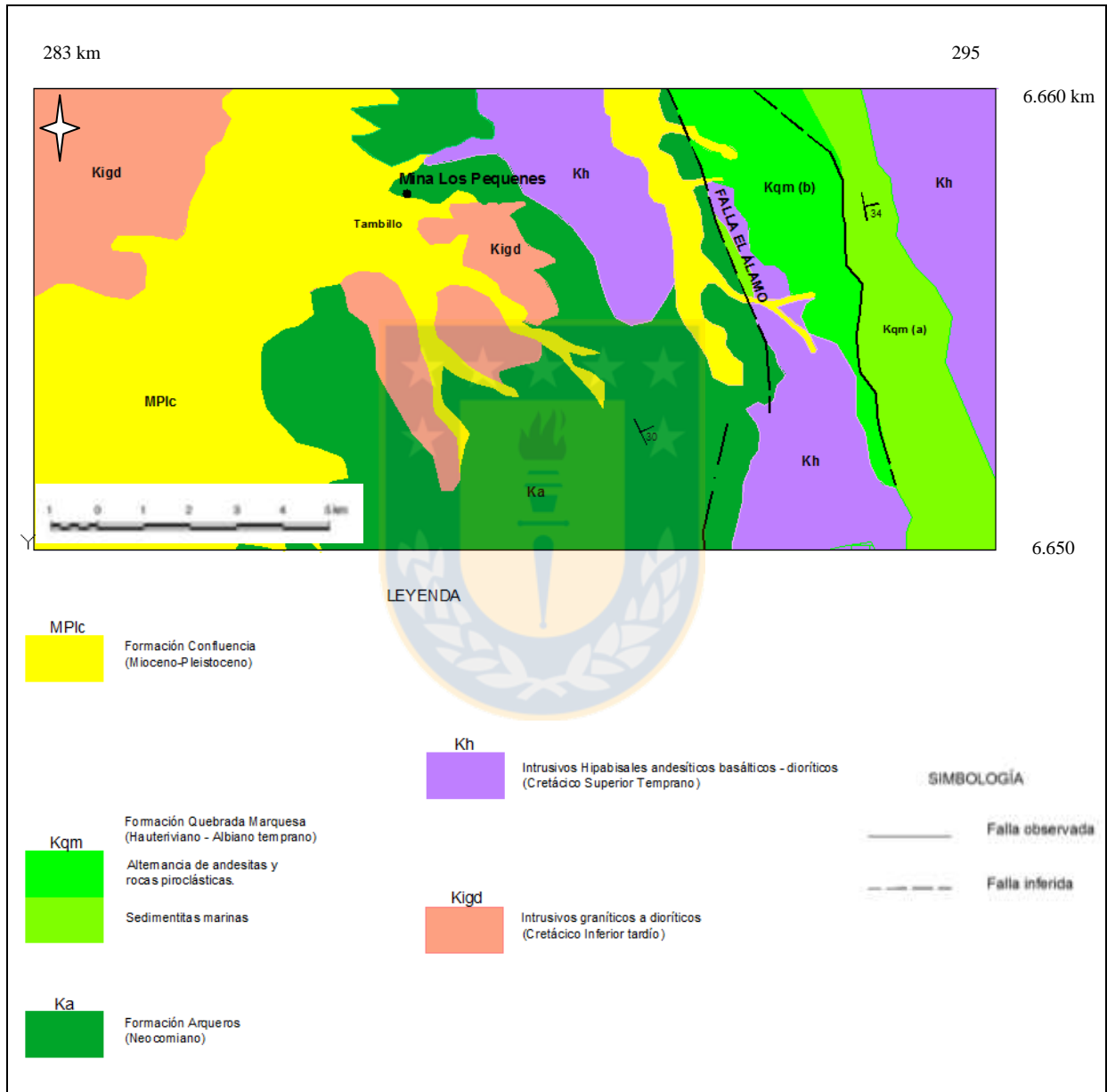
### 2.3.1 Fallas

El sector de estudio se sitúa en el segmento de subducción subhorizontal de la placa oceánica de Nazca bajo la Sudamericana; específicamente entre dos fallas de carácter regional, detalladas como sigue:

- Sistema de Fallas Romeral: En la zona de estudio, está representada por la Falla Romeral, la que tiene una tendencia N - S a  $N18^\circ W$ , con un manteo general de  $55^\circ E$ , con excepción de la Quebrada Lagunillas, donde la inclinación es de  $61^\circ W$ . Pone en contacto rocas jurásicas costeras con rocas cretácicas del sector occidental, además de producir una franja de rocas cataclásticas y miloníticas alrededor de ella por efecto de la deformación frágil que la produjo. Edades radiométricas realizadas en rocas deformadas, arrojan un rango de edad de entre  $99 \pm 3$  y  $115 \pm 4$  Ma, lo que la hace correlacionable con la Zona de Falla de Atacama, falla de tipo sinistral.
- Sistema de Fallas de Relevo al este de la falla anteriormente descrita, compuesta por dos fallas normales: Falla El Álamo y Falla El Cobre, ambas con la ocurrencia de brechas de falla y salbandas por la deformación frágil presente. La Falla El Álamo está asociada a un evento de inversión anterior a los 77 Ma (dado que están bisectadas por fallas de orientación noreste - suroeste de dicha edad). Tienen características de fallas de crecimiento, otorgándoles una edad similar a la base de la Formación Quebrada Marquesa (106 Ma); esto las hace contemporáneas a la actividad sinistral de la Zona de Falla de Atacama.

### 2.3.2 Pliegues

El sector se caracteriza por presentar estructuras homoclinales de rumbo general N 20 – 30°W con un manteo que varía entre 20 y 40°E para las rocas jurásicas a albianas tempranas (figura 2.1). En rocas cenozoicas, la disposición general es subhorizontal a horizontal.



**Figura 2.1** Mapa geológico área de estudio. Se observa la relación espacial de las unidades y estructuras descritas (UTM, Datum PSad56).

### 1.6.1 Discordancias

Existen contactos por falla y contactos de erosión asociados a la presencia de fallas de relevo entre las formaciones Kqm y Ka; así como también inconformidad entre las unidades volcano – sedimentarias y las unidades intrusivas y metamórficas producidas por las fallas presentes. Sumado a lo anterior, considerando la presencia de secuencias neógenas – cuaternarias, existe una discordancia angular entre dichas rocas y secuencias mesozoicas.

## 2.4 Geología Económica

En el sector de estudio se reconoce una amplia variedad de ocurrencia de depósitos minerales, de los cuales se extrae o extraía beneficio económico. A continuación se especifica la extracción minera más importante.

### 2.4.1 Metálicos

Se caracterizan por la presencia de depósitos minerales de cobre, oro y manganeso principalmente, con menores cantidades de mercurio y cobalto. Sin embargo, la actividad actual se centra en la explotación de cobre y oro (figura 2.2).

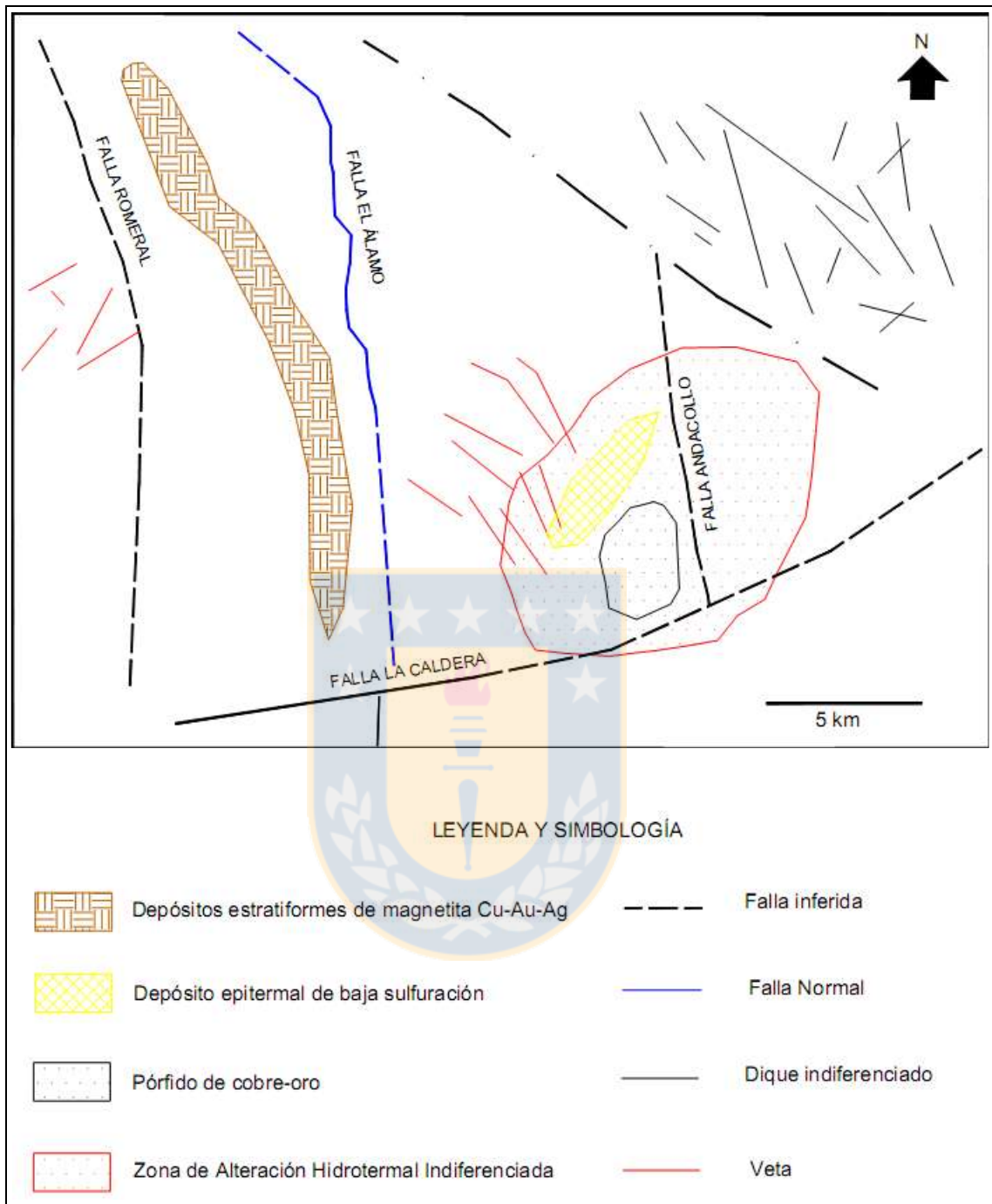
Los depósitos más característicos son los que siguen:

#### Pórfido de cobre – oro

El principal depósito cercano al área de estudio corresponde al pórfido Carmen, ubicado en la comuna de Andacollo, del cual se extrae cobre y en menor cantidad oro. El molibdeno se asocia a vetillas tipo B, y actualmente se encuentra en estudio para aumentar su rentabilidad.

#### Epitermal de baja sulfuración

En el sector destaca el yacimiento Dayton de la comuna de Andacollo, correspondiente al sistema epitermal relacionado al pórfido de cobre anteriormente descrito. Presenta mineralización tanto mantiforme como vetiforme. El oro se encuentra asociado a la pirita, de ocurrencia diseminada muy fina.



**Figura 2.2** Representación esquemática de los yacimientos metalíferos y estructuras del área de estudio.



### Mantos de manganeso

El histórico yacimiento Corral Quemado pertenece a dicho depósito de origen hidrotermal – exhalativo (el cual permanece inactivo desde 2001), ocurriendo el metal de manera lenticular y estratiforme.

### Skarn de cobre

Producto del metamorfismo de contacto de unidades intrusivas cretácicas con secuencias volcano – sedimentarias del Cretácico Inferior, el Skarn Panulcillo, ubicado 50 km al sur de La Serena, constituye uno de los yacimientos más conocidos y relevantes para la economía local; desarrollando además plantas de procesamiento de cobre tanto de flotación como lixiviación para otras faenas cercanas (operadas por ENAMI).

### Sistemas vetiformes

El principal sistema de vetas corresponde las estructuras magnetita – apatita con mineralización de cobre y uranio del Distrito Minero Tambillos (donde se encuentra el sector de estudio del presente trabajo). Presenta tres sistemas de veta principales: veta San Felipe de rumbo N63°E y manteo de 40 a 50°SE y la veta Bellavista de tendencia N65°E/ 50 a 70°SE dispuestas en diorita de grano fino; mientras que la veta San Lorenzo, de rumbo N50° - 60°E y manteo de 30 – 50°SE, en andesita porfídica. Actualmente se encuentra paralizada.

#### 1.6.1 No Metálicos

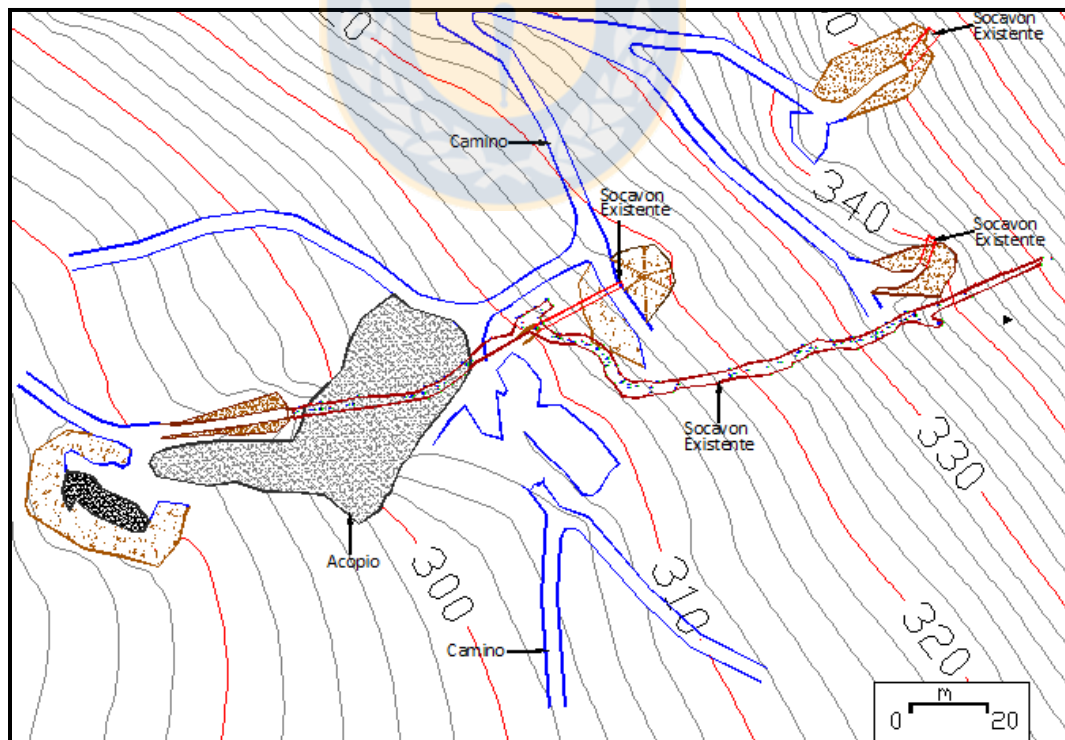
En la zona de estudio los yacimientos no metálicos se restringen a mantos calcáreos de los alrededores de Tongoy, pertenecientes a la Formación Coquimbo; además de la explotación de apatita asociada al mismo sistema mineral descrito en este estudio. Por lo general se desarrollan en estructuras vetiformes con control estructural, por lo cual su explotación se limita a pequeñas guías que generalmente van acompañadas de hierro y cobre.

### 3. Geología del Yacimiento Tambillos

#### 3.1 Generalidades

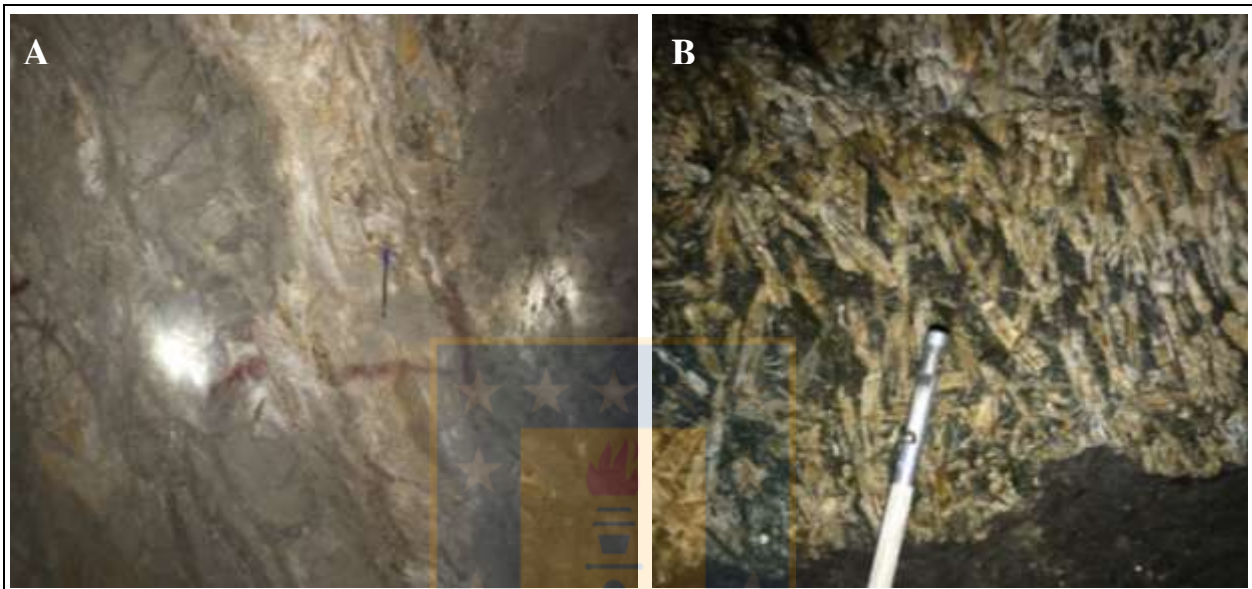
El área de estudio se dispone en un intrusivo zonado que varía de dioritas a granodioritas, y en algunos sectores, andesitas porfídicas como intrusiones hipabisales. La alteración predominante de estas rocas es clorítica leve a moderada y argílica fuerte. Alteración potásica es pervasiva pero sólo en superficie, por transformación de plagioclasas a feldespatos potásicos. Limonitas son abundantes en zonas superficiales así como también entre fracturas en las cercanías de los cuerpos mineralizados.

La faena minera cuenta con varios socavones, uno de los cuales está actualmente en operación. Este ha sido estudiado y descrito en detalle mediante cortes transparentes (anexo 1). Dicho socavón ha sido denominado “Los Pequeños”, tiene 203 m de longitud con una pendiente promedio de  $1^\circ$  (figura 3.1). Presenta una sección de labor de 3x3 m aproximadamente, por lo que según lo señalado por el actual Reglamento de Seguridad Minera, es necesario realizar un estudio geomecánico que avale sus condiciones de auto sostenimiento.



**Figura 3.1** Vista en planta del socavón Los Pequeños y socavones menores en niveles superiores.

El cuerpo mineralizado corresponde a una veta Magnetita-Apatito de 3 m de potencia, de rumbo N76°E y manteo 61°SE. Contiene óxidos de cobre en las zonas más superficiales, mientras que a los 20 m de profundidad ya presenta sulfuros de cobre diseminados entre los cristales de apatita y magnetita. Se observa en muestras de mano calcopirita diseminada y masiva (4%); y bornita diseminada en algunos sectores (0,5%).

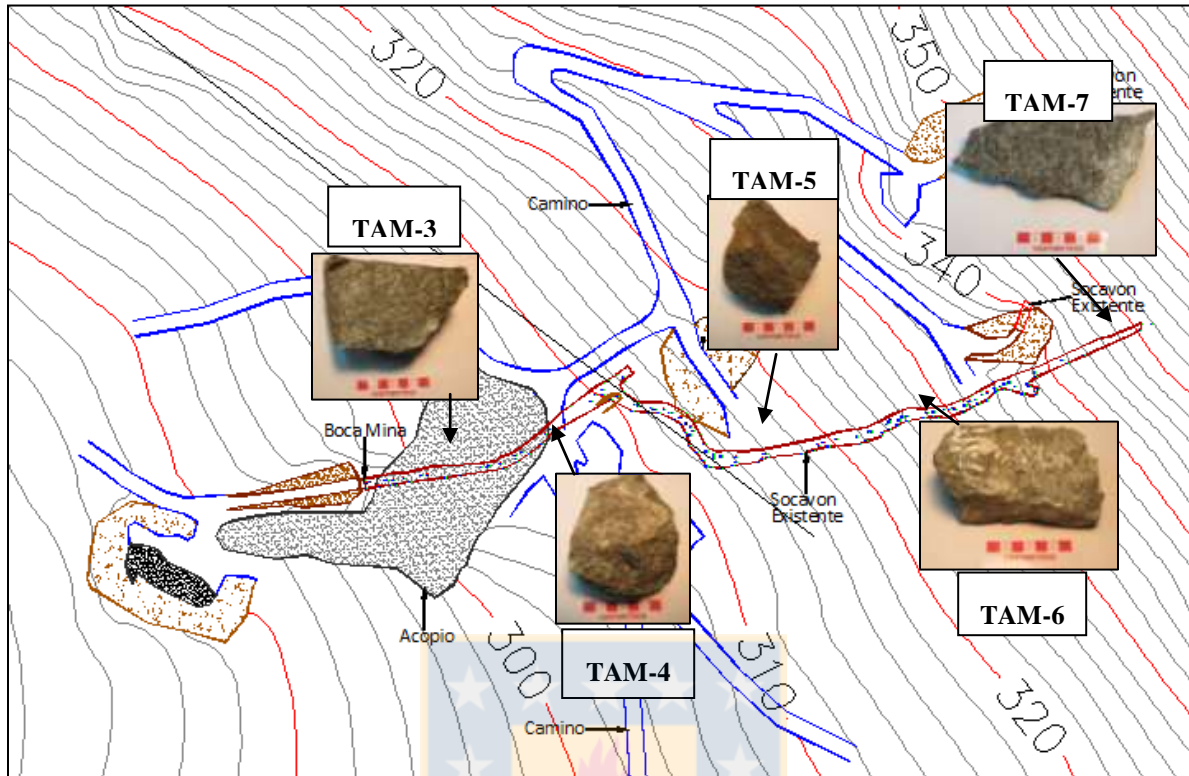


**Figura 3.2** Fotografías de las estructuras principales en el Socavón Los Pequeños. (A) Falla Los Pequeños. (B) Veta de magnetita – apatito.

Existe una falla dextral de tendencia N53°W/61°SW, que separa en el rumbo a la veta aproximadamente 10 m y que marca el comienzo de la mineralización de mayor relevancia, presentando alteración abundante de arcilla y relleno limonítico moderado.

### 3.2 Variación litológica y alteraciones en socavón Los Pequeños

El túnel Los Pequeños en general presenta una variación litológica poco abrupta en cuanto a roca caja, con cambios que se enfocan principalmente en la alteración y minerales de relleno de fracturas, más que en su litología. Sin embargo, en túneles superiores de la zona, fueron observadas otras rocas (TAM-7) que se proyectan a la frente del túnel principal y en rocas no explotadas en dicho nivel (figura 3.1).

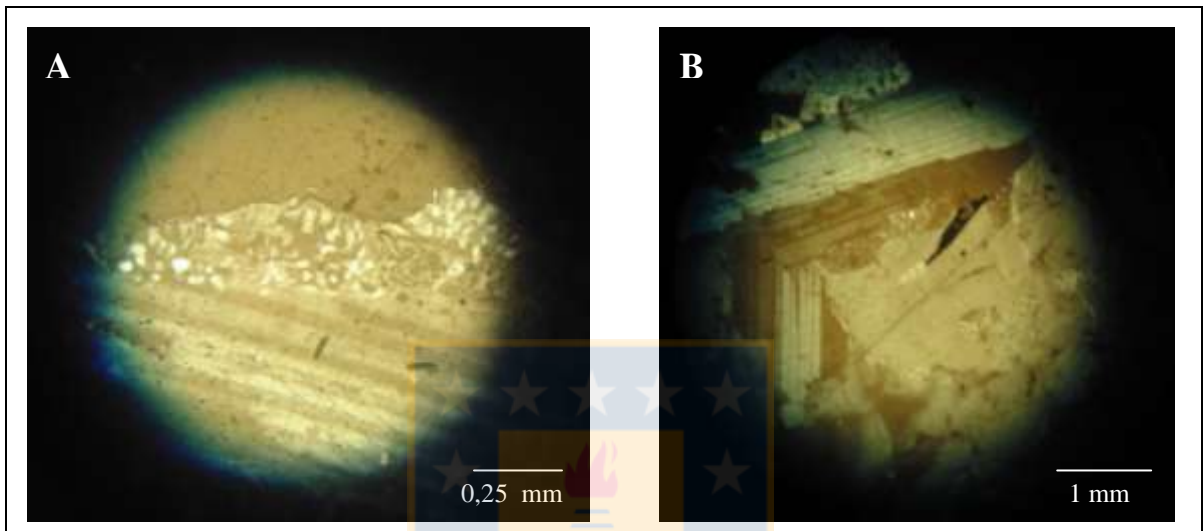


**Figura 3.3** Muestras descritas en el Socavón Los Pequeños. Se observa su distribución espacial en la vista de planta.

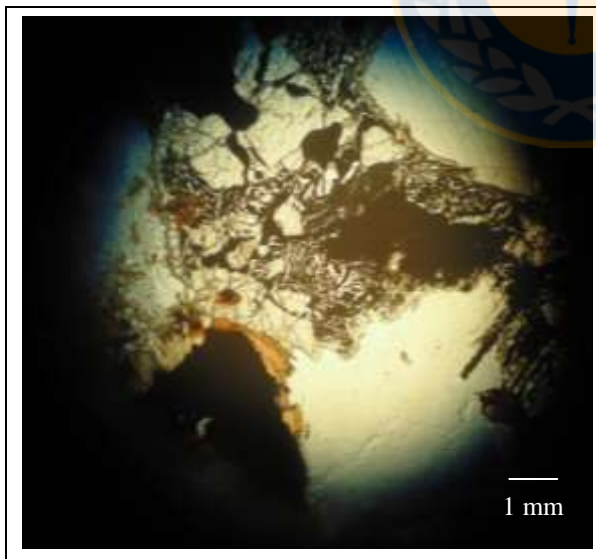
Existe una litología dada por dioritas y dioritas cuarcíferas en los primeros 65 m de túnel, donde el grado de alteración varía entre cloritización, sericitización y en menor medida, epidotización. A los 65 m se presenta la falla “Los Pequeños”, que tiene una potencia de 2 m aproximadamente, se caracteriza por presentar relleno abundante de arcillas y en ciertos sectores, muestra brechización por efecto del movimiento de la falla. Esta falla pone en contacto las dioritas observadas en los primeros metros, con andesitas porfídicas de origen hipabisal.

Dichas andesitas se caracterizan por presentar abundante alteración a sericita y clorita, y relleno de magnetita entre fracturas. Los fenocristales de plagioclasa son de grano grueso, alcanzando los 3 mm de largo. Los feldespatos potásicos presentan textura peritética por disminución de la temperatura, impidiendo la miscibilidad del feldespato potásico. Están en contacto por falla con las dioritas cuarcíferas alteradas, y en inconformidad con las dioritas inalteradas.

Los últimos 10 m de túnel exhiben una roca caja intrusiva representada por dioritas cuarcíferas levemente magnéticas y de color gris oscuro. La alteración que las afecta es clorita pero de grado bajo, alterando a los anfíboles principalmente. Existe textura mirmequítica en plagioclasas de origen subsolidus (figura 3.2); además de textura simplectítica de ilmenita en piroxenos (microfotografía 3.3).



**Figura 3.4** Fotomicrografía textura mirmequítica. Muestra TAM - 7, en NX. (A) en 40X, (B) en 10X.



**Figura 3.5** Fotomicrografía intercrecimiento de ilmenita en piroxenos. Aumento 10X en LPP.

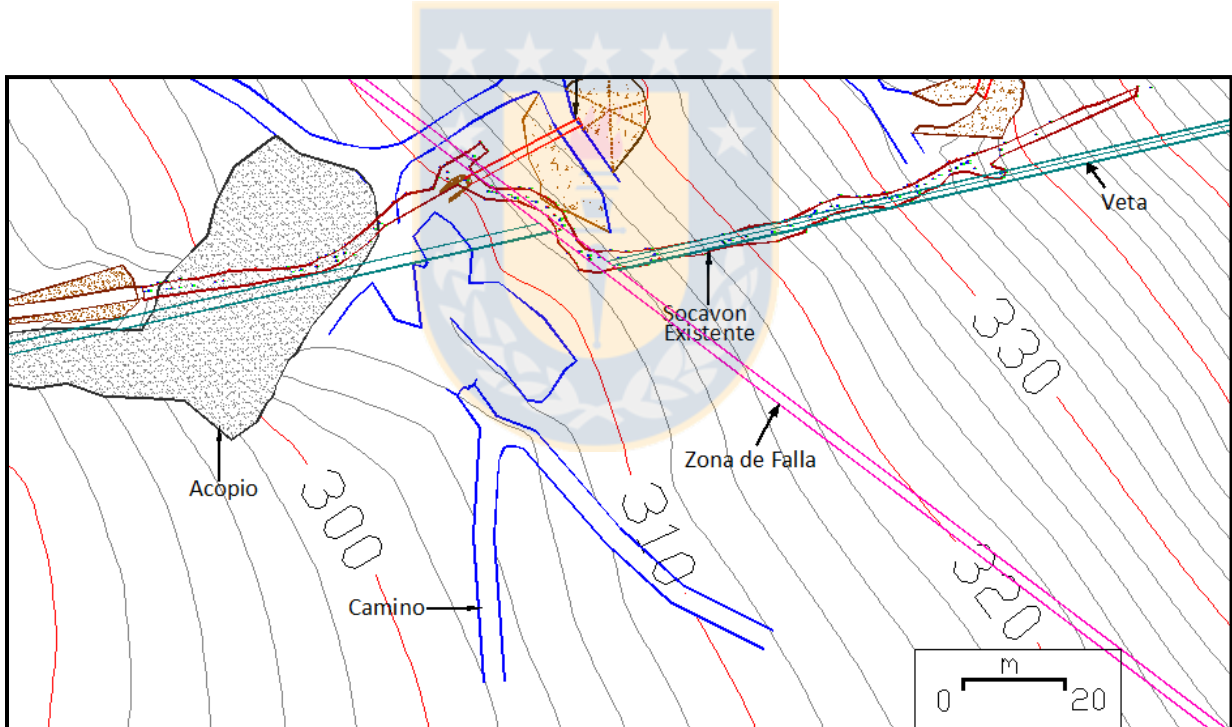


### 3.3 Estructuras geológicas principales

Existen dos estructuras que son determinantes en la geología del túnel, que corresponden a la falla dextral presente a los 72 m de avance y la veta de magnetita-apatito con asociación de cobre que es explotada en el socavón (ver figura 3.2). A continuación se describe cada una de ellas:

#### Falla Los Peques

Corresponde a una falla dextral de tendencia  $N53^{\circ}W/61^{\circ}SW$ . Pone en contacto rocas dioríticas del Cretácico Inferior Alto con andesitas de origen hipabisal de edad Cretácico Superior y desplaza la veta magnetita-apatito aproximadamente 10 metros hacia el sur. Contiene un relleno abundante de arcillas, alcanzando hasta 2 m de potencia con tramos cortos de brecha de falla. Generalmente estas arcillas se encuentran humedecidas, formando una salbanda bastante potente.

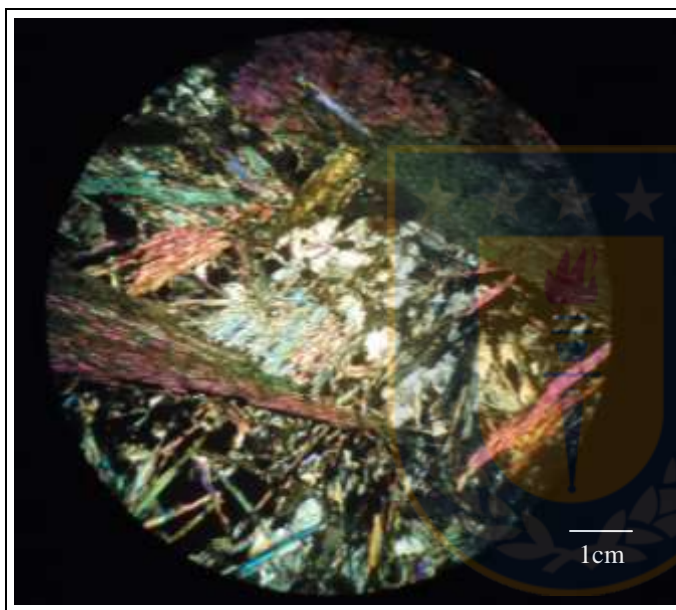


**Figura 3.6** Proyección en planta de la veta de interés y de la falla Los Peques en la cota del túnel.

### Veta Magnetita-Apatito

Tiene un rumbo y manto N76°E/61°SE, y entre 1 y 3 m de potencia. Contiene cristales de apatito y actinolita de hasta 5 cm de longitud, rodeados por una masa fina de magnetita (microfotografía 1.3).

Contiene calcopirita y pirita en muy bajas cantidades y de ocurrencia diseminada, mientras que hacia superficie existen algunos oxidados de cobre (atacamita y crisocola principalmente). Actualmente, esta veta no presenta concentraciones económicas de cobre.



**Figura 3.7** Fotomicrografía veta de magnetita-apatito en NC, aumento 4X. En negro se observa magnetita, mientras que en hábito fibroso, actinolita.

### **3.4 Interpretación de la historia geológica y mineralización**

Las rocas expuestas en el sector de estudio, corresponden a rocas volcánicas asignadas a la Formación Arqueros (Cretácico Inferior), las que han sido intruídas por rocas dioríticas y granodioríticas de edad Cretácico Superior. Lo anterior genera metamorfismo de contacto y con ello algunas rocas corneanas que no alcanzan a aflorar en la zona de interés.

Se puede identificar dos etapas de mineralización: la primera conformada por apatita, actinolita y magnetita; y la segunda por los sulfuros finamente diseminados, que ha sido asociado incluso a un evento contemporáneo a la cristalización de magnetita.

Existe debate respecto a la génesis de la mineralización. Algunos autores señalan un origen metasomático por el desarrollo de una fase pneumatolítica e hidrotermal (Ruiz, 1943; Ruiz, 1965), mientras otros postulan que estos depósitos se formaron por magmas ricos en hierro emplazados cerca de la superficie y su posterior actividad hidrotermal (Vivallo, F. y otros, 1994; y 1997).

La fase pneumatolítica se desarrolla entre los 400 y 500°C, y además afectaría sólo rocas volcánicas de la Formación Arqueros. Sin embargo, se observa que intrusivos dioríticos están igualmente afectados por la mineralización, lo que da indicios de un origen más bien magmático, probablemente producto de alguna fase residual rica en hierro.

Estudios indican que la temperatura de fusión de la asociación magnetita-apatita es de entre 850 y 1000°C, y de la pirita, de 742°C (Barton y Skinner, 1967; Philpotts, R.A., 1967). Lo anterior hace concluir, que las vetas de magnetita-apatita-actinolita debieron formarse entre los 700 y 1000°C, tal y como lo concluyó Cuadra en 1979.

Posteriormente se depositan sulfuros de hierro y cobre de manera diseminada dentro de las vetas primarias, por origen hidrotermal de baja temperatura; los que finalmente son afectados por fluidos alterantes, transformándose en zonas más superficiales, a fases oxidadas de hierro y cobre.



## 4. Análisis Geomecánico del Socavón Los Pequeños

### 4.1 Análisis de los parámetros geomecánicos

Previa valorización de Q de Barton, es necesario analizar cada uno de los parámetros que componen la fórmula matemática que rige este método. Se analizarán por tanto los parámetros: RQD (grado de fracturamiento),  $J_n$  (N° de familia de diaclasas),  $J_r$  (rugosidad),  $J_a$  (rellenos y alteraciones predominantes),  $J_w$  (presencia de agua) y SRF (factor de reducción). Cada uno de ellos está categorizado en valores numéricos obtenidos a partir de Barton (1974).

#### 4.1.1 Grado de Fracturamiento RQD

Como se trata del análisis a partir de un perfil geomecánico y no de testigos de sondaje, RQD se calcula a partir de la fórmula (1), donde se considera el número de fracturas por metro del perfil descrito.

$$\begin{aligned} \text{RQD} &= 115 - 3,3J_v \text{ para } J_v > 4,5 \\ \text{RQD} &= 100 \text{ para } J_v \leq 4,5 \end{aligned}$$

(1)

Donde,  $J_v$ : N° de diaclasas por metro.

En base a la tabla 4.1, y las características descritas en el Socavón Los Pequeños, se observa un grado de fracturamiento de la roca bastante bajo, con lo cual los valores de RQD son bastante altos, exceptuando los tramos 6,7 y 11 que corresponden a sectores donde el socavón atraviesa la Falla Los Pequeños (tabla 4.2).

**Tabla 4.1 Caracterización de valores de RQD, según Deere, 1967.**

PARAMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR
<b>RQD</b>	A.- Muy mal	0 a 25
	B.- Mala	25 a 50
	C.- Regular	50 a 75
	D.- Buena	75 a 90
	E.- Excelente	90 a 100

**Tabla 4.2 Grado de fracturamiento de las rocas** en los 18 tramos que componen el Socavón Los Pequeños.

Tramo	Valor RQD	Calidad	Tramo	Valor RQD	Calidad
1	65,5	Regular	10	82	Buena
2	85,3	Buena	11	25	Mala
3	85,3	Buena	12	75,4	Regular
4	88,6	Buena	13	83,3	Buena
5	88,6	Buena	14	86,6	Buena
6	25	Mala	15	89,9	Buena
7	25	Mala	16	96,5	Excelente
8	62,2	Regular	17	82	Buena
9	65,5	Regular	18	91,9	Excelente

No existe sin embargo, una correlación en todos los tramos entre RQD y los valores finales de Q.

#### 4.1.2 Familias de diaclasas Jn

Este parámetro se calcula en base a la tabla 4.3 propuesta por Barton (1974), en base al número de familias continuas y ocasionales observadas en el tramo.

**Tabla 4.3 Valorización Jn según Barton.** Cada característica va asociada a un valor.

Descripción	Jn
Roca masiva	0.5-1
Una familia de diaclasas.	2
Una familia de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales.	3
Dos familias de diaclasas.	4
Dos familias de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales	6
Tres Familias.	9
Tres familias de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales.	12
Cuatro o más familias de Diaclasas, roca muy fracturada.	15
Roca triturada terrosa.	20
En boquillas, se utiliza 2 Jun y en Túneles 3 Jun	

A lo largo del socavón, la roca se caracteriza por presentar entre dos y tres familias de diaclasas bien identificadas (tabla 4.4). En los tramos donde el valor es mayor (15), se debe a que tiene tres familias de diaclasas pero con sucesivas diaclasas menores que cruzan las principales. Estos tramos precisamente corresponden a la descripción de la roca alrededor de la falla. Hay una correlación bien definida entre Jn y los valores resultantes de Q.

**Tabla 4.4 Valores de  $J_n$  en base al número de familias de diaclasas de cada tramo del socavón.**

Tramo	Valor $J_n$	Descripción	Tramo	Valor $J_n$	Descripción
1	9	Tres familias de diaclasas	10	9	Tres familias de diaclasas
2	9	Tres familias de diaclasas	11	15	Tres familias de diaclasas y algunas diaclasas ocasionales
3	4	Dos familias de diaclasas	12	15	Tres familias de diaclasas y algunas diaclasas ocasionales
4	9	Tres familias de diaclasas	13	9	Tres familias de diaclasas
5	9	Tres familias de diaclasas	14	9	Tres familias de diaclasas
6	15	Tres familias de diaclasas y algunas diaclasas ocasionales	15	4	Dos familias de diaclasas
7	15	Tres familias de diaclasas y algunas diaclasas ocasionales.	16	9	Tres familias de diaclasas
8	9	Tres familias de diaclasas	17	9	Tres familias de diaclasas
9	9	Tres familias de diaclasas	18	4	Dos familias de diaclasas

#### 4.1.3 Rugosidad $J_r$

La valoración de  $J_r$  está basada en la relación o el contacto entre las dos caras de la discontinuidad (tabla 4.5).

**Tabla 4.5 Valorización de  $J_r$  según Barton (1974).**

<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Contacto entre las 2 caras de las diaclasas con poco desplazamiento lateral de menos de 10 cm.</li> <li>▪ Juntas discontinuas. 4</li> <li>▪ Juntas Rugosa o irregular ondulada. 3</li> <li>▪ Suave ondulada. 2</li> <li>▪ Espejo de falla, ondulada, 1.5</li> <li>▪ Rugosa o irregular, plana. 1.5</li> <li>▪ Suave plana. 1</li> <li>▪ Espejo de Falla, plano. 0.5</li> </ul>	$J_n$
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ No existe contacto entre las 2 caras de las diaclasas cuando ambas se desplazan lateralmente.</li> <li>▪ Zona de contenido de minerales arcillosos, suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las caras de las Diaclasas. 1</li> <li>▪ Arenas, gravas o zona fallada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las 2 caras de las diaclasas. 1</li> </ul>	$J_n$
<p>Nota: si el espaciado de la familia de las diaclasas es mayor de 3 m hay que aumentar el <math>J_n</math> en una unidad.</p> <p>Para diaclasas con espejos de falla provisto de lineaciones, si están orientadas favorablemente, se puede usar <math>J_r=0.5</math></p>	

Existen dos tipos de rugosidades en el socavón bien definidas y opuestas entre sí: diaclasas irregulares onduladas y suaves onduladas (tabla 4.6). En menor medida, algunos casos puntuales de diaclasas suaves planas y onduladas, principalmente en el caso de la falla.

La rugosidad de una diaclasa depende de varios factores, entre los que se destacan el tipo de roca que de los bloques, la alteración a la que esté afectada, la presencia de agua que haya circulado por las discontinuidades y si ésta ha sido permanente o esporádica, entre otros.

En general, existe una tendencia a rugosidades onduladas (aún siendo suaves o irregulares), podemos concluir que estas discontinuidades han sido afectadas por un menor grado de erosión y meteorización por factores externos como el agua por ejemplo, y que su grado de alteración moderado impide que las caras se pulan de una manera más abundante como para llegar a presentar rugosidades lisas y planas mayoritariamente.

**Tabla 4.6** Valoración de Jr para cada familia de diaclasas y la descripción asociada. Nótese la predominancia de rugosidades suave ondulada e irregular ondulada.

Jr	Descripción	Jr	Descripción	Jr	Descripción
2	Suave ondulada	2	Suave ondulada	3	Irregular ondulada
2	Suave ondulada	2	Suave ondulada	3	Irregular ondulada
3	Irregular ondulada	2	Suave ondulada	3	Irregular ondulada
1,5	Ondulada	3	Irregular ondulada	3	Irregular ondulada
3	Irregular ondulada	3	Irregular ondulada	1	Suave Plana
1	Suave Plana	3	Irregular ondulada	3	Irregular ondulada
1	Suave Plana	3	Irregular ondulada	2	Suave ondulada
3	Irregular ondulada	3	Irregular ondulada	1	Suave Plana
2	Suave ondulada	2	Suave ondulada	3	Irregular ondulada
2	Suave ondulada	1	Suave Plana	3	Irregular ondulada
3	Irregular ondulada	2	Suave ondulada	2	Suave ondulada
1	Suave Plana	2	Suave ondulada	3	Irregular ondulada
2	Suave ondulada	2	Suave ondulada	2	Suave ondulada
2	Suave ondulada	1	Suave Plana	2	Suave ondulada
1	Suave Plana	1	Suave Plana		
1	Suave Plana	1	Suave Plana		

#### 4.1.4 Relleno y alteraciones Ja

La alteración presente en las discontinuidades del socavón es uno de los factores principales que influye en la reducida calidad de roca de algunos tramos, aún presentando baja densidad de fracturas. Se mide en base a los minerales de relleno y su textura (tabla 4.7).

**Tabla 4.7 Valorización de Ja según Barton (1974).**

<b>J<sub>a</sub> coeficiente de alteración de la junta</b>	<b>valor</b>
Juntas (sin minerales de relleno intermedios)	
Juntas de paredes sanas	0.75 – 1
Ligera alteración	2
Alteraciones arcillosas	4
Juntas (minerales de relleno en pequeño espesor)	
Con partículas arenosas	4
Con minerales arcillosos no blandos	6
Con minerales arcillosos blandos	8
Con minerales arcillosos expansivos	8 – 12
Juntas (minerales de relleno en gran espesor)	
Con roca triturada/desintegrada y arcilla	6 – 12
Con zonas de arcilla limosa o arenosa	5
Con zonas de arcillosos (espesor grueso)	10 - 20

Alteraciones arcillosas son las más abundantes, lo que sumado a algunos tramos con presencia de agua producen que la roca tenga muy poco auto sostenimiento. Las alteraciones arcillosas, por otro lado, están muy asociadas a las rocas intrusivas dioríticas que predominan a lo largo de la labor (por alteración de plagioclasas).

Otros sectores sin embargo muestran paredes de las diaclasas bastante sanas con poca alteración, donde precisamente la calidad de la roca o el valor de Q aumentan.

**Tabla 4.8 Valores de Ja para las distintas familias de diaclasas y su respectiva descripción.**

Ja	Descripción	Ja	Descripción	Ja	Descripción
4	Alteraciones arcillosas	9	Roca triturada y arcillas	0,875	Juntas de paredes sanas
4	Alteraciones arcillosas	9	Roca triturada y arcillas	2	Ligera alteración
4	Alteraciones arcillosas	4	Alteraciones arcillosas	0,875	Juntas de paredes sanas
4	Alteraciones arcillosas	4	Alteraciones arcillosas	2	Ligera alteración
2	Ligera alteración	2	Ligera alteración	2	Ligera alteración
2	Ligera alteración	4	Alteraciones arcillosas	2	Ligera alteración
2	Ligera alteración	4	Alteraciones arcillosas	2	Ligera alteración
2	Ligera alteración	4	Alteraciones arcillosas	2	Ligera alteración
4	Alteraciones arcillosas	2	Ligera alteración	2	Ligera alteración
4	Alteraciones arcillosas	4	Alteraciones arcillosas	2	Ligera alteración
0,875	Juntas de paredes sanas	4	Alteraciones arcillosas	2	Ligera alteración
2	Ligera alteración	9	Roca triturada y arcillas	2	Ligera alteración
2	Ligera alteración	2	Ligera alteración	2	Ligera alteración
0,875	Juntas de paredes sanas	0,875	Juntas de paredes sanas	2	Ligera alteración
4	Alteraciones arcillosas	2	Ligera alteración	0,875	Juntas de paredes sanas
4	Alteraciones arcillosas	2	Ligera alteración		
4	Alteraciones arcillosas	2	Ligera alteración		
4	Alteraciones arcillosas	2	Ligera alteración		

#### 4.1.5 Presencia de agua Jw

La presencia de agua se valoriza en función a su presión y el grado de lavado (tabla 4.9).

**Tabla 4.9 Valorización de Jw según Barton (1974).**

	Jw	Presión del agua Kg/cm <sup>2</sup>
- 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

La presencia de agua dentro del socavón es muy baja a nula, sin embargo existen algunos tramos donde esta es intermitente con fluencias ocasionales de mediana presión, lo que juega un rol fundamental en la calidad de roca. Lo anterior se suma a que esta fluencia se sitúa precisamente en los metros anteriores y posteriores a una intersección de labores y donde además la altura y ancho de la labor se hacen superiores a lo aceptado en labores subterráneas para pequeña minería sin previo análisis geomecánico.

Es entre los 170 y 180 m de avance del socavón Los Pequeños, donde se produce esta característica, lo que se ve reflejado en los bajos valores de  $Q$  en dicho sector.

#### 4.1.6 Factor de Reducción SRF

El SRF es un coeficiente que tiene en cuenta el estado tensional del macizo rocoso. En este contexto, este parámetro muestra (1) la pérdida de carga en caso de excavaciones que atraviesan zonas de cizalle y rocas arcillosas; (2) el estrés asociado en rocas competentes; y (3) cargas comprimidas en rocas plásticas incompetentes. Por lo tanto, el SRF corresponde al parámetro que muestra el estrés total asociado a la roca.

El socavón Los Pequeños se desarrolla en roca competente con problemas de estrés por las características de las discontinuidades (tabla 4.10), por lo cual se clasifica en base a su cobertura, es decir, alto, medio o bajo estrés asociado. Gran cobertura implica alto estrés, y por ende valores más bajos de SRF (según Barton, alto estrés puede variar entre 0,5 y 2, para lo cual en este estudio se tomó la media correspondiente a 1,25). Este alto estrés es inferido por el grado de compactación de las fracturas que afectan la roca. Pequeña cobertura por otro lado, también denominada de bajo estrés, corresponde a valores más altos de SRF, lo que quiere decir que la roca se encuentra con menor grado de compactación, de manera que reduce su calidad.

Este parámetro está directamente asociado a  $J_w$ , y juntos representan el esfuerzo activo presente en el macizo rocoso.

En el caso de estudio, prevalece una cobertura media a alta (tabla 4.11), por lo tanto hay moderado a alto estrés de afectando las rocas, lo que se ve reflejado en su compactación. Muestra de ello, es que en general la abertura de las diaclasas no supera los 0,5 mm.

**Tabla 4.10 Valorización de SRF según Barton (1974).**

SRF	Valor
<b>Zonas débiles interseccionan a la excavación:</b>	
Multitud de zonas débiles o milonitos	10
Zonas débiles aisladas, con arcilla o roca descompuesta (cobertura $\leq$ 50 m)	5
Id. con cobertura $>$ 50 m	2.5
Abundantes zonas débiles en roca competente	7.5
Zonas débiles aisladas en roca competente (cobertura $\leq$ 50 m)	5
Id. con cobertura $>$ 50 m	2.5
<b>Roca competente (problemas tensionales en las rocas)</b>	
Pequeña cobertura	2.5
Cobertura media	1
Gran cobertura	0.5 – 2
<b>Rocas deformables (flujo plástico de roca)</b>	
Con bajas presiones	5 – 10
Con altas presiones	10 – 20
<b>Rocas expansivas</b>	
Con presión de hinchamiento moderada	5 – 10
Con presión de hinchamiento alta	10 - 15

**Tabla 4.11 Valores de SRF para las familias de diaclasas por tramo, y su respectiva descripción de SRF asociado.**

SRF	Descripción	SRF	Descripción	SRF	Descripción
1	Cobertura media	2,5	Pequeña cobertura	1	Cobertura media
1	Cobertura media	2,5	Pequeña cobertura	1,25	Gran cobertura
2,5	Pequeña cobertura	2,5	Pequeña cobertura	1	Cobertura media
1,25	Gran cobertura	1	Cobertura media	1	Cobertura media
1	Cobertura media	1	Cobertura media	1,25	Gran cobertura
1	Cobertura media	1	Cobertura media	1,25	Gran cobertura
1	Cobertura media	1	Cobertura media	1	Cobertura media
1	Cobertura media	2,5	Pequeña cobertura	1,25	Gran cobertura
1,25	Gran cobertura	2,5	Pequeña cobertura	1	Cobertura media
1,25	Gran cobertura	7	Rocas expansivas	2,5	Pequeña cobertura
2,5	Pequeña cobertura	2,5	Pequeña cobertura	1,25	Gran cobertura
1	Cobertura media	1	Cobertura media	1	Cobertura media
1,25	Gran cobertura	1	Cobertura media	1,25	Gran cobertura
1	Cobertura media	2,5	Pequeña cobertura	1	Cobertura media
7	Rocas expansivas	1	Cobertura media		
7	Rocas expansivas	2,5	Pequeña cobertura		



## 4.2 Consideraciones y valoración de Q

La caracterización geomecánica del socavón estudiado se basa en 6 parámetros descritos en el punto 1.6.5 que se correlacionan con los factores incluidos en la figura 1.4 de la metodología propuesta en este estudio. Lo anterior se puede observar en el siguiente esquema, lo que corresponde a la manera en que se determinaron los valores para el cálculo de Q.

**Tabla 4.12** Tabla de mapeo geomecánico utilizado en terreno. Se enmarca en naranja los parámetros descritos que posteriormente se utilizan para calcular Q.

UG	Metraje	Tipo	Orientación	Persist.	Frec.	Rugosidad	Abertura	Relleno	Alteración	Agua	SRF	Observaciones
					<b>Jn</b>	<b>Jr</b>			<b>Ja</b>	<b>Jw</b>		

Estas descripciones observadas en terreno se correlacionan con las características tabuladas en el método Q de Barton (en anexo 2), donde cada descripción corresponde a un valor que se reemplaza en la fórmula. El resto de los parámetros como persistencia, orientación y abertura, se utilizan para complementar los resultados de Q con respecto a estructuras principales que afecten la estabilidad de la labor.

Previo al análisis de los parámetros geomecánicos obtenidos de la línea de detalle, es necesario determinar las relaciones de cada uno de ellos con respecto a los valores de otras familias de diaclasas. Esto se realiza mediante geoestadística.

En términos sencillos, se observa lo siguiente:

- RQD corresponde a un porcentaje resultado de una relación matemática, por lo cual es perfectamente promediable.
- Jn corresponde a un parámetro donde no existe una relación lineal entre los valores determinados por Barton. (ver anexo 2)
- Ja, Jr, Jw y SRF son parámetros cualitativos asociados a valores no lineales, por lo cual no existe una relación matemática para determinarlos.

Lo anterior hace concluir que Q es una variable no aditiva, y por ende, no puede determinarse un valor de Q a partir de un promedio de distintos Q a lo largo de un túnel, ni a partir de un promedio de los parámetros Jn, Jr, Jw, Jq ni SRF, dado que ninguno de ellos es aditivo (o promediable). Esto además se puede corroborar realizando ambas operaciones para una sección del túnel y verificando que los resultados no son siquiera similares (Egaña, 2008).

De esta manera, lo más correcto para calcular el valor de Q en una sección determinada de un túnel, cuando se da más de un valor para algunas variables, es utilizar un criterio más conservador asumiendo el peor caso como el valor representativo.

En la tabla 4.13 se muestra un ejemplo del análisis geomecánico obtenido de un tramo del socavón, donde se observa la manera de obtener el valor de Q aplicando los criterios anteriormente señalados.

**Tabla 4.13 Variabilidad de los parámetros Jr, Ja y SRF.** Datos tabulados del tramo 1 del socavón Los Pequeños, para distintas familias de diaclasas.

RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q Tramo
65.5	9	2	2	1	1	1.09
		1.5	4	1	1	
		3	2	1	2.5	

Los cuadros rojos muestran los parámetros que presentan variaciones para cada familia de diaclasas, utilizando para el cálculo de Q los valores más desfavorables (valores más bajos de Jr y Jw por tratarse de numeradores, y los más altos de Ja y SRF por ser denominadores en la fórmula). De esta forma, para el tramo ejemplificado, el Índice de Calidad del macizo rocoso Q es 1.09 que corresponde a una calidad Mala (tabla 4.8).

**Tabla 4.14 Clasificación de Q de Barton.**

Clasificación de Q (oscila entre 0.001 y 1000)	
Q (rock mass quality)	valoración
0.001 – 0.01	excepcionalmente mala
0.01 – 0.1	extremadamente mala
0.1 – 1.0	muy mala
1.0 – 4	mala
4 – 10	regular
10 – 40	bueno
40 – 100	muy bueno
100 – 400	extremadamente bueno
400 - 1000	excepcionalmente bueno

Sin embargo lo anterior, se considera en este estudio para pequeña minería tres categorías de calidad de la roca: buena, regular y mala (tabla 4.15).

**Tabla 4.15 Clasificación de Q para pequeña minería.**

Valoración de Q	Clasificación
0.001 - 4	Mala
4 - 10	Regular
10 - 1000	Buena

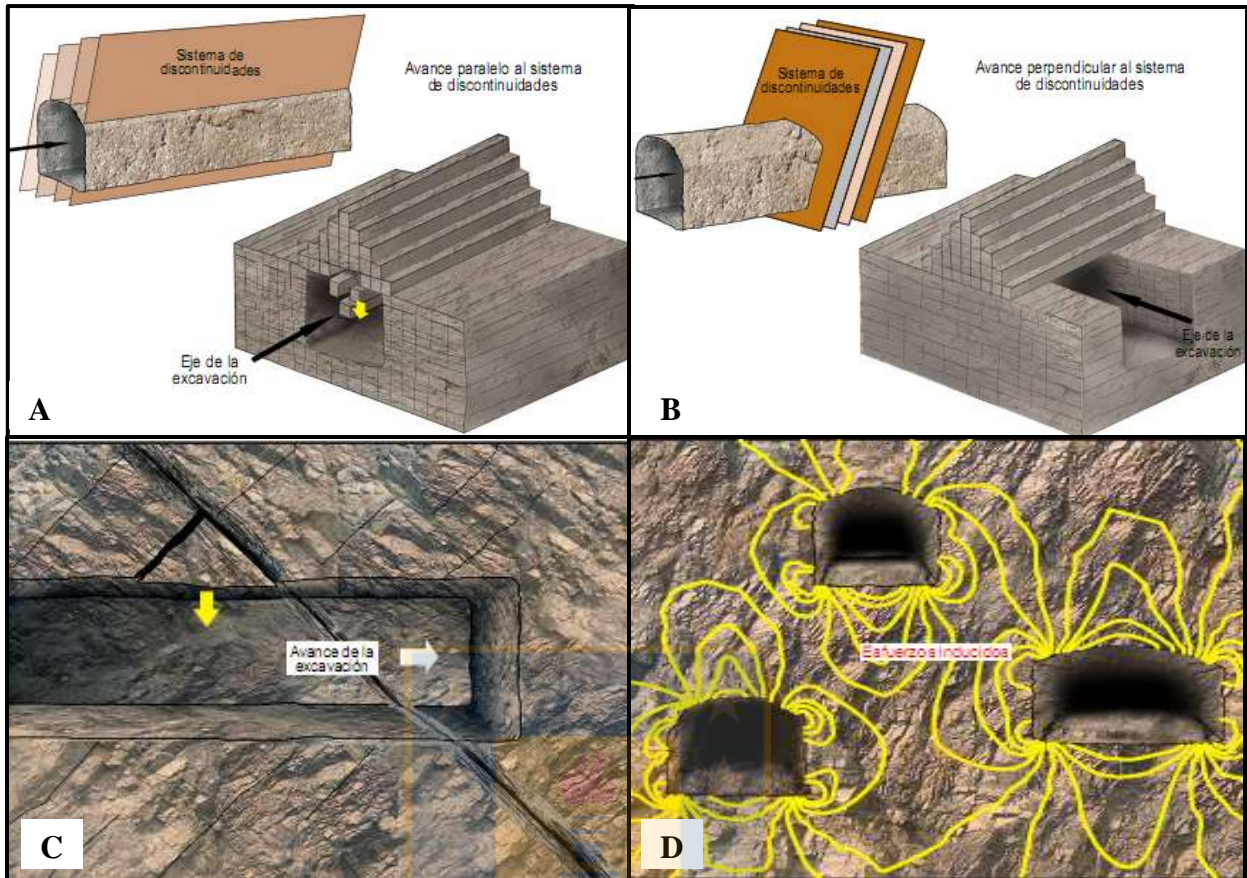
Lo anterior permite definir de una manera más sencilla la zonación de la calidad del macizo rocoso dentro de la faena, y adoptar medidas de sostenimiento artificial (fortificación) adecuadas para este sector (punto 4.5).

### **4.3 Influencia de la orientación de la excavación**

Es de alta relevancia determinar cuál es la relación geométrica entre las estructuras, y la dirección del avance y forma de la labor desarrollada o por desarrollar (figura 4.1).

Se debe considerar por lo tanto en este aspecto, varios parámetros o características que se enumeran a continuación:

- Orientación de la labor.
- Disposición de la estratificación con respecto a la excavación.
- Disposición de fallas con respecto a la excavación.
- Disposición del diaclasamiento (se considera el comportamiento principal si se analiza con respecto a la excavación), y de distintas familias de diaclasas por la posibilidad de generar cuñas.
- Existencia de otras labores cercanas a la estudiada que induzcan esfuerzos alrededor de la excavación estudiada.



**Figura 4.1** **Influencia de la orientación de la labor.** A. Condiciones de avance desfavorables para la estabilidad. B. Condiciones de avance favorables para la estabilidad. C. Condiciones desfavorables de avance al cruzar una falla perpendicular a las direcciones principales de diaclasamiento, lo que genera cuñas en el techo. Sin embargo lo anterior, hay que tener consideraciones dependiendo del sentido del manteo de la falla y de su ángulo de inclinación. D. Esfuerzos inducidos alrededor de excavaciones múltiples.

En la tabla 4.16, se describen las principales estructuras y se relacionan con la orientación del avance de la labor, lo que determina una condición favorable o desfavorable con respecto al sostenimiento del macizo rocoso.

**Tabla 4.16 Relación entre las discontinuidades y dirección de la excavación.** A partir de cada estructura y dirección del avance de la labor se concluye una condición del macizo.

Discontinuidad	Dirección /inclinación	Dirección labor	Condición
	Preferentes	Los Pequeños	
<b>Estratificación</b>	N10°W / 50°NE	N75°E	Medianamente favorable, ya que son perpendiculares y con manto de las estructuras a favor del avance, cercano a 45°, lo que reduce la estabilidad.
<b>Falla</b>	N53°W / 61°SW	S55°E	Favorable, ya que son aproximadamente paralelos y la inclinación de la falla es > 45°.
<b>Diaclasas</b>	N10° - 25°W / 80°SW (1)	N60° - 80°E	Desfavorable. Excavación y estructuras aproximadamente perpendiculares, y con manto alto, sin embargo su inclinación es en contra del avance.
	N55°-70°W / 80°SW (2)		
	EW / 50°N <sup>(3)</sup>	N60°E	Favorable. Orientaciones oblicuas entre sí. Manto a favor de la orientación de la labor.
	N35°-55°E / 80°SE <sup>(4)</sup>	N65°-75°E	Favorable. Orientaciones aproximadamente paralelas, y con manto de las diaclasas > 45°.
<b>Excavación superior</b>	N56°E	N56°E	Relativamente desfavorable. Se produce una inducción de esfuerzos aunque no es un parámetro relevante, dado que la distancia vertical entre ambas es de 24 m.



En la figura 4.2 se aprecian los set de diaclasas predominantes y persistentes en el socavón, donde se puede observar que los bloques de matriz rocosa formados son bastante grandes como para otorgar calidades de roca medias a buenas. Sin embargo lo anterior, y como se ha señalado en este estudio, la influencia de factores como orientación de las familias de diaclasas con respecto a la labor y las características de las discontinuidades (rugosidad, relleno, alteraciones, etc.), influyen en el análisis de Q y otorgan por ende clasificaciones más bajas de calidad rocosa.



**Figura 4.2** Familias de diaclasas en el tramo 1 del Socavón Los Pequeños.

La Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía de Perú, a través del Manual de Geomecánica aplicada a la Prevención de Accidentes por Caídas de Rocas (2004), ha propuesto ciertas correcciones a los valores de RQD, en función a la orientación de la labor. Estas correcciones son las siguientes:

- “Si la excavación avanza cruzando en forma más o menos perpendicular al sistema principal de discontinuidades y el buzamiento de éstas es empinado a favor del avance, no se requiere ninguna corrección, porque ésta es la condición más favorable para la estabilidad de la excavación. Si el buzamiento fuera menos empinado ( $< 45^\circ$ ), la corrección sería (-2).
- Si la excavación avanza cruzando en forma más o menos perpendicular al sistema principal de discontinuidades y el buzamiento de estas es empinado en contra del avance, la corrección sería (-5). Si el buzamiento fuese menos empinado ( $< 45^\circ$ ), la corrección será (-10).
- Si la excavación avanza cruzando en forma más o menos paralela al sistema principal de discontinuidades y el buzamiento de estas es empinado, la corrección sería (-12), porque ésta es la condición más desfavorable para la estabilidad de la excavación. Si el buzamiento fuese menos empinado ( $< 45^\circ$ ), la corrección sería (-5).”

En base a lo anterior, se ha realizado una adaptación en este estudio para la clasificación de Barton como sigue:

- En cuanto a la estratificación de las unidades volcánicas entre los 111 y 180 m de labor, se observa que la dirección de la excavación va aproximadamente perpendicular al rumbo de los estratos, y a favor de su inclinación o manteo, por lo cual constituye una situación favorable para la estabilidad de la labor. Sin embargo, el manteo es cercano a  $45^\circ$ , por lo que se realiza una corrección de (-2) para cada valor de RQD.
- Las familias de diaclasas (1) y (2) otorgan inestabilidad a la excavación (desfavorables), por lo cual se hace una corrección de (-5) para el valor de RQD.

#### **4.4 Zonificación de Q**

En base a las valoraciones de Q a lo largo del socavón, y según el tramo estudiado, se realiza una distribución de las calidades del macizo rocoso (tabla 4.17), con la finalidad de identificar visualmente aquellas zonas que requieren acciones al respecto (punto 4.5).

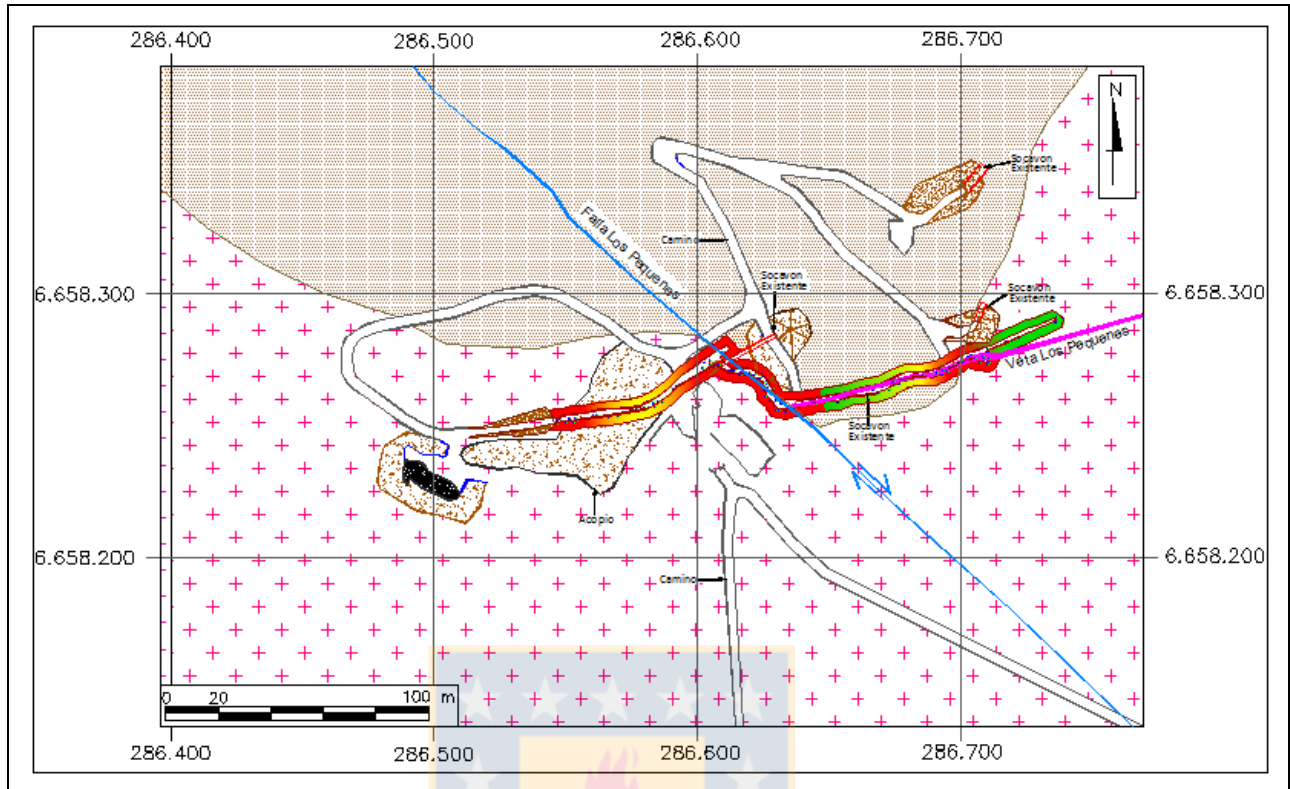
**Tabla 4.17** Valores de Q y su clasificación para cada tramo del Socavón Los Pequeños.

Tramo	Distancia acumulada	Q	Valorización de Q (Calidad)
1	0 - 11	2,09	Mala
2	11 - 34	8,67	Regular
3	34 - 53	5,33	Regular
4	53 - 65	7,88	Regular
5	65 - 73	1,97	Mala
6	73 - 77	0,026	Mala
7	77 - 81	0,026	Mala
8	81 - 88	1,38	Mala
9	88 - 93	5,46	Regular
10	93 - 99	1,82	Mala
11	99 - 101	0,026	Mala
12	101 - 112	2,01	Mala
13	112 - 139	11,57	Buena
14	139 - 149	11,55	Buena
15	149 - 158	8,99	Regular
16	158 - 173	4,29	Mala
17	173 - 181	2,41	Mala
18	181 - 203	73,52	Muy Buena

En el tramo 17 existe una intersección de dos labores oblicuas entre sí, por lo cual según lo señalado por el método de Barton, en intersecciones de excavaciones, el valor de Q debe ser dividido por 3 dada la inestabilidad que se genera al aumentar los esfuerzos que afectan la roca. Por lo tanto, el valor Q se reduce de 2.41 a 0.8. Según la valoración de Q utilizada en este estudio, simplificado para efectos de pequeña minería, la roca sigue siendo de calidad mala, sin embargo es un factor a considerar cuando la roca ya presenta valores bajos de Q, como es el caso representado.

Los tramos en marco naranja, muestran valores de Q muy por debajo de los valores normales dentro del socavón, y están asociados al caso anteriormente señalado de una intersección de labores y presencia de agua (tramo 17), y a la Falla Los Pequeños (tramos 6, 7 y 11).





**Figura 4.3** Mapa geológico y Zonificación Geomecánica obtenida en el socavón Los Pequeños. En rojo, mala calidad del macizo rocoso; en amarillo, calidad regular; y en verde, roca de buena calidad.

Cabe recalcar que las variaciones de tonalidad de un tipo de roca a otra no tiene una diferencia de valores proporcional al color, ya que la escala de valores  $Q$  de una roca mala, es muy diferente a una de roca de mediana y otra de buena calidad ( $Q$  mala calidad varía entre 0.001 y 4;  $Q$  de calidad regular varía entre 4 y 10; y  $Q$  de buena calidad varía entre 10 y 1000).

#### 4.5 Medidas correctivas en el Socavón

Como producto del análisis geomecánico en el Socavón Los Pequeños, y en general, para cualquier análisis realizado en un desarrollo de labores, se realiza una propuesta de fortificación artificial si es necesaria para aumentar el tiempo de auto sostenimiento de las rocas. Barton propone fortificación a través de la valoración obtenida de  $Q$  y considerando además la Dimensión equivalente ( $De$ ), que es el cociente entre la longitud de la labor y relación de sostenimiento ESR (tabla 4.18).

**Tabla 4.18 Valoración de ESR según Barton (1974).**

<b>Categoría de Excavación</b>		<b>(ESR)</b>
1	Excavaciones mineras (temporales)	3-5
2	Pozos verticales circulares Pozos verticales rectangulares	2-5 2.0
3	Túneles mineros permanentes Túneles hidráulicos sin presión Túneles exploratorios	1-6
4	Cavidades de almacenamiento Túneles de carretera y ferrocarril de sección pequeña	1-3
5	Centrales hidroeléctricas subterráneas Túneles de carretera y ferrocarril de sección grande Portales e intersecciones de túneles	1,0
6	Centrales nucleares subterráneas Estaciones de metros	0,8

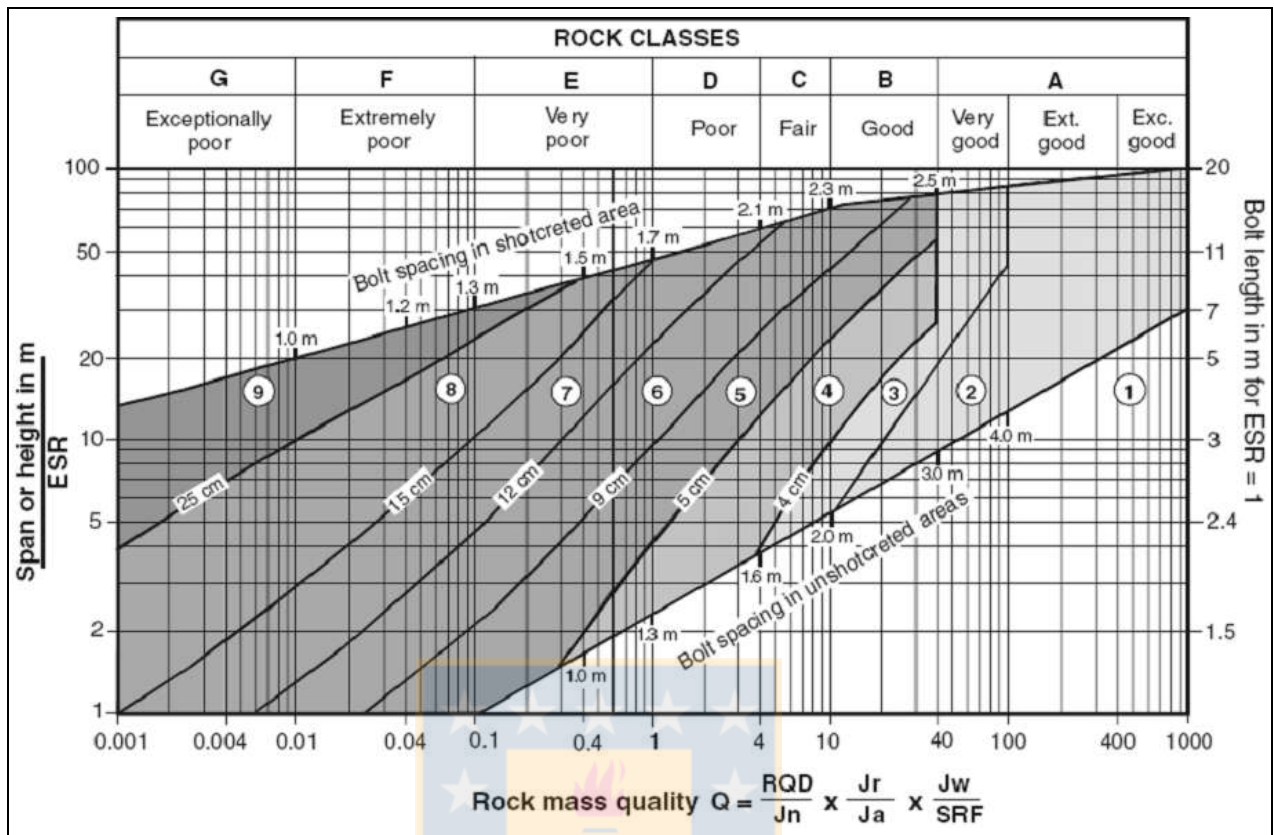
En base a la tabla 4.18, se otorga un valor de SRF de 5, el caso más conservador para excavaciones mineras temporales, mientras que el largo del tramo variará para cada valor de Q (tabla 4.19).

Tabla 4.19

Tabla que relaciona Q con el valor de De.

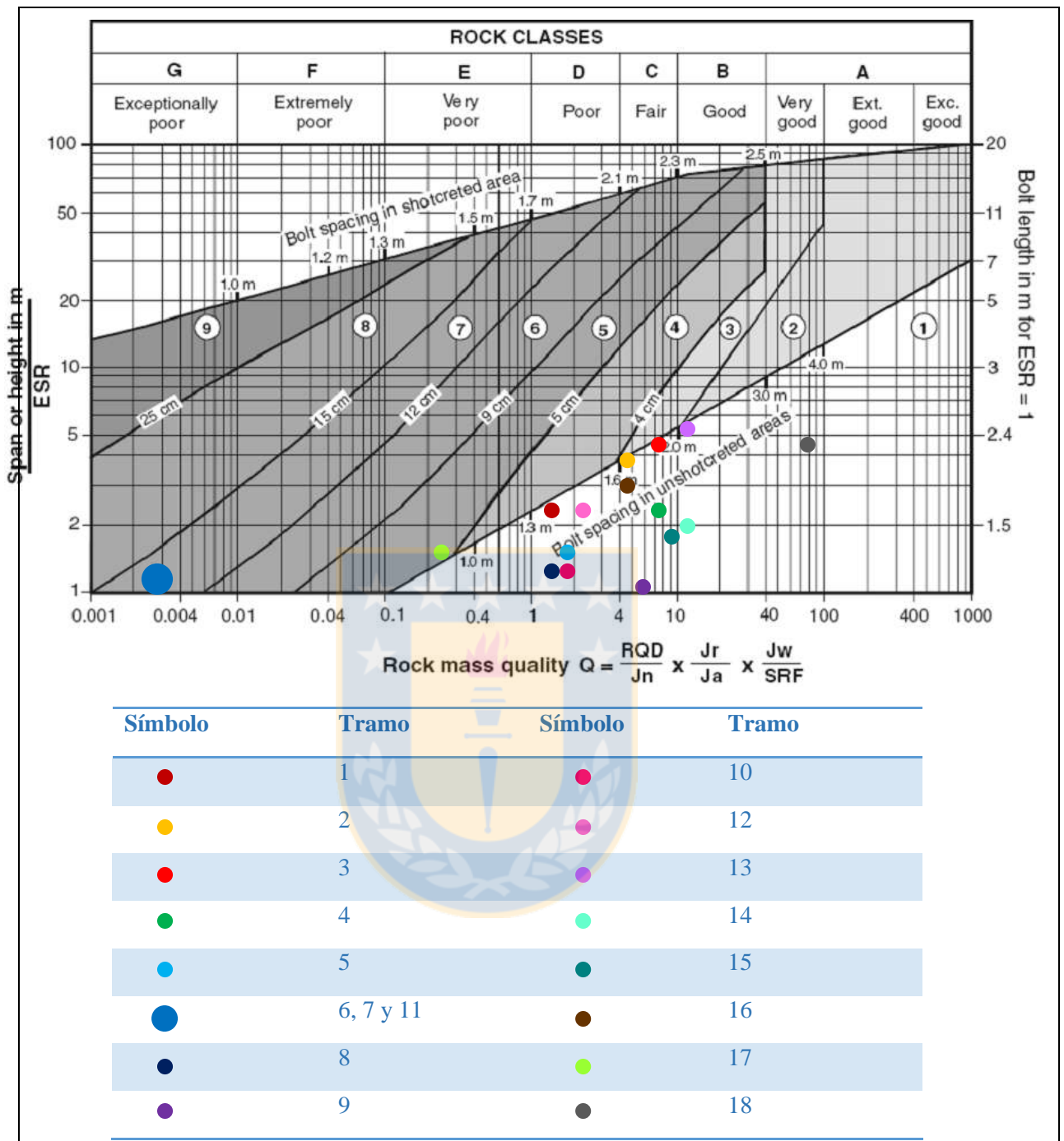
Tramo	Longitud del Tramo	Q	De (long. labor/ESR)
1	11	2,09	2,2
2	23	8,67	4,6
3	19	5,33	3,8
4	12	7,88	2,4
5	8	1,97	1,6
6	4	0,026	1
7	4	0,026	1
8	7	1,38	1,4
9	5	5,46	1
10	6	1,82	1,2
11	2	0,026	1
12	11	2,01	2,2
13	27	11,57	5,4
14	10	11,55	2
15	9	8,99	1,8
16	15	4,29	3
17	8	2,41	1,6
18	22	73,52	4,4

Los valores de la relación [longitud labor/ESR] varían entre 1 y 4.6, por lo cual el campo de fortificación es más acotado que el de auto sostenimiento del macizo rocoso. En estos límites, valores de Q inferiores a 1, tenderán a requerir fortificación artificial, y los mayores a esta cifra, podrán autosostenerse.



**Figura 4.4** Gráfico que relaciona la calidad de la roca (valor de Q) con el parámetro De. Como resultado se generan los campos grises donde se aplican diferentes tipos de fortificación. (1) Sin sostenimiento. (2) Pernos puntuales. (3) Pernos sistemáticamente distribuidos. (4) Pernos sistemáticos con hormigón proyectado. (5) Hormigón proyectado con fibras, 50 – 90 mm y pernos. (6) Hormigón proyectado con fibras, 90 – 120 mm y pernos. (7) Hormigón proyectado con fibras, 120 – 150 mm y pernos. (8) Hormigón proyectado con fibras, > 150 mm, con pernos y arcos armados reforzados con hormigón proyectado. (9) Revestimiento de hormigón. Tomado de Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. 1974.

Si ubicamos un punto en cada intersección entre el valor Q y [Long/ESR] para cada tramo, se puede observar el estado de sostenimiento y requerimientos para cada uno de ellos.



**Figura 4.5** Distribución de las calidades del macizo rocoso por tramo analizado en el gráfico de Barton.

La mayor concentración de puntos se encuentra en el área donde la roca puede permanecer sin sostenimiento o fortificación. Sin embargo, los tramos 1, 2, 3, 13 y 17 se ubican muy cerca de entrar al campo de rocas que requieren fortificación. En tanto, los tramos 6, 7 y 11 son rocas de

muy baja calidad, y se han representado en un círculo más grande en el gráfico de la figura 4.5 por tratarse de 3 tramos que tienen la misma relación.

Tal y como se ha descrito anteriormente, el gráfico de Barton considera la colocación de fortificación tipo pernos, hormigón armado, y shotcrete, los cuales no se utilizan en pequeña minería debido principalmente a sus costos. Por lo tanto, es necesario enfocar esta información a la real disponibilidad de este sector, y así realizar recomendaciones óptimas técnicamente, pero además de fácil acceso.

La fortificación en madera es uno de los métodos más extendidos y antiguo conocido, por su bajo costo y fácil acceso, y aún hoy en día son utilizados en minería subterránea. Se caracteriza también por otras ventajas como ser ligera, presentar un alto grado de deformabilidad lo que absorbe las cargas sobre ella, y porque su rompimiento da señales audibles y visibles cuando se está superando su resistencia.

Sin embargo lo anterior, es importante considerar sus desventajas para evitar colapsos, tales como:

- Debido a su anisotropía, su resistencia mecánica depende de su estructura, pudiendo llegar a ser muy baja.
- Tiene baja durabilidad.
- Es susceptible a la humedad.
- Presenta riesgos de incendiarse.

Existen tres tipos de enmaderación: puntuales, marcos y paquetes (menos utilizado). El primero es el más utilizado en casos donde sea necesario sostener estratos o estructuras que puedan sufrir pandeo (sea lateral o en el techo). Los marcos por otro lado, se utilizan para sostener galerías o socavones en este caso, en condiciones de roca intensamente fracturada o bien de baja calidad rocosa. Para ambos casos, la enmaderación a través de marcos viene a reemplazar otros métodos de fortificación pasiva como el uso de mallas o shotcrete. Normalmente los marcos tienen un espaciamiento de entre 0,5 y 1,2 m, o bien ser continua. Suele agregar entre marco y marco madera en posición horizontal para aumentar la resistencia lateral de la excavación, y lo mismo en el techo.

En el caso del Socavón Los Pequeños, tenemos sectores de calidades de roca regular a buena, que no requieren ningún tipo de fortificación tales como los tramos 5, 8, 10, 12, 14, 15 y 18; otros de calidad mala a regular que se encuentran en el límite de requerir fortificación tipo pernos; y finalmente los tramos 6,7 y 11 que tienen una calidad muy mala y que requieren fortificación con hormigón proyectado y pernos.

Llevaremos la fortificación recomendada por Barton a los distintos tipos de fortificación en madera anteriormente señalados, asociando la necesidad de pernos de anclaje sistemáticos o bien puntuales, a la utilización de enmaderación tipo puntual o marcos rectos; y la utilización de hormigón proyectado, con marcos de madera continuos. Como la veta pasa por el techo de la labor, con una inclinación de  $60^\circ$ , los cuadros deben ser rectos para aumentar la resistencia en el techo y no en los laterales como lo haría un marco cónico.





## 5 CONCLUSIONES

Determinar calidad del macizo rocoso en una faena subterránea siempre ha sido catalogado como una actividad propia de profesionales, y los conocimientos básicos para obtenerla, no llegan a quienes no poseen los recursos para contratar un servicio de esta naturaleza.

Si bien se trata de un área que no puede ser tomada ligeramente por las repercusiones que trae consigo en la seguridad de la explotación y por tanto de la vida de los trabajadores, deben existir métodos que puedan aplicarse de manera sencilla, tratando en lo posible de reducir el factor de la subjetividad que la mayoría de los métodos simplificados trae (como por ejemplo el conocido *GSI Geological Strength Index*). Esto permite que un productor minero pueda realizar un seguimiento del estado de la roca, y pueda prevenir accidentes por caída de rocas, derrumbes y “planchoneos”, que son los motivos principales de accidentes y muertes en pequeña minería.

Es por ello que resulta lógico poder aplicar la metodología utilizada por Barton, donde es posible determinar una calidad del macizo rocoso de manera simple, y sin estudios ni herramientas costosas. A pesar de que reduce significativamente la subjetividad, este factor es imposible eliminarlo completamente, ya que corresponde a descripciones netamente visuales.

No obstante lo anterior, se ha propuesto en este estudio simplificar aún más el método de Barton, de manera que sea más fácil el entendimiento de su elaboración e interpretación. Así, mientras Barton utiliza siete clasificaciones de roca, en este estudio se ha reducido sólo a tres (buena, mala y regular), que es lo justamente necesario para que un minero tome medidas del caso cuando fuese necesario. Además, Barton aplica estos resultados en un gráfico que entrega recomendaciones de fortificación mediante pernos, hormigón proyectado, entre otros; lo cual se ha simplificado a la enmaderación, sistema de fortificación por excelencia en pequeña minería, y que permite sostener la misma roca con menores costos.

Como la madera sin lugar a dudas tiene una resistencia a la compresión y la tensión menores al acero y al hormigón, es necesario recalcar que su eficiencia tendrá una menor vida útil, por lo que se debe reemplazar cada cierto tiempo según sea el tipo de roca y el tipo de fortificación implementada. Además existen compuestos químicos que se pueden utilizar para prolongar su vida útil (FNa,  $Cl_2Zn$  y  $Na_2SF_6$ ).

En la práctica, se ha incorporado en ciclos de charlas para pequeños mineros esta metodología, observando un entendimiento adecuado de los productores para adentrarse en conocimientos más profundos y así su aplicación en cada faena trabajada.

Fundamental es, el apoyo periódico de profesionales de los distintos servicios e instituciones del estado, no sólo en la entrega de los conocimientos a los pequeños mineros, sino también realizando asesorías al trabajo geomecánico realizado por el minero, al menos dos veces al año.

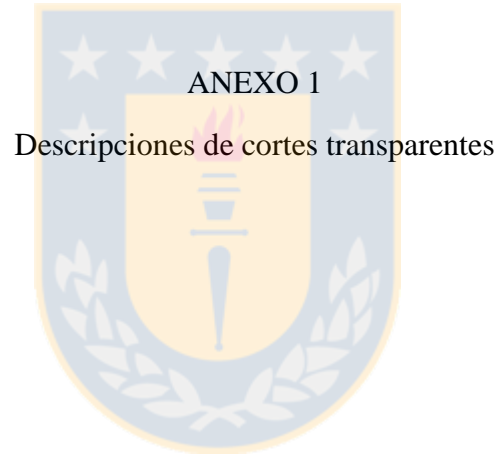
Reducción de accidentes y de costos de fortificación (por fortificaciones mal instaladas) y mejora de las condiciones de seguridad en general son algunos de los beneficios que trae aplicar un método de monitoreo geomecánico por los propios mineros, y constituye además un avance técnico importante a la información disponible de este tipo de faenas.

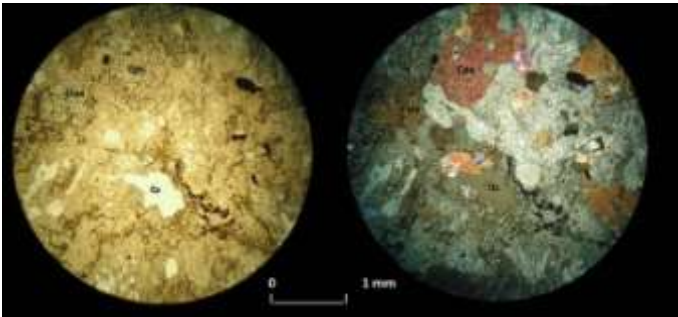


## 6 REFERENCIAS

- AGUIRRE, L. y EGERT, E. 1962. Las formaciones magnesíferas de la Región de Quebrada Marquesa, Provincia de Coquimbo. *Minerales*, N° 76: 25 – 37. Santiago.
- ARDILA, R.; CARRASCAL, E. R.; CANCHAYA, S.; CANUT DE BON, C. y COLLAO, R. 1991. Geología de los Skarns cupríferos del distrito San Antonio, Región de Coquimbo, Chile. Resúmenes expandidos Sexto Congreso Geológico Chileno: 253 – 255. Viña del Mar.
- CUADRA, P., 1979. Estudio Geológico de la Mineralización de Cobre y Uranio en vetas de magnetita – apatita – actinolita del Distrito Minero de Tambillos. IV Región. Segundo Congreso Geológico Chileno: 39 – 56. Arica
- BARTON, N.R.; LIEN, R. & LUNDE, J. 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech.* **6** (4): 189-239.
- BOWES, W.; KNOWLES, M.; SERRANO y E. KLOHN (1966). Reconocimientos por uranio en el área Elqui – Vicuña, provincia de Coquimbo. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín N° 22: 59 – 72. Santiago.
- CHÁVEZ, L. 1994. San Cristóbal: Depósito Estratiforme de Magnetita – Cu – Au – Ag de la Franja Ferrífera de Atacama – Coquimbo, Chile. Actas Séptimo Congreso Geológico Chileno: 776 – 780. Concepción.
- EGAÑA, M. 2008. Geoestadística aplicada a Parámetros Geotécnicos. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil de Minas. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería de Minas (Inédito): 96 pp. Santiago.
- EMPARÁN, C. y PINEDA, G. 2006. Geología del Área Andacollo – Puerto Aldea. Región de Coquimbo. Carta Geológica de Chile N°96. Mapa escala 1:100.000. Servicio Nacional de Geología y Minería. Santiago.
- ESPINOZA, S. 1979. Una Hipótesis sobre la metalogénesis de la Franja Ferrífera Chilena. Actas Segundo Congreso Geológico Chileno. Arica. Chile.

- PÉREZ, E. y RUBILAR, A. 2002. Fauna fósil del Cretácico Inferior, recolectada al sureste de La Serena, IV Región (Inédito), Informe Paleontológico N° 2002-01. Servicio Nacional de Geología y Minería: 6 pp. Santiago.
- PHILPOTTS, R.A. 1967. Origin of certain iron – titanium oxide and apatite rocks. En *Economic Geology* Vol. **62**: 303 – 315.
- RUIZ, C.; AGUIRRE, L.; CORVALÁN, J.; KLOHN, C.; KLOHN, E. y LEVI, B. 1965. Geología y yacimientos metalíferos de Chile. Instituto de Investigaciones Geológicas, 305 p. 1 mapa escala 1:1.000.000.
- THOMAS, H. 1967. Geología de la Hoja Ovalle. Instituto de Investigaciones Geológicas. Mapa escala 1:250.000. Boletín, N° 23: 58 pp. Santiago. Chile.
- SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. 2015. Accidentabilidad Minera 2015 Primer Trimestre (enero – marzo). Santiago.
- SOCIEDAD NACIONAL DE MINERÍA, PETRÓLEO Y ENERGÍA. 2004. Manual de geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caídas de rocas en minería subterránea: 1 – 28. Perú.
- VIVALLO, W.; ESPINOZA, S. y HENRÍQUEZ, F. 1994. Significado de la distribución del oro en menas y rocas de caja en los depósitos de hierro de los distritos Cerro Negro y Cerro Imán, Chile. *Actas Séptimo Congreso Geológico Chileno*, Vol. **2**: 926 – 930. Concepción.



<b>N° de muestra:</b> TAM-1	
<b>Ubicación:</b> E - N	
<b>Localidad:</b> Tambillos	
<b>Nombre de la roca:</b> Diorita cuarcífera	
<b>Textura:</b> Hipidiomórfica granular	

**Estructuras:** Presenta vetillas de biotita-clorita de 0,2 mm de espesor.

**Otras características:** Opacos corresponden posiblemente a magnetita, dado el magnetismo leve que presenta.

#### Análisis modal

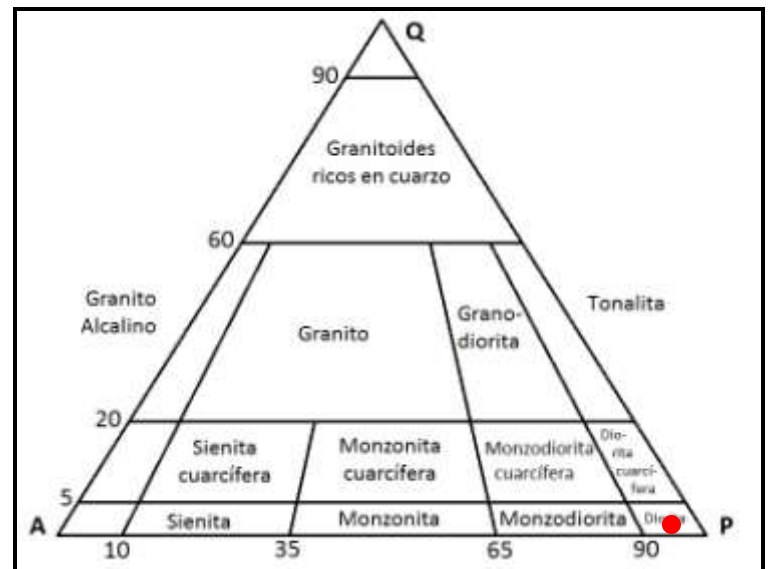
Composición	(%)	Forma de los cristales	Tamaño de los cristales (mm)	Moda (mm)	Tipo y grado de alteración
Plagioclasa	68	Subhedral	0,5-1	0,8	Sericita (Leve), Ep.
Feldespato Potásico	5	Subhedral	0,5-1	0,6	-
Cuarzo	5	Anhedral	0,3-0,8	0,7	-
Biotita	1	Euhedral	0,1-0,5	0,3	Clorita (leve)
Clinopiroxeno	14	Subhedral	0,5-1	0,8	Clorita (Leve)
Ortopiroxeno	5	Subhedral	0,5-0,8	0,7	Clorita (Alta)
Opacos	2		0,1-0,2	0,2	-

#### Composición Modal Normalizada (%)

<b>Q</b> = 6	<b>A</b> = 6	<b>P</b> = 88
--------------	--------------	---------------

#### Composición de la plagioclasa:

**An:** 40%



<b>N° de muestra:</b> TAM-2	
<b>Ubicación:</b> E / N	
<b>Localidad:</b> Tambillos	
<b>Nombre de la roca:</b> Diorita	
<b>Textura:</b> Hipidiomórfica inequigranular de grano medio a grueso.	
<b>Estructuras:</b>	
<b>Otras características:</b>	

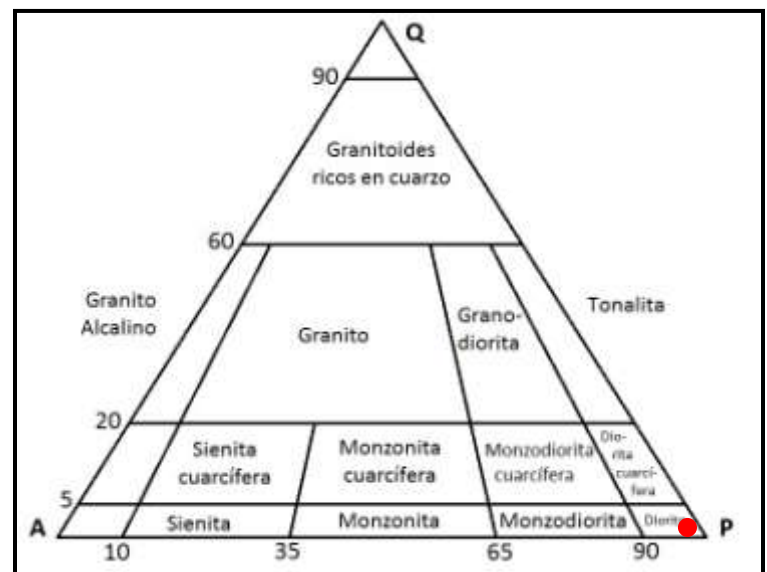
Análisis modal					
Composición	(%)	Forma de los cristales	Tamaño de los cristales (mm)	Moda (mm)	Tipo y grado de alteración
Plagioclasa	70	Subhedral	0,9-2,7	0,9	Sericita (alta)
Biotita	5	Subhedral	0,5	0,5	-
Clinopiroxeno	20	Subhedral	0,8-1	1,5	Clorita (moderada)
Metálicos	5	Anhedral	0,5-1,8	1	-

**Composición Modal normalizada (%):**

<b>Q</b> = 0	<b>A</b> = 0	<b>P</b> = 100
--------------	--------------	----------------

**Composición de la plagioclasa:**

**An:** No se puede determinar





<b>N° de muestra:</b> TAM-3	
<b>Ubicación:</b> E -N	
<b>Localidad:</b> Tambillos	
<b>Nombre de la roca:</b> Diorita	
<b>Textura:</b> Hipidiomórfica inequigranular de grano grueso.	
<b>Estructuras:</b>	
<b>Otras características:</b>	

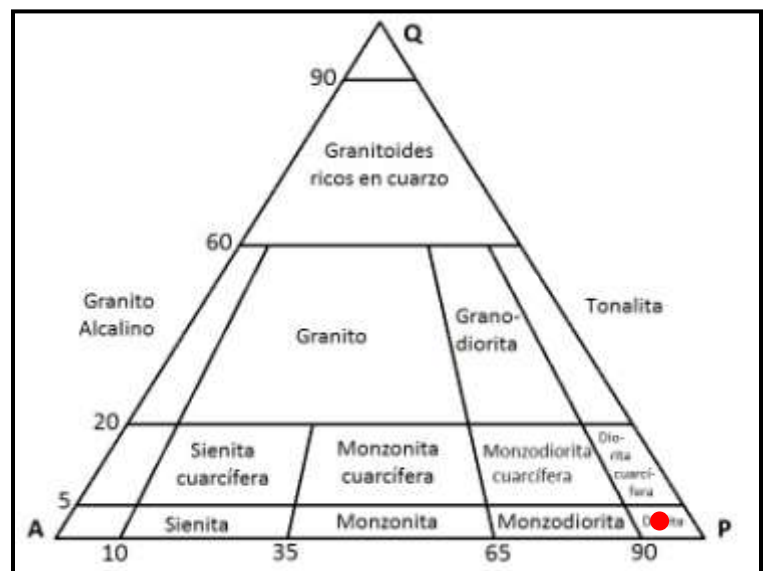
Análisis modal					
Composición	(%)	Forma de los cristales	Tamaño de los cristales (mm)	Moda (mm)	Tipo y grado de Alteración
Plagioclasas	64	Subhedral	0,5-1,2	1	Sericita (alta)
Cuarzo	5	Anhedral	0,3-1	0,5	-
Feldespato alcalino	5	Subhedral	0,5-1	0,7	-
Clinopiroxenos	10	Anhedral	0,4-1	1	Clorita (moderada)
Ortopiroxenos	5	Anhedral	0,3-0,4	0,4	Clorita (abundante)
Biotita	4	Anhedral	0,2-0,3	0,2	Clorita (moderada)
Muscovita	2	Anhedral	0,5	0,5	-

**Composición Modal normalizada (%):**

<b>Q = 7</b>	<b>A = 7</b>	<b>P = 86</b>
--------------	--------------	---------------

**Composición de la plagioclasa:**

**An:** No se puede determinar



<b>N° de muestra:</b> TAM-4	
<b>Ubicación:</b> E –N	
<b>Localidad:</b> Tambillos	
<b>Nombre de la roca:</b> Diorita	
<b>Textura:</b> Xenomórfica inequigranular.	
<b>Estructuras:</b>	
<b>Otras características:</b>	

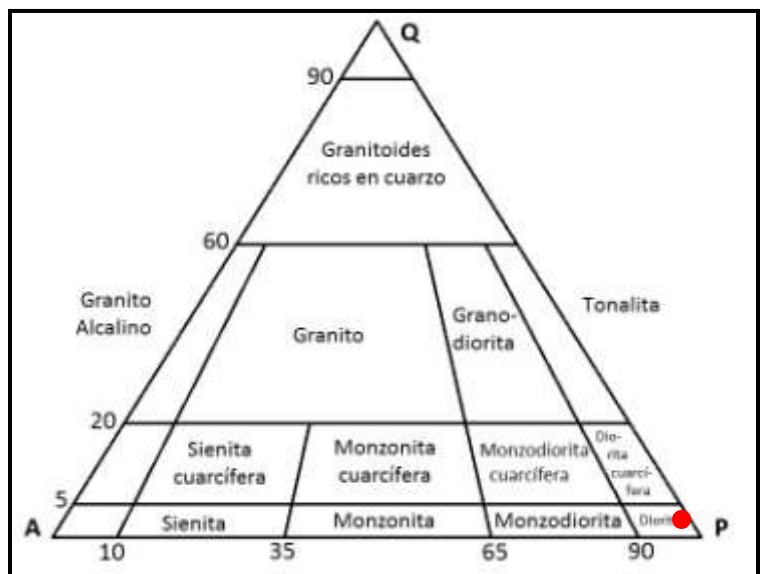
Análisis modal					
Composición	(%)	Forma de los cristales	Tamaño de los cristales (mm)	Moda (mm)	Tipo y grado de Alteración
Plagioclasa	68	Subhedral	0,3-0,7	0,6	Sericita (alta)
Cuarzo	5	Anhedral	0,4-0,5	0,5	-
Ortopiroxeno	6	Anhedral	0,3-0,5	0,4	Clorita (alta)
Clinopiroxeno	15	Subhedral	0,3-1	0,8	Clorita (moderada)
Biotita	6	Anhedral	0,2	0,2	-

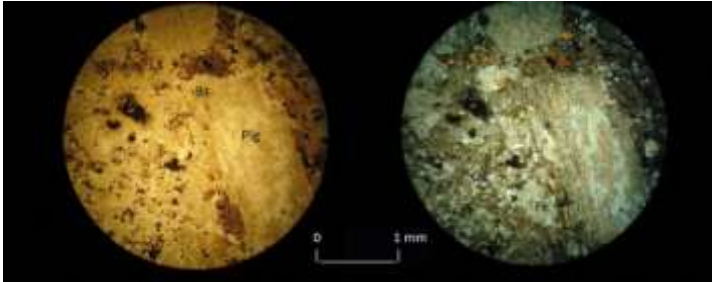
**Composición Modal normalizada (%):**

<b>Q = 7</b>	<b>A = 0</b>	<b>P = 93</b>
--------------	--------------	---------------

**Composición de la plagioclasa:**

**An: 40%**



<b>N° de muestra:</b> TAM-5	
<b>Ubicación:</b> E – N	
<b>Localidad:</b> Tambillos	
<b>Nombre de la roca:</b> Andesita Porfídica	
<b>Textura:</b> Porfídica seriada	
<b>Estructuras:</b>	
<b>Otras características:</b>	

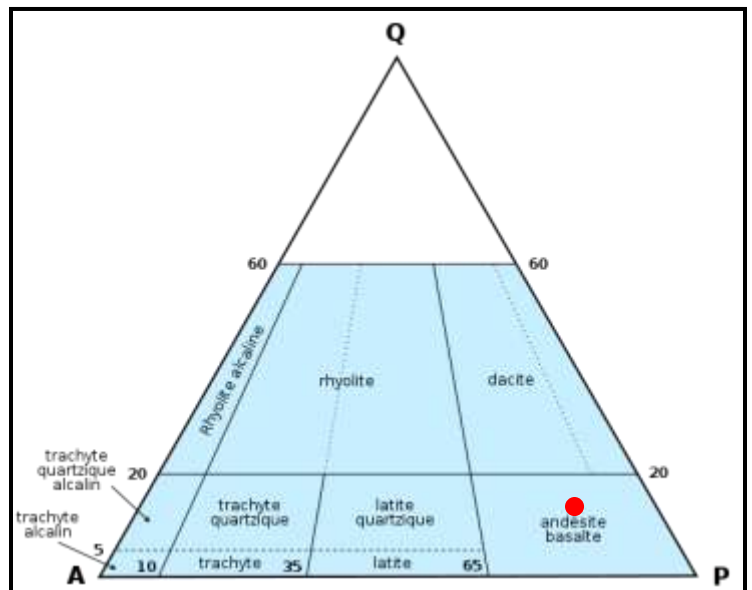
Análisis modal					
Composición	(%)	Forma de los cristales	Tamaño de los cristales (mm)	Moda (mm)	Tipo y grado de Alteración
<i>Fenocristales</i>					
Plagioclasa	15	Euhedral	1,5-3	2,5	Sericita (alta)
<i>Masa fundamental</i>					
Cuarzo		Anhedral			
Plagioclasa	10	Subhedral	0,1-0,2	0,1	-
Feldespato	45		0,1-0,2	0,1	Sericita (moderada)
Potásico		Anhedral			
Biotita	10	Subhedral	0,1-0,3	0,2	-
Clinopiroxeno	10	Subhedral	0,2-0,4	0,3	Clorita (media-alta)
Muscovita	5	Euhedral	0,3-0,5	0,3	Biotita-clorita(media)
	5		0,1-0,3	0,1	-

### Composición Modal normalizada (%):

<b>Q = 12,5</b>	<b>A = 12,5</b>	<b>P = 75</b>
-----------------	-----------------	---------------

### Composición de la plagioclasa:

**An:** No se puede determinar



<b>N° de muestra:</b> TAM-6	
<b>Ubicación:</b> E / N	
<b>Localidad:</b> Tambillos	
<b>Nombre de la roca:</b> Veta magnetita-apatito-actinolita	
<b>Textura:</b>	
<b>Estructuras:</b> Vetillas de magnetita.	
<b>Otras características:</b>	

<b>Análisis modal</b>					
<b>Composición</b>	<b>(%)</b>	<b>Forma de los cristales</b>	<b>Tamaño de los cristales (mm)</b>	<b>Moda (mm)</b>	<b>Tipo y grado de Alteración</b>
Apatito	60	Euhedral	2-5	3,5	-
Actinolita	25	Euhedral	1-3	2	-
Magnetita	15	Anhedral	0,3-0,7	0,5	-

<b>Nº de muestra:</b> TAM-7	
<b>Ubicación:</b> E / N	
<b>Localidad:</b> Tambillos	
<b>Nombre de la roca:</b> Diorita cuarcífera	
<b>Textura:</b> Hipidiomórfica equigranular de grano grueso.	
<b>Estructuras:</b>	
<b>Otras características:</b> Presenta textura mirmequítica en los feldespatos potásicos y textura simplectítica en los piroxenos.	

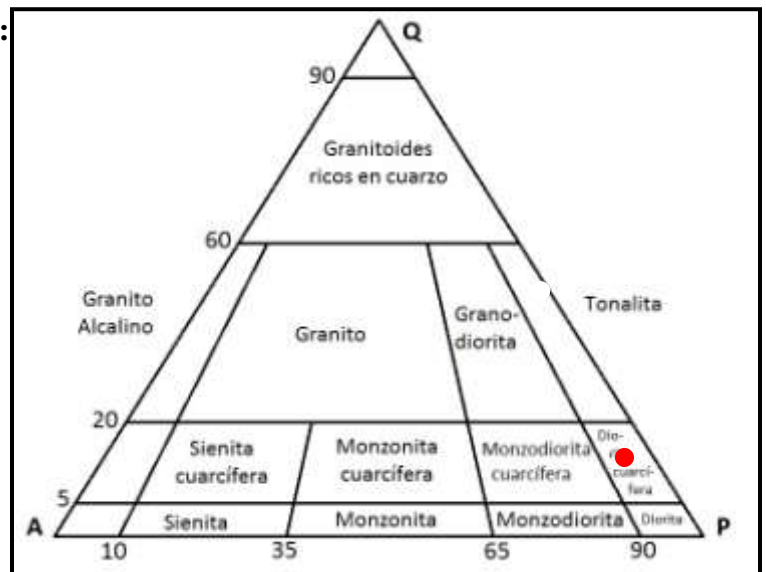
Análisis modal					
Composición	(%)	Forma de los cristales	Tamaño de los cristales (mm)	Moda (mm)	Tipo y grado de Alteración
Biotita	10	Euhedral	0,3-0,6	0,5	Clorita (media-baja)
Plagioclasa	64	Euhedral	0,5-2	1,5	Sericita (muy baja)
Hornblenda	10	Anhedral	0,2-0,4	0,3	Clorita (media)
Cuarzo	8	Anhedral	0,2-0,5	0,4	-
Feldespato Potásico	5	Anhedral	0,5-0,7	0,6	-
Opacos	3	Anhedral	0,1-0,2	0,2	-

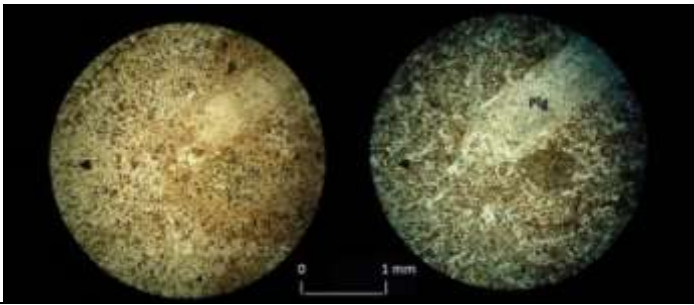
**Composición Modal Normalizada (%):**

<b>Q = 10</b>	<b>A = 7</b>	<b>P = 83</b>
---------------	--------------	---------------

**Composición de la plagioclasa:**

**An: 50%**



<b>N° de muestra:</b> TAM-9	
<b>Ubicación:</b> E –N	
<b>Localidad:</b> Tambillos	
<b>Nombre de la roca:</b> Dacita	
<b>Textura:</b> Porfídica	
<b>Estructuras:</b> vetillas de biotita-muscovita.	
<b>Otras características:</b> Algunos cúmulos de biotita y muscovita.	

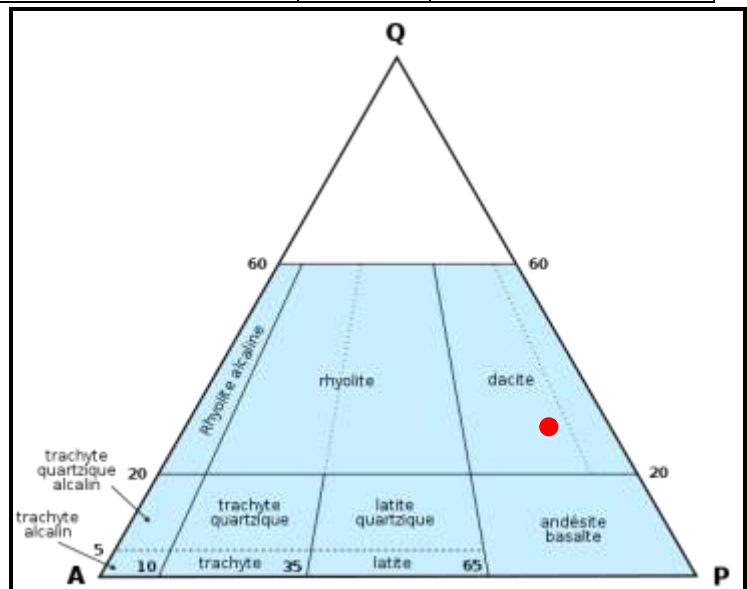
Análisis modal					
Composición	(%)	Forma de cristales	Tamaño de los cristales (mm)	Moda (mm)	Tipo y grado de Alteración
<i>Fenocristales</i>					
Plagioclasa	15	Euhedral	1-2	2	Sericita (moderada)
<i>Masa fundamental</i>					
Cuarzo	15	Anhedral	0,05-0,2	0,1	
Plagioclasa	36	Subhedral	0,1-0,2	0,2	Sericita (baja)
Feldespato	12	Anhedral	0,05-0,1	0,05	-
Potásico					
Biotita	7	Euhedral	0,05-0,2	0,1	Clorita (alta)
Muscovita	7	Euhedral	0,05-0,1	0,05	-
Hornblenda	5	Subhedral	0,1-0,2	0,2	Clorita (alta)
Opacos	3	Anhedral	0,03-0,3	0,06	-

**Composición Modal normalizada (%):**

<b>Q = 22</b>	<b>A = 15</b>	<b>P = 63</b>
---------------	---------------	---------------

**Composición de la plagioclasa:**

**An:** No se puede determinar





<b>Nº de muestra:</b> TAM-10	
<b>Ubicación:</b> E -N	
<b>Localidad:</b> Tambillos	
<b>Nombre de la roca:</b> Monzonita	
<b>Textura:</b> Hipidiomórfica inequigranular	
<b>Estructuras:</b>	
<b>Otras características:</b>	

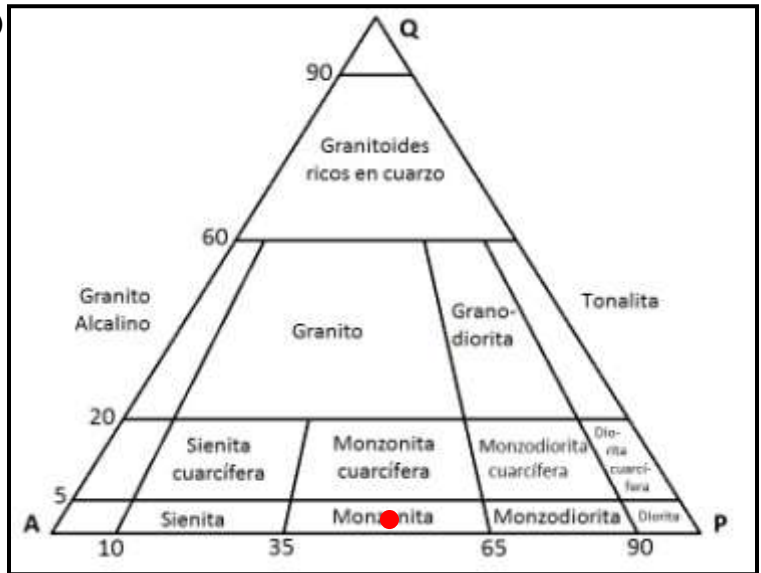
Análisis modal					
Composición	(%)	Forma de los cristales	Tamaño de los cristales (mm)	Moda (mm)	Tipo y grado de Alteración
Plagioclasa	30	1-2	1,2	1,2	Sericita
Clinopiroxeno	30	0,5-1	0,4-1,5	1	Uralitización
Feldespato Potásico	30	1-3	0,5-1	0,7	Sericita
Biotita	3	0,1-0,5	0,3-0,6	0,5	Clorita
Opacos (metálicos)	7	0,1-0,6	0,05-0,7	0,3	-

**Composición Modal Normalizada (%)**

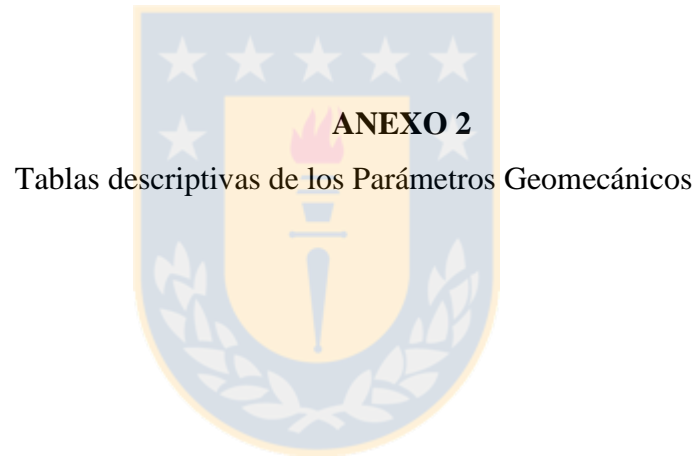
<b>Q = 0</b>	<b>A = 50</b>	<b>P = 50</b>
--------------	---------------	---------------

**Composición de la plagioclasa:**

**An:** No se puede determinar.







### Parámetro: Cálculo de la familia de diaclasas. $J_n$

Descripción	$J_n$
Roca masiva	0.5-1
Una familia de diaclasas.	2
Una familia de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales.	3
Dos familias de diaclasas.	4
Dos familias de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales	6
Tres Familias.	9
Tres familias de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales.	12
Cuatro o más familias de Diaclasas, roca muy fracturada.	15
Roca triturada terrosa.	20
En boquillas, se utiliza 2 $J_n$ y en Túneles 3 $J_n$	

### Rugosidad de las diaclasas $J_r$

Esta tabla esta basada por la relación o el contacto entre las 2 caras de la Junta.

Descripción	$J_n$
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Contacto entre las 2 caras de las diaclasas con poco desplazamiento lateral de menos de 10 cm.</li> </ul>	$J_n$
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Juntas discontinuas.</li> </ul>	4
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Juntas Rugosa o irregular ondulada.</li> </ul>	3
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Suave ondulada.</li> </ul>	2
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Espejo de falla, ondulada,</li> </ul>	1.5
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rugosa o irregular, plana.</li> </ul>	1.5
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Suave plana.</li> </ul>	1
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Espejo de Falla, plano.</li> </ul>	0.5
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ No existe contacto entre las 2 caras de las diaclasas cuando ambas se desplazan lateralmente.</li> </ul>	$J_n$
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zona de contenido de minerales arcillosos, suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las caras de las Diaclasas.</li> </ul>	1
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Arenas, gravas o zona fallada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las 2 caras de las diaclasas.</li> </ul>	1
<p>Nota: si el espaciado de la familia de las diaclasas es mayor de 3 m hay que aumentar el <math>J_n</math> en una unidad.</p> <p>Para diaclasas con espejos de falla provisto de lineaciones, si están orientadas favorablemente, se puede usar <math>J_r=0.5</math></p>	

### Agua en las diaclasas $J_w$

	$J_w$	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
<p>Los valores presentados con el Signo * son solo valores estimados. Si se instalan elementos de drenaje, hay que aumentar <math>J_w</math></p>		

### Meteorización de las diaclasas **Ja**

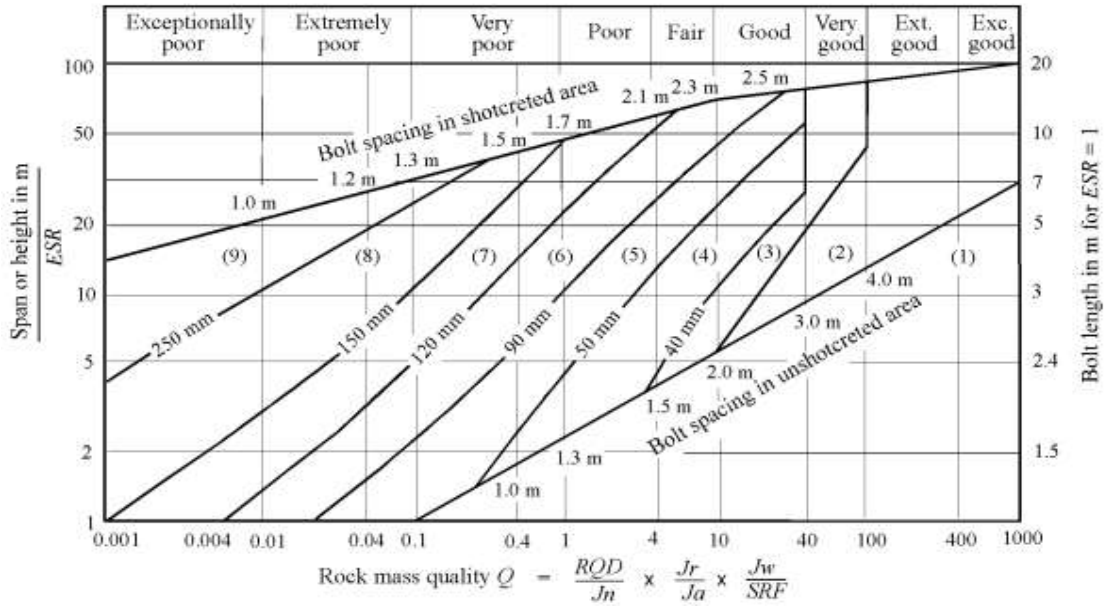
<b>J<sub>a</sub> coeficiente de alteración de la junta</b>	<b>valor</b>
Juntas (sin minerales de relleno intermedios)	
Juntas de paredes sanas	0.75 - 1
Ligera alteración	2
Alteraciones arcillosas	4
Juntas (minerales de relleno en pequeño espesor)	
Con partículas arenosas	4
Con minerales arcillosos no blandos	6
Con minerales arcillosos blandos	8
Con minerales arcillosos expansivos	8 - 12
Juntas (minerales de relleno en gran espesor)	
Con roca triturada/desintegrada y arcilla	6 - 12
Con zonas de arcilla limosa o arenosa	5
Con zonas de arcillosos (espesor grueso)	10 - 20

### Tensiones en las excavaciones **S.R.F**

<b>SRF</b>	<b>Valor</b>
Zonas débiles intersectan a la excavación:	
Multitud de zonas débiles o milonitos	10
Zonas débiles aisladas, con arcilla o roca descompuesta (cobertura $\leq$ 50 m)	5
Id. con cobertura $>$ 50 m	2.5
Abundantes zonas débiles en roca competente	7.5
Zonas débiles aisladas en roca competente (cobertura $\leq$ 50 m)	5
Id. con cobertura $>$ 50 m	2.5
Roca competente (problemas tensionales en las rocas)	
Pequeña cobertura	2.5
Cobertura media	1
Gran cobertura	0.5 - 2
Rocas deformables (flujo plástico de roca)	
Con bajas presiones	5 - 10
Con altas presiones	10 - 20
Rocas expansivas	
Con presión de hinchamiento moderada	5 - 10
Con presión de hinchamiento alta	10 - 15

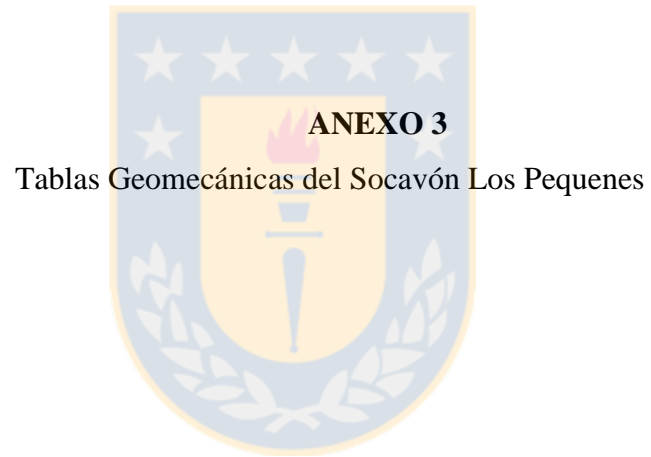
Clasificación de Q (oscila entre 0.001 y 1000)

<b>Q (rock mass quality)</b>	<b>valoración</b>
0.001 - 0.01	excepcionalmente mala
0.01 - 0.1	extremadamente mala
0.1 - 1.0	muy mala
1.0 - 4	mala
4 - 10	regular
10 - 40	bueno
40 - 100	muy bueno
100 - 400	extremadamente bueno
400 - 1000	excepcionalmente bueno



- 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 fibras, 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 reforzados con hormigón proyectado S(fr) + RRS +B
- 9 Revestimiento de hormigón CCA

Categoría de Excavación		(ESR)
1	Excavaciones mineras (temporales)	3-5
2	Pozos verticales circulares Pozos verticales rectangulares	2-5 2.0
3	Túneles mineros permanentes Túneles hidráulicos sin presión Túneles exploratorios	1-6
4	Cavidades de almacenamiento Túneles de carretera y ferrocarril de sección pequeña	1-3
5	Centrales hidroeléctricas subterráneas Túneles de carretera y ferrocarril de sección grande Portales e intersecciones de túneles	1,0
6	Centrales nucleares subterráneas Estaciones de metros	0,8



Hoja de mapeo de franja de detalle												
Mina: Los Pequeños			Norte:			Este:			Ubicación: Tambillos			
6.658.251			286.544									
UG	Metraje	Tipo	Orientación	Perist.	Frac.	Rugos.	Abertura	Rallano	Alterac.	Agua	SRF	Observaciones
Di qz (chl)	0	D	350	1	0,5 m	SO	0,4 mm	s/r	la	s/a	c/m	
		D	55	5	2 m	SP	0,5 mm	s/r	la	s/a	c/m	
	11	D	300	1	0,5 m	RO	1 mm	s/r	la	s/a	p/c	
Di qz (ser-chl)		D	85	6	0,2 m	RP	0,1 mm	s/r	la	s/a	g/c	
		D	340	1	0,3 m	RO	0,5 mm	s/r	s/a	s/a	c/m	TAM-3
	34	D	55	5	2 m	SP	0,5 mm	s/r	la	s/a	c/m	
Di qz (lim)		D	35	3	0,3 m	SO	2 mm	s/r	la	s/a	p/c	
		D	275	2	0,3 m	RO	0,6 mm	s/r	s/a	s/a	c/m	
Di qz (lim)		D	340	2	0,3 m	SO	1 mm	s/r	la	s/a	p/c	TAM-4
		D	35	3	0,3 m	SO	2 mm	s/r	la	s/a	p/c	
	52,75	D	275	6	0,3 m	RO	1 mm	s/r	s/a	s/a	p/c	
Di qz (arc)		D	340	2	0,2 m	SP	0,5 mm	arc	arc	s/a	c/m	
		D	35	3	0,3 m	SO	2 mm	s/r	la	s/a	p/c	
	65	D	275	5	0,4 m	SO	0,6 mm	arc	arc	s/a	c/m	
Brecha Falla	72,9	F				1			RT	s/a	RE	FALLA
Brecha Falla	77,04	F				1			RT	s/a	RE	FALLA
Di qz (arc)		D	290	6	0,3 m	SO	1 mm	arc	arc	s/a	p/c	
		D	335	2	0,1 m	SP	2 mm	arc	arc	s/a	p/c	
	80,89	D	45	3	0,3 m	SO	2 mm	s/r	la	s/a	p/c	
Di qz (arc)		D	92	4	0,5 m	RO	0,7 mm	lim	PA	s/a	c/m	
		D	335	2	0,1 m	SP	0,5 mm	arc	arc	s/a	c/m	
	87,89	D	45	3	0,3 m	SO	0,5 mm	lim	arc	s/a	c/m	
Di qz (arc)		D	110	1	0,3 m	RO	0,6 mm	s/r	la	s/a	c/m	
		D	92	5	0,2 m	RO	1 mm	lim	PA	s/a	p/c	
	93,26	D	45	3	0,3 m	SO	2 mm	arc	arc	s/a	p/c	
Brecha Falla	99,01	F	135			1			arc	s/a	p/c	FALLA
Di qz (arc)		D	45	4	0,3 m	SO	1 mm	s/r	la	s/a	p/c	
		D	290	2	0,5 m	SO	0,5 mm	lim	s/a	s/a	c/m	
	80,89	D	9	1	0,4 m	SP	0,6 mm	s/r	lim	s/a	c/m	
Di qz (arc)		D	350	5	0,2 m	SP	2 mm	s/r	lim	s/a	p/c	
And porf (ser-chl)	111,49	D	9	2	0,5 m	SP	0,5 mm	s/r	lim	s/a	c/m	
		D	350	4	0,3 m	SP	2 mm	s/r	lim	s/a	p/c	
	139,16	D	290	1,5	0,6 m	RO	0,5 mm	lim	s/a	s/a	c/m	
Di qz (ser-chl)		D	45	2	1 m	RO	0,2 mm	arc	arc	s/a	g/c	
		D	350	3	0,5 m	RO	0,6 mm	s/r	s/a	s/a	c/m	
Di qz (chl)	148,83	D	290	2	0,5 m	RO	1 mm	s/r	ep	s/a	c/m	
		D	350	3	0,2 m	SP	0,4 mm	s/r	la	s/a	g/c	
Di qz (chl)	158	D	45	1,5	0,3 m	RO	0,2 mm	s/r	la	s/a	g/c	
		D	305	2	0,4 m	SO	0,5 mm	s/r	lim	s/a	c/m	
Di qz (chl)	172,96	D	350	4	1 m	SP	0,2 mm	arc	la	s/a	g/c	
		D	35	1,5	0,5 m	RO	0,7 mm	s/r	la	s/a	c/m	
Di qz (chl)		D	305	2	0,3 m	RO	0,7 mm	s/r	lim	ai	p/c	
		D	350	4	0,4 m	SO	1 mm	arc	arc	ai	p/c	
Di qz (chl)	181	D	35	1,5	0,2 m	RO	0,5 mm	arc	la	ai	c/m	
		D	340	4	1,3 m	SO	1 mm	s/r	la	s/a	p/c	TAM-7
Di qz (chl)	203	D	305	2	0,4 m	SP	0,8 mm	s/r	s/a	s/a	c/m	

RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q Tramo	Valorización
65.5	9	2	2	1	1	2.09	Mala
		2	2	1	1		
		3	2	1	2.5		
85.3	9	1.5	0.875	1	1.25	8.67	Regular
		3	0.875	1	1		
		1	0.875	1	1		
85.3	4	1	4	1	1	5.33	Regular
		3	0.875	1	1		
88.6	9	2	2	1	1.25	7.88	Regular
		2	2	1	1.25		
		3	0.875	1	1.25		
88.6	9	1	4	1	1	1.97	Mala
		2	4	1	1.25		
		2	4	1	1		
25	15	1	9	1	7	0.026	Ex. Mala
25	15	1	9	1	7	0.026	Ex. Mala
62.2	9	2	4	1	2.5	1.38	Mala
		2	4	1	2.5		
		2	2	1	2.5		
65.5	9	3	4	1	1	5.46	Regular
		3	4	1	1		
		3	4	1	1		
82	9	3	2	1	1	1.82	Mala
		3	4	1	2.5		
		2	4	1	2.5		
25	15	1	9	1	7	0.026	Ex. Mala
75.4	15	2	2	1	2.5	2.01	Mala
		2	0.875	1	1		
		2	2	1	1		
		1	2	1	2.5		
83.3	9	1	2	1	1	11.57	Buena
		1	2	1	2.5		
		3	0.875	1	1		
86.6	9	3	2	1	1.25	11.55	Buena
		3	0.875	1	1		
		3	2	1	1		
89.9	4	1	2	1	1.25	8.99	Regular
		3	2	1	1.25		
96.5	9	2	2	1	1	4.29	Mala
		1	2	1	1.25		
		3	2	1	1		
82	9	3	2	0.66	2.5	2.41 /3	Muy mala
		2	2	0.66	1.25	0.8	
		3	2	0.66	1		
91.9	4	2	2	1	1.25	73.52	Muy buena
		2	0.875	1	1		