



TITULO: " GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL SECTOR NORTE DEL PROYECTO ESMERALDA, DIVISION EL TENIENTE, CODELCO-CHILE"

A. Morales L. De G.

RESUMEN

El Proyecto Esmeralda se enmarca dentro de los sectores considerados en la planificación de la División El Teniente con una reserva extraíble de 348 MT y ley media de 1.014 % CuT. Este nuevo sector productivo entrará en explotación a partir del segundo semestre de 1997, llegando a producir 45.000 ton/día el año 2005.

El sector se ubica en el centro del yacimiento, limitando por el norte con el Teniente Sub6 sector N1 y bajo el área explotada del actual sector productivo Teniente 4 Sur. Considera explotar, mediante un hundimiento gravitacional con variante hundimiento previo, una columna de roca sólida con una altura media de 140m.

La geología del sector inicial a explotar en el área norte se caracteriza por presentar distintos tipos litológicos en mena primaria entre los cuales destacan: Andesita porfídica, Diorita, Brecha Ignea, Brecha de anhidrita y diques.

El sector se ubica al este de la "Brecha Braden", roca matriz-soportante que corresponde a una estructura tipo diatrema subvolcánica, en cuya periferia se observa una zonificación concéntrica de ambientes hidrotermales y de mineralización.

El patrón estructural reconocido en el sector se caracteriza por un enrejado tipo "stockwork" polidireccional de vetillas que pueden llegar a representar parte importante del volumen de roca y fallas discretas (<5cm de espesor) con rumbos preferenciales noroeste y nor-este. Los tipos de estructuras se configuran en geometrías tipo bloques, lo que favorece el desarme del macizo.

El macizo es en general de calidad geotécnica regular a buena, masivo con un fracturamiento lineal de 1-3 ff/m. y

geomecánicamente de resistencia media a alta (predominante), no fisurado, baja porosidad, módulos relativos medio a alto y tracción relativa media.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo corresponde a la actualización geológica y geotécnica del sector al norte de la coordenada 400 N del Proyecto Esmeralda, (1) y se pretende resumir el estado del arte de las unidades geológicas reconocidas, su clasificación geotécnica y una caracterización geomecánica del macizo rocoso involucrado en el sector inicial a explotar del Proyecto Esmeralda.

GEOLOGÍA

Brecha ígnea

Este tipo litológico corresponde a una roca alterada brechizada de textura cumulooblástica de cuarzo, anhidrita y fragmentos líticos de hasta 30 cm de diorita (5 % vol.) en una matriz de mica blanca, biotita, cuarzo y feldespato alcalino. La alteración es potásica con superposición de alteración fílica fuerte. Este cuerpo se ubica en una posición central del proyecto, (fig.1). Presenta una geometría irregular angostándose en altura, alcanzando una altura máxima de 60m. sobre el nivel de explotación y ensanchándose en profundidad bajo el mismo nivel, (fig.2).

El escaso desarrollo de brechización alcanzado, su posición espacial y el subredondamiento de los clastos de diorita son indicativos de que los fluidos formadores de esta brecha miocénica superior se exsolvieron de magmas que cristalizaron para formar plutones que no han sido expuestos a la superficie (2), lo que explicaría el crecimiento en

profundidad de estas brechas. Esta unidad muestra además una estrecha relación con un centro de mineralización hipógena de alta ley de cobre (> 1.5% Cu) asociada a etapas de mineralización de calcopirita fundamentalmente, (zona de calcopirita 100%).

Brecha de Anhidrita

Andesita relicta de textura microfanerítica constituida fundamentalmente por fenocristales (1 mm) de feldespato, su masa fundamental es de biotita, turmalina, clorita y anhidrita con alteración potásica medianamente intensa, en sectores con poligonización incipiente de anhidrita, (10% vol.).

Esta unidad geológica se distribuye en dos franjas marginales a la Brecha Ignea, presentando potencias entre 2 y 25 m. de ancho. En altura, sobre el nivel de explotación, se ha reconocido en sondeos que la brecha de anhidrita se distribuye en forma cupular en el perímetro de la Brecha Ignea. Los contactos con la andesita y con la brecha ígnea son transicionales.

Andesita

Roca de textura porfídica relicta con fenocristales de plagioclasa, 1-2 mm (An 16-An35) en una masa fundamental (80 % vol.), afieltrada parcialmente recristalizada compuesta por biotita, sericita y plagioclasa. La alteración es potásica penetrativa (biotitización) y alteración fílica sobreimpuesta.

Se definieron dos subunidades de andesitas, andesita HW y FW que se diferencian por el tipo de stockwork presente y su contenido de anhidrita, biotita, cuarzo y sericita como minerales de alteración. La andesita HW es una roca de textura afanítica de color gris oscuro producto de la biotitización, con un aspecto brillante dado por la anhidrita presente.

La andesita FW es una roca que presenta una textura porfídica con una alteración potásica fuertemente obliterada por la alteración cuarzo-sericítica, otorgán-

dole a la roca un color gris claro.

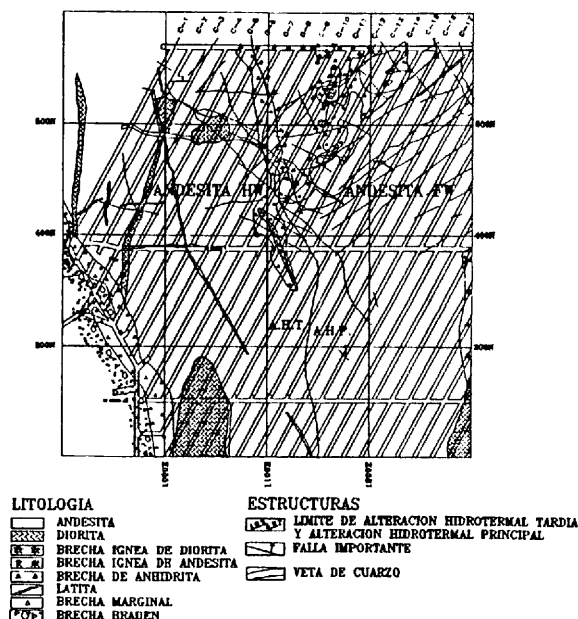


Figura 1. Geología del yacimiento y ubicación del sector norte del Proyecto Esmeralda.

Diorita

Roca porfídica relicta de color blanco, con fenocristales (1-2 mm) de feldespatos (30 % vol.), reemplazados por sericita con una masa fundamental de cuarzo, feldespato alcalino y sericita. Presenta una alteración cuarzo-sericítica de intensidad moderada y una silicificación moderada.

La diorita se presenta como filones y cuerpos de forma irregular y el contacto con la roca de caja es de carácter intrusivo.

Diques de latita y cuarzo

El dique de latita corresponde a una roca porfídica con fenocristales de plagioclasa sericitizados (10-20 % vol.), cuarzo, anfíbola y biotita de 1-2 mm; la masa fundamental, corresponde a microlitos de cuarzo, sericita con escasos cristales de anhidrita, clorita y sulfuros. Este intrusivo es reconocido al Oeste del Complejo de Brechas de orientación N15°W/ subvertical y una

potencia de 1-1.5 m. El dique de cuarzo de orientación N80°W/subvertical tiene una potencia de 3-4 m y contiene sulfuros diseminados como parches y vetillas (bornita), anhidrita y sericita.

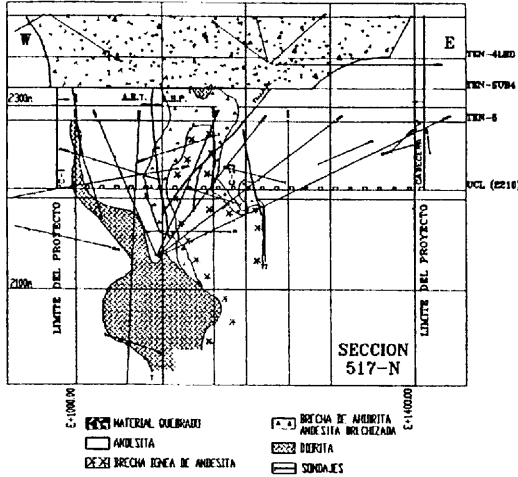


Figura 2. Sección E-W, mirando al norte, de cuerpo de brecha.

Alteración y Mineralización

Se observan en el macizo varios eventos de alteración sobrepuestos que representan la evidencia de la alteración hidrotermal asociada a la intrusión de los pórfidos en el yacimiento, (3). Se definen principalmente 3 etapas de alteración hidrotermal. La etapa Temprana y/o Tardíamagmática, asociada a la alteración potásica del yacimiento que se caracteriza por vetillas de cuarzo, anhidrita y cantidades variables de sulfuros, biotita y molibdenita diseminados en el centro de la vetilla sin un halo de alteración visible.

La etapa Principal, asociada a la alteración cuarzo-sericítica que se caracteriza por vetillas de calcopirita, anhidrita, pirita, molibdenita y cuarzo con un halo de alteración rico en sericita. Finalmente la etapa Tardía, asociada también a la alteración cuarzo-sericítica que se caracteriza por vetillas de cristales gruesos de anhidrita, cuarzo, sulfuros y sulfosales

de cobre, carbonatos, turmalina, molibdenita y yeso. Las vetillas tienen un halo sericitico y algo de arcilla bien desarrollado.

Termométricamente los tipos de inclusiones fluidas en las distintas etapas de alteración presentes, muestran rangos de temperaturas de homogenización y salinidades similares a otros yacimientos de pórfidos cupríferos de Chile Central. Las vetillas tempranas y/o tardíamagmáticas son indicativas de fluidos de alta temperatura (300°C - > 500°C), salinos y ricos en metales cuyo origen es probablemente magmático. Las vetillas tipo Principal y Tardía muestran temperaturas entre 220 °C y 390 °C, salinidades menores y evidencias de ebullición del fluido, (4).

La mineralización se observa, en el sector central del yacimiento, como una zonación lateral hacia el este de sulfuros de cobre: Bornita-Digenita > Calcopirita en un halo de aproximadamente 100 m del límite de la Brecha Braden; Calcopirita > Bornita (100m.); Calcopirita 100% (300m.); Calcopirita > pirita (200m.); Pirita > calcopirita, y en el límite de mineralización económica de 0.5 % Cu.

Estructuras

El macizo presenta un enrejado tipo "stockwork" polidireccional de vetillas de las distintas etapas hidrotermales. Estas varían en espesor y continuidad siendo lo más característico espesores < 5 cm y de escasa continuidad lateral y vertical.

Las fallas reconocidas en El Teniente corresponden principalmente a estructuras discretas con relleno (< 5 cm) de salbanda, yeso, carbonatos, molibdenita, bornita y tenantita (vetilla tardía fallada).

En el yacimiento se observan escasas fallas "maestras" (5), de mayor espesor (de 0.05 a 1m.) que muestran una continuidad lateral y vertical importante. Este fenómeno indicaría que la mayor parte de las fallas en el yacimiento no

muestran evidencias de interacción con sus vecinas y que la ocurrencia de una falla no afecta donde otras fallas van a ocurrir, (6). La distribución exponencial negativa del espaciamiento de la población de fallas, reflejaría la naturaleza aleatoria de los agrietamientos lo que evidencia además que el macizo se encuentra en una etapa temprana de deformación, (7).

El hecho de que gran parte de las fallas esten asociadas a vetillas de la etapa hidrotermal tardía, reflejaría también que la distribución actual de las fallas sea heredada de fracturas con una distribución exponencial negativa.

GEOTECNIA

Clasificación Geotécnica y Caracterización Geomecánica

La clasificación geotécnica de las unidades geológicas relevantes se efectuó mediante el análisis de la información tomada del mapeo en las líneas de detalle, con lo cual se obtuvo: la geometría del arreglo estructural, las orientaciones preferenciales, la distribución y caracterización de tipos de estructuras y frecuencia de fracturas. Una comparación de la sensibilidad de los métodos de clasificación geotécnica (8) de los índices de calidad geotécnica de RMR de Bienawski de 1979, RMR de Laubscher de 1993) y Q de Barton de 1974, demuestra que para un tipo de macizo rocoso en mena primaria, masivo, de buena calidad geotécnica y con estructuras selladas, el índice Q permite lograr una mayor diferenciación que los otros índices. Las propiedades físicas del macizo y su caracterización geomecánica (9), indican que las rocas del sector analizado son en general de alta resistencia, con un módulo relativo medio a alto y una resistencia relativa a la tracción medio a alto, (10).

En base a los resultados entregados por la caracterización geomecánica (8) se

compararon los distintos parámetros con el fin de estimar el riesgo potencial relativo de sufrir daños por estallido de rocas (rockburst) del macizo involucrado en el sector norte del Proyecto Esmeralda, (Tabla 1).

LIT	V _p	V _s	UCS	TS	E	ff/m	RMR
AND	4004	2216	123	-6	57	2	55
BXI	4319	2204	100	-5	47	1	60
DIO	4031	2051	138	-12	37	1	62
BXA	4209	2142	114	-6	58	1.5	58

LIT=Litología; AND= Andesita; BXI= Brecha Ignea; DIO= Diorita; BXA= Brecha de Anhidrita; V_{p,s}= Velocidad de propagación de la onda P y S°(m/s); UCS= Resistencia en compresión no confinada de la roca (MPa); TS= Resistencia en tracción de la roca (MPa); E= Módulo de elasticidad estático(GPa); ff/m= fracturamiento por metro lineal; RMR= índice de calidad geotécnica, Laubscher 1990.

NOTA: Se utilizan valores modales de las variantes litológicas Andesita HW y Brecha Ignea de andesita respectivamente.

Esta comparación permite señalar en base al conocimiento de otras rocas susceptibles a estallidos de roca, que la andesita y la brecha ignea son rocas susceptibles de sufrir daños por efecto de estallido de rocas, con un nivel de riesgo calificable de medio a alto. Los tipos de roca Diorita y Brecha de anhidrita serían rocas poco susceptibles de sufrir daños por estallido de rocas, con un nivel de riesgo calificable de medio a bajo. Estas observaciones indicarían que a pesar de que la diorita es en general una roca de menor compresibilidad (mayor resistencia a la compresión) y por ende de mayor capacidad de concentrar carga y de acumular potencialmente energía de deformación (i.e. mayor potencial de estallido de rocas)

que la andesita (11), es posible que la condición de mayor susceptibilidad de la andesita y brecha ignea sea provocada por la combinación de uno o más factores mineros entre los cuales figuran: condición local, posición del frente, eventos sísmicos por quiebre del macizo y cambio en la relación de cargas producto de una redistribución de esfuerzos, lo que las hace propensas a estallido de rocas.

Esta última afirmación se demuestra en estallidos de rocas leves que ocurrieron en andesita en la cercanía de un contacto andesita/diorita en el nivel de ventilación del Proyecto Esmeralda (50 m bajo el frente), sector que a la fecha se encontraba justo encima del frente de socavación.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

El macizo rocoso ubicado en el sector norte del Proyecto Esmeralda se caracteriza geológicamente como heterogéneo, con varios tipos litológicos afectados por al menos tres eventos hidrotermales. El patrón estructural muestra una predominancia de estructuras menores de escasa continuidad y espesor, siendo las fallas denominadas "maestras" un número discreto de discontinuidades reconocidas. Estas estructuras se configuran formando bloques lo que favorece su desarme estructural. El hecho de que las fallas muestren una distribución exponencial negativa de su distribución es además indicativo de que el macizo se encuentra en una etapa temprana de deformación. Geotécnicamente se trata de un macizo en general de buena calidad, masivo, seco y con estructuras selladas cuya resistencia a la compresión y tracción son en general más bajas que el macizo. Geomecánicamente se trata de un macizo no fisurado, de baja porosidad, alta resistencia, módulos relativos medio a alto y de tracción relativa media. Comparando los distintos parámetros geo-

mecánicos se puede concluir que se trata de macizos en general susceptibles a sufrir daños por estallido de rocas, el cual puede variar de escaso a alto riesgo dependiendo principalmente de una combinación de factores mineros y geológicos asociados.

REFERENCIAS

1. Morales, A. & Pereira (1996). Actualización Geológica Proyecto Esmeralda. Inf. ined.
2. Skewes, A., (1994). Tectonic trigger for the formation of late Miocene Curich breccia pipes in the Andes of central Chile. *Geology*, v. 22, 551-554.
3. Cuadra, P., (1986). Geocronología K-Ar del yacimiento El Teniente y áreas adyacentes. *Rev. Geol. Chile*, 27, 3-26.
4. Skewes, A., (1996). Inclusiones fluidas en vetillas de la sección XC-83 de El Teniente, Chile. Inf. ined.
5. Vicencio, S., Reyes, M. & Morel, R., (1996). Modelamiento geológico El Teniente. Inf. ined.
6. Brooks, B. & Allmendinger, R., (1994). Fault spacing analysis at El Teniente. Inf. ined.
7. Brooks, B. & Allmendinger, R., (1996). Fault spacing in the El Teniente Mine, central Chile: Evidence for non-fractal geometry. *Jour. Geoph. Res.* v. 101. N°B6. 13,633-13,653.
8. Karzulovic, A., (1997). Caracterización geomecánica rocas Proyecto Esmeralda. Inf. ined.
9. Karzulovic, A., (1996b). Evaluación geomecánica comparativa tipos de roca intacta Proyecto Esmeralda. Inf. ined.
10. Karzulovic, A., (1996a). Evaluación de propiedades de la roca intacta y del macizo rocoso para el rajo Sur-Sur. Nota geotécnica inédita, A Karzulovic & Asoc. Ltda.
11. Kvapil, R., (1990). Analysis of behavior of dacite and diorite under different loading conditions (classifications for rock burst active zones). Inf. ined.