

# Determinación de la resistencia a la fractura del macizo rocoso del distrito minero Los Mantos de Punitaqui de Cía. Minera Tamaya, Chile

Federico Brunner<sup>1</sup>  
Roberto Quintana<sup>2</sup>  
Alfonso Carvajal<sup>3</sup>  
Roberto Díaz<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Civil de Minas, M. Sc. (Mining Engineering). Departamento de Ingeniería de Minas. Universidad de La Serena, Chile  
<sup>2</sup>Departamento de Ing. de Minas. Universidad de La Serena, Chile  
<sup>3</sup>Ingeniero en Minas, M. Sc. Universidad de La Serena, Chile  
<sup>4</sup>Jefe General de Operaciones. Cía. Minera Tamaya, Chile

**RESUMEN:** Se estudia y evalúa el comportamiento de la resistencia del macizo rocoso para el distrito Los Mantos de Punitaqui mediante el Índice de Resistencia Geológica (GSI) desarrollado por Hoek-Brown, 1977. Al analizar los resultados obtenidos se aprecia una gran uniformidad para las distintas litologías y diferencias pequeñas entre los valores de los parámetros que definen la resistencia del macizo.

**ABSTRACT:** In this paper the behaviour of the rock strength is analyzed by means of the Geological Strength Index (GSI), developed by Hoek-Brown in 1997. Analyzing the obtained results for the parameters that define the rock strength in Los Mantos de Punitaqui mining district it's appreciated a great uniformity between the different litologies as well as a little difference between the GSI values reached.

**Palabras claves:** Resistencia a la fractura, GSI, Co, Minera Tamaya.

## INTRODUCCIÓN

Determinar la resistencia de un macizo rocoso, para usarlo en el diseño de excavaciones subterráneas, taludes y estructuras mineras, es una tarea difícil y es, actualmente, un tema de gran interés y debate de los investigadores en el campo de la Mecánica de Rocas. Métodos útiles para alcanzar este objetivo consisten en:

- Clasificar el macizo rocoso de acuerdo con esquemas establecidos de sistemas de clasificación, como son: RQD, RMR, Q, GSI, etc.;
- Determinar una resistencia del macizo rocoso basada sobre datos empíricos de fracturas documentadas o de ensayos de laboratorio a escala.

En este reporte se estudia y evalúa el comportamiento de la resistencia del macizo rocoso, para el distrito Los Mantos de Punitaqui, mediante el Índice de Resistencia Geológica (GSI) desarrollado por Hoek-Brown, 1997.

## DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SECTOR LOS MANTOS DE PUNITAQUI, COMPAÑÍA MINERA TAMAYA

### Ubicación y vías de acceso

La propiedad de la Compañía Minera Tamaya S.A., se encuentra ubicada en la Cuarta Región, Provincia de Limari, Comuna de Punitaqui, en el sector de Los Mantos de Punitaqui, a 35 km aproximadamente de la Ciudad de Ovalle, en una dirección 3º W.

Para llegar a la mina desde la ciudad de Santiago se toma la ruta norte, al llegar al cruce Socos, aproximadamente a unos 380 km de Santiago, la carretera intercepta una bifurcación, uno de los caminos lleva a la ciudad de La Serena y el otro se interna hacia Ovalle. 5 km antes de llegar a esta última ciudad se encuentra la desviación a Punitaqui. (Figura 1).



FIGURA 1. Plano de ubicación del distrito minero Los Mantos de Punitaqui.



## Geología

Punitaqui es uno de los distritos mineros más antiguos del país y su historia se remonta a los tiempos de la conquista. El descubrimiento de minerales de azogue y la necesidad de obtener mercurio para ser utilizado en la amalgamación de oro de los lavaderos explotados por la corona española en la zona, marcó el comienzo del desarrollo minero del distrito.

El distrito Los Mantos de Punitaqui es conocido por sus concentraciones económicas de oro, mercurio y cobre. La producción de metales ha venido desde una variedad de depósitos vetiformes del tipo mesothermal de temperatura media, desarrollados en fallas asociadas a amplias zonas de brecha. Las vetas más importantes en la Cía. Minera Tamaya están localizadas a lo largo de una zona de falla regional conocida como zona de falla de Los Mantos, la cual forma la rama oeste de un lazo de tipo sigmoide a escala regional. (Figura 2).

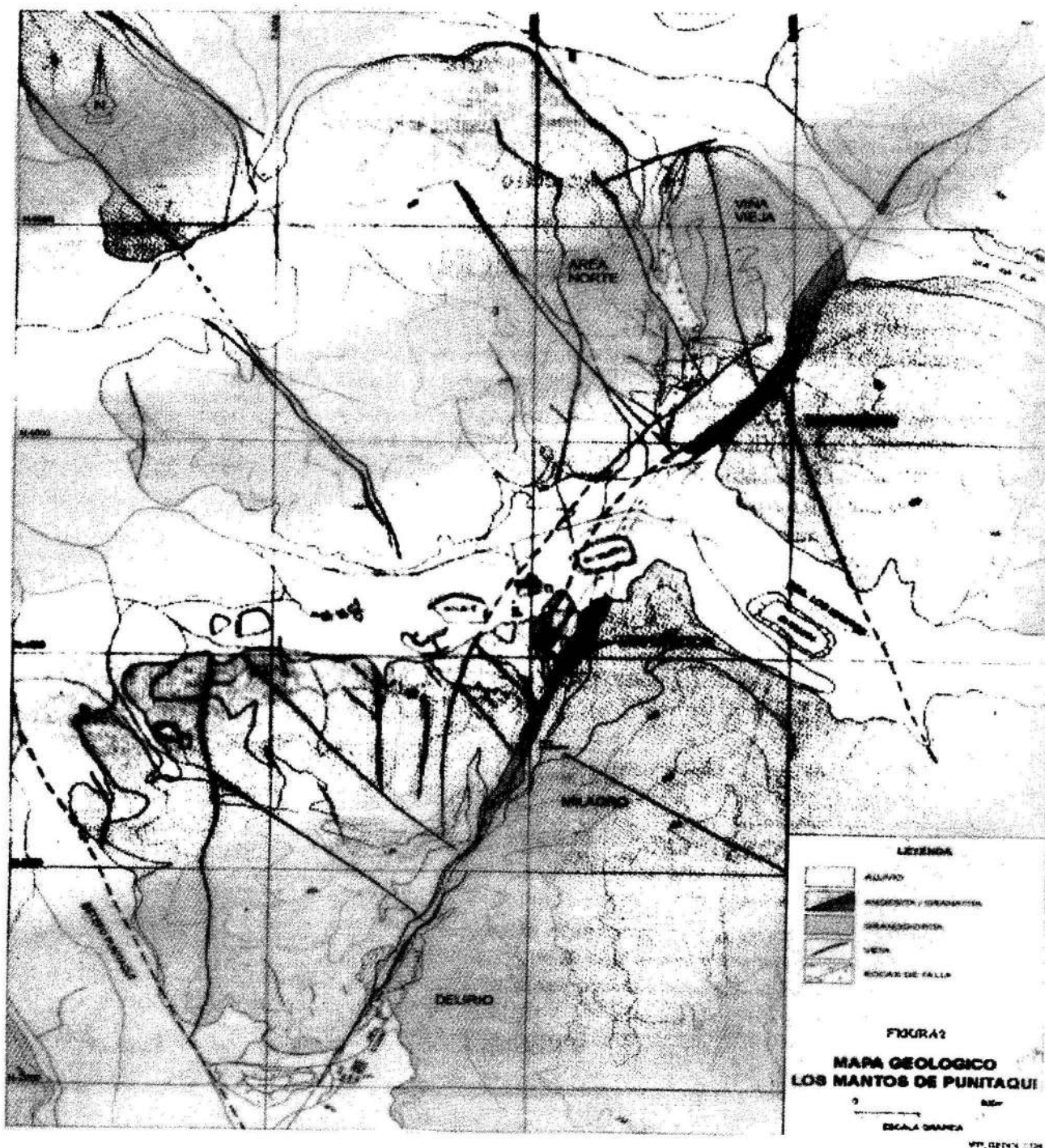


FIGURA 2. Mapa geológico de la región.

## Método de explotación

El método de explotación empleado en Cía. Minera Tamaya es el Corte y Relleno (*Cut and Fill*). En este el mineral se extrae por franjas horizontales, iniciando los trabajos de un nivel base inferior y se continúa el avance en forma ascendente. El mineral fragmentado se saca en su totalidad del corte horizontal que lleva el avance; luego el volumen de mineral extraído es reemplazado por material estéril para producir el relleno del sector, el cual sirve también como soporte de las paredes y como piso para efectuar el corte de la próxima tajada.

## DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MASA ROCOSA PARA LAS DIFERENTES LITOLOGÍAS EN ESTUDIO EN LOS MANTOS DE PUNITAQUI

Para determinar los parámetros resistentes de las diferentes litologías o dominios estructurales estudiados en el distrito minero Los Mantos de Punitaqui se empleó el criterio de fractura de Hoek y Brown. En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para la resistencia a la compresión uniaxial ( $\sigma_c$ ) para las distintas litologías presentes en el distrito. Además se entregan los resultados para la constante  $m_i$  obtenida de ensayos triaxiales.

TABLA 1. Valores para Resistencia a la Compresión Uniaxial y para la constante  $m_i$  de las litologías estudiadas en Los Mantos de Punitaqui

Litología	Resistencia a la Compresión Uniaxial (MPa)	Valores para la constante $m_i$
Andesita	127	12,3
Granodiorita	161	13,1
Brecha de Falla (Piv.6)	28	9,5
Brecha de Falla (Nivel 255)	23	17,5

## Sectores y litologías dentro de la zona en estudio

Dentro del sector Los Mantos de Punitaqui, según la información presente en la Compañía Minera Tamaya se distinguen cuatro zonas bien definidas, las cuales son, de sur a norte: Delirio, Milagro (el sector actual de explotación), Los Mantos y Viña Vieja, estudiadas por separado en dependencia del grado de información que se tenga de ellas. Los diferentes planos geológicos del sector, muestran al menos cuatro dominios estructurales bien definidos, que presentan tipos de rocas similares limitadas por la estructura mayor (falla regional).

La zona más característica y la que presenta mayor información geológica es la denominada Milagro, en ella se pueden distinguir claramente los cuatro dominios estructurales, representados por una zona intermedia donde está contenido el cuerpo mineralizado (veta), envuelto por una roca tipo brecha. Al oeste de esta zona.

Los depósitos ocurren en clavos de alta ley, los que se repiten a lo largo de la zona de falla a intervalos de 400 m, aproximadamente. La zona de falla de Los Mantos forma el contacto regional entre las secuencias de flujo masivo de andesita y unidades delgadas de limonitas sobre el oeste (yacente) y el stock de granodiorita al este (pendiente). El rumbo y manteo de la zona de falla es aproximadamente N30°E y 60°NW, respectivamente. Ambas unidades de roca son de edad cretácica.

Movimientos tempranos en la falla en la transición frágil-dúctil están marcados por una foliación al corte bien desarrollada (orientación preferencial de biotita secundaria). Las reactivaciones de las fallas más jóvenes fueron frágiles y generaron anchas zonas de brechas tectónicas y salbandas (sobre los 100 m de espesor), continuas a lo largo de 2 km en la dirección del rumbo. Los fragmentos de las brechas consisten en andesitas hornfels, andesitas foliadas y skarn. Los segmentos de brechas fueron rellenos por varias generaciones de cuarzo o calcita. Subsecuentes reactivaciones formaron un nuevo sistema de fallas (un sistema de enrejado interconectado con lazos sigmoideos), cortando las brechas, y contemporáneos con la fase de mena y mineralización de veta. El flujo de fluido responsable de la formación de vetas se centró a lo largo del sistema de la falla central predominante. Los modelos de falla controlaron y localizaron los depósitos económicos de tipo vetiforme en el distrito de Los Mantos de Punitaqui.

La mineralización del distrito de Punitaqui, consiste básicamente en vetas de relleno de fisuras, compuestas de cuarzo-calcita como ganga principal con finas diseminaciones, o bien con rellenos masivos de sulfuros, calcopirita, pirita y especularita. Junto a estos sulfuros, en algunos casos, ocurren minerales de mercurio, siendo especies típicas el cinabrio y la tetrahedrita mercurial. Las vetas mineralizadas del distrito están dispuestas según la actitud del sistema estructural predominante en el área como clavos dentro de fallas mayores. La mineralización más importante se encaja en la unidad de rocas volcánicas y, en menor proporción, se reconocen estructuras mineralizadas emplazadas en rocas intrusivas.

Con el propósito de clasificarlas, se han distinguido dos tipos de vetas en el distrito, las primeras se denominan Vetas Mayores y están emplazadas en el sistema de fallas Los Mantos. Este tipo de vetas se caracteriza por el desarrollo de clavos de dimensiones mayores (>500.000 ton), algunos ejemplos conocidos son Delirio, Clavo Central y la mina Los Mantos.

El segundo grupo corresponde a las vetas denominadas vetas tensionales, y se emplazan en las fallas de tensión o en los sistemas de fallas conjugadas al sistema estructural de Los Mantos. Estas vetas generalmente son irregulares, de las cuales los ejemplos más destacados son la Mina Azogues y la Mina Farellón.



y en contacto con la roca tipo brecha, generalmente, o con la veta, se encuentra el otro dominio caracterizado por la presencia de andesita y hacia el este tenemos un cuarto dominio caracterizado por la granodiorita.

**Determinación del GSI por sectores y litología**

Para determinar el GSI de los sectores estudiados se usó la clasificación de Bieniaswki de 1989 (RMR89). La información requerida para obtener los diferentes valores de rating necesarios para el cálculo del RMR se tomó de estudios en terreno, principalmente de la información recolectada de una serie de líneas de detalle y mapeos por celdas efectuados a lo largo de los sectores ya individualizados en Delirio, Los Mantos y Viña Vieja.

En mina Milagro, fuera del estudio de la fábrica de roca por líneas de detalle, se usaron bases de datos originadas de mapeos de sondajes empleando la clasificación geomecánica de Laubscher. Además por ser este sector el que cuenta con un mayor grado de información, se dividió en subsectores definidos por la presencia de set de fracturas individualizados en estudios anteriores.

Valores obtenidos para las propiedades de la fábrica de roca

**a) Sector Mina Delirio**

Este sector fue el único donde se usó la técnica del mapeo por celdas, ya que existía un rajo de explota-

ción antigua en roca andesita (Figura 3). El estudio estructural consistió en la toma de la información a partir de 9 celdas ubicadas en los distintos bancos de este rajo. La Tabla 2 muestra las orientaciones espaciales de los set de fracturas y sus características geométricas más relevantes, respectivamente.

**TABLA 2. Estadística de los Valores Medios para los Set de Fracturas de Diseño. Roca Andesita. Mina Delirio**

No. del Set		1	2	3	4	5
Direc Manteo	(g)	214	310	98	266	192
Manteo	(g)	63	53	47	64	70
Rugosidad	(g)	3,12	5,90	4,00	3,20	3,25
Longitud Maxim	(m)	3,84	5,50	4,22	3,30	1,98
Longitud Media	(m)	2,05	2,10	1,62	1,43	0,74
Espesor	(cm)	0,04	0,10	0,02	0,08	0,00
Espaciamiento	(m)	0,25	0,36	0,22	0,31	0,22

**b) Sector Los Mantos**

En este sector se tomaron cinco líneas de detalle en labores subterráneas, tres de ellas en andesita y el resto en granodiorita (Figura 4). En las Tablas 3 y 4 se entregan las orientaciones de los set de fracturas encontrados, tanto para la andesita como para el intrusivo.

**TABLA 3. Valores Medios de los Set Definidos en Mina Los Mantos. Andesita**

No. del Set		1	2	3	4	5	6	7	8
Direc del Manteo	(g)	211	274	242	275	42	89	126	303
Manteo	(g)	64	76	70	45	52	72	72	77
Ang de Irregular	(g)	6,15	5,14	5,24	6,55	6,45	8,75	4,27	3,40
Longitud	(m)	1,31	1,10	1,45	1,03	0,82	0,58	0,54	1,39
Espesor	(cm)	0,08	0,17	0,45	2,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Espaciamiento	(m)	0,22	0,76	0,54	0,56	0,35	0,45	0,95	0,99

**TABLA 4. Valores Medios de los Set Definidos en Mina Los Mantos. Granodiorita**

No. del Set		1	2	3	4	5
DirecManteo	(g)	274	352	141	20	241
Manteo	(g)	65	78	61	76	49
Ang de Irregular	(g)	9,20	9,07	6,94	6,00	4,80
Longitud	(m)	0,94	0,80	0,87	0,63	0,96
Espesor	(cm)	0,71	0,18	0,00	0,19	0,06
Espaciamiento	(m)	0,28	0,96	0,70	1,74	1,29

**c) Sector Viña Vieja**

En esta zona existe una serie de labores de reconocimiento en superficie, las que fueron aprovechadas

para el mapeo (Figura 5). Se tomaron 6 líneas de detalle, cuatro de estas en roca andesita y las otras dos en roca tipo brecha. Las Tablas 5 y 6, entregan la estadística de las variables medidas en la roca andesita y en la brecha, respectivamente.

**TABLA 5. Valores Medios de los Set Definidos en Viña Vieja. Andesita**

No. del Set		1	2	3	4
Direc de Manteo	(g)	218	81	304	253
Manteo	(g)	69	73	50	54
Ang de Irregular	(g)	9,94	8,85	6,69	6,77
Longitud	(m)	1,29	1,19	1,03	0,98
Espesor	(cm)	1,17	0,30	0,26	1,18
Espaciamiento	(m)	0,80	0,55	0,80	0,64

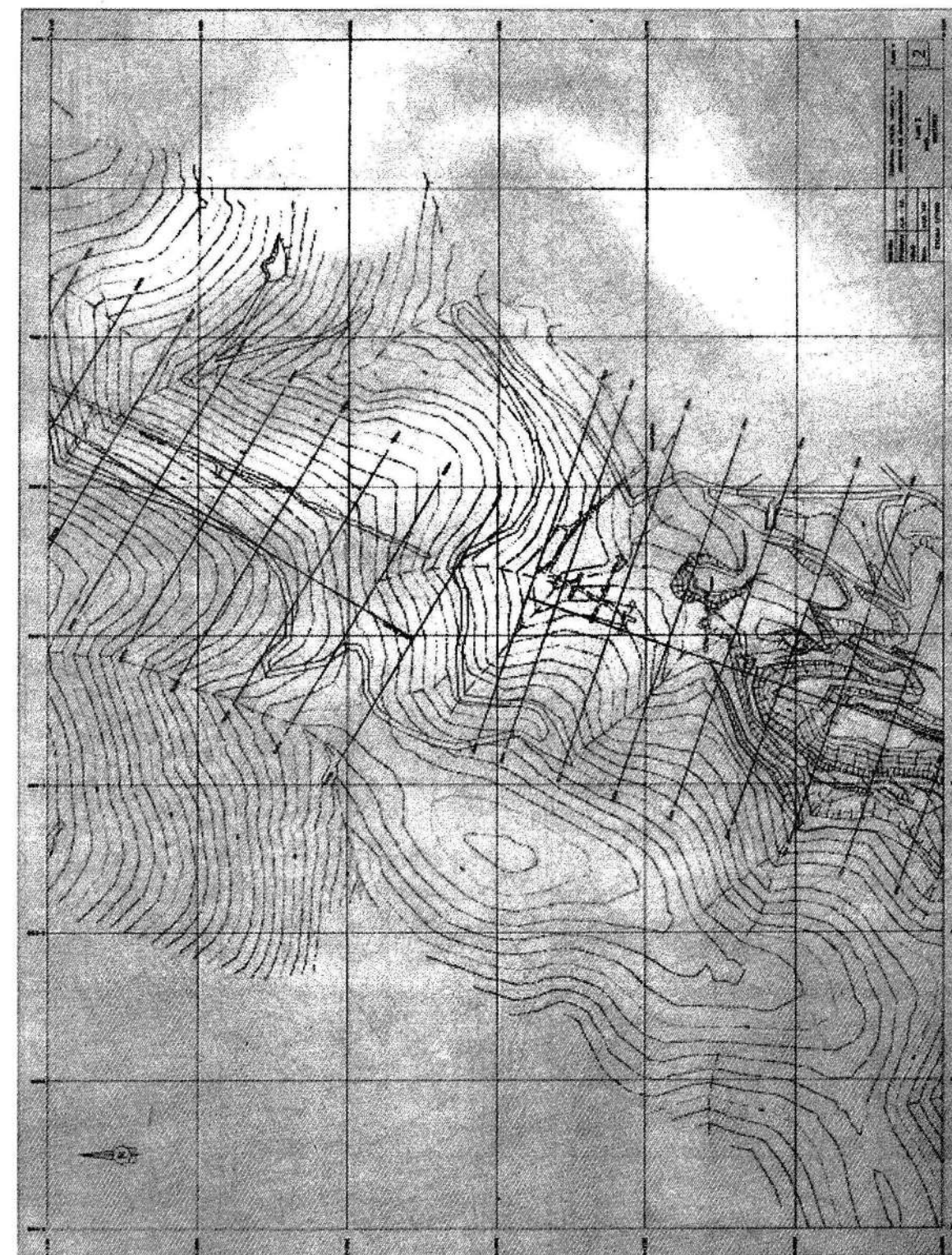


FIGURA 3. Plano general de ubicación del rajo Mina Delirio.



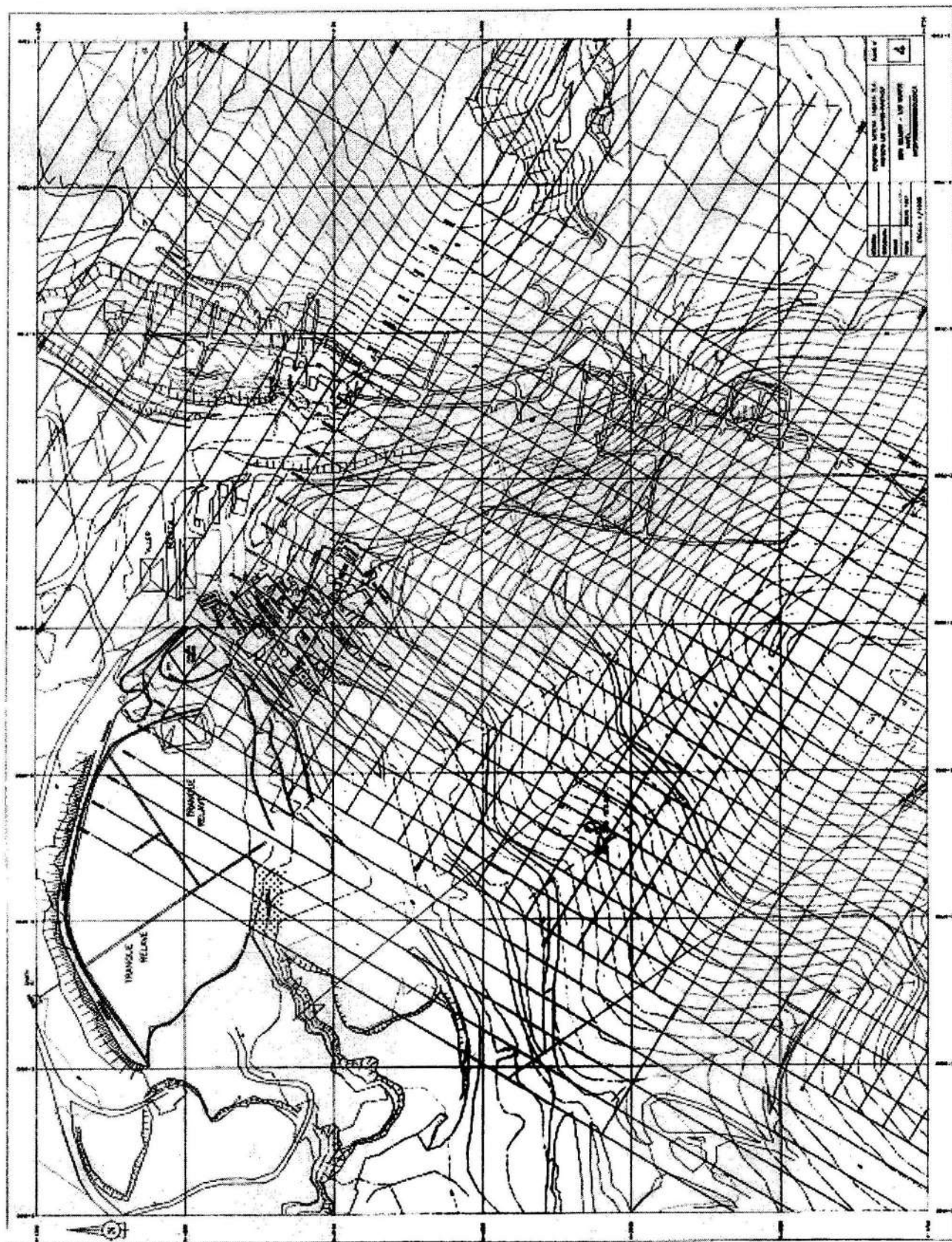


FIGURA 4. Plano general de estudio del sector mina Los Mantos

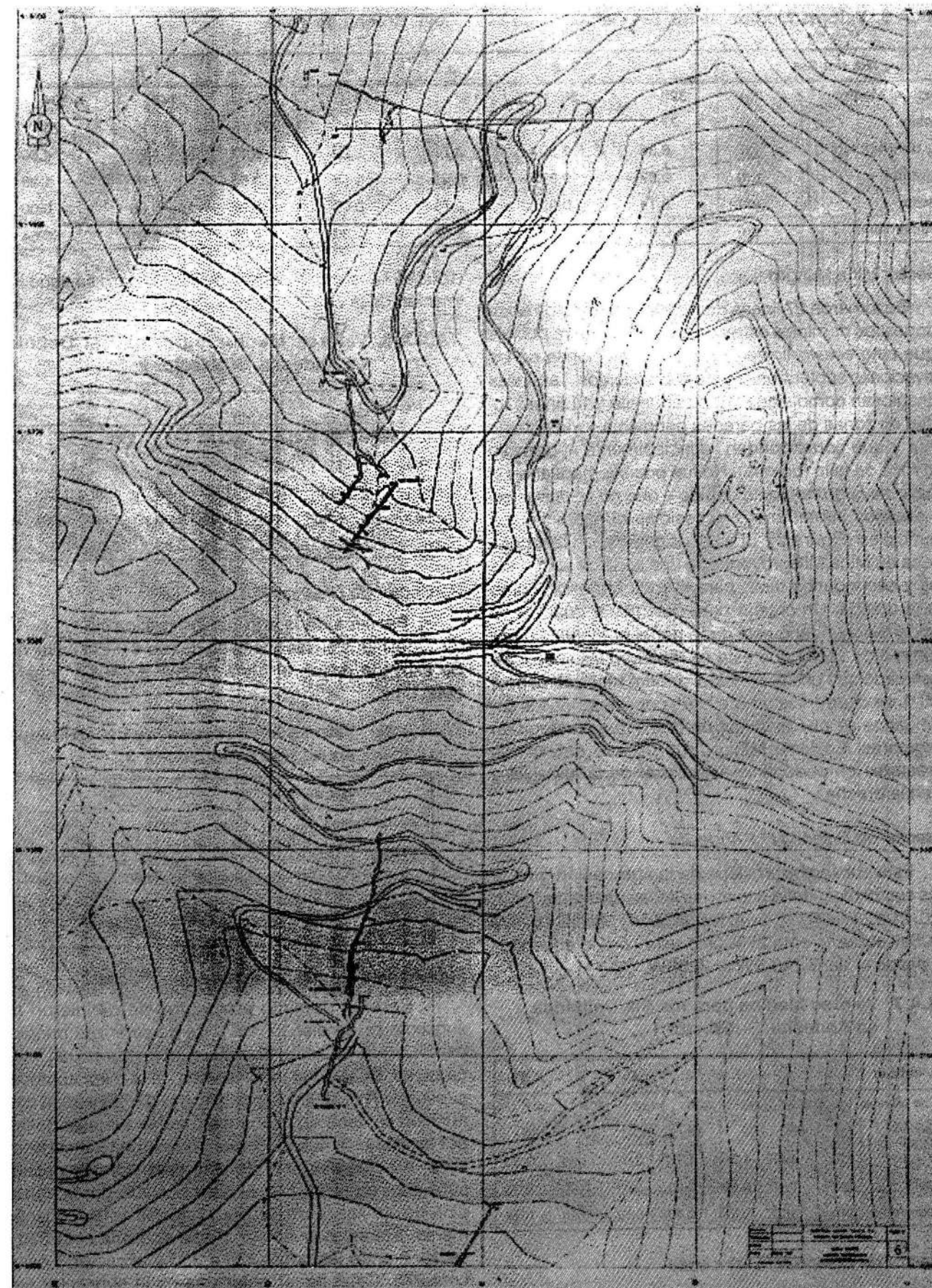


FIGURA 5. Plano general de estudio del sector mina Viña Vieja



TABLA 6. Valores Medios de los Set Definidos en Viña Vieja. Brecha de Falla

No. del Set		1	2	3	4	5	6	7
Direc del Manteo	(g)	328	36	167	118	67	140	294
Manteo	(g)	77	71	78	42	72	81	73
Ang de Irregular	(g)	6,35	3,90	3,70	2,22	6,17	4,83	4,50
Longitud	(m)	0,67	0,87	0,96	0,53	0,65	0,67	1,25
Espesor	(cm)	0,14	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00
Espaciamiento	(m)	0,86	3,47	2,69	0,30	0,05	3,21	0,54

## d) Sector Mina Milagro

Se tomaron 27 líneas de detalle, y se trató de abarcar todos los dominios estructurales donde fuera posible ya que esto estuvo limitado por las condiciones de las excavaciones subterráneas y los afloramientos. Las líneas se desglosan como sigue: 16 en andesita y 11 líneas tomadas en zonas de las paredes pendiente y yacente de la veta y que corresponden principalmente al dominio de la roca de falla (brecha). No fue posible mapear en el dominio de la granodiorita debido a que no se encontraron laboreos subterráneos accesibles ni afloramientos superficiales (Figura 6). El análisis general de la fábrica de roca en Mina Milagro, entrega una serie de set principales y secundarios tanto para la roca andesita, como para la brecha. Un criterio para determinar cuál set es principal o secundario está dado por el porcentaje o por el número de veces que este se repite en las líneas. Se ha estimado que un set principal deberá tener, al menos, un 50 % de ocurrencia. Ahora bien, considerando los set secundarios se puede dividir un dominio estructural en subsectores. En Mina Milagro fue posible definir tres subsectores en el dominio estructural de la andesita y tres en la brecha.

## Subsector de Diseño N° 1 Andesita

Este subsector proviene de la agrupación gráfica de los set medios, definidos en las líneas de detalle 5, 12, 13, 20, 21 y 23 (Tabla 7). Se extiende desde el perfil 160SW a 320SW sobre la cota 275, bajo esta cota lo encontramos desde el perfil 240 SW a 320SW.

TABLA 7. Valores Medios para los Set Definidos en Andesita. Subsector 1

No. del Set		1	2	3	4	5	6
Direc de Manteo	(g)	262	66	335	167	204	287
Manteo	(g)	68	82	66	80	52	68
Largo	(m)	1,68	1,36	1,13	2,07	1,25	1,55
Espesor	(cm)	0,40	0,00	0,25	0,07	0,00	0,05
Espaciamiento	(m)	1,27	0,90	0,43	0,77	0,94	0,84

## Subsector de Diseño N° 2 Andesita

El subsector proviene de la agrupación gráfica de los set medios, definidos en las líneas de detalle 2, 9, 14, 15 y 25 (Tabla 8). Se extiende desde la sección 40SW a

160SW, las cotas no están definidas, pero se tiene información de la cota 180 hacia arriba.

TABLA 8. Valores Medios para los Set Definidos en Andesita. Subsector 2

No. del Set		1	2	3	4	5	6
Direc de Manteo	(g)	217	260	356	285	50	40
Manteo	(g)	57	65	76	64	80	21
Largo	(m)	1,37	1,65	1,63	1,35	1,35	2,2
Espesor	(cm)	0,03	1,95	0,00	1,60	0,00	0,00
Espaciamiento	(m)	0,98	1,28	0,68	0,73	0,87	0,64

## Subsector de Diseño N° 3 Andesita

Proviene de la agrupación gráfica de los set medios, definidos en las líneas de detalle 8 y 17 (Tabla VIII). Se extiende desde el perfil 160SW a 240SW y bajo la cota 275.

TABLA 8a. Valores Medios para los Set Definidos en Andesita. Subsector 3

No. del Set		1	2
Direc de Manteo	(g)	215	288
Manteo	(g)	47	70
Largo	(g)	1,40	1,60
Espesor	(cm)	0,20	1,30
Espaciamiento	(m)	0,39	1,50

## Subsectores de diseño en roca tipo brecha

En este dominio estructural se definieron tres subsectores de diseño, estos se caracterizan principalmente por la variación de los set de fracturas con la profundidad. En la zona más elevada de la mina aparece el subsector N° 1 definido por las líneas 27, 28 y 30; a continuación se tiene una zona intermedia que está definida por las líneas 3, 4, 6 y 7 y que corresponde al subsector N° 2. A cotas menores de esta estructura se define el subsector de diseño N° 3, representado por la agrupación de las líneas de detalle 11, 16, 18 y 19 respectivamente. Entonces el sector 1 está sobre la cota 330, el sector 2 entre las cotas 275 a 330 y el sector 3 bajo la cota 275. Cabe hacer notar que cada subsector en la zona de brecha de falla está limitado por contactos, es decir, donde termina la estructura -falla regional- (Tablas 9, 10 y 11).

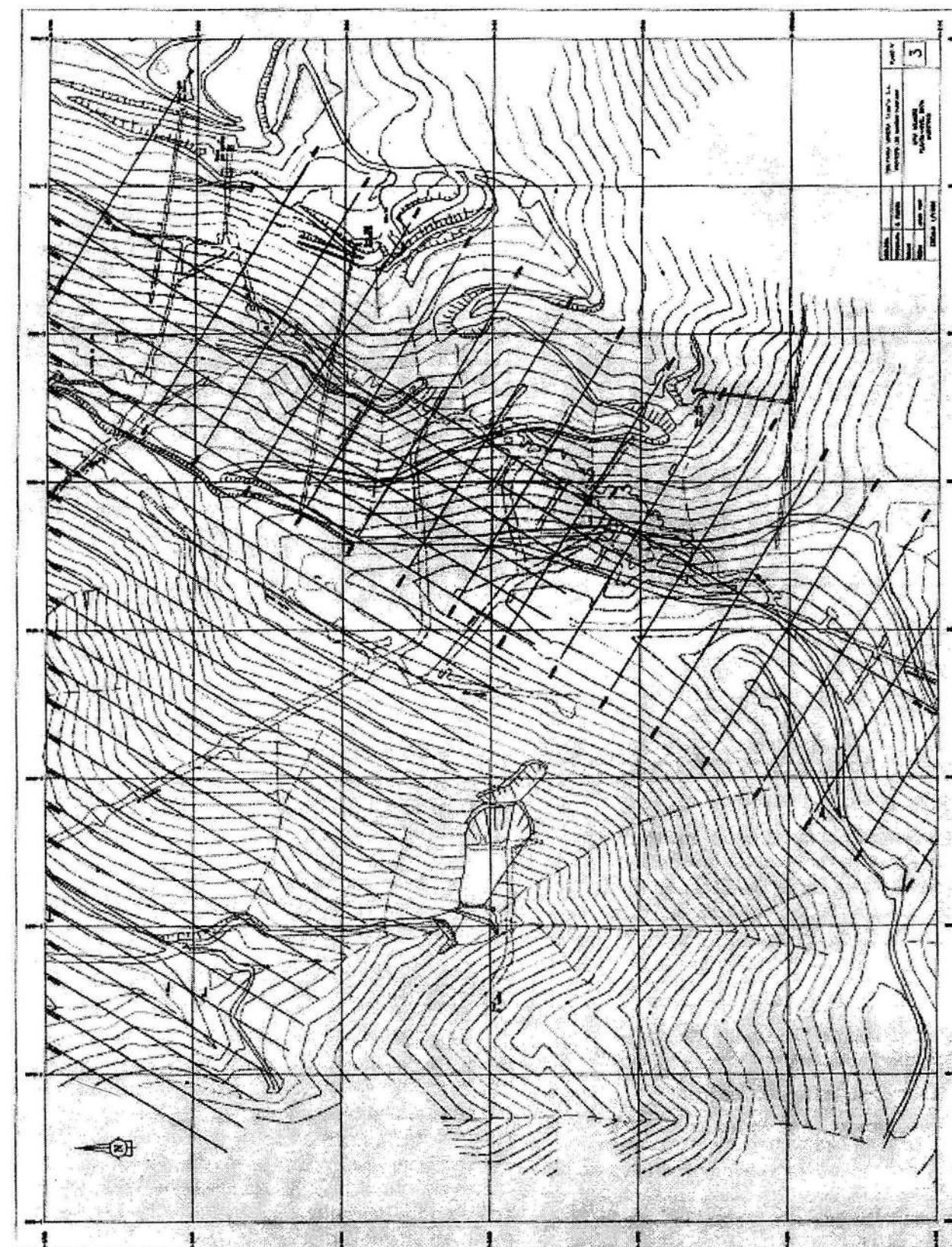


FIGURA 6. Plano general del sector Mina Milagro.



TABLA 9. Valores Medios para los Set Definidos en la Brecha de Falla. Subsector 1.

No. del Set		1	2	3	4	5	6	7
Direc del Manteo	(g)	273	44	324	214	48	90	300
Manteo	(g)	79	64	57	60	26	54	81
Largo	(m)	0,73	0,50	0,75	0,65	0,95	0,55	0,70
Espesor	(cm)	0,00	0,03	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00
Espaciamiento	(m)	0,26	1,68	1,10	2,00	0,79	0,80	0,22

TABLA 10. Valores Medios para los Set Definidos en la Brecha de Falla. Subsector 2

No. del Set		1	2	3	4
Direc de Manteo	(g)	265	328	237	288
Manteo	(g)	65	66	83	77
Largo	(m)	1,08	0,92	1,60	0,9
Espesor	(cm)	0,26	0,10	0,00	0,00
Espaciamiento	(m)	0,88	0,49	0,42	0,77

TABLA 11. Valores Medios para los Set Definidos en la Brecha de Falla. Subsector 3

No. del Set		1	2	3	4	5
Direc de Manteo	(g)	213	266	326	232	292
Manteo	(g)	67	71	69	74	78
Largo	(m)	0,83	1,07	0,65	1,00	0,60
Espesor	(cm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Espaciamiento	(m)	0,69	1,15	1,10	1,27	0,69

## Clasificación de Bieniawski (RMR89)

Para determinar el *rating* de resistencia del macizo rocoso en la zona, se empleó la Clasificación Geomecánica Transformada desarrollada por Bieniawski (1976, 1989). La tabla 12 presenta los resultados obtenidos al aplicar esta clasificación en los distintos dominios estructurales estudiados en el distrito Los Mantos de Punitaqui.

## Cálculo de los valores de GSI a partir de líneas de detalle y mapeo por celdas

En los sectores de Delirio, Los Mantos y Viña Vieja se determinaron los valores de GSI, se aplicó la clasificación de Bieniawski 89 directamente a la información obtenida en terreno, debido principalmente a toma de datos estructurales en líneas de detalle y en mapeos de celda; el resultado de este análisis son los valores mostrados en la Tabla 12.

TABLA 12. Resultados de la Aplicación de la Clasificación de Bieniawski en las zonas de Delirio, Los Mantos y Viña Vieja

Ubicación	Litología	RMR	GSI
Mina Delirio	Andesita	67	62
Los Mantos	Andesita	65	60
Los Mantos	Granodiorita	70	65
Viña Vieja	Andesita	70	65
Viña Vieja	Brecha de Falla	44	44

## Cálculo de los valores de GSI a partir de bases de datos

Mina Milagro ha sido uno de los sectores más estudiados por la Compañía Minera Tamaya; por esta misma razón se encuentran una serie de bases de datos, con parámetros de mapeo de sondajes en donde se aplica la clasificación de Laubscher (1990). Debido a la gran cantidad de información se optó por determinar los valores de GSI a partir de ellas.

Como en esta zona de estudio se definieron previamente subsectores de diseño, fue necesario parcelar la información. Para cada subsector se creó una base de datos con los valores de los tramos de sondajes pertenecientes a cada uno de ellos. Al final se obtuvieron planillas del orden de 200 datos para las variables medidas (IRS, RQD, Js, Jc y FF/m).

## Estimado de los valores RMR de Bieniawski a partir de los valores RMR de Laubscher

Debido a la gran cantidad de información existente para cada subsector y a que no existen expresiones que relacionen los valores de cada clasificación, se optó por generar una muestra al azar (20 % del total de valores en cada base de datos) y calcular el valor para el RMR de Bieniawski a partir de los valores para las expresiones de Laubscher, apoyado con la información de análisis de la fábrica de roca en Mina Milagro. Posteriormente se procedió a plotear los pares de datos origina-

dos (RMRL v/s RMRB) y a realizar el mejor ajuste para determinar una ecuación que relacionara las dos variables.

Para determinar el *rating* de la resistencia a la compresión uniaxial de acuerdo con la clasificación de Bieniawski, fue necesario usar el mismo procedimiento anterior para buscar una relación entre el valor del RCU y valor IRS de las tablas. Esto en el caso de la Andesita, ya que para la brecha de falla se consideró para el *rating* un valor del RCU entre 5 y 25 MPa. (Figura 7).

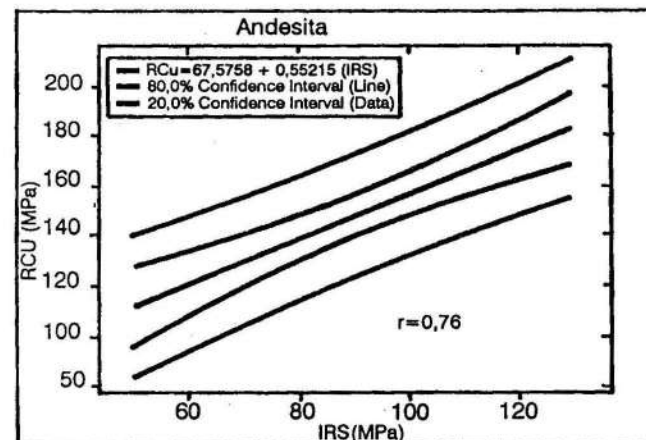


FIGURA 7. Ajuste Lineal para las Variables IRS v/s RCU en Andesita.

Con el ajuste lineal originado:

$$RCU = 67.576 + 0.8892 * IRS \quad (1)$$

se obtuvo la gama de valores para el RCU en las bases de datos de cada subsector. Con la muestra tomada al azar, se determinó un valor del RMR de Bieniawski por cada RMR de Laubscher. Las Tablas 13 a la 18 muestran parte de la estadística originada para las variables en estudio por cada subsector.

TABLA 13. Estadística para las Variables Analizadas en el Subsector 1 Mina Milagro. Andesita

Variable	Media	Varianza	Desv. Estándar
RQD	48,7	595,4	24,4
IRS	83,6	961,4	31,0
RCU	142,0	760,1	25,57
RMRL	46,9	78,9	8,9
RMRB	60,3	24,3	4,9

GSI 55,3

TABLA 14. Estadística para las Variables Analizadas en el Subsector 2 Mina Milagro. Andesita

Variable	Media	Varianza	Desv. Estándar
RQD	53,0	626,0	25,0
IRS	95,8	748,0	27,4
RCU	153,0	591,4	24,3
RMRL	50,4	82,0	9,0
RMRB	63,3	21,3	4,6

GSI 58,3

TABLA 15. Estadística para las Variables Analizadas en el Subsector 3 Mina Milagro. Andesita

Variable	Media	Varianza	Desv. Estándar
RQD	51,4	254,5	23,4
IRS	89,2	507,4	22,5
RCU	147,0	401,2	20,0
RMRL	49,2	59,0	7,7
RMRB	58,0	24,0	4,9

GSI 53,0

TABLA 16. Estadística para las Variables Analizadas en el Subsector 1 Mina Milagro. Brecha de Falla

Variable	Media	Varianza	Desv. Estándar
RQD	43,7	392,0	19,8
IRS	27,4	233,4	15,3
RMRL	38,7	75,7	8,7
RMRB	48,3	7,0	2,6

GSI 43,3

TABLA 17. Estadística para las Variables Analizadas en el Subsector 2 Mina Milagro. Brecha de Falla

Variable	Media	Varianza	Desv. Estándar
RQD	41,0	7 381,5	85,9
IRS	36,0	161,8	12,7
RMRL	37,9	75,0	8,7
RMRB	43,4	12,1	3,5

GSI 38,4

**TABLA 18. Estadística para las Variables Analizadas en el Subsector 3 Mina Milagro. Brecha de Falla**

Variable	Media	Varianza	Desv. Estándar
RQD	30,3	650,9	25,5
IRS	34,7	288,0	17,0
RMRL	33,3	88,8	9,4
RMRB	43,2	34,2	5,8
GSI	38,2		

### CONCLUSIONES

La información sobre las propiedades de resistencia y deformación de masas rocosas es importante en cualquier análisis minero tanto subterráneo como de superficie. Los métodos empleados para su obtención están poco desarrollados, debido a grandes dificultades encontradas en la realización en el terreno y a los problemas de alcanzar el concepto del tamaño crítico para estas variables. Así nace la necesidad de determinar valores para dichos parámetros en forma indirecta, mediante esquemas establecidos de sistemas de clasificación del macizo rocoso, como son RQD, RMR, GSI, etc., y con estos determinar una resistencia del macizo rocoso basado en datos empíricos de fracturas. Al analizar los resultados obtenidos por litología en la zona en estudio se puede establecer lo siguiente:

1) Para el dominio de las andesitas se aprecia una gran uniformidad en los valores obtenidos del Índice de Resistencia (GSI entre 60 y 65), independientemente de la zona analizada (rajo Delirio, Los Mantos, Viña Vieja). El rango de valores obtenidos para las variables que definen los parámetros resistentes para este sector son como sigue:

$$m_b = 2.95 \text{ a } 3.52 \quad S = 0.017 \text{ a } 0.0205$$

$$E = 17782 \text{ a } 23713 \text{ Mpa.}$$

2) Al considerar este dominio (andesita) en los sectores de diseño definidos en la mina Milagro, el índice de resistencia presenta también poca variación (GSI entre 53 y 58) y el rango de valores obtenidos para los

parámetros que definen la envolvente de fractura para el macizo rocoso fue el siguiente:

$$m_b = 2.30 \text{ a } 2.74 \quad S = 0.0054 \text{ a } 0.0094$$

$$E = 11885 \text{ a } 15849 \text{ Mpa.}$$

3) Para el caso del dominio de las brechas de fallas, prácticamente no existió una gran variación en los valores de los parámetros, a pesar de existir gran separación (5 km), entre las brechas estudiadas. El rango de valores determinados para este dominio fue:

$$m_b = 1.08 \text{ a } 1.91 \quad S = 0.0010 \text{ a } 0.0018$$

$$E = 2404 \text{ a } 3537 \text{ Mpa.} \quad GSI = 38 \text{ a } 43$$

4) Finalmente para el dominio de la granodiorita, a pesar de tener sólo una muestra puntual (Los Mantos), los valores para los parámetros resistentes obtenidos son representativos y extrapolables para toda la zona en estudio, y fueron:

$$m_b = 3.17 \quad S = 0.0147$$

$$E = 19953 \text{ Mpa.} \quad GSI = 62$$

### BIBLIOGRAFÍA

- BIENIAWSKI, Z.T.: «Rock Mass Classification in Rock Engineering», en: *Exploration for rock engineering*, Balkema, Cape Town, pp. 97-106, 1976.
- : *Engineering rock mass classifications*, Wilwy, New York, 1989.
- BRUNNER, F.E. y R. QUINTANA: *Análisis de la fábrica de roca y estudio preliminar de la existencia del macizo rocoso en Mina Tamaya*, Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica, Valparaíso, p. 4, 1997.
- DEERE, D.U.: *Technical Description of Rock Cores for Engineer Purposes. Rock Mechanics and Engineering Geology*, 1 (1); pp. 17-22, 1964.
- HOEK, E.: «Strength of Jointed, Rock Masses», en: *Rankine Lecture, Geotechnique*, pp. 187-223, 1983.
- : «Strength of rock and rock masses», en: *ISRM News Journal*, 2 (2), pp. 4-16, 1994.
- HOEK, E. y E.T. BROWN: *Underground Excavations in Rock*, Inst. Min. Metall., London, p. 527, 1980.
- : *Practical estimates of rock mass strength*, Submitted to the *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 1997.
- LAUBSCHER, D.A.: *Geomechanics Classification System for the Rating of Rock in Mine Design*, Inst. Min. Metall., 90, 2, pp.257-273, 1990.
- PALMSTRÖM, A.: *Characterizing the Strength of Rock Masses for Use in Design of Underground Structures*, Design and Construction of Underground Structures, New Delhi 23-25 February, 1995.

# El precableado como reforzamiento en explotación de vetas estructuralmente controladas y su aplicación en la Cía. Minera Tamaya, IV región, Chile

Alfonso Carvajal<sup>1</sup>  
Federico Brunner<sup>1</sup>  
Roberto Díaz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero, M. Sc. Universidad de la Serena, Chile  
<sup>2</sup>Jefe de operaciones de la Cía. Minera Tamaya

### INTRODUCCIÓN

La explotación de vetas, en general, se realiza por medio de sistemas selectivos y de baja productividad, unido al hecho de que estos yacimientos se encuentran bajo condiciones geoestructurales muy difíciles donde el ancho de explotación depende de la calidad de las rocas de la mena y las de caja y, en muchos casos, los cortes no pueden realizarse a plena potencia del cuerpo mineralizado sino por etapas, lo que genera una baja productividad.

Los métodos selectivos de explotación para menas de alto valor comercial son aquellos cuya producción la constituye solamente el material fragmentado por la voladura. Entre estos métodos se encuentra el de corte y relleno con sus variantes, la aplicación del cual, al menos en Chile, se limita a yacimientos con importantes contenidos de oro (>5 g/ton), como la mina El Indio, El Bronce, Cía. Minera Tamaya, etcétera.

Indudablemente, la explotación a plena potencia de una veta contribuye al aumento de la productividad y a la disminución de los costos generales de extracción.

Cuando las vetas tienen potencias mayores de 5 m (en algunos casos hasta 20 m), la explotación a plena potencia es posible si se mejora la estabilidad de la excavación. Una forma de lograrlo es mediante el precableado del bloque que se extrae y que a la vez constituye la futura cámara de explotación.

Los mecanismos probables para el mejoramiento de la estabilidad de macizos son los del modelo de apertado de rocas. Por un lado se sugiere que los pernos de anclaje o cables pretensionados aten bloques sueltos a un material más competente situado a una mayor profundidad, y por otro, se opina que se forma una zona de compresión, dando origen a una viga estructural capaz de soportar el peso del material destresado sobre la excavación, lo que sugiere que estos sistemas, más que soportadores de rocas, sean considerados elementos modificadores de la resistencia del macizo rocoso, transformándolo en un sistema de autosoporte.

Esta técnica se aplicó a un sector de la mina Milagro en la Cía. Minera Tamaya y se obtuvieron resultados satisfactorios.

### MECANISMO DE FALLAMIENTO EN EL ÁREA DE EXPOSICIÓN DE UNA CÁMARA

Generalmente, los efectos de la geología estructural y los esfuerzos inducidos por el minado interactúan e influyen en la formación de planos de debilidad que, de no ser controlados, pueden conducir a la inestabilidad general de la mina.

**RESUMEN:** Se presenta el precableado de cámaras explotadas en realce como sistema de reforzamiento tanto del techo como de las paredes. El uso de este sistema de pre-reforzamiento antes del minado constituye una solución para las vetas estructuralmente controladas que por razones de productividad se deben explotar a plena potencia. Se ofrecen los conceptos geomecánicos de los mecanismos provocadores de la inestabilidad en el techo y las paredes de una cámara explotada dinámicamente en realce.

El conocimiento de la respuesta de los cables bajo solicitaciones dinámicas de esfuerzos originados por el corte repentino y violento del techo con voladuras utilizando explosivo, constituye la base técnica que sustenta la aplicabilidad de este sistema de reforzamiento. Bajo estas condiciones de soporte es posible obtener alta productividad y seguridad al explotar vetas teniendo en cuenta el riesgo que representa la pequeña y mediana minería subterránea.

**ABSTRACT:** The use of cable for pre-reinforcement of roof and walls of stopes exploited by rising drifts is analyzed. Also, the practical applications and results of this technique at Cía Minera Tamaya (Coquimbo Region, Chile) are presented. The use of this method by installing long cables prior to mining could be a good alternative for structurally controlled veins that must be exploited to the full ore thickness. Otherwise these stopes can collapse under dynamic exploitation conditions. The geomechanical concepts that explain the mechanisms responsible for instability in the roof and wall of stopes, exploited by rising drifts are presented.

The understanding of cable behavior under the dynamic stress due to a sudden and violent cut of the roof by explosives is basic for the technical application of this reinforcement system. Finally, this method allows higher levels of productivity and safety at the small and medium mining levels of underground exploitation of vein-type ore deposits.

**Palabras claves:** Explotación de vetas, precableado, reforzamiento en minas.