



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

**CARACTERIZACION ESTRUCTURAL Y GEOTECNICA
DE LOS NIVELES SUPERIORES DE LA MINA ESTE
DEL YACIMIENTO LOS PELAMBRES**

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE GEOLOGO

MARIO EDUARDO SAEZ CATRILEO

PROFESOR GUÍA:

SRA. SOFÍA REBOLLEDO LEMUS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

SR. RICARDO THIELE CARTAGENA

SR. SERGIO SEPÚLVEDA VALENZUELA

SANTIAGO DE CHILE

2009

RESUMEN

El Yacimiento Los Pelambres es un yacimiento de tipo pórfido cuprífero adakítico, cuya mineralización corresponde principalmente a sulfuros de cobre, con porcentajes bajos de molibdeno y valores subordinados de oro y plata. El yacimiento se encuentra actualmente en explotación por rajo abierto. Durante la realización de este trabajo, entre los años 1992 a 1993, la explotación se realizaba por el método de hundimiento por subniveles. En esa época, con el fin de lograr una óptima planificación minera, se realizó la caracterización estructural y geotécnica de los niveles superiores de la Mina Este del yacimiento Los Pelambres.

En el área de estudio se reconocen cuerpos de diorita cuarcífera, pórfido dacítico y pórfido andesítico, las cuales se habrían emplazado durante el Mioceno Superior en rocas volcánicas asociadas al Cretácico Inferior. Las estructuras predominantes corresponden a fallas inversas de alto y bajo ángulo, orientadas NE. Las fallas inversas de bajo ángulo corresponderían a estructuras secundarias asociadas a la imbricación de secuencias de las de alto ángulo.

En general, las rocas del sector estudiado presentan calidad geotécnica variable entre buena (2a-2b) y regular (3a-3b) según la clasificación geotécnica de Laubscher (1990); puntualmente se reconocen rocas de calidad geotécnica mala (4a-4b). Debido a la cercanía de las rocas a la superficie se caracterizan las rocas con lixiviación total de calidad geotécnica mala (4a) y el coluvio de calidad geotécnica muy mala (5b). Los sectores atravesados por fallas, con influencia de 3 a 5 m, se les asigna una calidad geotécnica mala (4b).

Las calidades geotécnicas de las rocas de la Mina Este se encuentran controladas principalmente por una combinación del tipo litológico, estructuras geológicas mayores y diversas clases de alteración, conformando las distintas unidades geotécnicas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Minera Los Pelambres la oportunidad de presentar esta Memoria de Título, y en particular, al Sr. Alejandro Faunes, Superintendente de Geología, el cual permitió realizar este trabajo durante los años 1992 y 1993. Se agradece también a todo el personal de la Superintendencia, tanto geólogos, como dibujantes, secretario, muestreros y sondeadores; en forma especial a los Srs. Juan Céspedes, Igor Collado y Leonardo Flores por el apoyo brindado.

También se quiere agradecer en forma especial por su paciencia y dedicación a la Sra. Sofía Rebolledo, profesora guía de esta memoria y a Maria Rosa Roco, secretaria docente del Departamento de Geología de la Universidad de Chile.

*A mis padres
A mi esposa e hijas...*

INDICE

RESUMEN.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE	v
INDICE DE FIGURAS	vii
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE FOTOGRAFIAS	ix
1 INTRODUCCION	10
1.1.- GENERALIDADES	10
1.2.- OBJETIVOS.....	10
1.3.- UBICACION Y ACCESOS.....	11
1.4.- METODO DE TRABAJO.....	11
1.5.- TRABAJOS ANTERIORES.....	12
2.- MARCO GEOLOGICO REGIONAL	15
2.1.- ROCAS ESTRATIFICADAS	15
2.1.1 Formación Los Pelambres (Rivano y Sepúlveda, 1991):.....	15
2.1.2 Formación Salamanca (Rivano y Sepúlveda, 1991):.....	17
2.1.3 Formación Estero Cenicero (Rivano, 1980):.....	18
2.1.4 Formación Farellones (Aguirre, 1960; enmend. Rivano et al., 1990):	19
2.1.5 Formación Confluencia (Rivano y Sepúlveda, 1991):.....	19
2.1.6 Depósitos Cuaternarios:	19
2.2.- ROCAS INTRUSIVAS.....	20
2.2.1.- Superunidad Cogotí (Rivano et al., 1985).....	20
2.2.2.- Superunidad Río Grande (Rivano et al., 1985):.....	20
2.2.3.- Superunidad Río Chicharra (Rivano et al., 1985):.....	21
2.3.- ESTRUCTURAS	22
3 GEOLOGIA LOCAL	23
3.1 ROCAS ESTRATIFICADAS.....	23
3.1.1 Rocas estratificadas en la Mina Este	23
3.2 ROCAS INTRUSIVAS	23
3.2.1 Rocas Intrusivas en la Mina Este	25
3.3 FALLAS Y FRACTURAS.....	27
3.3.1 Estructuras en la Mina Este:.....	27
3.4 MINERALIZACION Y ALTERACION	28
4 CARACTERIZACION ESTRUCTURAL	30
4.1 TIPOS DE ESTRUCTURAS.....	30
4.2 ANALISIS DE DOMINIOS ESTRUCTURALES	30
4.2.1 Fallas:	34
4.2.2 Sets de Diaclasas:.....	38
4.2.3 Fracturas:.....	39
4.2.4 Clivajes de fractura:	40
4.2.5 Vetillas:	41
5.- CARACTERIZACION GEOTECNICA	44
5.1 GENERALIDADES.....	44
5.2 REVISION DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE CLASIFICACION GEOTECNICA	44
5.2.1 Sistema de Clasificación NGI.	46
5.2.2 Sistema de clasificación RMR.	49
5.3 PARAMETROS UTILIZADOS EN LA CLASIFICACION GEOTECNICA DE LAUBSCHER Y SU APLICACION EN LA MINA ESTE	51
5.3.1 RQD (Rock Quality Designation).....	51
5.3.2 IRS (Intact Rock Strength).....	51
5.3.3 Espaciamiento de Fracturas (Js).....	54
5.3.4 Condición de Fracturas (Jc)	56
5.4 CONSTANTES ELASTICAS.....	57
5.5 CALIDAD GEOTECNICA DE LAS ROCAS ESTUDIADAS	60

5.5.1	Generalidades	60
5.5.2	Descripción de unidades geotécnicas	60
5.6	APLICACIONES DEL MODELO GEOTECNICO AL SISTEMA PRODUCTIVO	62
6	CONDICIONES GENERALES DE ESTABILIDAD DE GALERIAS	66
7	CONCLUSIONES	69
8	REFERENCIAS.....	71
	ANEXO DE PLANTAS DE MODELO GEOTECNICO	74

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°1: ESQUEMA DE UBICACIÓN Y ACCESOS A MINA LOS PELAMBRES.....	11
FIGURA N°2: MAPA GEOLÓGICO REGIONAL EN EL ÁREA DE LOS PELAMBRES, FRAGMENTO DE RIVANO Y SEPÚLVEDA (1991).	16
FIGURA N°3: GEOLOGÍA DISTRITAL DEL YACIMIENTO LOS PELAMBRES.....	24
FIGURA N°3: GEOLOGÍA DISTRITAL DEL YACIMIENTO LOS PELAMBRES.....	24
FIGURA N°4: MAPA LITOLÓGICO Y ESTRUCTURAL DEL NIVEL 3093 DE LA MINA ESTE DEL YACIMIENTO LOS PELAMBRES.	26
FIGURA N°5A: ESTRUCTURAS PRINCIPALES, DOMINIOS ESTRUCTURALES DE LA MINA ESTE Y DEL NIVEL 3126. .	31
FIGURA N°5B: ESTRUCTURAS PRINCIPALES, DOMINIOS ESTRUCTURALES DE LA MINA ESTE Y DEL NIVEL 3115. .	31
FIGURA N°5C: ESTRUCTURAS PRINCIPALES, DOMINIOS ESTRUCTURALES DE LA MINA ESTE Y DEL NIVEL 3104. .	32
FIGURA N°5D: ESTRUCTURAS PRINCIPALES, DOMINIOS ESTRUCTURALES DE LA MINA ESTE Y DEL NIVEL 3093. .	32
FIGURA N°6: PLOTEO DE TODOS LOS DATOS DE FALLAS EN LOS NIVELES SUPERIORES DE LA MINA ESTE DEL YACIMIENTO LOS PELAMBRES. A: POLOS PARA PLANOS DE FALLAS, MOSTRANDO LOS PRINCIPALES ELEMENTOS ESTRUCTURALES. B: DIAGRAMA DE DENSIDAD PARA POLOS. C: DIAGRAMA DE ROSAS. D: PLANOS PRINCIPALES.	34
FIGURA N°7: PLOTEO DE TODOS LOS DATOS DE DIACLASAS EN LOS NIVELES SUPERIORES DE LA MINA ESTE DEL YACIMIENTO LOS PELAMBRES. A: POLOS PARA PLANOS DE DIACLASAS, MOSTRANDO LAS PRINCIPALES DIRECCIONES DE DIACLASAS. B: DIAGRAMA DE DENSIDAD PARA POLOS. C: DIAGRAMA DE ROSAS. D: PLANOS PRINCIPALES DE DIACLASAS.	38
FIGURA N°8: PLOTEO DE TODOS LOS DATOS DE FRACTURAS EN LOS NIVELES SUPERIORES DE LA MINA ESTE DEL YACIMIENTO LOS PELAMBRES. A: POLOS PARA PLANOS DE FRACTURAS, MOSTRANDO LAS PRINCIPALES DIRECCIONES DE FRACTURAS. B: DIAGRAMA DE DENSIDAD PARA POLOS. C: DIAGRAMA DE ROSAS. D: PLANOS PRINCIPALES DE FRACTURAS.	39
FIGURA N°9: PLOTEO DE TODOS LOS DATOS DE CLIVAJES DE FRACTURA EN LOS NIVELES SUPERIORES DE LA MINA ESTE DEL YACIMIENTO LOS PELAMBRES. A: POLOS PARA PLANOS DE CLIVAJES DE FRACTURA, MOSTRANDO LAS PRINCIPALES DIRECCIONES DE CLIVAJES DE FRACTURA. B: DIAGRAMA DE DENSIDAD PARA POLOS. C: DIAGRAMA DE ROSAS. D: PLANOS PRINCIPALES DE CLIVAJES DE FRACTURA.	40
FIGURA N°10: REDES ESTEREOGRÁFICAS DE VETILLAS DE CUARZO; CUARZO-PIRITA Y CUARZO-PIRITA-CALCOSINA.	42
FIGURA N°11: ESQUEMA DE DESPLAZAMIENTO RELATIVO DE FALLAS EN SECCIÓN W-E DEL MODELO GEOTÉCNICO DE LA MINA ESTE DEL YACIMIENTO LOS PELAMBRES.....	43
FIGURA N°12: CORRELACIÓN ENTRE EL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA NGI Y RMR, TAYLOR, 1980. .	45
FIGURA N°13: NOMOGRAMA PARA DETERMINACIÓN DE IRS PROMEDIO DONDE EL MACIZO ROCOSO CONTENGA ZONAS DÉBILES Y FUERTES (LAUBSCHER, 1990)	53
FIGURA N°14: NOMOGRAMA PARA DETERMINACIÓN DE RATING ESPACIAMIENTO DE DIACLASAS (LAUBSCHER, 1990)	54
FIGURA N°15: PERFILES DE RUGOSIDAD DE DIACLASAS UTILIZADO EN EL RATING DE LAUBSCHER EN LA MINA ESTE.	56
FIGURA N°16: GRAFICO DEL MÓDULO DE YOUNG EN DOS MUESTRAS DE BRECHA DE BIOTITA DE LA MINA ESTE. .	58
FIGURA N° 17A: MODELAMIENTO GEOTÉCNICO. CONDICIÓN DE TERRENO EN EL NIVEL 3126.	75
FIGURA N° 17B: MODELAMIENTO GEOTÉCNICO. CONDICIÓN DE TERRENO EN EL NIVEL 3115.	76
FIGURA N° 17C: MODELAMIENTO GEOTÉCNICO. CONDICIÓN DE TERRENO EN EL NIVEL 3104.	77
FIGURA N° 17D: MODELAMIENTO GEOTÉCNICO. CONDICIÓN DE TERRENO EN EL NIVEL 3093.	78
FIGURA N° 17E: MODELAMIENTO GEOTÉCNICO. CONDICIÓN DE TERRENO EN EL NIVEL 3080.	79
FIGURA N° 17F: MODELAMIENTO GEOTÉCNICO. CONDICIÓN DE TERRENO EN EL NIVEL 3067.....	80
FIGURA N° 17G: MODELAMIENTO GEOTÉCNICO. CONDICIÓN DE TERRENO EN EL NIVEL 3054.	81
FIGURA N° 17H: MODELAMIENTO GEOTÉCNICO. CONDICIÓN DE TERRENO EN LA SECCIÓN N-90100.....	82
FIGURA N° 17J: MODELAMIENTO GEOTÉCNICO. CONDICIÓN DE TERRENO EN LA SECCIÓN N-89850.	83
FIGURA N° 17L: MODELAMIENTO GEOTÉCNICO. CONDICIÓN DE TERRENO EN LA SECCIÓN E-59400.....	84
FIGURA N° 17M: MODELAMIENTO GEOTÉCNICO. CONDICIÓN DE TERRENO EN LA SECCIÓN E-59500.	84

INDICE DE TABLAS

TABLA N°1: DOMINIOS ESTRUCTURALES DE LA MINA ESTE DEFINIDOS A PARTIR DE DOMINIOS POR NIVELES DE LA MINA ESTE.....	32
TABLA N°1: DOMINIOS ESTRUCTURALES DE LA MINA ESTE DEFINIDOS A PARTIR DE DOMINIOS POR NIVELES DE LA MINA ESTE.....	33
TABLA N°2: RESUMEN DE ESTRUCTURAS OBSERVADAS EN LOS DOMINIOS ESTRUCTURALES DE LA MINA ESTE....	33
TABLA N°3A: PARÁMETROS UTILIZADOS EN EL SISTEMA NGI (BARTON ET AL., 1974).	47
TABLA N°3B: GRÁFICO DE RECOMENDACIÓN DE SOSTENIMIENTO A PARTIR DE LA CALIDAD DE ROCA Q.(BARTON ET AL, 1974).....	48
TABLA N°4: SISTEMA DE CLASIFICACIÓN RMR (BENIAWSKI, 1989).....	50
TABLA N°5: RANGOS DE JV Y RQD EN LA MINA ESTE.	51
TABLA N°6: CLASIFICACIÓN DE DUREZA RELATIVA UTILIZADA EN LA MINA ESTE (CMLP, 1993).....	52
TABLA N°7: VALORES ASIGNADOS AL IRS EN LA MINA ESTE.....	53
TABLA N°8: VALORES DE ESPACIAMIENTO DE FRACTURA OBSERVADOS EN DIFERENTES TIPOS LITOLÓGICOS DE LA MINA ESTE.....	55
TABLA N°9: VALORES OBTENIDOS DEL JC EN DIFERENTES TIPOS LITOLÓGICOS DE LA MINA ESTE.	56
TABLA N°10A: VALOR MEDIO DEL MÓDULO DE YOUNG EN LA MINA ESTE.	57
TABLA N°10B: VALOR MEDIO DE LA RAZÓN DE POISSON EN LA MINA ESTE.....	59
TABLA N°11: APLICACIÓN DEL MODELO GEOTÉCNICO AL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN SUB-LEVEL CAVING. MODIFICADO DE CMLP (1993).	63
TABLA N°12: SOSTENIMIENTO APLICANDO MRMR (LAUBSCHER, 1990).....	64
TABLA N°13: TÉCNICAS DE SOSTENIMIENTO (LAUBSCHER, 1990).....	65

INDICE DE FOTOGRAFIAS

FOTO N°1: RELLENO DE FALLA PILAR EN XP-39, NIVEL 3093. (FOTO MIRANDO AL S).....	35
FOTO N°2: FALLA PILAR CORTANDO BRECHA DE BIOTITA CON CLIVAJE DE FRACTURA, CRUZADO XP-41, NIVEL 3093 (FOTO MIRANDO AL N).....	36
FOTO N°3: CLIVAJE DE FRACTURA AFECTANDO BRECHA DE BIOTITA EN XP-39, NIVEL 3093. (FOTO MIRANDO AL N)	41
FOTO N°4: OQUEDAD EN LA PARED OESTE DEL SLOT S1-S2, DEL NIVEL 3104, EN BRECHA DE BIOTITA CON CIZALLE N30°W/50°W, DE 3M DE DIÁMETRO Y 5 M DE PROFUNDIDAD.	67
FOTO N°5: OQUEDAD EN EL TECHO DE CRUZADO XP-26, EN EL NIVEL 3104, 1M DE DIÁMETRO Y 3M DE PROFUNDIDAD.	67
FOTO N°6: RELLENO DE HALLOYSITA EN OQUEDADES, EN DIORITA BRECHIZADA, EN LA PARED SUR DEL CRUZADO XP19, EN EL NIVEL 3093.	68

1 INTRODUCCION

1.1.- GENERALIDADES

El Yacimiento Los Pelambres, corresponde a un yacimiento de tipo pórfido cuprífero. La mineralización es principalmente de sulfuros de cobre, con porcentajes bajos de molibdeno y valores subordinados de oro y plata.

El yacimiento se emplaza en un cuerpo intrusivo diorítico a granodiorítico, que pertenece a la Unidad Infiernillo, datada en 13 a 18 Ma (Mioceno). En el sector estudiado, esta unidad intruye rocas volcánicas y sedimentarias asignadas a la Formación Los Pelambres, de edad Cretácico Inferior. El conjunto presenta una alteración hidrotermal que ha sido datada en alrededor de 10 Ma y se encuentra intruido por numerosos cuerpos de pórfidos cuarzo-feldespáticos pequeños (Rivano y Sepúlveda, 1991).

La Mina Este, correspondiente al sector central del Distrito Minero Los Pelambres, que al momento de la realización del presente trabajo, entre los años 1992 y 1993, se encontraba en explotación por Minera Los Pelambres mediante el método de hundimiento por subniveles, con una tasa de extracción de 5000 ton/d desde Febrero de 1992. Con el fin de lograr una óptima planificación minera, el conocimiento acabado de las estructuras y de las características geotécnicas del macizo rocoso a ser explotado, se ha convertido en parte de la información básica requerida por las áreas de Planificación y Operación Minera.

Consecuente con lo anterior, y junto al inicio de la explotación de los niveles superiores, la Superintendencia de Geología consideró necesario realizar este estudio, el cual se orientó a mejorar el conocimiento geológico y geotécnico de la Mina Este entre los niveles 3126 y 3054, entre las coordenadas locales N89600 a N90200 y E59300 a E59600.

1.2.- OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo consiste en establecer las características estructurales principales de los niveles superiores de la Mina Este del Yacimiento Los Pelambres, entre los niveles 3126 y 3054, entre las coordenadas N89600 a N90200 y E59300 a E59600 y caracterizar geotécnicamente el macizo rocoso involucrado.

1.3.- UBICACION Y ACCESOS

El Yacimiento Los Pelambres está ubicado en la Cordillera de Los Andes, a unos 3.100 m s.n.m. muy próximo a la frontera con Argentina, en la región de Coquimbo, a unos 70 km. al NE de Salamanca y a unos 350 km. de la ciudad de Santiago (Fig.1). Sus coordenadas geográficas son 31°42' de Latitud S y 70°30' de Longitud W.

El acceso principal es por el Km 225 de la Carretera Panamericana Norte (Ruta 5 Norte) hasta Los Vilos, donde se continúa por el camino pavimentado que lleva a Illapel y Salamanca. Desde este último lugar, se prosigue unos 75 km. por un camino ripiado que conduce hasta el Yacimiento Los Pelambres.

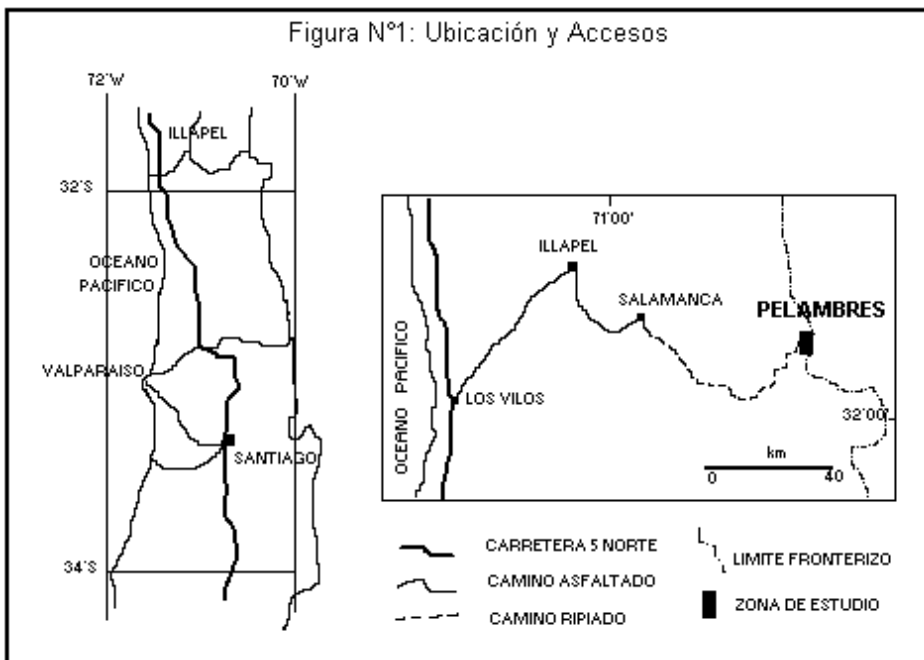


Figura N°1: Esquema de ubicación y accesos a Mina Los Pelambres.

1.4.- METODO DE TRABAJO

Se realizó una compilación de trabajos anteriores a nivel local y distrital, con énfasis en la información relacionada con la geología estructural y con estudios geotécnicos.

Con el fin de alcanzar los objetivos propuestos se realizó un levantamiento geológico-estructural de detalle (escala 1:500) de los niveles de explotación correspondientes a las cotas 3126, 3115, 3104 y 3093 m s.n.m., del Sector Este del Yacimiento Los Pelambres. Adicionalmente, junto con la información geológico-estructural, se evaluaron los parámetros geotécnicos requeridos para aplicar la clasificación geotécnica de Laubscher (1990).

Esta información fue volcada en mapas a escala 1:1000 correspondientes a cada uno de los diferentes niveles. En estos se definieron dominios estructurales basándose en direcciones preferenciales de estructuras mayores y/o sistemas de diaclasas y litología. Las discontinuidades de cada dominio fueron analizadas en redes estereográficas con apoyo de software computacional.

Posteriormente, se realizó la evaluación de los factores relevantes en una clasificación geotécnica, se revisaron las diferentes clasificaciones geotécnicas y los parámetros utilizados en la clasificación de Laubscher.

En particular, se utilizó la información contenida en mapeos anteriores, tanto de sondajes como de galerías. En algunos de dichos mapeos se utilizó el sistema de clasificación de Laubscher (1977 y 1990), en otros el sistema de Barton (1974); mientras que un importante número de sondajes sólo contiene información de RQD y frecuencia de fracturas. Con el fin de uniformar la información y dado que en este estudio se trabajó con la clasificación de Laubscher, se utilizó el algoritmo de conversión de Taylor (1980; in Laubscher, 1990) que permite traspasar el parámetro "Q" de Barton al Rating de Laubscher, para los casos donde se disponga del parámetro "Q". Por otra parte, a los sondajes que cuentan sólo con información de RQD y frecuencias de fracturas se les asignó una evaluación en base a las características litológicas y de alteración (Laubscher, 1990). En este último caso, los datos obtenidos se consideraron sólo como una ayuda para aproximaciones en sectores con poca o sin información.

Con la información geológico-estructural y geotécnica obtenida en los puntos anteriores se creó una base de datos (en software Lotus), la cual fue utilizada posteriormente por el software de Gemcom, Pc-Xplor y Geomodel para la generación de plantas a escala 1:1000, en las que se modeló la calidad geotécnica según la clasificación de Laubscher. Posteriormente, se seleccionaron secciones transversales y longitudinales representativas del Sector Este, mostrando el modelo en forma tridimensional, destacando las estructuras principales y su influencia en la calidad geotécnica de las diferentes unidades.

Con los resultados de los puntos anteriores y con la información recolectada in situ del comportamiento geotécnico del macizo, se evaluó la representatividad de la clasificación de Laubscher en el área estudiada, analizando la estabilidad en cada dominio, considerando la dirección de explotación proyectada.

1.5.- TRABAJOS ANTERIORES

Los estudios geológicos realizados en este yacimiento, desde su descubrimiento por William Braden en 1910, son numerosos. Destacan entre ellos:

Quirt y otros, quienes en 1971, dataron radiométricamente cuerpos intrusivos hipabisales, que afloran en el área del yacimiento Los Pelambres.

El informe técnico N° 21 preparado por las Naciones Unidas para el Gobierno de Chile en 1971, el cual presenta una compilación de antecedentes técnicos geofísicos, geológicos y geoquímicos, obtenidos de las investigaciones llevadas a cabo por el Proyecto Chile-28 NU-ENAMI en el Yacimiento Los Pelambres.

Posteriormente, en 1972, Vicente describe la geología regional del área con énfasis en la estratigrafía de las rocas Jurásicas y Cretácicas.

Sillitoe (1973), describe la geología, alteración hidrotermal y mineralización del Yacimiento Los Pelambres.

Se dispone además, de información geotécnica colectada entre enero de 1980 y noviembre de 1982, la cual fue utilizada en la evaluación geotécnica de estabilidad de taludes en el open pit del Proyecto Los Pelambres. Entre los trabajos relacionados a este estudio se encuentran:

- Anaconda S.A., octubre de 1980: determinación de propiedades físico-mecánicas en muestras de sondajes del yacimiento Los Pelambres.
- Anaconda S.A., mayo de 1981: determinación de parámetros físico mecánicos de muestras de rocas del yacimiento Los Pelambres.
- Anaconda S.A., octubre de 1981: determinaciones de edades en K/Ar realizadas en muestras de superficie de rocas intrusivas del Proyecto Los Pelambres.
- Anaconda S.A., marzo de 1982: determinación de fatigas in-situ en el Yacimiento Los Pelambres.
- Anaconda S.A., octubre de 1982: informe de avance del Proyecto Geotécnico Los Pelambres, en el cual se muestra en plantas escala 1:10.000 (niveles 3.600 al 2.960 m s.n.m.) la zonificación de los macizos rocosos en base a su comportamiento y propiedades geomecánicas.

En 1991, Rivano y Sepúlveda en la Hoja Illapel de la Carta Geológica de Chile a escala 1:250.000, entregan información acerca del marco geológico regional del Yacimiento Los Pelambres, definiendo las principales unidades intrusivas y estratificadas.

Minera Los Pelambres realizó en marzo de 1993, ensayos de mecánica de rocas en muestras del Sector Este del Yacimiento Los Pelambres.

Finalmente, esta empresa realizó entre mayo de 1992 y agosto de 1993 los levantamientos geológico-geotécnicos de las galerías de la Mina Este del Yacimiento Los Pelambres, los cuales se utilizan en informes de evaluación de reservas de octubre de 1992 y junio de 1993. Cabe destacar que el

autor de esta memoria tuvo participación en estos trabajos, los cuales fueron aprovechados como base para esta memoria.

2.- MARCO GEOLOGICO REGIONAL

En el sector donde se realiza el presente estudio, ubicado en la zona cordillerana de la IV Región (Fig.2), se reconocen rocas estratificadas, cuyas edades fluctúan entre el Cretácico Inferior y el Neógeno; y rocas intrusivas que corresponden principalmente a monzodioritas, monzonitas, dioritas, monzogranitos, granodioritas, sienogranitos, tonalitas, gabros, pórfidos cuarzo-feldespáticos y pórfidos dacíticos, cuyas edades fluctúan entre el Cretácico Superior Terminal y el Mioceno Superior.

2.1.- ROCAS ESTRATIFICADAS

Las rocas estratificadas que se reconocen en el área (Fig.2), corresponden a rocas volcánicas, sedimentarias continentales y sedimentarias marinas, cuyas edades varían entre el Cretácico Inferior y el Neógeno. Estas rocas son agrupadas en cinco formaciones, las cuales de más antigua a más joven son:

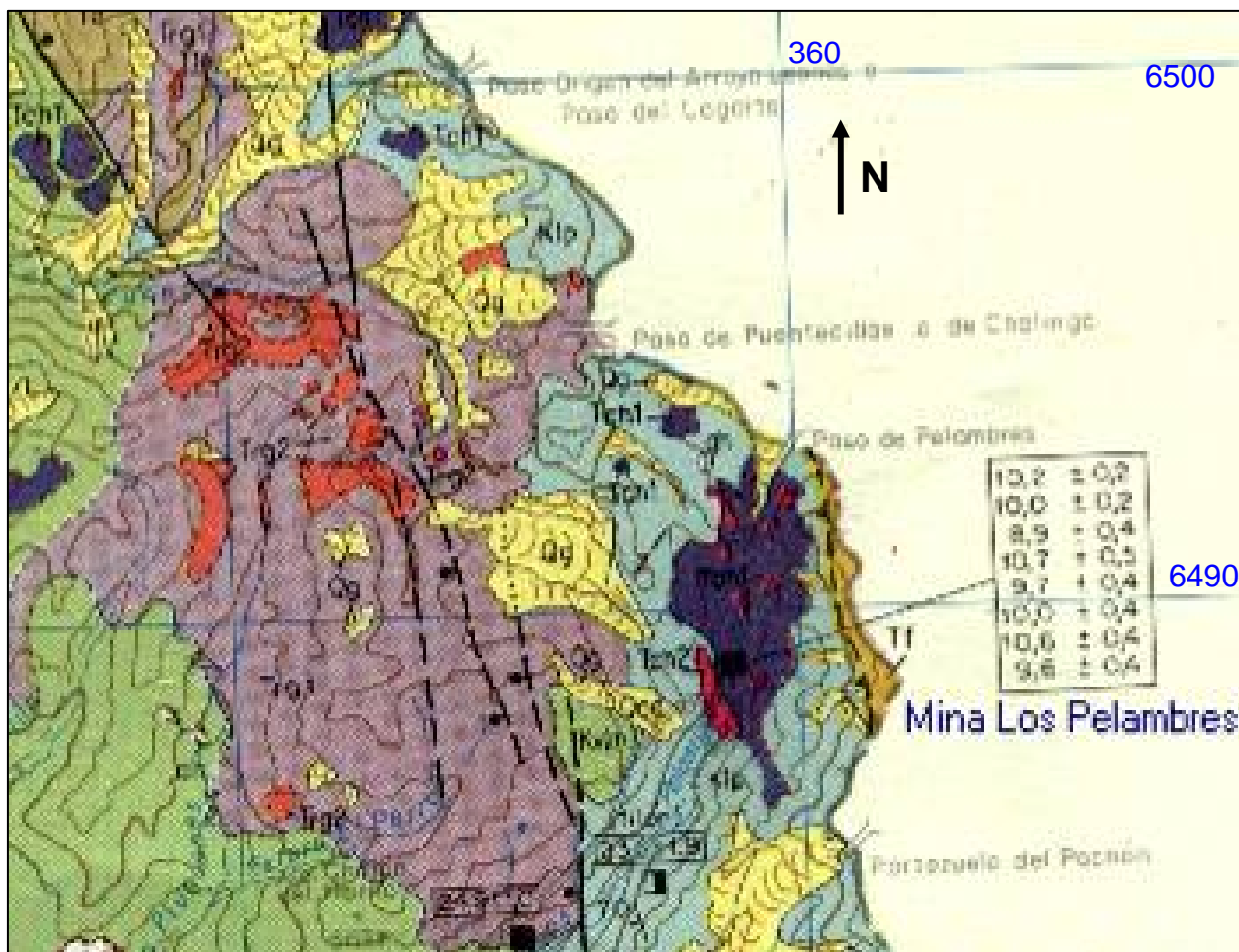
- Formación Los Pelambres (Rivano y Sepúlveda, 1991)
- Formación Salamanca (Rivano y Sepúlveda, 1991)
- Formación Estero Cenicero (Rivano, 1980)
- Formación Farellones (Aguirre, 1960; enmend. Rivano et al., 1990)
- Formación Confluencia (Rivano y Sepúlveda, 1991)

2.1.1 Formación Los Pelambres (Rivano y Sepúlveda, 1991):

Corresponde a una secuencia constituida por lavas, brechas y conglomerados andesíticos, tobas arenosas y areniscas que aflora en la Cordillera Principal (Rivano y Sepúlveda, 1991).

Esta formación fue afectada por un fuerte plegamiento, distinguiéndose las capas inclinadas con manteos entre 50° a 80°W y fallamiento inverso. Su espesor se ha estimado en más de 2300 m en base a perfiles levantados por Olivares (1985). Los afloramientos de esta formación se distribuyen en el sector oriental del área, en una franja de unos 10 Km de ancho, de dirección norte-sur (Rivano y Sepúlveda, 1991).

Figura N°2: Mapa Geológico Regional en el área de Los Pelambres, fragmento de Rivano y Sepúlveda (1991).



LEYENDA

Cenozoico	Cuaternario	Qac	Sedimentos aluviales y coluviales
	Cuaternario	Qg	Sedimentos glaciales y fluvio-glaciales
	Terciario Neógeno	Tc	Formación Confluencia
	Terciario Paleógeno	Tf	Formación Farellones
Mesozoico	Terciario Paleógeno	Tie	Formación Estero Cenicero
	Cretácico Superior	Kv(m)	Formación Salamanca, Miembro Río Manque
	Cretácico Inferior	Klp	Formación Los Pelambres

- | | | |
|-----------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Intrusivos Terciarios | Tch3 | 3 Unidad Tambillos |
| | Tch2 | 2 Unidad Portezuelo del Azufre |
| | Tch1 | 1 Unidad Río Cerro Blanco |
| | Trg2 | 2 Unidad El Polvo |
| | Trg1 | 1 Unidad Río Las Cuevas |
| | Intrusivos Cretácico-Terciarios | KTc2 |
| KTc1 | | 1 Unidad Fredes |
| | | Super Unidad Cogotí |

SIMBOLOGIA

- Contacto geológico, segmentado indica inferido.
- Falla, falla con indicación de movimiento horizontal relativo; segmentado indica inferido.
- Falla normal, segmentado indica inferido, símbolo (1) indica bloque hundido, puntos indican falla cubierta.
- Falla inversa, segmentado indica inferido; borde dentado indica inclinación del plano.
- Falla probable y/o lineamiento foto-geológico.
- Eje de pliegue anticlinal indicando buzamiento del eje.
- Eje de pliegue sinclinal indicando buzamiento del eje.
- Eje de pliegue sinclinal volcado.
- Rumbo y manto de estratos.
- Estratos horizontales.
- Área con alteración hidrotermal
- Edades radiométricas K-Ar en Ma. En Biotta y Plagioclasa.

La Formación Los Pelambres subyace concordantemente a la Formación Pucalume (Barremiano-Albiano) y es cubierta discordantemente por la Formación Salamanca (Cretácico Superior). Dado que la Formación Pucalume aparece en el sector nororiental del área cubriendo concordantemente a la Formación Río Tascadero, sedimentaria marina (Berriasiano Sup.-Hauteriviano), es posible establecer una contemporaneidad al menos parcial entre la Formación Río Tascadero y la Formación Pelambres, asignando entonces a la Formación Los Pelambres una edad Neocomiana, aunque su base podría ser más antigua (Rivano y Sepúlveda, 1991).

La Formación Los Pelambres correspondería a los depósitos del borde más oriental de la zona volcánica del Cretácico Inferior; es decir, un ambiente subaéreo, con intercalaciones sedimentarias de carácter litoral, las que corresponderían en parte, a un período de escasa actividad volcánica y/o ascensos episódicos del nivel del mar, el cual se hacía presente ocasionalmente en el dominio volcánico (Rivano y Sepúlveda, 1991).

2.1.2 Formación Salamanca (Rivano y Sepúlveda, 1991):

La Formación Salamanca corresponde a una secuencia de lavas, tobas y brechas andesíticas, con intercalaciones riolíticas (Fig.2) que ocupa la mayor parte de la media montaña, al oriente de Salamanca y Combarbalá; y gran parte de la Cordillera Principal adoptando la forma de un amplio sinclorium (Vicente, 1993).

La Formación Salamanca consta de dos miembros: el miembro inferior o Miembro Santa Virginia y el miembro superior o Miembro Río Manque (Rivano y Sepúlveda, 1991). En el área de interés de este estudio, aflora exclusivamente el Miembro Río Manque, formando una franja de orientación norte-sur, en la parte occidental del área.

El Miembro Santa Virginia es principalmente conglomerádico, con areniscas rojas e intercalaciones escasas de fangolitas y calizas lacustres. Representa condiciones de depositación en ambiente de pie de monte y llanura aluvial, con características proximales en la base (conglomerados muy gruesos, bien redondeados, con escasa matriz tamaño arena) y más distales hacia arriba (abundancia de areniscas rojas e intercalación de fangolitas lacustres, que pueden interpretarse como representantes de depósitos de llanura aluvial con pequeños lagos temporales) (Rivano y Sepúlveda, 1991).

El Miembro Río Manque está constituido por abundantes niveles de brechas volcánicas andesíticas a dacíticas, con intercalaciones subordinadas de conglomerados y areniscas e incluso calizas lacustres. Caracteriza un período de intenso volcanismo durante el Cretácico Superior (Rivano y Sepúlveda, 1991).

La Formación Salamanca cubre en discordancia a las Formaciones Quebrada Marquesa (Barremiano-Albiano?) y Pucalume (Barremiano-Albiano?) en el sector de la Cordillera Principal y a las Formaciones Quebrada Marquesa y Arqueros (Neocomiano), en el sector de la Mediana Montaña y Cordillera de la Costa. La Formación Salamanca sobreyace en discordancia angular a la Formación Los Pelambres (Neocomiano?) en el sector sur oriental del área, y sobreyace también, en contacto tectónico a la Formación Estero Cenicero (Paleoceno - Eoceno) en la parte noreste del área (Rivano y Sepúlveda, 1991).

La edad de la Formación Salamanca ha sido establecida en base al hallazgo de restos óseos de vertebrados correspondientes a dinosaurios. Estos fueron encontrados en rocas volcánicas y sedimentarias clásticas continentales correspondiente a la parte superior de esta formación, en el área de Pichasca, ubicada aproximadamente 40 km. en línea recta al noreste de la ciudad de Ovalle. A la secuencia fosilífera se le asigna una edad mínima Maestrichtiana superior (Casamiquela et al., 1969). Rivano y Sepúlveda (1991) en base a dataciones radiométricas (67-35 Ma) en rocas intrusivas pertenecientes a la Unidad San Lorenzo y a la Superunidad Cogotí las cuales cortan esta secuencia, asignan a la Formación Salamanca una edad pre-cenozoica.

2.1.3 Formación Estero Cenicero (Rivano, 1980):

La Formación Estero Cenicero tiene una potencia aproximada de 1.300 m y una disposición homoclinal con rumbo N10°-45°E y manteo de 10°-15° al NW (Olivares, 1985). La litología corresponde a lavas, brechas andesíticas y tobas brechosas hacia la base (Rivano y Sepúlveda, 1991).

Los afloramientos de esta unidad aparecen rellenando el Graben Estero Cenicero, limitado al oeste y al este por fallas normales que la ponen en contacto con la Formación Salamanca (Fig.2) y con la Formación Los Pelambres que se expone más al norte del área. La disposición estructural diferente: Formación Salamanca, homoclinal al oeste, con manteo 35°-40° al oeste del graben; Formación Los Pelambres con manteo 50°-65°W al este y Formación Estero Cenicero, subhorizontal, con manteo máximo de 25°-30°, indican una discordancia angular con las unidades mesozoicas. El techo de la formación lo constituye la actual superficie de erosión (Rivano y Sepúlveda, 1991).

Los afloramientos de esta formación se distribuyen en una franja norte-sur, en el sector oriental del área de interés de este estudio.

Rivano y Sepúlveda (1991) en base a dataciones radiométricas en un cuerpo que intruye a la Formación Estero Cenicero (Hervé y Munizaga, in Rivano, 1980), y debido a que ésta sobreyace discordantemente a la Formación Salamanca (Cretácico Superior) le asignan una edad paleocena - eocena.

2.1.4 Formación Farellones (Aguirre, 1960; enmend. Rivano et al., 1990):

Esta unidad está constituida por un miembro inferior formado por tobas líticas, riolíticas a riocáciticas, de espesor promedio entre 130 y 170 m; y un miembro superior, con un espesor mínimo de 1000 m, que corresponde en su mayor parte a lavas andesíticas y andesítico basálticas, con intercalaciones de aglomerados (Rivano y Sepúlveda, 1991). La Formación Farellones fue depositada durante un período de volcanismo intenso y representa uno de los ciclos efusivos más importantes en el desarrollo del ciclo andino (Olivares, 1985).

La Formación Farellones se extiende principalmente en el extremo suroriental del área (Fig.2), entre los portezuelos Pachón y los Pelambres (en la frontera extendiéndose a la Argentina) y en el sector del río Alitre-Laguna del Pelado. En este sector, la Formación Farellones sobreyace en contacto por falla a la Formación Los Pelambres.

En base a dataciones radiométricas se asigna una edad Mioceno: 17 ± 2 Ma K/Ar en biotita (Munizaga y Vicente, 1982) para la base de la formación y, $13,5 \pm 0,4$ Ma para la parte media, K/Ar en roca total (Munizaga y Vicente, 1982).

2.1.5 Formación Confluencia (Rivano y Sepúlveda, 1991):

La Formación Confluencia está constituida por depósitos de gravas, arenas y limos, semiconsolidados, continentales, de origen fluvio-aluvial.

En base a la relación de engrane lateral con los depósitos marinos de la Formación Coquimbo, Rivano y Sepúlveda (1991) asignan una edad Mioceno-Plioceno a esta formación.

En el área de interés de este estudio, los afloramientos de esta formación se reconocen en el estero Fuentecillos, cubriendo al miembro Santa Virginia de la Formación Salamanca, (Rivano y Sepúlveda, 1991).

2.1.6 Depósitos Cuaternarios:

En el sector oriental del área de interés de este estudio (Fig.2), se observan sedimentos glaciales y fluvioglaciales, depósitos morrénicos, glaciares de roca, escombros crionivales y sedimentos morrénicos retrabajados por agua (Rivano y Sepúlveda, 1991).

En el sector occidental del área, se reconocen sedimentos aluviales y coluviales (Rivano y Sepúlveda, 1991).

2.2.- ROCAS INTRUSIVAS

Los intrusivos que afloran en el área (Fig.2) pertenecen a las siguientes Superunidades: Cogotí, Río Grande y Río Chicharra, cuyas edades fluctúan entre el Cretácico Superior Terminal y el Mioceno Superior. Los cuerpos intrusivos de estas superunidades tienen edades decrecientes hacia el Este (Rivano y Sepúlveda, 1992).

2.2.1.- Superunidad Cogotí (Rivano et al., 1985)

En esta franja elongada de granitoides de sentido norte-sur que intruyen a la Formación Salamanca se distinguen dos unidades: la Unidad Fredes y la Unidad Nogalada.

- Unidad Fredes (Rivano et al., 1985)

Dentro de la Superunidad Cogotí esta unidad es la más importante, areal y volumétricamente, ocupa la posición más oriental del área (Fig.2) dentro de la franja de los intrusivos cretácicos, incluye granodioritas, tonalitas, monzodioritas de hornblenda y biotita, y dioritas de anfíbola y piroxeno, siendo predominantes los términos monzodioríticos a dioríticos. La textura es hipidiomórfica, equigranular, con un tamaño de grano fino a grueso (0,5-3mm).

La Unidad Fredes cuenta con numerosas dataciones que van desde los 67 a los 35 Ma, los cuales ubicarían la edad de la unidad entre el Cretácico Superior Terminal y el Terciario Inferior (Paleoceno-Oligoceno) (Rivano y Sepúlveda, 1991).

-Unidad Nogalada (Rivano et al., 1985):

Formada por pequeños cuerpos de hololeucogranitos (sieno y monzogranitos), con muy poca biotita y anfíbola de grano medio, a veces, con texturas mirmequíticas y pobres en ferromagnesianos. No hay datos radiométricos disponibles para esta unidad, pero la estrecha relación areal con la Unidad Fredes permite suponer un intervalo similar de edad.

2.2.2.- Superunidad Río Grande (Rivano et al., 1985):

Conjunto de rocas intrusivas, ácidas a básicas, que en gran parte constituyen el cordón fronterizo que se extiende hacia Argentina (Fig.2). Se distinguen dos unidades diferentes: Unidad Río Las Cuevas y Unidad El Polvo.

- Unidad Río Las Cuevas (Rivano et al., 1985):

La más importante areal y volumétricamente, constituyendo un 95% de la Superunidad Río Grande. Corresponde a monzogranitos y granodioritas de biotita y hornblenda, que pueden mostrar variaciones a facies más de borde de carácter monzonítico a monzodiorítico.

Los monzogranitos son rocas de color blanco a rosado claro, de grano medio a grueso y textura hipidiomórfica, que a veces muestran algunos efectos cataclásticos. Las granodioritas, monzodioritas y monzonitas presentan características texturales similares a los monzogranitos.

Esta unidad cuenta con dos dataciones K/Ar en biotita que la ubican en el Mioceno más inferior, casi en el límite con el Oligoceno.

- Unidad El Polvo (Rivano et al., 1985):

Formada por un gran número de pequeños cuerpos de composición variable entre dioritas de anfíbola-piroxeno a gabros de piroxeno. Sus bordes de contacto, suelen ser nítidos y tajantes; la textura es siempre idiomórfica, inequigranular.

Se dispone de una datación K/Ar, en roca total, que dió un valor de $26,3 \pm 1,1$ Ma (Rivano et al., 1985), ubicando a la unidad en el Oligoceno Superior.

2.2.3.- Superunidad Río Chicharra (Rivano et al., 1985):

Se ubica en una posición meridional respecto a la Superunidad Río Grande (Fig.2). Corresponde a rocas intrusivas y probablemente también subvolcánicas, ácidas e intermedias, que exponen en general en superficie, cuerpos con dimensiones desde stocks a filones; intruyen a unidades cretácicas (Formaciones Los Pelambres y Salamanca) y terciarias (Formaciones Estero Cenicero y Farellones). Se ha separado en tres unidades: Unidad Río Cerro Blanco, Unidad Portezuelo del Azufre y Unidad Tambillos.

- Unidad Río Cerro Blanco (Rivano et al., 1985):

Constituida por monzodiorita, monzogranito, monzonitas y dioritas de biotita-hornblenda-piroxeno. Aflora en la mitad norte del Plutón Estero Fuentecillas, en el Plutón Pelambres, en parte del Plutón Río Cerro Blanco y en el Plutón del Río Totoral. Las rocas de esta unidad se distinguen por su textura de grano fino; una abundancia relativa de minerales máficos, reflejada en su índice de color entre 7 y 40, por el predominio de anfíbolos y piroxeno, sobre las micas, y por un bajo contenido de cuarzo. Presentan una textura hipidiomórfica equigranular de grano fino, donde el piroxeno muestra en parte, uralitización parcial en los bordes.

Las edades obtenidas para esta unidad han dado valores entre 14 y 17 Ma, lo que la sitúa en el Mioceno Medio.

- Unidad Portezuelo del Azufre (Rivano et al., 1985):

Esta unidad constituye pequeños cuerpos ácidos, porfídicos, de características subvolcánicas. Presentan textura porfídica. La edad mínima asignada a estos porfidos cuarzo feldespáticos es de $13,3 \pm 0,9$ Ma, datación K/Ar en roca total (Cuitiño, 1985) la cuál ubicaría a la unidad en Mioceno Medio.

- Unidad Tambillos (Rivano et al., 1985):

En esta unidad se integran una franja de pórfidos dacíticos con una orientación NNW, se integran también una serie de filones y cuerpos lacolíticos de carácter dacítico a monzonítico-cuarcífero. Son cuerpos pequeños, de colores claros, gris-blanquecinos a rosados con textura porfídica.

Esta unidad consta de una sola datación (10 Ma), la cual permite relacionarla con la edad de alteración del Yacimiento Los Pelambres (Rivano y Sepúlveda, 1991) y la ubicaría en el Mioceno Superior.

2.3.- ESTRUCTURAS

Las formaciones sedimentarias, volcánico sedimentarias y volcánicas presentan, en el área (Fig.2), un rumbo general NNW con manteo hacia el W, formando parte de un amplio sinclinorio cuyo eje coincidiría aproximadamente con el meridiano de Illapel (Auboin et al., 1973; Charrier, 1981).

En el extremo norte aparecen fallas normales subverticales de rumbo aproximado N a NNW, las cuales generan el graben Estero Cenicero. En éste, se exponen el contacto entre la Formación Estero Cenicero y las formaciones Los Pelambres y Salamanca, hacia el E y W respectivamente. Esta estructura es la continuación septentrional de la Megafalla Pocuro (Rivano y Sepúlveda, 1991).

La Megafalla Pocuro (Carter y Aguirre, 1965) se extiende hacia el sur del área de estudio y consiste en un conjunto de fallas normales (Padilla, 1980; Aguirre 1960; Carter y Aguirre, 1965) conformando una zona de rocas miloníticas y cataclásticas con un alineamiento de fuentes termales (Lahsen, A. 1976) y se estima que su actividad principal habría ocurrido durante el Mioceno Inferior (Moscoso, 1982) con reactivamientos posteriores (Rivano, 1980).

Durante el Plioceno-Pleistoceno se desarrolló un episodio de plegamiento que afectó a las secuencias estratificadas, correspondiendo a la última etapa de deformación reconocida en la zona (Charrier, 1981). Esta además se manifiesta con fallas normales determinando así los actuales rasgos morfoestructurales de la Cordillera de Los Andes en este sector (Olivares, 1985).

3 GEOLOGIA LOCAL

3.1 ROCAS ESTRATIFICADAS

En el sector occidental del distrito (Fig.3) se reconocen afloramientos de rocas volcánicas asignadas a la Formación Los Pelambres, de edad cretácica inferior (Rivano y Sepúlveda, 1991). Estas corresponden a lavas andesíticas (Acosta, 1981; Rivano y Sepúlveda, 1991), tobas y brechas volcánicas (Acosta, 1981), fuertemente plegadas y con rumbos NS y manteos de 45° a 60° al Oeste. Hacia el Este los afloramientos tienen menor expresión areal y exhiben rumbo N10°E con manteos de 40° al Este (Ávila et al., 1992). Las rocas de esta formación se encuentran intruidas por un stock diorítico y por pórfidos dacíticos y dioríticos (Acosta, 1981).

3.1.1 Rocas estratificadas en la Mina Este

Las rocas que se reconocen en la Mina Este corresponden a rocas volcánicas andesíticas. Las andesitas se distribuyen en el sector noreste y norte en forma discontinua como bloques de hasta 50 m de diámetro con formas y contornos irregulares. Ocupan de 2 a 3% del volumen total y generalmente aparecen como inclusiones dentro de las unidades ígneas.

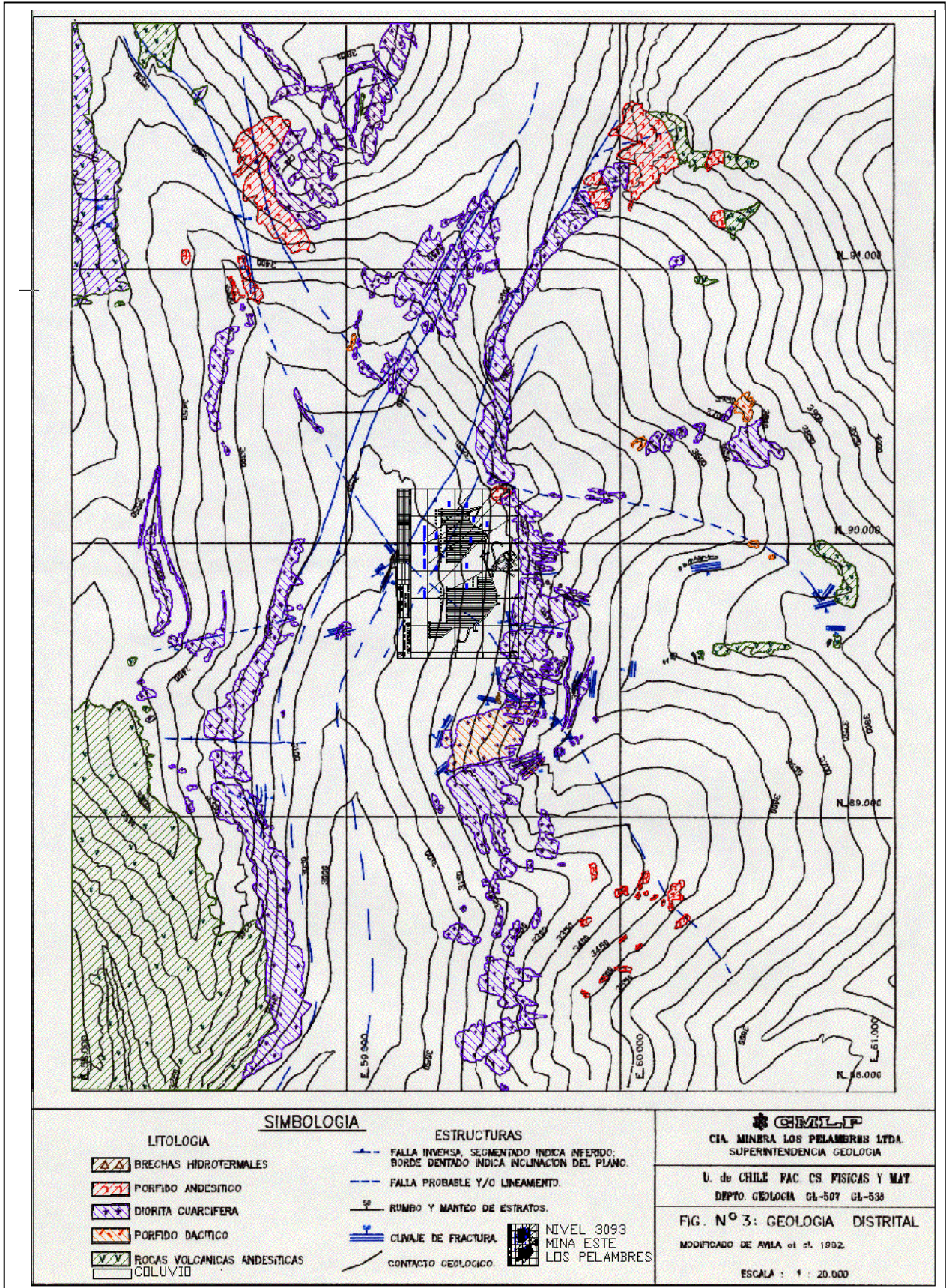
3.2 ROCAS INTRUSIVAS

En el área de estudio (Fig.3) se reconocen cuerpos de diorita cuarcífera, pórfido dacítico y pórfido andesítico asignados a la Superunidad Río Chicharra (Ávila et al., 1992). Dataciones radiométricas en el área de estudio indican que estas rocas ígneas se habrían emplazado durante el Mioceno superior, aproximadamente entre 8 y 10 Ma (Munizaga y Vicente, 1982; Rivano y Sepúlveda, 1991).

La diorita cuarcífera presenta la mayor expresión areal en el centro del distrito y ocurre en la forma de un cuerpo elongado de orientación NS. Presenta una textura fanerítica, subequigranular de grano fino a medio (0.5-2.0 mm) y está constituida por plagioclasas y feldespato potásico (30-60%), cuarzo (10-15%), muscovita y biotita (20-30%) (CMLP, 1993).

Los afloramientos del pórfido dacítico se ubican en el sector nororiental del distrito, son restringidos y adquieren mayor expresión en la zona Sur del distrito (Ávila et al., 1992). Presenta una textura porfírica, con 50-60% de matriz afanítica compuesta por cuarzo, plagioclasas, feldespato alcalino y biotita; los fenocristales están constituidos por plagioclasas panidiomórficas de tipo oligoclasa-albita (20-30%), feldespato alcalino (10-15%), biotita hipidiomórficas (10-20%) y cuarzo (10-15%) (CMLP, 1993).

Figura N°3: Geología Distrital del Yacimiento Los Pelambres.



El pórfido andesítico que aflora principalmente al NE y NW del distrito tiene forma elongada. Estas rocas tienen textura porfírica, con 50-60% de fenocristales de plagioclasa (20%), biotita (15%), ortoclasa y cuarzo (10-15%). La masa fundamental consiste en un agregado de cuarzo y feldespatos (CMLP, 1993).

Acosta (1981) sugiere que la diorita correspondería al tipo litológico más antiguo, el cual es intruido por los pórfidos dacítico y andesítico. Sin embargo, Avila et al. (1992) describe evidencias geológicas distritales que sugieren que la diorita intruye al pórfido dacítico, los que a su vez son intruidos por el pórfido andesítico. Finalmente, CMLP (1993) documenta en la Mina Este, que el pórfido andesítico corresponde a la intrusión temprana y el pórfido dacítico a la intrusión tardía. La diorita se habría emplazado entre ambas intrusiones.

Estos antecedentes, unido a los datos radiométricos que indican edades similares, traslapadas por el factor de error (Rivano y Sepúlveda, 1991), sugieren que estos tres cuerpos corresponden a un mismo evento ígneo representado por tres tipos litológicos que muestran intrusiones mutuas.

3.2.1 Rocas Intrusivas en la Mina Este

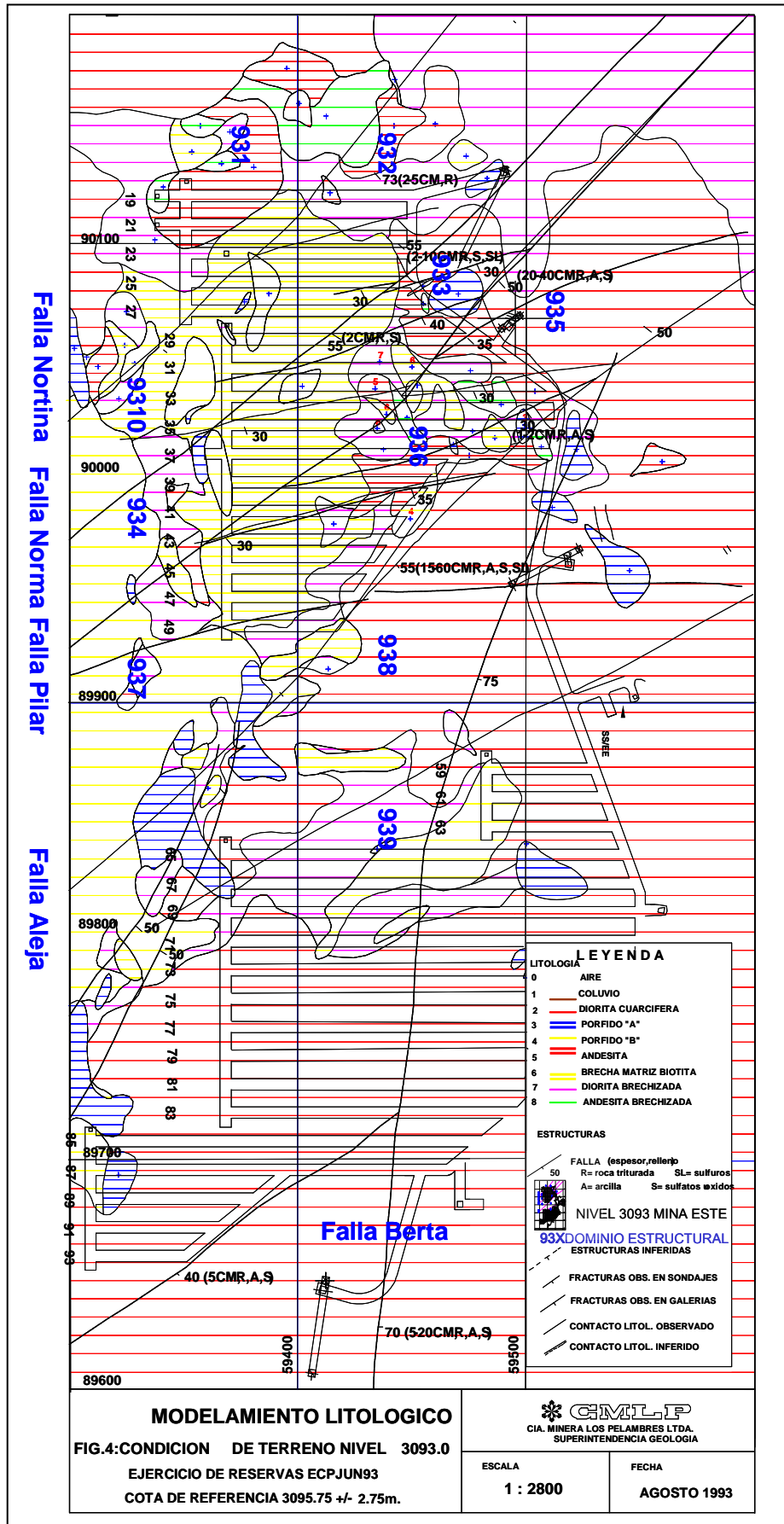
Las rocas que se reconocen en la Mina Este corresponden a pórfido dacítico, diorita cuarcífera, pórfido andesítico y brecha de biotita.

El pórfido dacítico se encuentra distribuido preferentemente en el sector Central-Oeste como cuerpos elongados en dirección aproximadamente NS. Esta unidad constituye cerca de un 12% del total de rocas de la Mina.

La diorita cuarcífera representa la unidad con mayor expresión areal en la Mina Este, abarcando aproximadamente un 75% del volumen total. El contacto de esta unidad con otras rocas de la Mina Este está orientado en dirección NE. El pórfido andesítico ocupa el 3% del volumen total, distribuyéndose en forma no homogénea en el sector Este; aparece como bloques pequeños de formas irregulares aunque con una cierta tendencia NS.

La brecha de biotita se encuentra principalmente en el sector norte y presenta formas irregulares aunque se visualiza una cierta orientación al noroeste y noreste. Comprende cerca de un 8% del volumen total con dimensiones máximas en planta de 250 m de largo y 200 m de ancho en el subnivel 3104. Esta brecha presenta una relación cemento/clastos variable pero puede generalizarse a 2:1. La matriz de la brecha corresponde a biotita, cuarzo y sericita. Los clastos son de andesita, pórfido andesítico, pórfido dacítico y diorita cuarcífera, con tamaños variables entre 10 cm y 1 m. La brecha está cementada por un agregado de minerales de alteración y metálicos (Figura 4, CMLP, 1993).

Figura N°4: Mapa litológico y estructural del nivel 3093 de la Mina Este del yacimiento Los Pelambres.



3.3 FALLAS Y FRACTURAS

Se han reconocido en superficie, labores subterráneas y sondajes, dos conjuntos principales de fallas inversas, de rumbos aproximados NE y NW con vergencia predominante al Este y manteos entre 25° y 60°. Ambos sistemas se intersectan en el sector central del distrito, constituyendo zonas de deformación, de entre 200 a 500 m de espesor. El carácter inverso de las fallas se evidencia a partir de observaciones de desplazamiento de vetillas, estrías y medialunas en los planos de fallas. El fracturamiento y clivaje de las rocas, es de carácter anastomosado y genera estructuras planares de espaciamiento milimétrico. Tanto el clivaje como el fracturamiento se disponen subparalelos a las estructuras mayores (Ávila et al., 1993).

3.3.1 Estructuras en la Mina Este:

En el Informe de Reservas Geológicas de Corto Plazo ECPJUN93, se describe un modelamiento de estructuras mayores como complemento de los modelos litológicos y geomecánicos. Se observa en la Figura 4, el nivel 3093 de la Mina Este con las estructuras principales sobre la base litológica.

En el sector norte de la Mina Este, se han observado tres direcciones preferenciales de fallas:

- La primera y de mayor corrida en el rumbo, presenta orientación N50°E/55°S de tipo inverso, con estrías perpendiculares al rumbo. Tiene un espesor de 1 a 1,5 m, y un relleno consistente en roca triturada, arcillas y mineralización de arrastre.
- Otro tipo corresponde a fallas con componente inverso, con orientación N75°-85°E /30°S, y estrías de 60°E con rellenos de roca triturada y arcilla.
- Se presentan también fallas con orientación N60°E/30°S con relleno de roca triturada y arcilla.

Los dos últimos sistemas de fallas presentan menor corrida en la horizontal y están restringidos por la primera dirección preferencial de falla (CMLP, 1993).

El sector Sur de la Mina Este, presenta una serie de fallas de poca longitud y presentan desplazamientos aparentemente centimétricos y geometría anastomosada. Se observan en este sector, vetillas mineralizadas con orientación NE/SE similares a las fallas inversas del sector Norte (CMLP, 1993).

Otro tipo de discontinuidad presente en la Mina Este, corresponde a un clivaje de fractura con orientaciones N20°-40°W/30°-35°W, con escaso relleno de sericita. Este clivaje presenta mayor desarrollo en el sector norte de la Mina Este. Otra orientación del clivaje es N0°-15°E/30°W la cual se encuentra restringida al sector Norte. El clivaje presenta en general frecuencias de 20 o más fracturas por metro lineal (CMLP, 1993).

3.4 MINERALIZACION Y ALTERACION

En Los Pelambres se reconocen los tipos de alteración que se encuentran comúnmente en los depósitos de pórfidos cupríferos. Estos tipos muestran un patrón de distribución zonal, centrado en el stock diorítico. En el centro del yacimiento, se expone una zona de alteración potásico-silíceo rodeada por otra de tipo fílica en un halo de aproximadamente 500 m. Hacia los bordes aparece una zona de alteración propilítica (Sillitoe, 1973).

La mineralización hipógena ocurre en vetillas y diseminada, principalmente como calcopirita, bornita, pirita y molibdenita. La mineralización supérgena se expresa como calcosina, covelina, hematita, óxidos de cobre e hidróxidos de hierro (Sillitoe, 1973).

La zona potásico-silíceo está restringida al stock diorítico, siendo la de mayor importancia económica dado que aloja casi toda la mineralización de Cu y Mo. Está caracterizada por feldespatos potásico (hasta 30% de la roca) junto con biotita hidrotermal, turmalina en vetillas y rosetas, sericita, calcita, apatita y clorita subordinadas. Localmente incluye parches de una masa aplítica formada por cuarzo, feldespatos potásico, biotita, anhidrita y sulfuros dándole un aspecto porfírico a la roca (Sillitoe, 1973). La mineralización de mena consiste en calcopirita y bornita con pirita, molibdenita y blenda asociadas. Los tres primeros minerales ocurren en vetillas y diseminados. Se observa una zonación lateral de estos sulfuros, en que existe calcopirita y bornita hacia el centro, mientras que hacia los bordes aumenta la cantidad de pirita. La blenda ha sido depositada posteriormente a los tres sulfuros citados y ocurre como granos aislados. La molibdenita, que se asocia a las últimas etapas de mineralización hipógena, se encuentra asociada a vetillas de cuarzo (Acosta, 1981).

La zona de alteración fílica, evidenciada en el sector NW del yacimiento, está compuesta por un mosaico de cuarzo y sericita, con clorita, turmalina, epidota y yeso subordinados. La mineralización metálica está dada principalmente por la pirita que aparece en vetillas y diseminada, junto con calcopirita, molibdenita y magnetita (Sillitoe, 1973).

La alteración silíceo se desarrolla fundamentalmente en la secuencia volcano-sedimentaria y está caracterizada por cuarzo de grano fino con menores ocurrencias de sericita, caolinita, clorita y albita. La presencia de biotita se hace más importante en la zona de transición hacia la alteración potásica. Esta zona gradúa a alteración fílica o propilítica. En cuanto a la mineralización de mena, la pirita es el único sulfuro reconocido (Sillitoe, 1973).

La zona propilítica se presenta en la periferia del área, afectando a las rocas volcánicas. Está caracterizada por la presencia de clorita, epidota y pirita subordinada, con trazas de calcita en amígdalas y vetillas. Se superpone a la silicificación que ha afectado a estas volcanitas, evidenciado por la presencia de vetillas rellenas por clorita y epidota (Avila et al., 1992).

La alteración supérgena está evidenciada por una zona de lixiviación de poco desarrollo (50 m de espesor medio). Se caracteriza por la presencia de hematita, goethita y jarosita en superficie, con sulfuros relictos en el sector central y oeste de la zona potásica. Los oxidados de cobre son escasos y se encuentra en el sector este de la zona potásica. La molibdenita exhibe gran resistencia a la removilización, con evidencias locales de ferrimolibdenita, siendo reconocida al Este de la zona potásica (Acosta, 1981).

El enriquecimiento secundario, de espesor medio 150 m, está dado por el desarrollo de calcosina en delgadas láminas sobre calcopirita, bornita y pirita. En las partes bajas de esta zona, se encuentra escasa covelina, originada por la oxidación de calcosina (Acosta, 1981). La escasa potencia de la zona de enriquecimiento se atribuye, por una parte, a la edad de este yacimiento (más moderna que el común de los pórfidos cupríferos chilenos). Otra explicación se basa en la hipótesis que sostiene que la erosión glacial plio-pleistocena habría eliminado la mayor parte del enriquecimiento (Sillitoe, 1973).

4 CARACTERIZACION ESTRUCTURAL

4.1 TIPOS DE ESTRUCTURAS

En el estudio de las diversas discontinuidades, se consideró la información de los mapeos de interior mina disponible a la fecha. Con ella se realizó un análisis en redes estereográficas de las distintas estructuras de cada dominio estructural definido en cada nivel de la mina y luego globalmente las estructuras en la Mina Este.

Estas discontinuidades se describen a continuación:

Fallas: Son discontinuidades planares a lo largo de las cuales ha ocurrido desplazamiento de cizalle.

Sets de Diaclasas: Son arreglos regulares de discontinuidades, los cuales no presentan desplazamiento aparente en la dirección paralela al plano de discontinuidad. Son las estructuras frágiles más comunes.

Fracturas: Diaclasas aisladas de larga corrida, sin evidencias de desplazamiento.

Clivaje de Fractura: disposición de la rocas para dividirse según planos paralelos, con frecuencia de fracturas mayor a 25 por metro, generalmente sin relleno y de continuidades decimétricas.

Vetillas: Fracturas rellenas con minerales removilizados, como cuarzo, sulfuros, sulfatos, carbonatos, etc.

4.2 ANALISIS DE DOMINIOS ESTRUCTURALES

Dominio estructural corresponde a una región espacial limitada por estructuras mayores o contactos litológicos, dentro del cual las estructuras presentan orientaciones similares.

Los dominios estructurales en los niveles superiores de la Mina Este se encuentran, en general, limitados por la existencia de fallas inversas de alto ángulo y larga corrida con rumbo N45°E y manteo de 55°S; también fueron considerados para limitar estos dominios fallas inversas de bajo ángulo de rumbo N75°E y manteo de 30°S. Algunos dominios estructurales fueron limitados por los contactos litológicos entre la diorita cuarcífera y otros tipos de roca.

Se definen en cada nivel de la Mina Este dominios por niveles, los cuales fueron agrupados en cinco grandes dominios estructurales para la Mina Este, limitados por las estructuras mayores, como puede apreciarse en las figuras 5a-5d, estos se detallan en la Tabla N°1:

Figura N°5c: Estructuras principales, Dominios Estructurales de la Mina Este y del Nivel 3104.

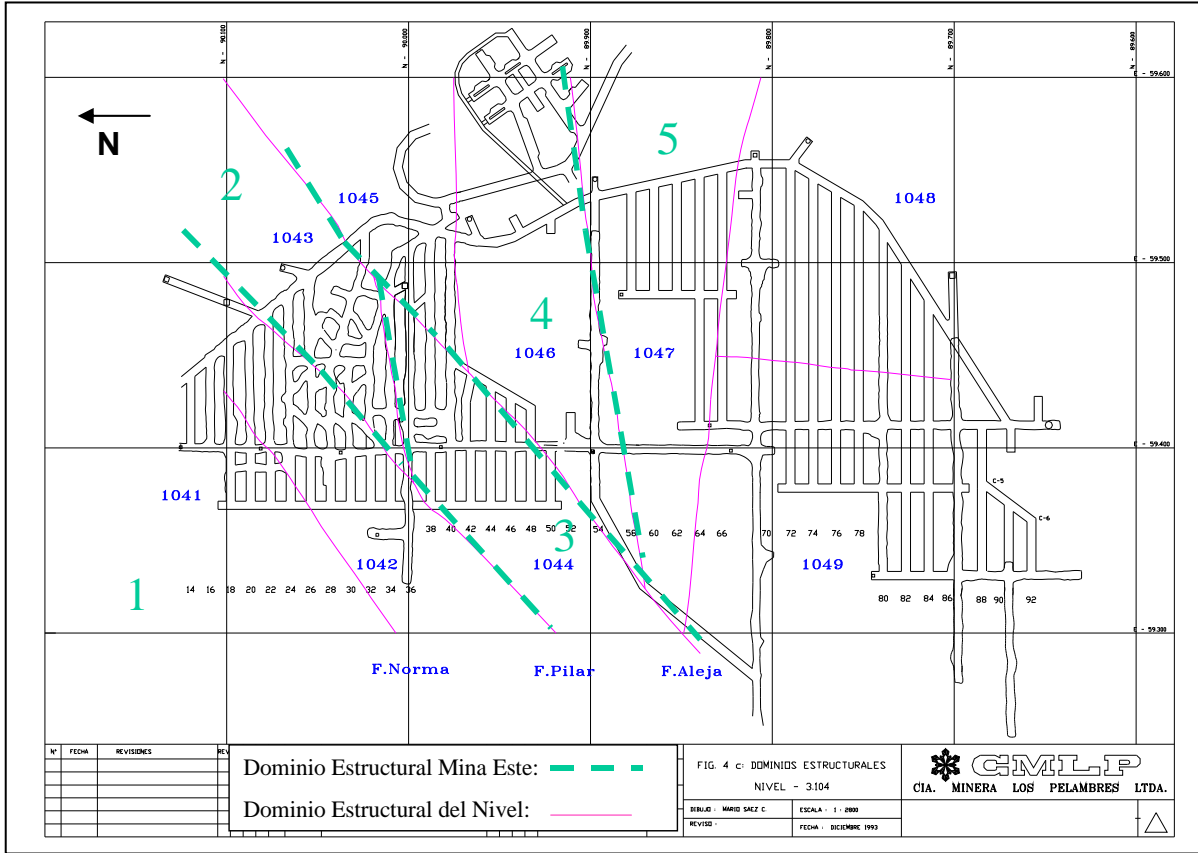


Figura N°5d: Estructuras principales, Dominios Estructurales de la Mina Este y del Nivel 3093.

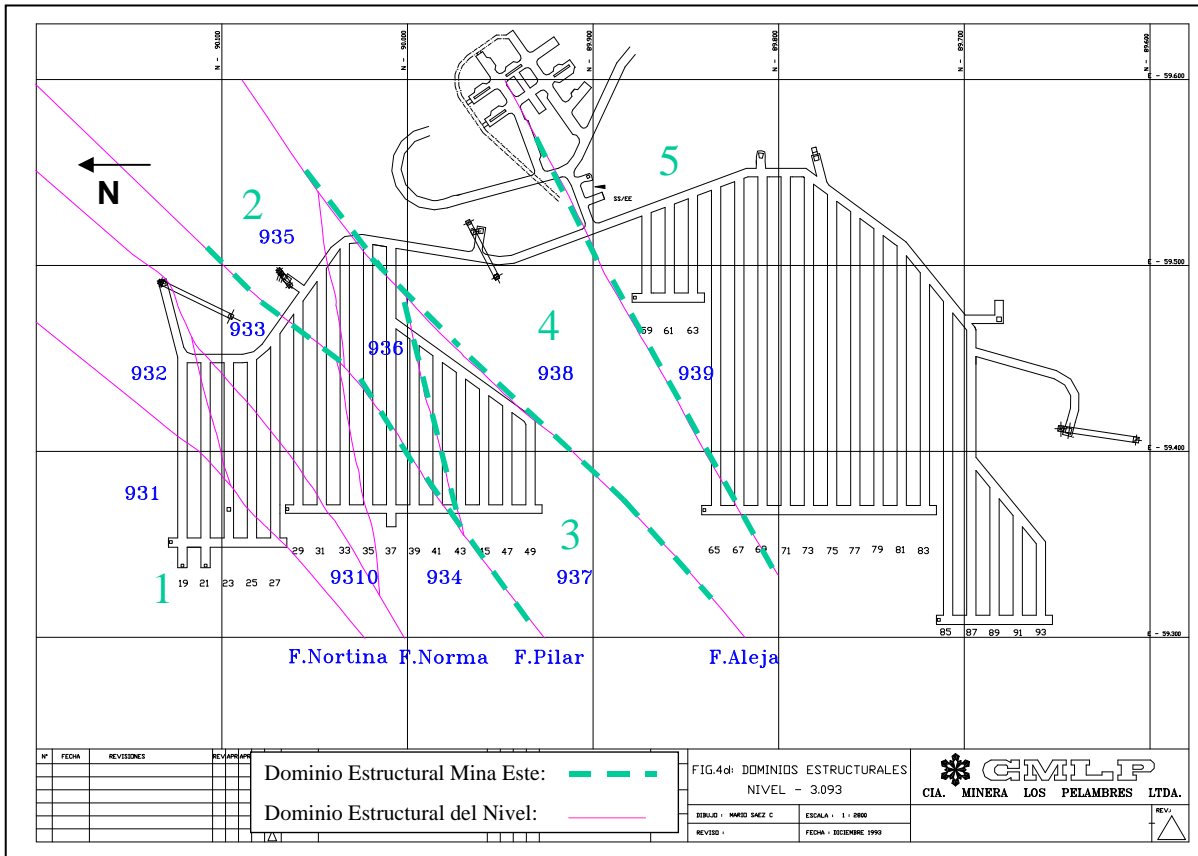


Tabla N°1: Dominios estructurales de la Mina Este definidos a partir de dominios por niveles de la Mina Este.

	Subdominios Nivel 3126	Subdominios Nivel 3115	Subdominios Nivel 3104	Subdominios Nivel 3093
Dominio 1:	261	151	1041	931
		152	1042	932
		153		9310
				933
				934
Dominio 2:	262	154	1043	935
		155		936
Dominio 3:	263	156	1044	937
		157		
Dominio 4:	264	158	1045	938
			1046	
Dominio 5:	265	159	1047	939
		1510	1048	
			1049	

- Dominio 1, limitado al sureste por la falla Pilar, falla inversa de alto ángulo con los dominios 2 y 3.
- Dominio 2, limitado al sureste por la falla Aleja, falla inversa de alto ángulo con el dominio 4 y limitado al sur por una falla inversa de bajo ángulo.
- Dominio 3, limitado al sureste por la falla Aleja, falla inversa de alto ángulo con el dominio 4.
- Dominio 4, limitado al sur por el contacto de la diorita brechizada y la diorita cuarcífera.
- Dominio 5, se ha separado del dominio 4 por la presencia de grandes bloques dado por el gran espaciamiento de vetillas con relleno de sericita.

A continuación se observan en la tabla N°2 un resumen de las estructuras principales y secundarias observadas en las redes estereográficas para los cinco dominios estructurales principales.

Tabla N°2: Resumen de estructuras observadas en los dominios estructurales de la Mina Este.

Dominio	Fallas		Diaclasas		Clivaje	
	Preferencial	Secundario	Preferencial	Secundario	Preferencial	Secundario
1	N53°E/53°S	N64°E/34°S N47°E/81°S	N53°E/52°S N67°W/85°N	N26°W/23°W N77°E/78°S N38°W/52°E	N16°W/32°W	N62°E/46°S
2	N50°E/48°S	N82°E/33°S	N45°E/48°E	N36°W/53°W	N5°W/46°W N35°W/42°W	
3	N86°E/30°S	N48°E/52°S	N36°E/52°E N12°W/49°W	N70°E/83°N N64°E/22°S	N25°W/41°W	N11°E/21°W
4	N51°E/55°S		N63°E/45°S N67°W/71°N	N46°E/59°S N26°W/39°W	N45°W/31°W	
5	N84°E/64°S N66°W/24°S N44°E/44°E	N7°E/77°E	N78°E/52°S N45°W/48°E	N61°W/41°S N82°W/77°N N44°E/30°E	N46°W/30°S	

4.2.1 Fallas:

Los principales elementos estructurales son mostrados sobre una red estereográfica en la Figura 6, se observa una gran variedad de orientaciones, destacándose dos orientaciones correspondientes a fallas inversas de alto ángulo $N50^{\circ}E/52^{\circ}S$ e inversas de bajo ángulo $N82^{\circ}E/29^{\circ}S$. El primer grupo de fallas principales corresponde a un conjunto de fallas inversas, corroborado en numerosos casos por desplazamiento de vetillas, diques y fallas; las fallas principales presentan rumbo $N50^{\circ}E$ y manteo $52^{\circ}S$, dentro de este conjunto se encuentran las fallas Pilar, Aleja, Norma y Nortina. Estas fallas atraviesan principalmente brechas, rocas andesíticas y pórfidos.

En las figuras 5a, 5b, 5c y 5d se observan los niveles 3126, 3115, 3104 y 3093 de la Mina Este, respectivamente, en los cuales pueden apreciarse las fallas principales $N50^{\circ}E$ y manteo $52^{\circ}S$ en color azul y los dominios estructurales definidos a partir de estas y los cuales son descritos en la sección 4.2.

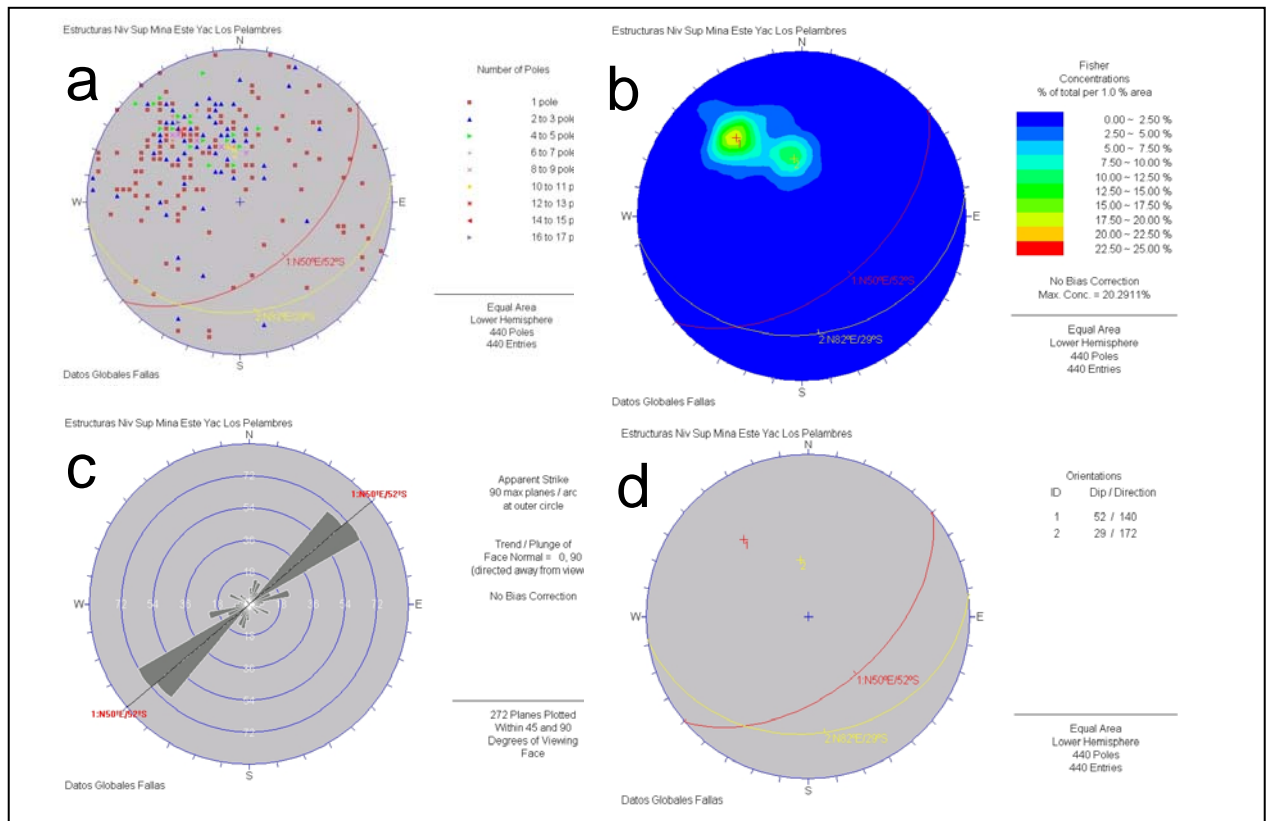


Figura N°6: Ploteo de todos los datos de fallas en los niveles superiores de la Mina Este del Yacimiento Los Pelambres. a: Polos para planos de fallas, mostrando los principales elementos estructurales. b: Diagrama de densidad para polos. c: Diagrama de rosas. d: Planos principales.

- Falla Pilar:

La falla Pilar corresponde a una falla inversa de larga corrida, con rumbo N40-50°E, manteo 40-55°S, y espesor de 0.5 a 1.5 m, con observación de su traza a escala mayor de ondulación ligera siendo a pequeña escala la superficie ondulosa a rugosa; presenta relleno de roca triturada, cuarzo, albita, arcillas, illita y muscovita; y mineralización de arrastre: calcopirita, luzonita y cubanita. El relleno constituye una franja de 1 a 4 cm de material arcilloso húmedo, moldeable, de color azul claro y oscuro a gris oscuro, dado por la presencia de sulfuros, observándose también limonitas. Esta franja puede observarse en la Foto N°1 tomada en la galería XP39, nivel 3093.

Foto N°1: Relleno de Falla Pilar en XP-39, nivel 3093. (foto mirando al S)



En la Foto N°2 se observa la traza de la falla Pilar cortando brecha de biotita con clivaje de fractura de rumbo N26°W con manteo de 40°W, en la pared norte de la galería XP41 del nivel 3093.

Foto N°2: Falla Pilar cortando brecha de biotita con clivaje de fractura, cruzado XP-41, nivel 3093 (foto mirando al N)



- Otras fallas importantes:

La falla Aleja corresponde a una falla inversa con rumbo N45-50°E, manteo de 50-60°S, y estrías con rake de 30°NE. Tiene espesores de 15 a 60 cm, con relleno de roca triturada, arcillas, limonitas, sulfuros y sulfatos.

La falla Norma corresponde a una falla inversa, con rumbo N50-55°E, con manteo de 55-60°S, con espesores de 5 a 15 cm, con relleno de roca triturada, limonitas y arcillas. Paralela a la falla Norma unos metros más al norte se encuentra la falla Norma II, también inversa con rumbo N50-55°E con manteo de 55°S, con espesores de 5 a 15 cm, con relleno de roca triturada, arcillas, sulfuros y sulfatos.

La Falla Nortina también corresponde a otra falla inversa con orientación N45-55°E/73°S, con espesores de 2 a 5 cm, y relleno de roca triturada, se observa a unos 35m al norte de la Falla Norma, se encuentra desde el nivel 3093 hacia los niveles inferiores.

Este tipo de fallas inversas corresponden a estructuras post-mineralización las cuales no se han visto cortadas por otro tipo de estructuras. Estas fallas determinan en las rocas adyacentes un clivaje de fractura con alcances de 1 a 5 m.

Dentro de este grupo se incluye también la falla Sureña, la cual presenta geometría anastomosada, con orientación N55°E/40°S, con espesores de 5 a 10 cm, y relleno de roca triturada, limonitas, arcillas, sulfuros y sulfatos. Esta falla a diferencia de las anteriores atraviesa principalmente granodiorita.

El segundo grupo de fallas principales corresponde también a fallas de tipo inverso, pero de bajo ángulo, se observó con orientación N82°E con manteo de 29°S; estas estructuras son conjugadas de las anteriores. En este tipo de fallas el relleno consiste de roca triturada, limonitas y arcillas, con espesores variables entre 2 a 20 cm, con observación de su traza a escala mayor ondulosa y a escala menor superficie ondulosa estriada, se han encontrado estrías con rake de 60°E. En este grupo de estructuras se encuentra una falla con orientación N60-65°E/30°S, la cual se encuentra ubicada entre las fallas Pilar y Aleja, con 1-2 cm de relleno consistente en roca triturada, arcillas y sulfuros.

- Fallas secundarias:

Entre las direcciones secundarias de fallas se encuentran:

- N65°W/21°S

- N12°E/78°E. Entre este tipo de estructuras se encuentra la falla Berta, en el sector sur de la Mina Este, la cual presenta orientación N10-25°E / 70-75°E con espesores de 5 a 20 cm, con relleno de roca triturada, arcillas y sulfuros.

- N48°E/82°S.

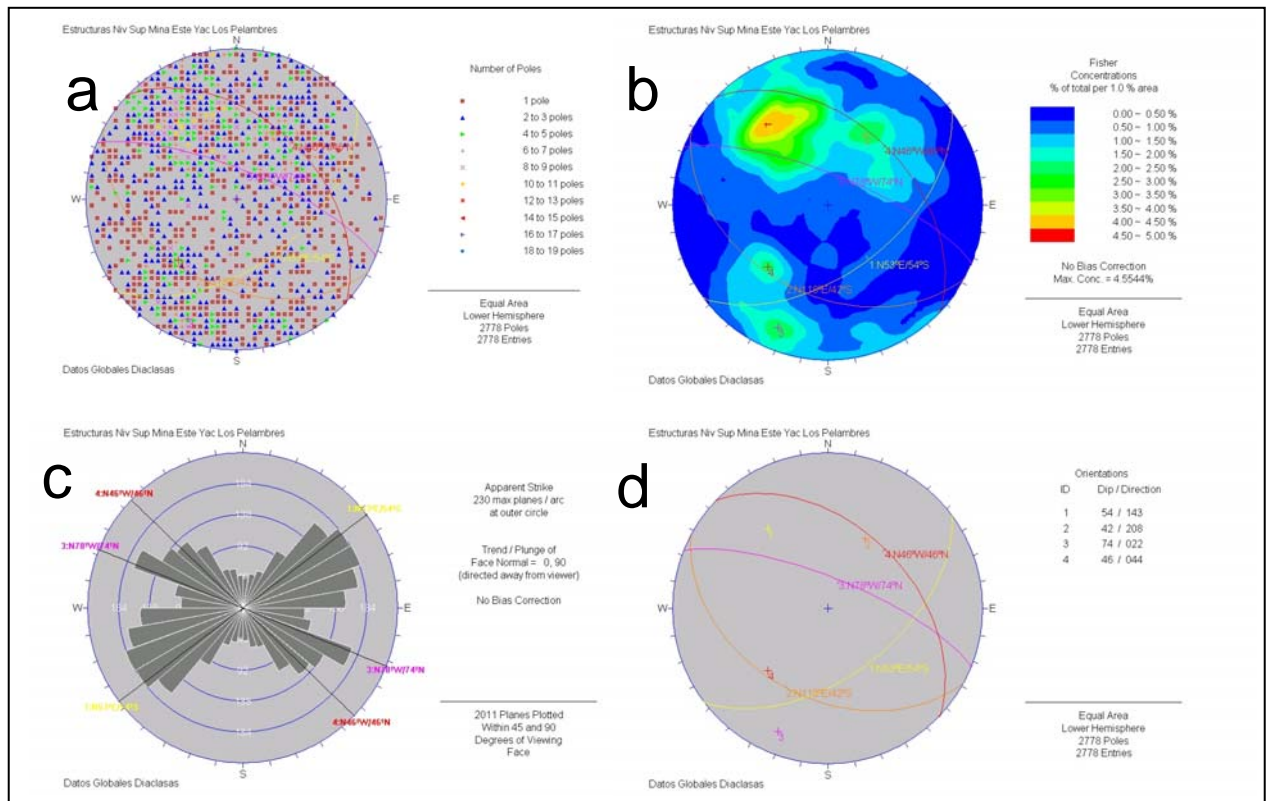
- N80°E/64°S

4.2.2 Sets de Diaclasas:

El estudio de los set de diaclasas en la Mina Este, el cual puede observarse en los ploteos de redes estereográficas de la Figura 7, muestra diaclasas en todas direcciones, pero entregó leve predominio de cuatro direcciones preferenciales, los cuales se indican a continuación:

- N53°E/54°S, esta dirección es paralela a una de las direcciones principales de fallas.
- N62°W/42°S
- N70°W/74°N
- N46°W/46°N

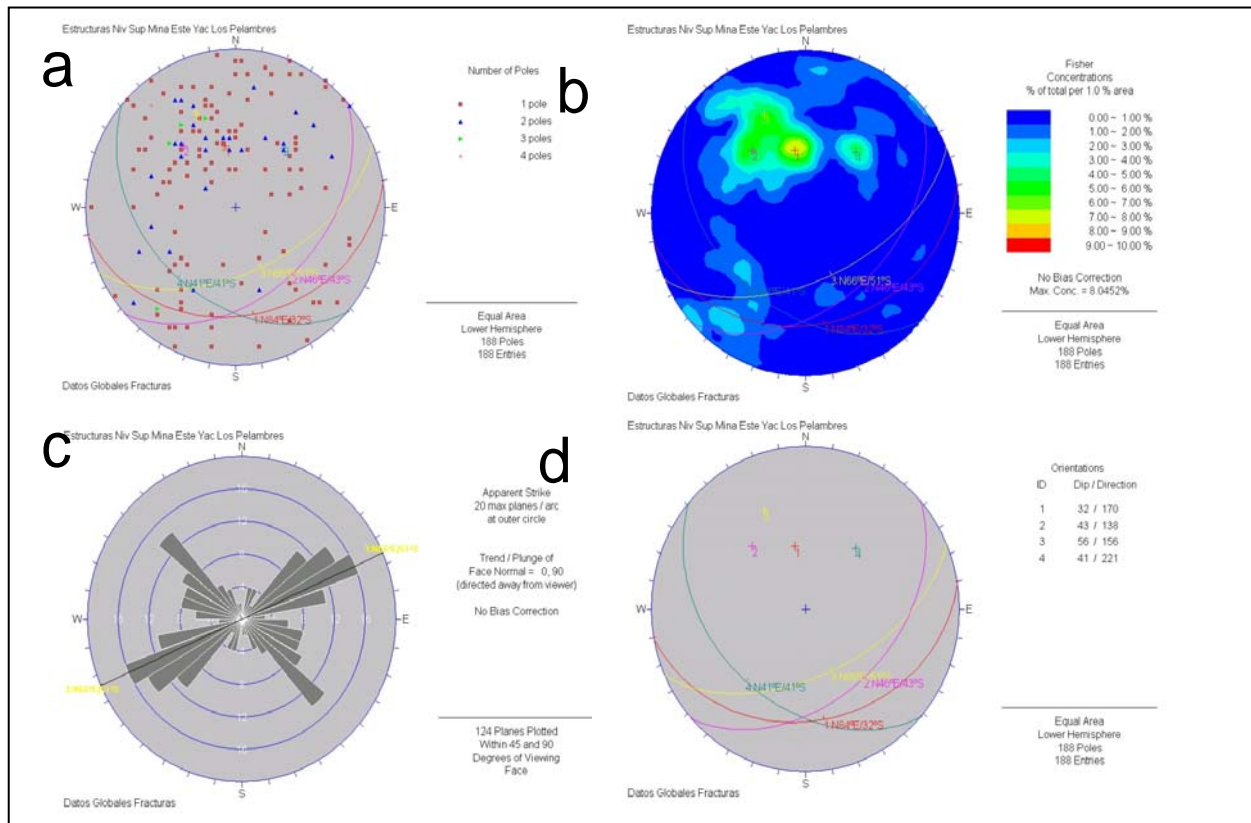
Figura N°7: Ploteo de todos los datos de diaclasas en los niveles superiores de la Mina Este del Yacimiento Los Pelambres. a: Polos para planos de diaclasas, mostrando las principales direcciones de diaclasas. b: Diagrama de densidad para polos. c: Diagrama de rosas. d: Planos principales de diaclasas.



4.2.3 Fracturas:

Las fracturas presentan tres direcciones preferenciales N84°E/32°S, N48°E/43°S y N66°E/56°S; estas fracturas no presentaron evidencias de desplazamiento, por lo cual no fueron consideradas fallas pero corresponden a las direcciones principales de fallas de alto y bajo ángulo. Las redes estereográficas de las fracturas se observan en la Figura 8.

Figura N°8: Ploteo de todos los datos de fracturas en los niveles superiores de la Mina Este del Yacimiento Los Pelambres. a: Polos para planos de fracturas, mostrando las principales direcciones de fracturas. b: Diagrama de densidad para polos. c: Diagrama de rosas. d: Planos principales de fracturas.



4.2.4 Clivajes de fractura:

Para los clivajes de fractura en la Mina Este, se ha encontrado una dirección preferencial correspondiente a $N44^{\circ}W/32^{\circ}W$. Junto a esta orientación se han encontrado otras dos direcciones subordinadas $N27^{\circ}E/24^{\circ}W$ y $N58^{\circ}E/48^{\circ}S$, esta última dirección paralela a la dirección principal de fallas. Las redes estereográficas de los clivajes de fractura se observan en la Figura 9.

Los clivajes de fractura presentan una frecuencia de fracturas superior a 20 fracturas por metro lineal, sin relleno o puntualmente, un escaso relleno de sericita, con trazas de ondas multidireccionales y superficies rugosas escalonadas. Los clivajes de fractura se presentan en rocas como la brecha de biotita y la diorita brechizada en zonas de hasta 100 m de extensión en el sector norte de la Mina Este; en cambio, en el sector sur los clivajes de fracturas se presentan en forma aislada y no continua en tipos litológicos como la diorita cuarcífera y la diorita brechizada. En la Foto N°3 puede observarse un sector que presenta lajamiento de unos 5 m de espesor, en la dirección preferencial $N44^{\circ}W/29^{\circ}W$ cortando la brecha de biotita. Puede apreciarse que afecta a clastos de pórfido A en la brecha. Esta foto fue tomada en el nivel 3093, en el cruzado XP39.

Figura N°9: Ploteo de todos los datos de clivajes de fractura en los niveles superiores de la Mina Este del Yacimiento Los Pelambres. a: Polos para planos de clivajes de fractura, mostrando las principales direcciones de clivajes de fractura. b: Diagrama de densidad para polos. c: Diagrama de rosas. d: Planos principales de clivajes de fractura.

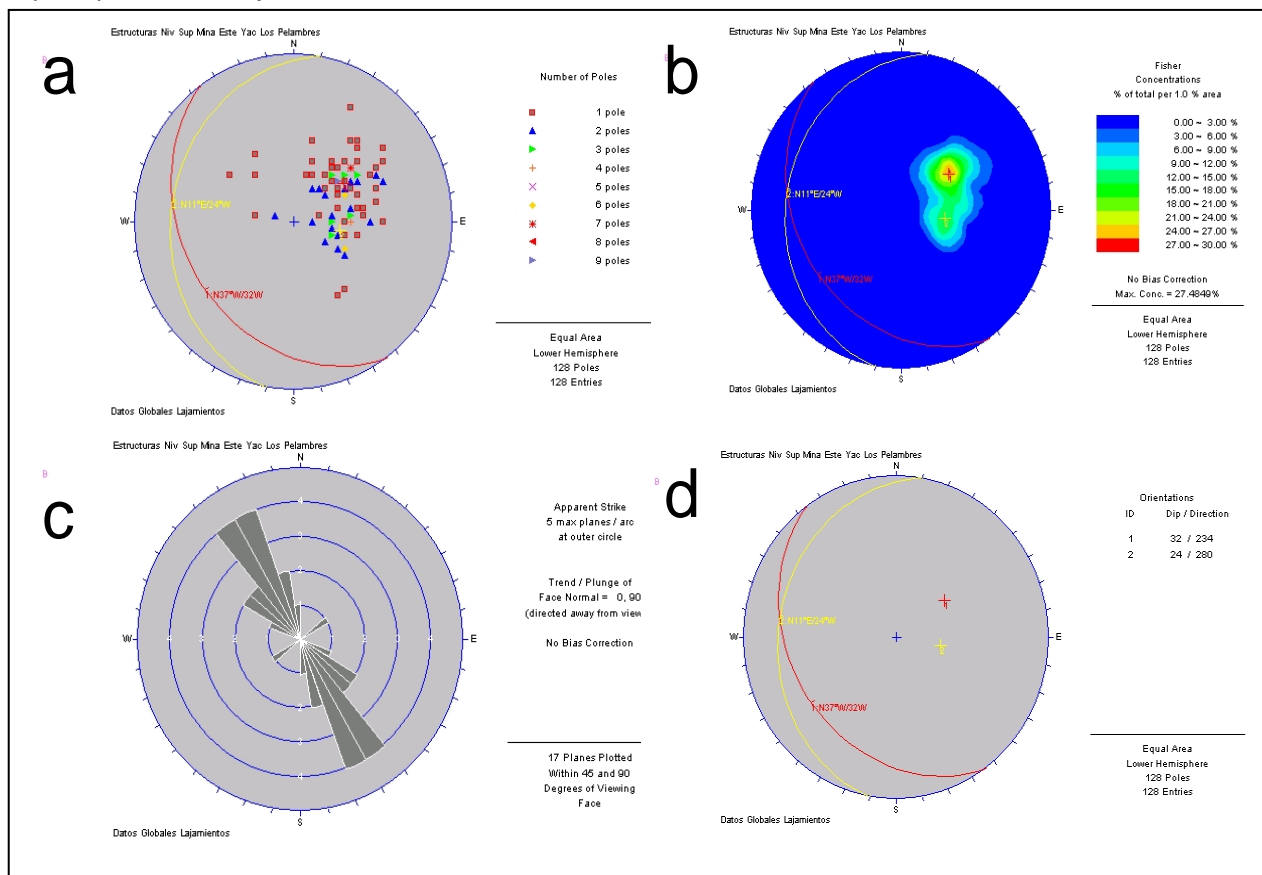


Foto N°3: Clivaje de fractura afectando brecha de biotita en XP-39, nivel 3093. (foto mirando al N)



4.2.5 Vetillas:

Las vetillas mapeadas en la Mina Este corresponden a vetillas de cuarzo, sulfuros, correspondiendo los sulfuros en vetillas a pirita, calcopirita, calcosina, bornita y molibdenita. Estas vetillas presentan en general, una orientación preferencial de N35°E/37°E y secundariamente se encuentran N50°E/90°N y N17°W/40°E.

En las vetillas de cuarzo, generalmente sin pirita, se ha encontrado una orientación principal de N40°W/50°W.

Las vetillas de tipo 4 o D con cuarzo con pirita y sericita blanca, asociadas a la etapa de alteración destructiva de feldespatos presentan orientación N40°E/50°E, semejante a la dirección preferencial de todas las vetillas.

Las vetillas de cuarzo con bordes rectos de 5 a 20 cm de espesor, asociadas a la etapa de mineralización tardía de vetillas de cuarzo presentan orientación N30°E/90°S.

Otro tipo de vetillas que cabe destacar, corresponde a vetillas de yeso recristalizado a partir de vetillas de anhidrita ubicadas en ambiente de sulfuros primarios, aunque sólo se han reconocido en el

interior del Tunel 3000 de traspaso de la Mina este del Yacimiento Los Pelambres. Aunque no hay hasta la fecha una dirección preferencial para estas vetillas, se discutirá en el capítulo geotécnico su importancia.

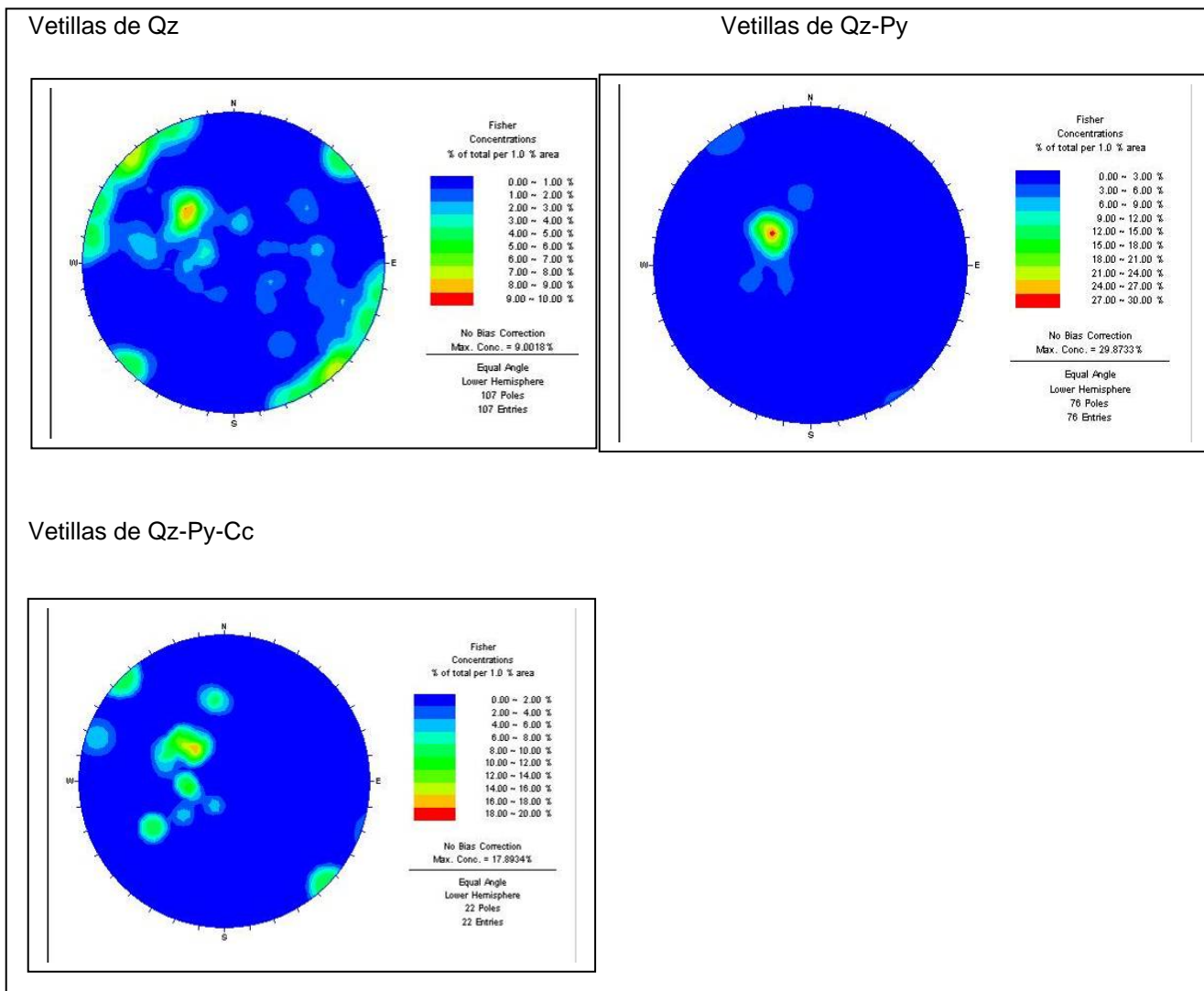


Figura N°10: Redes estereográficas de vetillas de Cuarzo; cuarzo-pirita y cuarzo-pirita-calcosina.

Las fallas principales son fallas inversas de alto ángulo, en la dirección N50°E/52°S, y fallas inversas de bajo ángulo, en la dirección N82°E/29°S, a 30° de las anteriores.

La dirección de fallas N50°E/52°S, la dirección principal de diaclasas y una dirección principal de fracturas son coincidentes. Esta dirección coincide además, con la orientación principal de las vetillas mineralizadas Qz-Py-Cc-Ser y vetillas tardías de cuarzo.

Las fallas inversas de bajo ángulo serían una consecuencia de la imbricación de las fallas de alto ángulo y serían “fallas inversas relativas”.

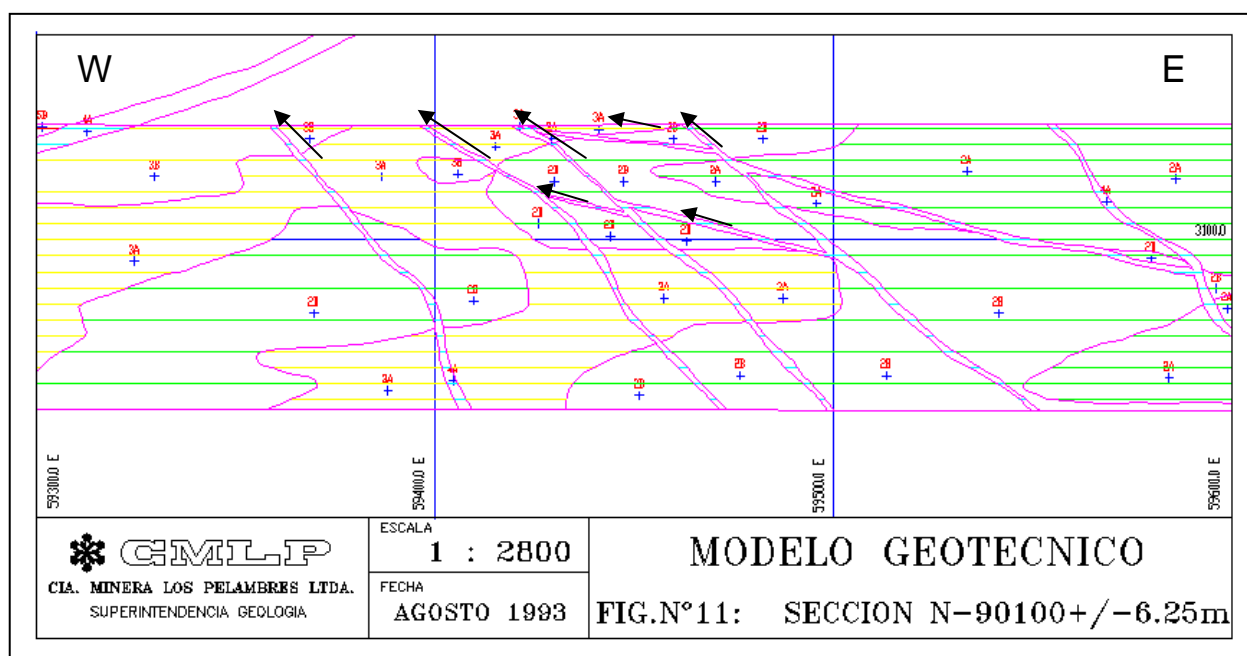


Figura N°11: Esquema de desplazamiento relativo de fallas en sección W-E del modelo geotécnico de la Mina Este del Yacimiento Los Pelambres.

5.- CARACTERIZACION GEOTECNICA

5.1 GENERALIDADES

Los sistemas de clasificación geotécnica de macizos rocosos, tienen en general el propósito de evaluar las condiciones de estabilidad del macizo y su comportamiento frente a una excavación subterránea.

Los objetivos que debiera cumplir un sistema de clasificación geotécnica son (Karzulovic y Karzulovic, 1982):

- Ser sencilla y de fácil empleo.
- Los términos utilizados deben ser comunes a geólogos e ingenieros, para así facilitar la comunicación entre estos profesionales.
- Incluir las propiedades más significativas de los macizos rocosos.
- Estar basados en parámetros cuantificables, los cuales pueden ser determinados en terreno de manera fácil y rápida.
- Ser funcional, es decir, a partir de los parámetros se pueda designar un soporte de roca.
- Tener algunos años de uso con buenos resultados prácticos.

5.2 REVISION DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE CLASIFICACION GEOTECNICA

Los sistemas de clasificación geotécnica permiten predecir el comportamiento mecánico de un macizo rocoso a partir de la evaluación de diversos parámetros geotécnicos tales como RQD, frecuencia de fracturas, resistencia a la compresión simple, rugosidad, alteración, agua, stress, orientación de diaclasas, etc. A cada parámetro se le asigna un valor, obteniéndose como resultado un índice de calidad.

Los diferentes sistemas de clasificación varían en los parámetros geotécnicos utilizados y en su evaluación numérica, de manera que cada sistema asigna a un mismo macizo distintos índices de calidad geotécnica. Entre los sistemas de clasificación más importantes se encuentran los desarrollados por Barton et al. (1974), Bieniawski (1989) y Laubscher (1990).

En la Superintendencia de Geología de MLP, la elección del sistema de clasificación geotécnica se realizó pensando en obtener una mejor aplicación de los parámetros geotécnicos al método de explotación y en tener un lenguaje técnico en común con la Superintendencia de Mina de MLP, seleccionando el sistema de Laubscher. Este sistema de clasificación geotécnica es utilizado en los mapeos rutinarios de sondajes y de interior mina.

Las recomendaciones a partir de los datos son de inmediata utilidad en el estudio de los diseños de las geometrías de las excavaciones, como en la elección de la orientación de cruzados de producción, cabeceras y pilares; estabilidad de las labores, sostenimiento, radio hidráulico para hundimiento; tiros para carguío tapados; dilución; desgaste de viseras de frentes de producción; secuencias de avances; optimización de la fragmentación mediante distintos diagramas de disparo y densidades de carga para desarrollos y producción, entre otros.

En Minera Los Pelambres se contaba con información geotécnica proveniente desde sondajes antiguos en los cuales se contaba solamente frecuencia de fractura, RQD, litología y alteración. Se contaba con mapeos con el sistema NGI de Barton y mapeos del sistema MRMR de Laubscher.

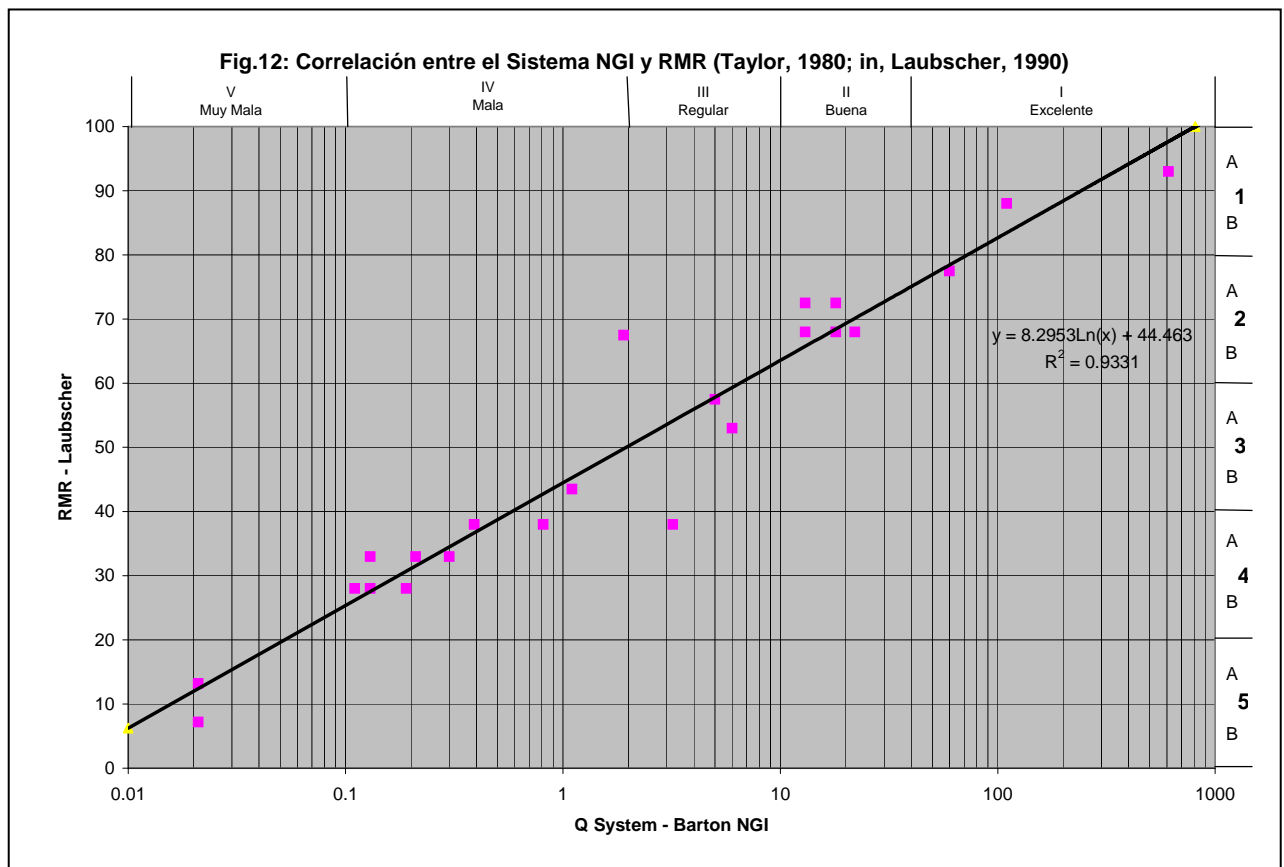
Para poder utilizar toda la información existente se utilizaron conversiones y supuestos, el caso de los mapeos realizados con el método de Barton se utilizó una correlación entre el sistema NGI de Barton y MRMR de Laubscher la cual fue desarrollada por Taylor (1980, in; Laubscher, 1990), la cual puede observarse en la Figura N°12, y se correlaciona de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{MRMR} = 44.463 + 8.295 \ln Q$$

Donde: MRMR es el puntaje (rating) del sistema de clasificación de Laubscher (1990).

Q es el índice de calidad geotécnica del sistema NGI (Barton et al., 1974)

Figura N°12: Correlación entre el sistema de clasificación geotécnica NGI y RMR, Taylor, 1980.



5.2.1 Sistema de Clasificación NGI.

El sistema de clasificación NGI desarrollado por Barton et al. (1974) determina la calidad de un macizo rocoso, la cual es expresada por la variable numérica Q.

La variable Q se define por la expresión:

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

donde: RQD es la designación de la calidad de la roca (Deere, 1964).

J_n es el número de sets de diaclasas.

J_r es el número de la rugosidad.

J_a es el número de la alteración.

J_w es el factor de reducción por agua.

SRF es el factor de reducción por stress.

La evaluación de estos parámetros es posible observarla en la Tabla N°3a-3b, encontrándose además, recomendaciones de sostenimiento de acuerdo a la variable Q y al diámetro de la galería.

Estos parámetros se agrupan en tres factores de significancia para Ingeniería:

RQD/J_n representa la estructura del macizo y es una medida aproximada del tamaño de los bloques in situ.

J_r/J_a es una medida de la rugosidad y grado de alteración de las paredes de las discontinuidades o material de relleno.

J_w/SRF es una medida del stress activo, donde J_w representa la presión del agua subterránea, la que disminuye la resistencia al cizalle de las diaclasas, al actuar como lubricante natural de las diaclasas y al disminuir el stress normal efectivo. El SRF es una medida de la pérdida de carga en excavaciones desarrolladas a través de zonas de cizalle y rocas arcillosas; y, del stress en rocas competentes.

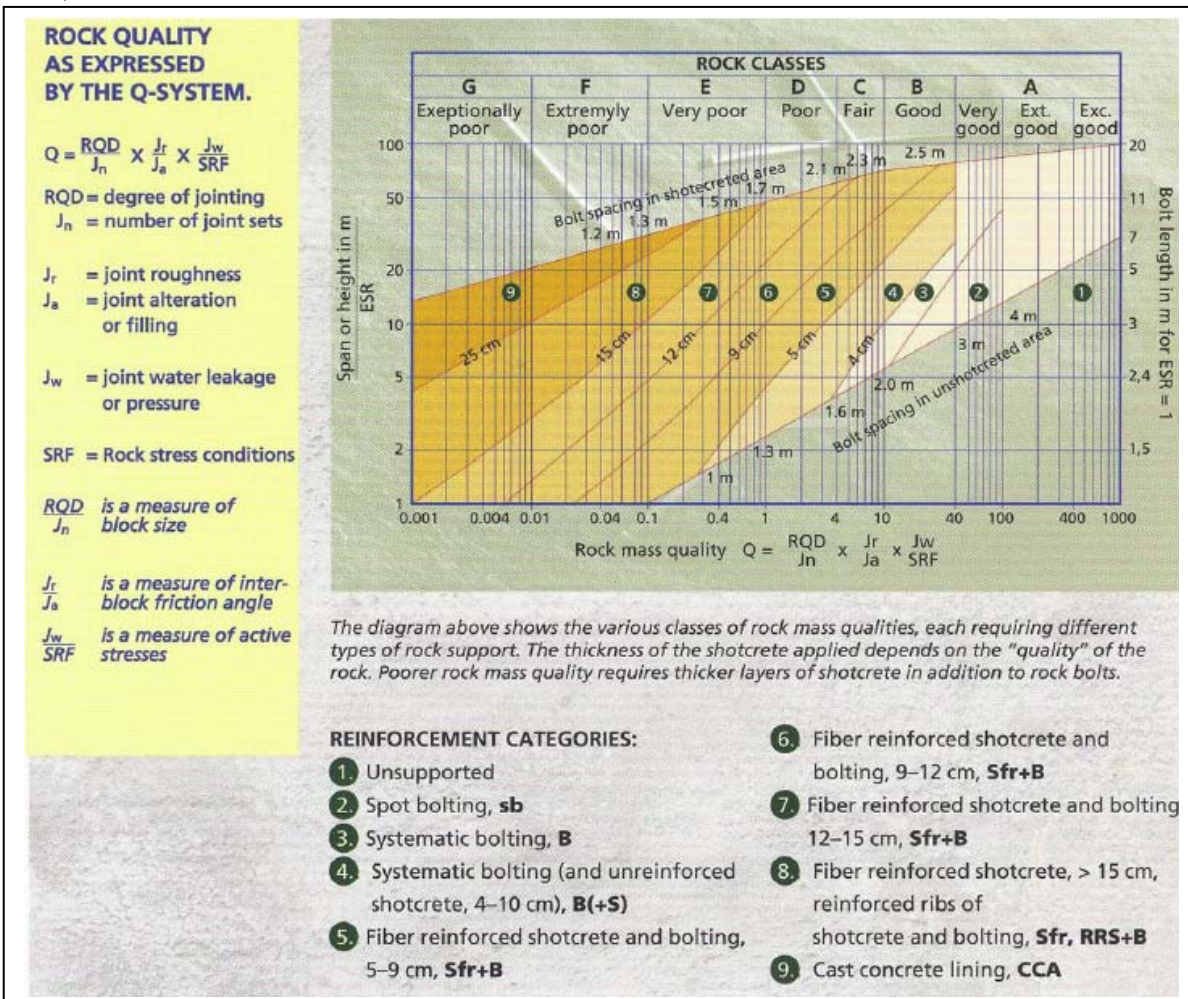
Tabla N°3a: Parámetros utilizados en el Sistema NGI (Barton et al., 1974).

Tabla N°3a: Parámetros utilizados en el sistema NGI (Barton et al., 1974)			
Descripción	Valor	Notas	
1.- Índice de Calidad de Roca.	RQD		
A.- Muy Mala B.- Mala C.- Regular D.- Buena E.- Excelente	0 - 25 25 - 60 50 - 75 75 - 90 90 - 100	1.- Donde RQD se reporta o es medido como <10, se le otorga un valor nominal de 10 aplicable a Q. 2.- Intervalos de 5 para RQD, o sea, 100, 95, 90, etc. son suficientemente precisos.	
2.- Número de sistemas de diaclasas.	Jn		
A.- Masivo, sin o con pocas diaclasas. B.- Un sistema de diaclasas. C.- Un sistema de diaclasas más una aislada. D.- Dos sistemas de diaclasas. E.- Dos sistemas de diaclasas más una aislada. F.- Tres sistemas de diaclasas. G.- Tres sistemas de diaclasas más una aislada. H.- Cuatro o más sistemas de diaclasas, fracturamiento intenso, etc. I.- Roca triturada.	0.5 - 1.0 2.0 3.0 4.0 6.0 9.0 12.0 15.0 20.0	1.- Para cruces en túneles, utilizar (3 x Jn). 2.- Para portales utilizar (2 x Jn).	
3.- Número de rugosidad de las diaclasas.	Jr		
a) <i>Contacto en las paredes</i> b) <i>Contacto en las paredes antes de un cizalle de 10 cm</i> A.- Diaclasas sin continuidad. B.- Rugosas o irregulares, corrugadas. C.- Suaves, corrugación suave. D.- Slickenside ondulado. E.- Rugosas o irregulares pero planas. F.- Lisas y planas. G.- Slickenside plano. c) <i>Sin contacto de roca después de un cizalle de 10 cm.</i> H.- Zona que contiene minerales arcillosos de espesor suficiente para impedir el contacto de las paredes. I.- Zona arenosa, de grava o roca triturada de espesor suficiente para impedir el contacto de las paredes.	4.0 3.0 2.0 1.5 1.5 1.0 0.5 1.0 1.0	1.- Añadir 1.0 si el espaciamiento medio del sistema de fracturas es mayor de 3m. 2.- Jr = 0.5 se puede usar para diaclasas de fricción planas y que tengan alineaciones, con la condición de que éstas estén orientadas para resistencia mínima.	
4.- Número de alteración de las diaclasas.	Ja	ϕ_r	
a) <i>Contacto en las paredes de roca</i> A.- Relleno soldado, duro, inablandable, impermeable. B.- Paredes inalteradas, sólo con manchas de superficie. C.- Paredes ligeramente alteradas, con recubrimientos de minerales inablandables, partículas arenosas, roca triturada sin arcilla. D.- Recubrimientos limosos o areno-arcillosos, pequeñas partículas de arcilla (inablandable). E.- Recubrimientos ablandables o con arcilla de baja fricción o sea, kaolinita o mica. También clorita, talco, yeso y grafito, etc., y pequeñas cantidades de arcillas expansivas (recubrimientos sin continuidad de 1-2 mm de espesor o menos). b) <i>Contacto en las paredes antes de un cizalle de 10 cm</i> F.- Partículas arenosas, roca desintegrada sin arcilla, etc. G.- Rellenos de minerales arcillosos muy consolidados e inablandables (continuos < 5 mm de espesor). H.- Rellenos de minerales arcillosos de consolidación media o baja (continuos < 5 mm de espesor). I.- Rellenos de arcillas expansivas, como montmorillonita (continuos < 5 mm de espesor). El valor Ja depende del porcentaje de partículas expansivas y del acceso al agua. c) <i>Sin contacto de las paredes después del cizalle.</i> J.- Zonas o capas de roca y arcilla desintegrada K.- o triturada L.- (véase G, H e I para condiciones de arcilla). M.- Zonas o capas de arcilla limosa o arenosa, pequeñas fracciones de arcilla inablandable. N.- Zonas o capas gruesas O.- de arcilla P.- (véase G, H e I para condiciones de arcilla).	0.8 1.0 2.0 3.0 4.0 4.0 6.0 8.0 0.8 - 12.0 6.0 8.0 0.8 - 12.0 5.0 10.0 - 13.0 13.0 - 20.0	25° - 35° 25° - 30° 20° - 25° 8° - 16° 25° - 30° 16° - 24° 8° - 16° 6° - 12° 6° - 24° 6° - 24°	1.- Los valores del ángulo de fricción residual, se indican como guía aproximada de las propiedades mineralógicas de los productos de alteración, si se encuentran presentes.
5.- Factor de recucción por agua en las diaclasas.	Jw	Presión aprox. del agua [Kg/cm ²]	
A.- Excavación seca o poca infiltración, o sea < 5 lt / min, localmente. B.- Infiltración o presión medianas con lavado ocasional de los rellenos. C.- Gran infiltración o presión alta en roca competente con diaclasas sin relleno. D.- Gran infiltración a presión alta, lavado importante de los rellenos. E.- Infiltración o presión excepcionalmente altas con las tronaduras. F.- Infiltración o presión excepcionalmente altas en todo momento.	1.0 0.7 0.5 0.3 0.2 - 0.1 0.1 - 0.05	1.0 1.0 - 2.5 2.5 - 10.0 10.0 10.0	1. F son estimaciones aproximadas. Aumenta Jw si se instalan drenajes. 2.- Los problemas especiales causados por la presencia de hielo no se toman en consideración.

Tabla N°3a (continuación): Parámetros utilizados en el sistema NGI (Barton et al., 1974)

6.- Factor de reducción de esfuerzos.	SRF	
a) Zonas de debilidad que intersecten la excavación y que puedan ser la causa de que el macizo se desestabilice cuando se construye el túnel.		
A.- Múltiples zonas de debilidad que contengan arcilla o roca químicamente desintegrada, roca circundante muy suelta (cualquier profundidad).	10.0	1.- Redúzcanse estos valores SRF de 25 - 50% si las zonas de fracturas sólo interesan pero no cruzan la excavación. 2.- Para un campo virgen de esfuerzos fuertemente anisotrópico (si se mide):
B.- Zonas de debilidad aisladas que contengan arcilla o roca químicamente desintegrada (profundidad de excavación < 50 m).	5.0	
C.- Zonas de debilidad aisladas que contengan arcilla o roca químicamente desintegrada (profundidad de excavación > 50 m).	2.5	
D.- Múltiples zonas de fracturas en roca competente (sin arcilla), roca circundante suelta (cualquier profundidad).	7.5	
E.- Zonas de fracturas aisladas en roca competente (sin arcilla), (profundidad de excavación < 50 m).	5.0	3.- Hay pocos casos reportados donde el techo abajo de la superficie sea menor que el ancho del claro. Se sugiere que el SRF sea aumentado desde 2.5 a 5 para estos casos (vea H).
F.- Zonas de fracturas aisladas en roca competente (sin arcilla), (profundidad de excavación > 50 m).	2.5	
G.- Diaclasas abiertas sueltas, diaclasamiento intenso (cualquier profundidad).	5.0	
b) Roca competente, problemas de esfuerzos.		
H.- Esfuerzo bajo, cerca de la superficie.	2.5	> 200
I.- Esfuerzo mediano.	1.0	200 - 10
J.- Esfuerzo grande, estructura muy cerrada (generalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable) para la estabilidad de las tablas).	0.5 - 2	10 - 5
K.- Desprendido moderado de la roca (roca masiva).	5 - 10	5 - 2.5
L.- Desprendido intenso de la roca (roca masiva).	10 - 20	< 2.5
		> 13
		13 - 0.6
		0.66-0.33
		0.33-0.16
		< 0.16
c) Roca compresiva, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de presiones altas de la roca.		
M.- Presiones compresivas moderadas.	5 - 10	
N.- Presiones compresivas altas.	10 - 20	
d) Roca expansiva, acción química expansiva dependiendo de la presencia de agua.		
O.- Presiones expansivas moderadas.	5 - 10	
P.- Presiones expansivas altas.	10 - 20	

Tabla N°3b: Gráfico de recomendación de sostenimiento a partir de la calidad de roca Q.(Barton et al, 1974)



5.2.2 Sistema de clasificación RMR.

El sistema de clasificación RMR (Rock Mass Rating), es un método desarrollado por Bieniawski (1989) para el diseño de soportes de túneles. El macizo rocoso es dividido en clases representativas definidas por un puntaje característico, su evaluación se encuentra en la Tabla N°4. Este sistema utiliza los siguientes parámetros geotécnicos:

a) Parámetros de clasificación y sus puntajes:

- Resistencia a la Compresión Simple en rocas intactas.
- RQD.
- Espaciamiento de fracturas.
- Condición de fracturas.
- Condiciones hidráulicas.

b) Ajuste de orientación de fracturas, tomando en cuenta:

- Rumbo y manto de estructuras, con respecto a túneles, fundaciones o pendientes.

c) Clasificación de macizos rocosos según puntaje total, estos se agrupan en cinco clases representativas de macizos rocosos.

d) Significado de las clases de roca en los siguientes parámetros: Tiempo de autosostento; cohesión del macizo rocoso y ángulo de fricción.

e) Guías para la clasificación de la condición de las discontinuidades.

f) Efecto de la orientación de fracturas en túneles, tomando en cuenta: Si el rumbo de las fracturas es perpendicular o paralelo al eje del túnel, o si el manto varía de 0 a 20°, independiente del rumbo.

En este sistema es posible correlacionar el tiempo de autosustentación con un tramo de excavación sin sostenimiento, para cada clase de roca.

Los puntos b) y f) ajustan el puntaje básico por los efectos de rumbo y manto de las estructuras con respecto a la orientación de las excavaciones.

Tabla N°4: Sistema de Clasificación RMR (Beniawski, 1989).

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS									
Parameter			Range of values						
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	>10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range - uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial comp. strength	>250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
	Rating	15	12	7	4	2	1	0	
2	Drill core Quality <i>RQD</i>		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		> 2 m	0.6 - 2 . m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities (See E)		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge >5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous		
	Rating		30	25	20	10	0		
5	Ground water	Inflow per 10 m tunnel length (l/m)	None	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		(Joint water press)/ (Major principal σ)	0	< 0.1	0.1, - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
	General conditions		Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating		15	10	7	4	0		
B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)									
Strike and dip orientations			Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very Unfavourable		
Ratings	Tunnels & mines		0	-2	-5	-10	-12		
	Foundations		0	-2	-7	-15	-25		
	Slopes		0	-5	-25	-50			
C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS									
Rating			100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 21		
Class number			I	II	III	IV	V		
Description			Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock		
D. MEANING OF ROCK CLASSES									
Class number			I	II	III	IV	V		
Average stand-up time			20 yrs for 15 m span	1 year for 10 m span	1 week for 5 m span	10 hrs for 2.5 m span	30 min for 1 m span		
Cohesion of rock mass (kPa)			> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100		
Friction angle of rock mass (deg)			> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15		
E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY conditions									
Discontinuity length (persistence)			< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
Rating			6	4	2	1	0		
Separation (aperture)			None	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
Rating			6	5	4	1	0		
Roughness			Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slickensided		
Rating			6	5	3	1	0		
Infilling (gouge)			None	Hard filling < 5 mm	Hard filling > 5 mm	Soft filling < 5 mm	Soft filling > 5 mm		
Rating			6	4	2	2	0		
Weathering			Unweathered	Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered	Decomposed		
Ratings			6	5	3	1	0		
F. EFFECT OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELLING**									
Strike perpendicular to tunnel axis				Strike parallel to tunnel axis					
Drive with dip - Dip 45 - 90°		Drive with dip - Dip 20 - 45°		Dip 45 - 90°		Dip 20 - 45°			
Very favourable		Favourable		Very unfavourable		Fair			
Drive against dip - Dip 45-90°		Drive against dip - Dip 20-45°		Dip 0-20 - Irrespective of strike°					
Fair		Unfavourable		Fair					

* Some conditions are mutually exclusive . For example, if infilling is present, the roughness of the surface will be overshadowed by the influence of the gouge. In such cases use A.4 directly.

** Modified after Wickham et al (1972).

5.3 PARAMETROS UTILIZADOS EN LA CLASIFICACION GEOTECNICA DE LAUBSCHER Y SU APLICACION EN LA MINA ESTE

5.3.1 RQD (Rock Quality Designation)

Es el índice de calidad de roca definido para testigos de sondajes por Deere (1964), el que corresponde a la sumatoria expresada en porcentaje de todos los trozos de testigos superiores o iguales en longitud al doble del diámetro del testigo, dividido por el largo del intervalo analizado. Por otra parte, la medición del RQD en galerías se realiza mediante el método de Volumetric Joint count (Jv) (Palmstrom, 1985), lo cual es una medida de la cantidad de fracturas existentes por unidad de volumen, es decir, se deben sumar todas las fracturas en 3 ejes teóricos, sin repetirlos.

Posteriormente, una simple relación es usada para convertir esta cantidad en RQD:

$$RQD = 115 - 3.3 * Jv$$

donde Jv es la cantidad de fracturas por m³. Los valores extremos de Jv según las restricciones de RQD, corresponden a Jv < 4.5 para RQD = 100 y Jv > 35 para RQD= 0.

Una vez obtenido el RQD, el rating de éste se obtiene multiplicando dicho valor por 0.15. Siendo 15 el valor máximo de este parámetro del rating de Laubscher.

Al medir el Jv hay que considerar sólo las fracturas importantes que cruzan la galería o aquellas que generan bloques de roca; En la Mina Este se tiene en general, para cada tipo litológico los siguientes rangos de Jv para galerías y RQD para sondajes, como pueden observarse en la Tabla N°5:

Tabla N°5: Rangos de Jv y RQD en la Mina Este.

Litología	Rango de Jv	Rango de RQD
Diorita	4 - 12	75 - 100
Pórfidos	3 - 8	85 - 100
Andesitas	8 - 20	50 - 85
Brechas	10 - 25	30 - 80
Diorita Brechizada	8 - 18	50 - 80

5.3.2 IRS (Intact Rock Strength)

Corresponde a los valores de la Resistencia a la Compresión Simple de la roca intacta medida en ensayos de Laboratorio. Deben ser evaluados los distintos tipos litológicos y sus diversas alteraciones. La unidad utilizada será MPa o bien (Kg/cm²)/10 y para obtener la ponderación en el rating Laubscher este valor debe ser multiplicado por 0.1. El valor máximo de este parámetro del rating de Laubscher corresponde a 20.

Puntualmente existen distintos tipos de alteración que desmejoran o mejoran la Resistencia a la Compresión Simple, por ejemplo, una fuerte sericitización, argilización y en algunos casos biotitización, implican una menor resistencia de la roca; por otra parte, una fuerte silicificación implica una mayor resistencia a la compresión. Es importante señalar, que resulta muy complicado en cuanto a tiempos y costos el realizar constantemente ensayos a la compresión simple para determinar el IRS. De acuerdo a estos planteamientos, la Superintendencia de Geología de CMLP modificó la tabla de clasificación de Jennings et al. (1973; in, Gash, 1987) (CMLP, 1993) para las rocas de la Mina Este, según su dureza relativa al impacto del martillo geológico (Tabla N°6).

Tabla N°6: Clasificación de Dureza Relativa utilizada en la Mina Este (CMLP, 1993)

Clase		Observación en terreno	IRS [MPa]	Aplicación Mina Este	Rating Laubscher
R1	Roca muy blanda	Fácilmente disgregable con la punta del martillo. Es posible hundir la uña.	1 - 20	Relleno de falla Fuerte sericitización Fuerte argilización	0 - 20
R2	Roca blanda	Es posible introducir un elemento punzante.	20 - 50	Fuerte biotización en brecha Moderada presencia de sericita Roca muy lixiviada	2 - 5
R3	Roca moderada	La roca se fractura al golpe del martillo.	50 - 100	Alteración cuarzo-sericitica Biotización en diorita Brecha matriz de biotita Brecha cuarzo sericita Diorita mineralizada Diorita brechizada	5 - 10
R4	Roca dura	La roca se fractura con fuertes golpes de martillo.	100 - 200	Pórfido B Andesita silicificada Diorita sin Alteración	10 - 20
R5	Roca muy dura.	Muy difícil de romper con numerosos y fuertes golpes de martillo.	> 200	Andesita totalmente silicificada Diorita en primario Pórfido A	20

Con el objeto de poder asignar valores de IRS a cada uno de los tipos litológicos definidos en el Modelo Geotécnico de la Mina Este, se procesaron los datos disponibles a la fecha sobre el particular. Dichos datos provienen de los ensayos geotécnicos realizados a la fecha (CMLP, 1980, 1981, 1993). Se ensayaron 32 muestras en trozos de testigos de sondajes de 10 cm; 15 correspondieron a sondajes que penetran en la Mina Este y 17 fueron tomados de sondajes perforados a una distancia de hasta 1 km de la mina. Estos fueron agrupados según litología y mineralización.

Con los valores registrados se procedió a determinar, mediante el nomograma de la Figura N°13 (Laubscher, 1990), el IRS promedio de acuerdo a los porcentajes de roca débil y fuerte en el macizo rocoso. Estos valores corresponden aproximadamente al promedio aritmético de los valores registrados para cada tipo litológico. Los valores obtenidos se resumen en la Tabla N°7.

Tabla N°7: Valores asignados al IRS en la Mina Este.

LITOLOGIA	ALTERACION	ZONA MINERALOGICA	%ROCA DEBIL	IRS [MPa]	CANTIDAD DETERMINACIONES
Diorita	Bt	Enriquecimiento	25	64.10	6
Diorita	Bt	Primario	26	115.50	9
Pórfido A	Bt	Enriquecimiento	22	123.30	1
Pórfido A	Bt	Primario	22	188.60	1
Pórfido B	Bt	Enriquecimiento	23	94.60	2
Andesita	Bt	Enriquecimiento	20	72.00	1
Andesita	Bt	Primario	20	75.30	1
Brecha Biotita	Bt, Silicificación	Lixiviado Parcial	25	57.20	4
Brecha Biotita	Bt	Primario	25	123.30	1
Diorita Brechizada	Silicificación	Lixiviado Parcial	24	66.60	1
Diorita Brechizada	Bt, Filica	Enriquecimiento	24	65.00	2
Andesita Brechizada	Bt	Enriquecimiento	24	86.00	2
Roca silicificada	Silicificación	Enriquecimiento	20	67.80	1

Figura N°13: Nomograma para determinación de IRS promedio donde el macizo rocoso contenga zonas débiles y fuertes (Laubscher, 1990)

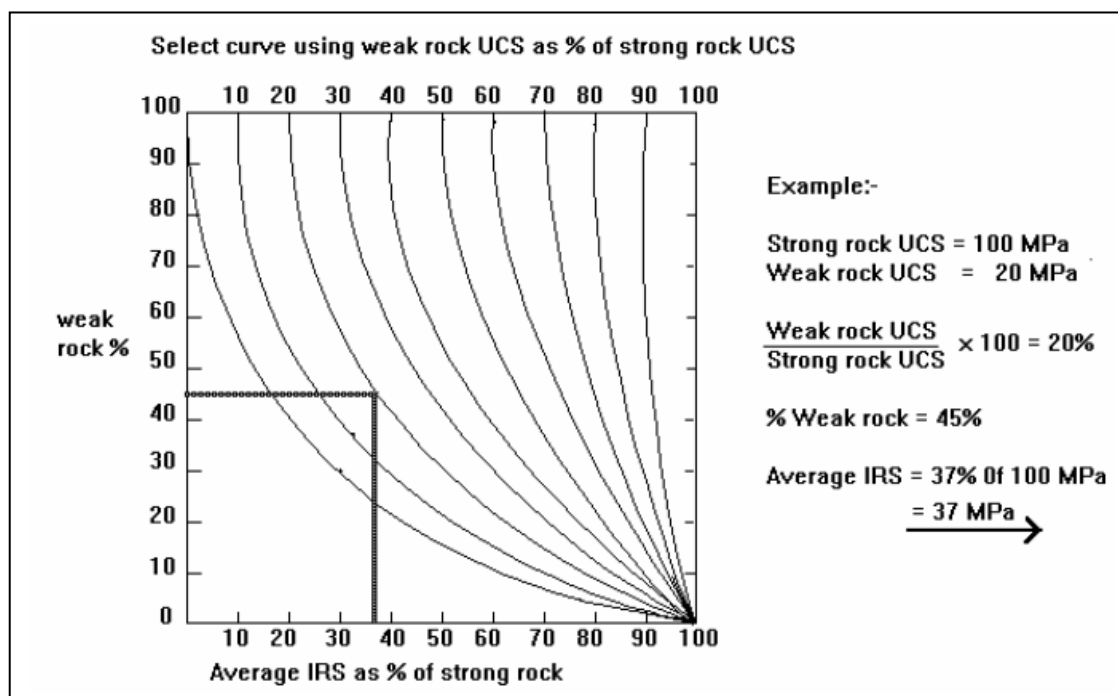
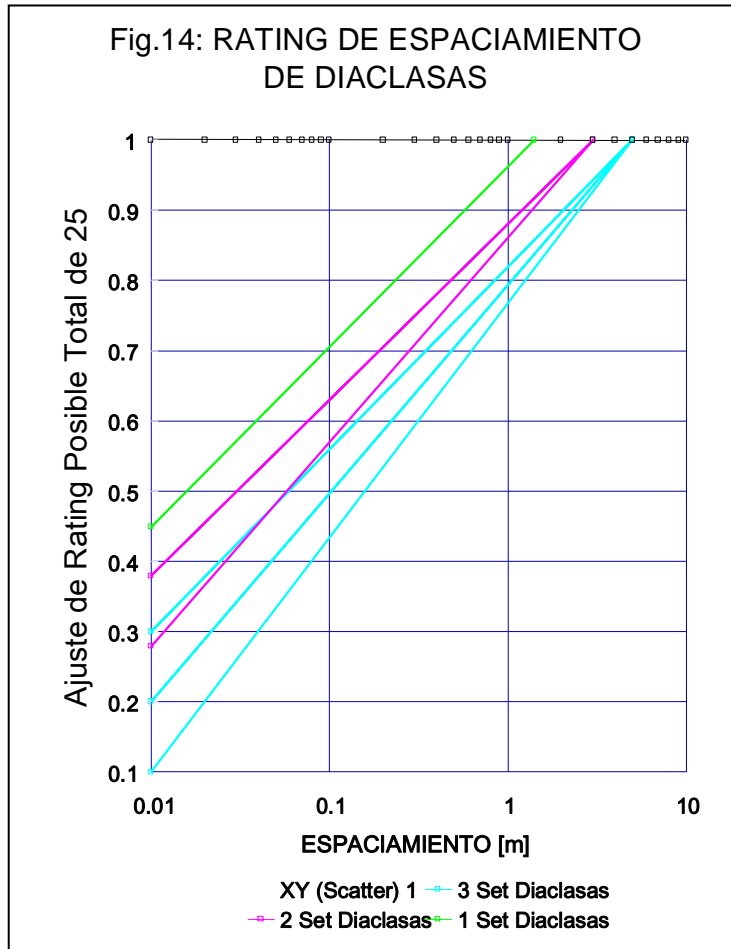


Figura N°14: Nomograma para determinación de rating espaciamento de diaclasas (Laubscher, 1990)



5.3.3 Espaciamento de Fracturas (Js)

Otro parámetro considerado en la clasificación geotécnica de Laubscher corresponde al espaciamento de fracturas. En este caso, todas las discontinuidades, ya sean fallas, diaclasas, cizalle, vetillas, planos de estratificación, o contactos litológicos poco competentes.

Para determinar la implicancia en el rating relativo al espaciamento de fracturas es necesario caracterizar los 3 sistemas principales. El espaciamento de fracturas puede ser caracterizado tanto en superficie de rocas de galerías, como en testigos de sondajes. En el espaciamento de fracturas dentro del rating de Laubscher se llega a un valor máximo de 25.

En el caso de testigos de sondajes, se mide dentro de cada tramo geotécnico definido en el mapeo del sondajes, la separación de las fracturas de acuerdo al ángulo que forman con respecto al eje longitudinal del testigo; los rangos definidos son: 0°-29°, 30°-59° y 60°-90°. Contabilizando el número de fracturas en cada rango es posible calcular un espaciamento promedio de las fracturas en cada rango. Luego, se estima un espaciamento real entre las fracturas a partir de un ángulo intermedio del rango. Se

separa los tres espaciamientos del tramo geotécnico de acuerdo a un espaciamiento máximo, mínimo e intermedio. Con estos datos y mediante el ábaco de la Figura N°14 se obtiene la evaluación respectiva.

En galerías, se caracterizan los sistemas principales que cortan 3 ejes ortogonales imaginarios, distinguiéndose directamente tres espaciamientos, uno máximo, mínimo e intermedio, luego se llevan al ábaco de la Figura N°14, para determinar la evaluación del rating respectiva.

Al requerir conocer el espaciamiento de fracturas en galerías, es necesario contabilizar sólo las estructuras más repetitivas, que crucen la labor o que generen bloques importantes; y no deben considerarse las fracturas generadas por tronadura; estas fracturas por impacto producen una zona de descompresión alrededor del túnel de aproximadamente 1 a 2 m, que implica la generación de bloques de roca de menor tamaño. La idea del Js es contabilizar sólo las fracturas del sector no influenciado por las tronaduras, ni descompresiones ocurridas durante el tiempo en que la galería se encuentra expuesta, ni por la deformación de magnitudes y direcciones de los esfuerzos producto de la minería propiamente tal. Las vetillas selladas tampoco se contabilizan.

En la Tabla N°8 se encuentran las separaciones mínimas para los espaciamientos mínimos, máximos e intermedios de fracturas en diferentes tipos litológicos en la Mina Este.

Tabla N°8: Valores de espaciamiento de fractura observados en diferentes tipos litológicos de la Mina Este.

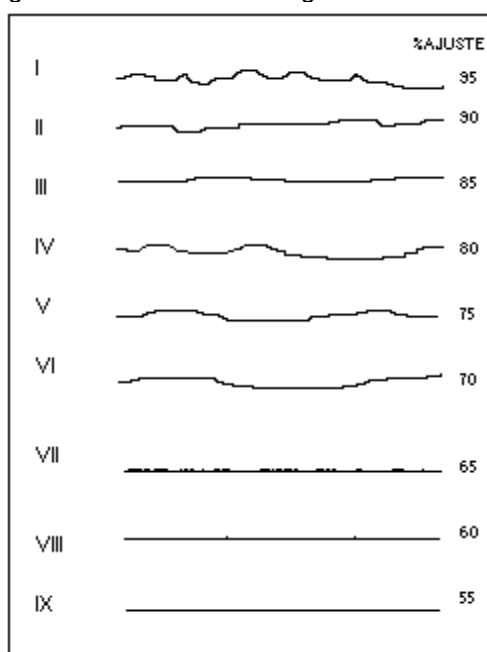
Litología	Espaciamiento		
	Mínimo [cm]	Intermedio [cm]	Máximo [cm]
Diorita	20	40	50
Andesita	10	20	30
Pórfidos	35	40	55
Brechas	10	30	100
Diorita Brechizada	15	40	50

5.3.4 Condición de Fracturas (Jc)

La condición de fracturas tiene una ponderación de un 40% en el rating de Laubscher del comportamiento del macizo rocoso sujeto a excavaciones. La caracterización está basada en las características de ondulosidad y planaridad de las fracturas (JcA), la rugosidad (JcB), la alteración (JcC) y el relleno de éstas (JcD). Para cada uno de estos parámetros existe una corrección por el nivel de humedad que la fractura posea.

Cada uno de estos 4 parámetros y sus rangos de valores para las distintas clases se resumen en la Tabla N°8 y Figura N°15.

Figura N°15: Perfiles de rugosidad de diaclasas utilizado en el rating de Laubscher en la Mina Este.



La observación práctica del Jc en la Mina Este, se puede apreciar en la Tabla N°9:

Tabla N°9: Valores obtenidos del Jc en diferentes tipos litológicos de la Mina Este.

LITOLOGIA	JcA		JcB		JcC		JcD	
	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda
Diorita	95-90	90-85	90-85	85-80	100	100	100-95	85-90
Pórfidos	95-85	90-80	90	85	100	100	100	96
Andesitas	95	90	85	80	100	100	100-97	95-90
Brechas	96	94	95	92	100	100	100-98	98-96
Diorita Brechizada	95	92	95-85	92-82	100	100	98-96	95-93

5.4 CONSTANTES ELASTICAS

Durante un ensayo de Resistencia a la Compresión Simple, es posible, registrar simultáneamente la carga de compresión y las deformaciones axial y diámetro que una muestra experimenta. Los valores así obtenidos, se llevan a un gráfico de esfuerzo v/s deformación, a fin de poder analizar la curva de comportamiento de la muestra y proceder a la determinación de los módulos elásticos: Módulo de Young (E) y Razón de Poisson (μ).

El módulo de elasticidad (E) corresponde a la pendiente del tramo lineal de la curva esfuerzo v/s deformación axial, obtenida a partir de un ajuste por mínimos cuadrados de los puntos experimentales de laboratorio.

La razón de Poisson (μ), corresponde al coeficiente entre la pendiente de la curva esfuerzo v/s deformación axial y la pendiente de la curva esfuerzo v/s deformación diámetro, determinadas ambas en el tramo lineal de las curvas respectivas.

Estos parámetros son utilizados por las áreas de Planificación y Operación Minera de la Superintendencia de Mina de CMLP, para lograr una caracterización de los diferentes tipos litológicos en su respuesta a las tronaduras.

En la Tabla N°10 se encuentran los valores medios del Módulo de Young y la Razón de Poisson para distintos tipos litológicos desde probetas de sondajes de la Mina Este del Yacimiento Los Pelambres.

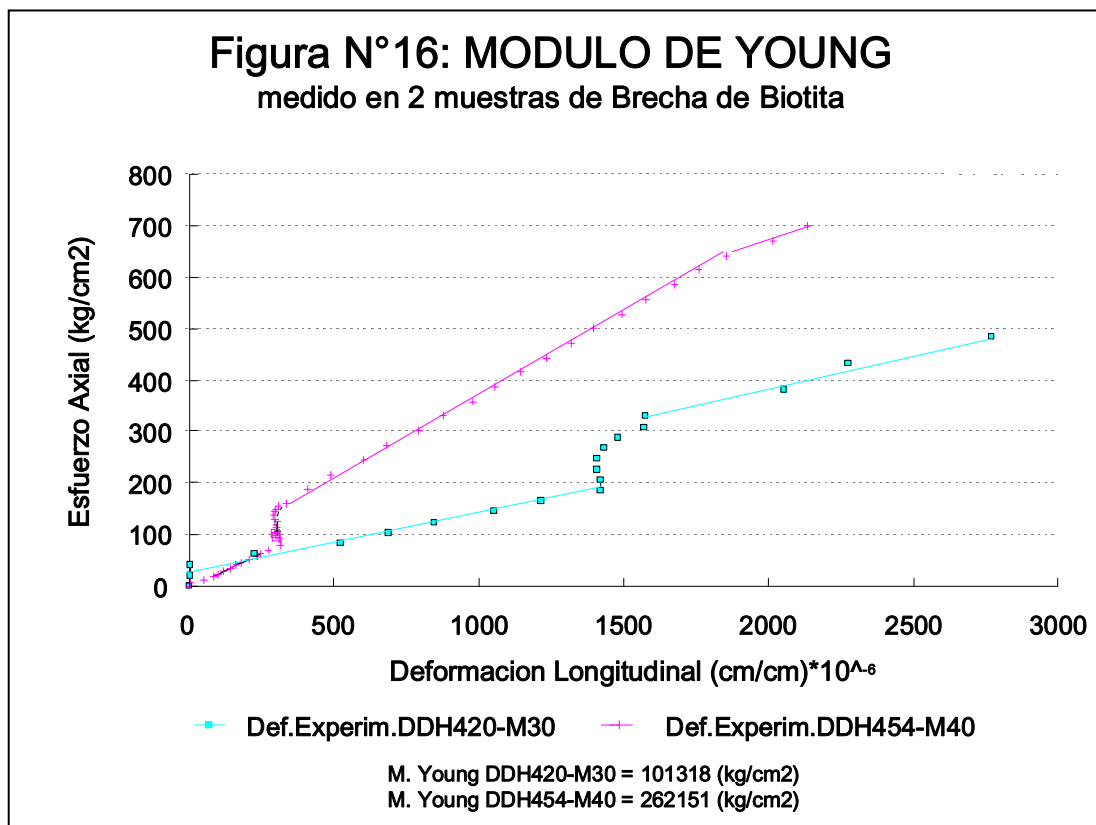
Tabla N°10a: Valor medio del Módulo de Young en la Mina Este.

LITOLOGIA	E medio [kg/cm²]	Desviación Estándar	E mínimo [kg/cm²]	E máximo [kg/cm²]	Numero ensayos
Diorita	376359	159702	196095	576500	9
Pórfido A	321192	156542	210500	431884	2
Pórfido B	224602	80115	133720	285000	3
Andesita	362508	193311	225817	499200	2
Brecha Biotita	294517	146408	101318	423000	4
Diorita Brechizada	302703	132008	209359	396047	2
Andesita Brechizada	245516	128829	154420	336613	2
Roca silicificada	263723				1

En la Figura N°16 se presenta el Módulo de Young analizado en muestras de brecha de biotita, donde se observa un comportamiento elástico y luego una deformación plástica, a partir de la cual sigue un nuevo estado elástico hasta la ruptura. Se puede explicar este estado intermedio de deformación por el reacomodo de minerales cementantes de la brecha, como biotita, sericita y oquedades propias de la brecha las cuales actúan como amortiguación a los esfuerzos. Es posible explicar la formación del clivaje

de fractura en la brecha de biotita pensando en el segundo estado elástico sin llegar a la ruptura, lo cual no se aprecia en otros tipos litológicos, tan penetrativo como en la brecha. Como consecuencia de lo anterior, se puede explicar el comportamiento de la brecha de biotita frente a la tronadura, debiendo aplicarse un mayor factor de carga para tener un buen quiebre del macizo.

Figura N°16: Grafico del Módulo de Young en dos muestras de Brecha de Biotita de la Mina Este.



A partir de los valores obtenidos en la Razón de Poisson se observa que la andesita brechizada y la muestra de roca silicificada, presentan los valores más altos de todos los tipos litológicos. En general, son poco usuales valores mayores a 0.50, lo que sugiere una deformación excesiva de la roca en sentido diametral, lo cual puede deberse a la presencia de microfracturas en la roca. Esto es común en la andesita brechizada, roca muy frágil, la cual presenta un intenso vetilleo de cuarzo; algo semejante ocurre en la muestra de roca silicificada, en el cual se observa un alto valor de la Razón de Poisson.

Por otro lado, como información adicional de un ensayo de determinación de fatigas in-situ empleando el método de overcoring realizado en el cruzado XP-42 del nivel 3104, se obtiene una medida del esfuerzo principal σ_1 con orientación N35°W/20°E (CMLP, 1982).

Tabla N°10b: Valor medio de la Razón de Poisson en la Mina Este.

LITOLOGIA	μ medio	Desviación Standar	μ mín	μ máx	Número Determinaciones
Diorita	0.15	0.07	0.05	0.28	9
Pórfido A	0.10	0.04	0.07	0.12	2
Pórfido B	0.17	0.14	0.09	0.33	3
Andesita	0.21	0.08	0.15	0.27	2
Brecha Bt.	0.24	0.14	0.12	0.44	4
Diorita Brech.	0.16	0.00	0.16	0.16	2
Andesita Brech.	0.52	0.23	0.36	0.68	2
Roca silicificada	0.45				1

5.5 CALIDAD GEOTECNICA DE LAS ROCAS ESTUDIADAS

5.5.1 Generalidades

En general, las rocas excavadas y por excavarse en el sector estudiado, corresponden a rocas de calidad geotécnica variables entre buenas (2a-2b) y regulares (3a-3b) según Laubscher, 1990; puntualmente se reconocen de calidad mala (4a-4b), (ver Figuras N°17 a-m del anexo). Existen otras calidades geotécnicas debido a la ocurrencia de sectores más superficiales con coluvio de calidad (5b) y rocas con lixiviación total de calidad (4a).

5.5.2 Descripción de unidades geotécnicas

Las distintas calidades geotécnicas de la Mina Este están controladas principalmente por una combinación del tipo litológico, estructuras geológicas mayores y diversas clases de alteración, tanto hipógena como supérgena; esto conforma distintas unidades geotécnicas modeladas que se describen a continuación:

Rocas de Calidad Geotécnica Regular a Mala (3b-4a)

En el sector norte de la Mina Este existe una baja calidad geotécnica la cual, en general, se encuentra muy relacionada a los diferentes tipos litológicos. En dicho sector, se encuentran rocas de calidad geotécnica regular a mala (3b-4a), estas corresponden a andesita, la cual se encuentra caracterizada por ser una roca muy dura, pero a la vez frágil. Esta particularidad la adquiere debido a que es el tipo litológico más antiguo en la zona y que ha sufrido numerosos procesos geológicos tales como intrusiones y diferentes eventos de alteración, además, ha sufrido una fuerte introducción de sílice mediante metasomatismo de contacto. Es importante señalar que las excavaciones realizadas en andesita presentan la clase señalada y deben realizarse con extrema precaución, debido a que esta roca se fractura y sobreexcava con facilidad, aunque esto ocurre generalmente en pequeñas colpas, principalmente en sectores de amplia luz o gran área expuesta como las intersecciones de labores. Las andesitas, en general, se presentan en afloramientos aislados, no mayores de 50 m y sin orientación preferencial.

Otras rocas que presentan calidad regular (3b) corresponde a la brecha de biotita, localizada principalmente en el sector norte de la Mina Este; esta calidad la presenta generalmente cuando las rocas se encuentran altamente cizalladas y/o lixiviadas.

En el extremo oeste de la Mina Este se encuentran rocas con lixiviación total producto de una fuerte meteorización, en general estas rocas corresponden a Pórfido A y Diorita las cuales alcanzan una calidad 4a.

Rocas con Calidad Geotécnica Regular 3a.

Esta calidad geotécnica alcanza uno de los mayores volúmenes de roca en la Mina Este, asociada a numerosos tipos litológicos y preferentemente a estructuras mayores. Se dispone con una dirección preferencial noreste y forma elongada en el norte y centro de la Mina Este.

Las rocas más características de esta calidad son las brechas, las cuales presentan en general, cizalle con orientación NNW e inclinación subhorizontal. Mediante este lajamiento se producen ocasionalmente caídas de "planchones" pequeños desde el techo, debido principalmente a la tendencia a realizar excavaciones con sección cuadrada, que si bien facilitan la extracción del mineral, inciden desfavorablemente en la clase geotécnica ajustada (MRMR).

La calidad geotécnica de estas rocas con lajamiento, a pesar de ser muy penetrativo presenta una buena cohesión debido a la rugosidad de la superficie de las fracturas y la casi inexistencia de rellenos. Estas rocas brechizadas presentan la característica de "amortiguar" las explosiones, debido al comportamiento plástico que poseen, reflejado en los ensayos de módulos elásticos estáticos.

Dentro de la clase 3a también existen dioritas con alteración cuarzo-sericita intensa, o con numerosas vetillas con alto contenido de sericita, desfavorable como relleno debido a que actúa como mineral de baja cohesión, canalizador y captador de agua. Esto genera problemas de inestabilidad, principalmente en los sectores de intersección de labores debido a la generación de mayor "luz", donde fácilmente pueden conjugarse diversos sistemas estructurales, principalmente subhorizontales, generando "cuñas", "planchones" y/o bloques de roca. También en la diorita se presentan fracturas con rellenos de minerales producto de lixiviación, tales como sulfatos o limonitas, los que generan problemas similares al bajar la cohesión de las fracturas. Además en esta clase se presentan localizadamente pórfidos cizallados, de baja extensión areal.

Rocas de Calidad Geotécnica Buena 2b.

Es la calidad geotécnica de mayor extensión areal, la cual se ubica preferentemente en el sur de la Mina Este. El tipo litológico más común de esta clase corresponde a la diorita, la cual presenta alta dureza, con una resistencia a la compresión simple promedio de 70 MPa, con bajo fracturamiento, pero que ocasionalmente se conjuga en grandes cuñas o bloques, principalmente en sectores de intersección de labores, de preferencia en el cruzado de cabecera sur de todos los niveles. Esta roca también presenta una rápida tracción o "descompresión" lo que exige acuar constantemente para evitar el peligro de caída de rocas, tanto desde paredes como desde el techo. Esta roca a pesar de tener buena calidad "in situ", debe ser tratada en forma especial al realizar los ajustes por minería para convertir el RMR en MRMR, principalmente en los aspectos que guardan relación con la geometría de las labores, y con el ajuste por esfuerzos. Las caídas inesperadas de cuñas o bloques debido a rápidas descompresiones tal vez se deban a la presencia de esfuerzos retenidos en la diorita, fenómeno muy común en estos tipos de

intrusivos. Estos esfuerzos tenderán a aumentar en profundidad y hacia el este, producto de una mayor columna de roca, mientras que hacia la superficie, o sea hacia el oeste, debiera disminuir el efecto de descompresión debido a la mayor facilidad de liberación de esfuerzos.

Sin duda que las rocas con mayor calidad geotécnica son los pórfidos, que generalmente presentan una calidad 2b, a excepción de cuando se encuentran muy meteorizadas o afectadas por cizalle.

Rocas de Calidad Geotécnica Buena 2a.

De menor representatividad se ubican al extremo noreste y sureste de la Mina Este y son principalmente dioritas frescas, sin alteración y muy poco afectadas por estructuras mayores.

5.6 APLICACIONES DEL MODELO GEOTECNICO AL SISTEMA PRODUCTIVO

Mediante el rating "in situ" del macizo rocoso (RMR) y considerando factores de ajuste, dependientes del ambiente minero y de los esfuerzos a que se encuentra sometido el macizo rocoso se obtiene el rating del macizo rocoso minero (MRMR), el cual puede ser utilizado en el diseño y planificación mineros. Los parámetros de ajuste son la meteorización, el stress minero inducido, la orientación de las diaclasas y los efectos de la tronadura. En la Mina Este, es posible utilizar esta información en aspectos tales como: detalles de diseño, estabilidad, sostenimiento, secuencias de avances, orientación de labores, áreas de influencia, tamaño y forma de pilares, geometría de la excavación, dilución por roca, contaminación por coluvio, sectores con mayor posibilidad de encontrar techos colgados y perforaciones radiales tapadas para carguío, entre otros. Una aplicación del MRMR al sistema de explotación sub-level caving puede observarse en la Tabla N°11.

Además, se entrega una descripción general del comportamiento a la molienda, aplicable a Planta de Chancado de Los Pelambres.

Tabla N°11: Aplicación del Modelo Geotécnico al Sistema de Explotación Sub-level Caving. Modificado de CMLP (1993).

Clase	1		2		3		4		5	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Subclase										
MRMR	100-91	90-80	80-71	70-61	60-51	50-41	40-31	30-21	20-11	10-0
Calidad	Muy Buena		Buena		Regular		Mala		Muy Mala	
Perforaciones tapadas para carguío	Nunca		Rara vez		Ocasionales		Frecuentes		Muy Frecuentes	
Desgaste Viseras	Nada		Leve		Bajo		Regular		Fuerte	
Estabilidad	Muy Buena		Buena		Regular		Mala		Muy Mala	
Acuñadura	Puntual		Ocasional		Periódica		Constante		_____	
Sostenimiento	Nada		Puntual		Bajo		Medio		Fuerte	
Angulo de Intersección de galerías	> 30°		> 45°		> 60°		> 75°		No recomendable	
Fragmentación Cualitativa	Grandes Bloques		Gruesa		Regular		Fina		Muy fina	
Dilución por roca	Muy Baja		Baja		Media		Alta		Muy Alta	
Contaminación por coluvio	Muy frecuente		Frecuente		Ocasional		Rara vez		Nunca	
Techos colgados	Muy frecuente		Frecuente		Ocasional		Rara vez		Nunca	
Radio hidráulico para hundimiento [m]	> 50		50 - 32		32 - 18		18 - 8		8 - 1	
Comportamiento a la Molienda	Dura, grandes Bloques		Buena		Regular a media		Mala a regular		Comportamiento arcilloso	

Una vez obtenida la clase ajustada (MRMR) es posible definir diversos sostenimientos utilizando la Tabla N°12 y la Tabla N°13, realizadas por Laubscher (1990) los cuales son una excelente guía para la aplicación técnica de soporte en sectores inestables.

Tabla N°12: Sostenimiento aplicando MRMR (Laubscher, 1990)

MRMR	RMR									
	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5A	5B
	←----->					----->				
	Reforzamiento de roca					Deformación plástica				
1A										
1B										
2A										
2A	a	a								
3A	b	b	a	a						
3B	b	b	b	b	b	c				
4A	r	r	c	c	c	d	d			
4B				d	e	f	f	c+l		
5A						f/p	h+f/p	h+f/l	h+f/l	
5B							h+f/p	f/p	t	t

Los códigos para las variadas técnicas de sostenimiento se indican en la Tabla N°13.

Tabla N°13: Técnicas de Sostenimiento (Laubscher, 1990).

Reforzamiento de la roca:

- a Pernos eventuales.
- b Pernos espaciados cada 1 m.
- c b y cintas de acero, y malla si la roca está finamente fracturada.
- d b y shotcrete (hormigón proyectado) con malla o fibra de acero y pernos como restricción lateral.
- e d y cintas de acero con o en el shotcrete.
- f e y cables como reforzamiento y restricción lateral.
- g f y postes de madera, concreto o acero.
- h Pernos en parrilla.
- i Grouting (Inyecciones de cemento).

Revestimiento rígido:

- j Marcos de madera.
- k Marcos de acero rígido.
- l Hormigón de revestimiento.
- m k y l
- n Hormigón armado.

Revestimiento activo, técnicas de repartición de esfuerzos para alta deformación.

- o Marcos de acero deslizantes.
- p o, en hormigón de revestimiento o shotcrete.

Relleno:

- q Relleno (marinas, marinas con lechada, hormigón, etc.)

Control de caída de bloques:

- r Pernos y cables enlazados con mallas.

Reemplazo de rocas:

- s Reemplazo de roca por material de alta resistencia.
- t Evitar la excavación, si es posible.

6 CONDICIONES GENERALES DE ESTABILIDAD DE GALERIAS

En la zona de estudio, las rocas afectadas por estructuras mayores caen dentro de la clase 3b-4a y se concentran en general, en el sector norte de la Mina Este. Se indica en general los tipos principales de estructuras que desmejoran la calidad geotécnica de rocas:

- Fallas Mayores: Son fallas con orientación N51°E/54°S, con espesores mayores de 20 cm, con una observación de su traza a escala mayor de ondulación ligera y observación a pequeña escala de planos ondulados a rugosos. El relleno está constituido por roca triturada, arcillas y minerales de alteración. Estas fallas generan hacia los lados roca cizallada con alcances de 1 a 5 m.

Corresponden a estructuras de larga corrida y en muchos lugares generan caída de rocas de preferencia desde el techo, con sobreexcavaciones considerables.

En el sector norte del nivel 3104, en zona de pilares, cuyo desarrollo fue realizado para el sistema de explotación, room and pillar, y luego fue explotado por sub-level caving. Esto pone en condiciones de inestabilidad estos sectores, al ocurrir tronadura en el techo y al acercarse el caving, además, al estar atravesados los pilares por fallas, como la falla Pilar, pueden ocurrir deslizamiento de bloques. Esta situación fue solucionada reforzando la roca mediante la colocación de pernos, malla y shotcrete.

- Fallas Menores: Corresponden a fallas en general de orientación N81°E/31°S, tienen espesores variables entre 2 a 20 cm, con observación de su traza a escala mayor ondulosa y a escala menor de superficie ondulosa estriada. El relleno está constituido por roca triturada, arcillas y limonitas.

Ocasionalmente provocan caída de "planchones" de distintos tamaños, principalmente en zonas de mayor "luz" como son los sectores de intersección de galerías. En general, no provocan problemas mayores de inestabilidad en las galerías.

- Clivaje de Fractura: Corresponden a zonas fuertemente fracturadas (mayor a 20 fracturas por metro lineal), de N44°W/29°W, sin rellenos, con trazas de ondas multidireccionales y superficies rugosas. En promedio presentan una calidad geotécnica según Laubscher entre 2a a 3b. No generan mayores problemas de estabilidad, salvo cuando están lixiviadas y cercanas a fallas mayores.

- Oquedades: Debe mencionarse la ocurrencia en la brecha de biotita y la diorita brechizada de oquedades, las cuales varían desde algunos centímetros a unos 3 m de diámetro y hasta unos 5 m de profundidad. Esto puede observarse en la Foto N°4. Estas oquedades provocan problemas de caída de rocas cuando se encuentran en el techo de las galerías, en algunos casos, ocurren sobreexcavaciones de hasta 3 m en la vertical, lo cual se aprecia en la Foto N°5.



Foto N°4: Oquedad en la pared oeste del slot S1-S2, del nivel 3104, en brecha de biotita con cizalle N30°W/50°W, de 3m de diámetro y 5 m de profundidad.



Foto N°5: Oquedad en el techo de cruzado XP-26, en el nivel 3104, 1m de diámetro y 3m de profundidad.

En algunos casos las oquedades se encuentran rellenas con arcillas, como halloysita, arcilla expansiva residual resultante de la alteración pervasiva de feldespatos. Esto fue observado en el nivel 3093, en el cruzado XP-19, relleno oquedades y algunas diaclasas cercanas, como puede apreciarse en la Foto N°6. Este relleno podría provocar eventualmente caída de rocas desde los techos, debido a la mínima cohesión que presentan las fracturas con este relleno.



Foto N°6: Relleno de halloysita en oquedades, en diorita brechizada, en la pared sur del cruzado XP19, en el nivel 3093.

7 CONCLUSIONES

En el presente trabajo se han logrado establecer las características estructurales y geotécnicas principales de los niveles superiores de la Mina Este del Yacimiento Los Pelambres. Se indican a continuación los resultados de los análisis realizados.

Se ha determinado la existencia de dos direcciones preferenciales de fallas, la primera caracterizada por un sistema de fallas inversas de alto ángulo de manteo, con orientación N51°E/54°S, dentro del cual se encuentran la falla Pilar, con orientación N40-50°E/40-55°S, la falla Aleja, con orientación N45-50°E/50-60°S y la falla Norma, con orientación N50-55°E/55-60°S. Estas son estructuras post-mineralización las cuales no se ha visto sean cortadas por otro tipo de estructuras; el segundo tipo de fallas inversas de bajo ángulo de manteo, con orientación N81°E/31°S, conjugadas de las anteriores. Las fallas inversas de bajo ángulo serían una consecuencia de la imbricación de las fallas de alto ángulo y serían "fallas inversas relativas". También se ha determinado otras cuatro direcciones secundarias de fallas, N65°W/21°S; N80°E/64°S; N12°E/78°E, entre este tipo de estructuras se encuentra la falla Berta, con orientación N10-25°E / 70-75°E; y, N48°E/82°S, en este grupo se incluye la falla Nortina, con orientación N45-55°E/73°S.

En la Mina Este se ha encontrado una dirección preferencial de clivaje de fractura la cual corresponde a N44°W/29°W, se han encontrado además, otras dos direcciones secundarias de clivaje de fractura N27°E/22°W y N58°E/48°S, esta última dirección es paralela a una dirección principal de fallas.

Se han determinado tres direcciones preferenciales de los set de diaclasas en la Mina Este, estas corresponden a N53°E/52°S, dirección paralela a una de las direcciones principales de fallas; N67°W/84°N; y, N44°W/45°E.

Las fracturas presentan dos direcciones preferenciales N40°E/50°S, semejante a una de las direcciones principales de fallas; y, N50°W/80°E, esta última coincide con una de las direcciones principales de sets de diaclasas.

Las vetillas mapeadas en la Mina Este corresponden a vetillas de cuarzo, de sulfuros y cuarzo con sulfuros, siendo los sulfuros en vetillas la pirita, calcopirita, calcosina, bornita y molibdenita. Estas vetillas presentan en general, una orientación preferencial de N35°E/37°E y secundariamente se encuentran N50°E/90° y N17°W/40°E.

Además, se ha encontrado que las vetillas de cuarzo, generalmente estériles presentan orientación N40°W/50°W; y las vetillas de cuarzo con pirita y sericita blanca, asociadas a la etapa de alteración destructiva de feldespatos presentan orientación N40°E/50°E, semejante a la dirección

preferencial de todas las vetillas. Las vetillas de cuarzo con bordes rectos de 5 a 20 cm de espesor, asociadas a la etapa de mineralización tardía de vetillas de cuarzo presentan orientación N30°E/90°.

Se ha logrado también caracterizar geotécnicamente el macizo rocoso involucrado en los niveles superiores de la Mina Este del Yacimiento Los Pelambres. Las calidades geotécnicas de las rocas de la Mina Este se encuentran controladas principalmente por una combinación del tipo litológico, estructuras geológicas mayores y diversas clases de alteración, conformando las distintas unidades geotécnicas.

En el sector norte de la Mina Este se encuentran rocas con calidad geotécnica regular a mala (3b-4a). Estas rocas están relacionadas a la andesita, roca dura pero muy frágil, generalmente silicificada, lo cual provoca el fracturamiento en bloques de tamaños centimétricos, y ocurren sobreexcavaciones con facilidad. También se produce un rápido desgaste de viseras en este tipo litológico.

Se presenta también calidad geotécnica regular (3b) en brecha de biotita cuando las rocas se encuentran altamente cizalladas y lixiviadas. En general, la brecha de biotita presenta superficies de contacto de fracturas muy rugosas, por lo que tienen alta cohesión.

Se presenta calidad geotécnica regular (3a) en gran parte de las rocas de la mina Este, en diversos tipos litológicos, como brechas con cizalle y diorita con alteración cuarzo sericítica presentándose en una dirección preferencial NE, con una forma elongada en el norte y centro de la Mina Este. En el sector sur, se presenta diorita con alteración cuarzo sericítica, la cual debido a la escasa cohesión de las fracturas provoca la caída de bloques.

La calidad geotécnica buena (2b) se presenta en rocas del sector sur de la Mina Este, ocurriendo comúnmente en diorita. El ajuste del RMR por orientación de diaclasas tendrá mayor ponderación, especialmente en la evaluación del cruzado de cabecera sur, donde se aprecian estructuras desfavorables con respecto a las galerías, en sectores de amplia luz como los inicios de cruzados de producción. Estas estructuras provocan la generación de cuñas y la caída de bloques.

Se presenta calidad geotécnica buena (2a) en el sector noreste y sureste de la Mina Este, principalmente en rocas con alteración potásica de fondo en diorita, no afectadas por estructuras mayores ni alteración sobreimpuesta.

En general, las rocas del sector estudiado presentan calidad geotécnica variables entre buena (2a-2b) y regular (3a-3b) según la clasificación geotécnica de Laubscher; puntualmente se reconocen rocas de calidad geotécnica mala (4a-4b). Debido a la cercanía de las rocas a la superficie se caracterizan las rocas con lixiviación total de calidad geotécnica mala (4a) y el coluvio de calidad geotécnica muy mala (5b). Se identifica el sector atravesado por fallas con influencia de 3 a 5 m con calidad geotécnica mala (4b).

8 REFERENCIAS

Aubouin, J.; Borrello, A; Charrier, R; Chotin, P; Frutos, J; Thiele, R; Vicente, J.C., 1973. Esquisse Paleogeographique et structurale des Andes Meridionales. Revue de Geographie Physique et Geologie dynamique, V. I F. 1, p. 11-72.

Acosta H. 1981. Geología del yacimiento Los Pelambres y distribución de la mineralización en el perfil N-6,490,300, Región de Coquimbo. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile. Santiago-Chile.

Aguirre, L. 1960. Geología de Los Andes de Chile Central. Provincia de Aconcagua. Boletín N°9, IIG, Santiago.

Aguirre, L. y Egert, E. 1965. Cuadrángulo Quebrada Marquesa, Provincia de Coquimbo. Carta geológica de Chile N°15. IIG. Santiago.

Avila, A.; Clavero, J.; Farfán, L.; Gutierrez, A.; Lara, A.; Pincheira, W.; Rojas, F.; Sáez, M.; Tapia, M.; Ugalde, I.; Villegas, J. y Zapatta, F. 1992. Geología Distrito Minero Los Pelambres. Inedito Depto Geología. Fac. Cs. Físicas y Mat. U. de Chile.

Beniawski, Z. 1974. Geomechanics classification of rock masses and its application in tunneling. Proc. Third International Congress on Rock Mechanics, ISRM, Denver. Vol.11 A, 1974, p.27-32.

Barton, N., Lien, R. y Lunde, J. 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics Vol.6, N°4, pp 183-236.

Butler, R. 1982. The terminology of structures in thrust belts. Journal of Structural Geology Vol.4, N°3, p. 239-245.

Casamiquela R. 1969. Hallazgo de Dinosaurios en el Cretácico Superior de Chile. Boletín N°25. IIG. Santiago.

Carter y Aguirre. 1965. Structural Geology of Aconcagua Province and its relationship to the Central Valley graven, Chile. Geol. Soc. Bull. Vol. 76 N°6. p.651-664.

Charrier, R. 1981. Mesozoic and cenozoic stratigraphy of the Central Argentinian- Chilean Andes (32°-35°S) and cronology of their tectonic evolution. Zentralblatt fur Geologie und Palaeontologie. Teil I, N°3, 4, p. 344-355.

CMLP. 1982. Determinación de fatigas in-situ en Pelambres. Informe Interno 4067.

CMLP. 1993. Evaluación de Reservas Geológicas Corto Plazo ECPJUN93 Sector Mina Este Los Pelambres. Informe Interno Sg/352/93.

Cuitiño, L. 1985. Estudio geológico del Yacimiento de lapizlázuli Flor de Los Andes. Universidad de Chile, Departamento de Geología y Geofísica. Memoria de Título (Inédito), 150p. Santiago.

Deere, D.U. 1964. Technical description of rock cores for engineering purposes. Rock Mechanics and Engineering Geology I/1.

GARRIDO, Iván, CEMBRANO, José, SINA, Armando *et al.* High magma oxidation state and bulk crustal shortening: key factors in the genesis of Andean porphyry copper deposits, central Chile (31-34°S). *Rev. geol. Chile*. [online]. jul. 2002, vol.29, no.1 [citado 22 Diciembre 2005], p.43-54. Disponible en la World Wide Web:

<http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-02082002000100003&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0716-0208.

Gash, P. 1987. Field manual geotechnical data collection. London. England.

Karzulovic J. y Karzulovic A. 1982. Algunos comentarios sobre la clasificación geotécnica de rocas. Memorias Primer Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica. Vol. I. Santiago.

Lahsen, A. 1976. Actividad geotermal y sus relaciones con la tectónica y volcanismo en el norte de Chile. I Congreso Geológico Chileno, actas Vol. 1. p.B105-B127.

Laubscher, D.H. 1977. Geomechanics classification of jointed rock masses-mining applications. Trans. Instn Min. Metall. (Sect. A). Vol.86.

Laubscher, D.H. 1990. A geomechanics classification system for the rating of rock mass in mine design. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 90, N° 10, pp 257-273.

Moscoso, R. 1982. Hoja Los Andes, Carta geológica de Chile. N°52, SERNAGEOMIN. 60p.

Munizaga, F; Vicente, J.C. 1982. Acerca de la zonación plutónica y el volcanismo miocénico en los Andes de Aconcagua. (Lat. 32°-33°S). Datos radiométricos K-Ar. Rev. Geol. de Chile. N°16. p.3.

Olivares A. 1985. Geología de la alta cordillera de Illapel entre los 31°30' y 32°00' Lat. Sur. Memoria Magister en Ciencias Mención Geología, Departamento de Geología, Universidad de Chile. Santiago de Chile.

Padilla, H. 1980. Alteración y metamorfismo de bajo grado en el área estero San Francisco-Baños del Corazón-Quebrada las Vizcachas, Provincia de los Andes, Valparaiso, Chile. Taller de Título. Universidad de Chile.

Palmstrom, A. 1985. Application of the volumetric joint count as a measure of rock mass jointing. Proceedings of the International Symposium on Fundamentals of Rock Joints. Björkliden.

PNUD. 1971. Informe Técnico N°21. Investigación detallada de minerales en áreas seleccionadas de las Provincias de Atacama y Coquimbo. Nueva York.

Quirt, S.; Clark, A.; Farrar, E. 1971. Potassium-Argon ages of porphyry copper deposits in the northern and central Chile. Geological Society of America, Bulletin, vol. 3 N°7. p.676-677.

Reich, M.; Parada, M.A.; Palacios, C.; Dietrich, A. And Lehmann, B. 2002 Adakitic magmatism at the Los Pelambres giant porphyry copper deposit, Chile. Géodynamique andine: résumés étendus Andean geodynamics: extended abstracts. p. 509-512

Riedel, 1929. In Naylor, M.A., Mandl, G and Sijpesteijn, C.H. 1986. Fault geometries in basement-induced wrench faulting under different initial stress states. Journal of Structural Geology v.8, p.737-752.

Rivano, S. 1980. Cuadrángulos D-86, Las Ramadas, Carrizal y Paso Río Negro, Región de Coquimbo. IIG. N°41-44. 68p.

Rivano, S.; Sepúlveda, P.; Hervé, M.; Puig, A. 1985. Geocronología K-Ar de las rocas intrusivas entre los 31°-32°S latitud sur, Chile. Revista Geológica de Chile, N°24, p.63-74.

Rivano, S. y Sepúlveda, P. 1991. Carta Geológica de Chile N°69. Hoja Illapel. SERNAGEOMIN. 131p.

Sillitoe, R. H. 1973. Geology of the Los Pelambres porphyry copper deposits, Chile. Economic Geology. Vol. 68 N°1, pp 1-10.

Twiss, R. and Moores, E. 1992. Structural Geology. Freeman and Company. New York. 532p.

Vicente, JC. 1993. Andean tectonics and crustal shortening : The Andes of Aconcagua and their structure. Second ISAG, Oxford (UK), 21-23/9/1993.pp 271-273

ANEXO DE PLANTAS DE MODELO GEOTECNICO

Figura N° 17a: Modelamiento Geotécnico. Condición de terreno en el Nivel 3126.

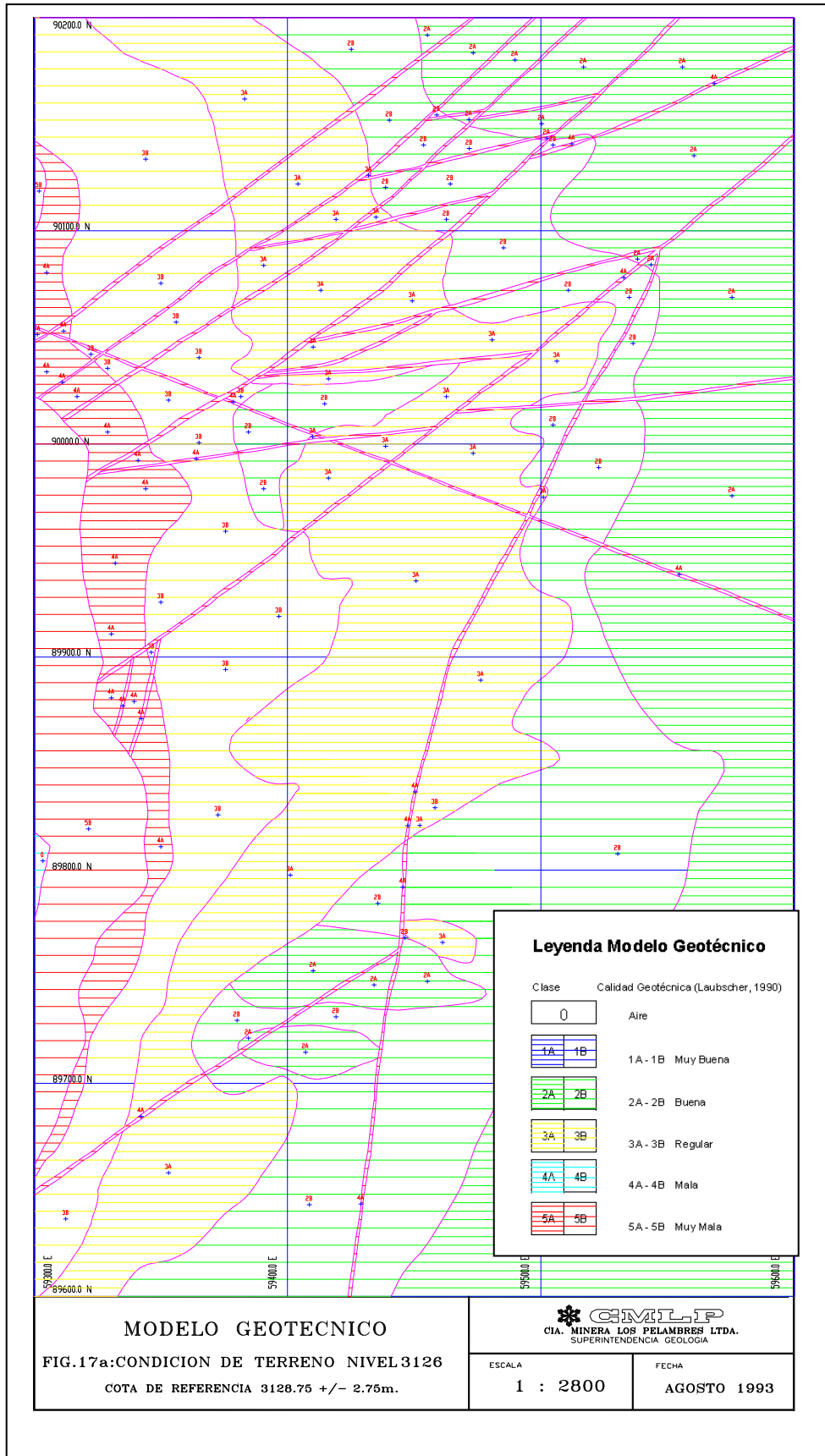


Figura N° 17b: Modelamiento Geotécnico. Condición de terreno en el Nivel 3115.

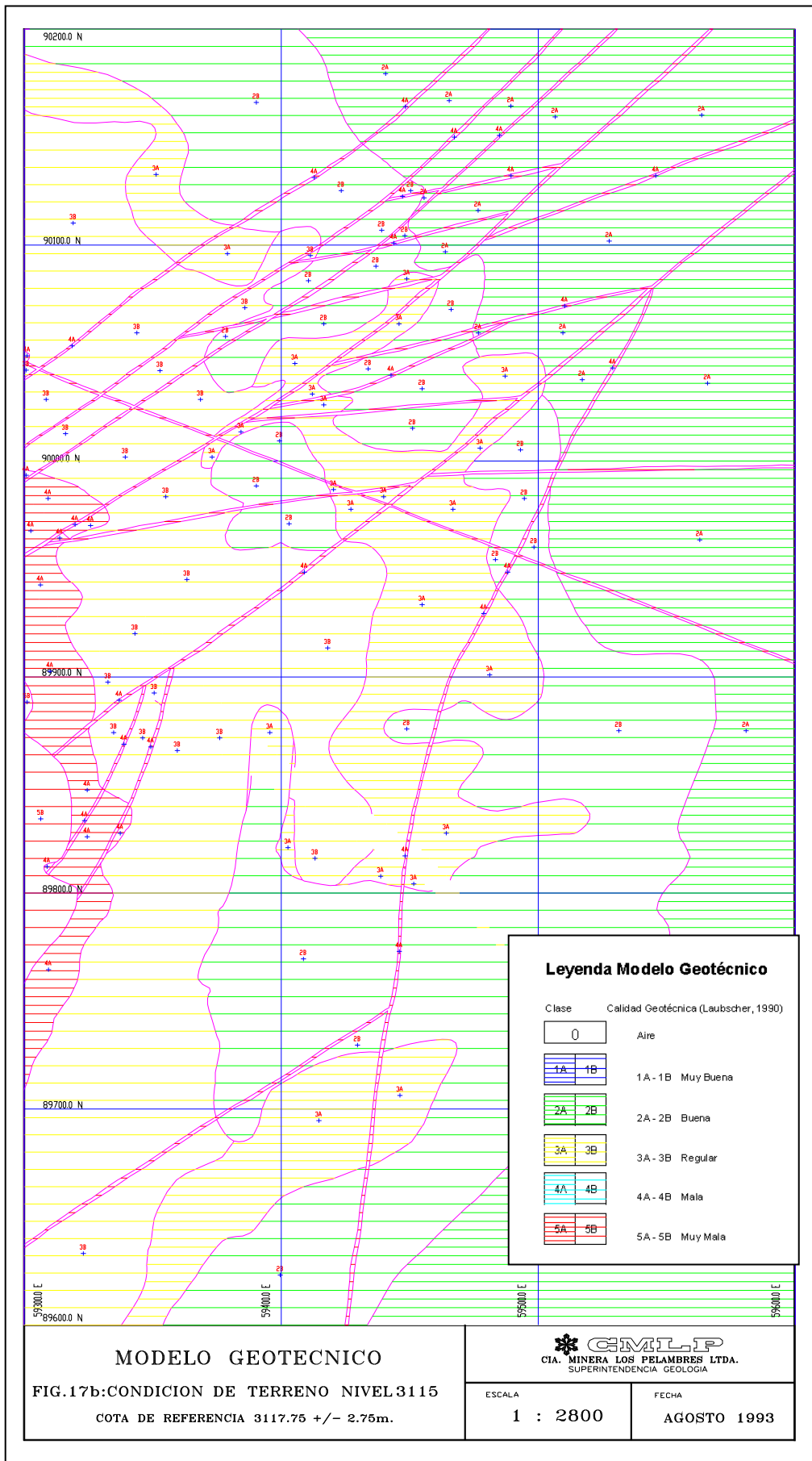


Figura N° 17c: Modelamiento Geotécnico. Condición de terreno en el Nivel 3104.

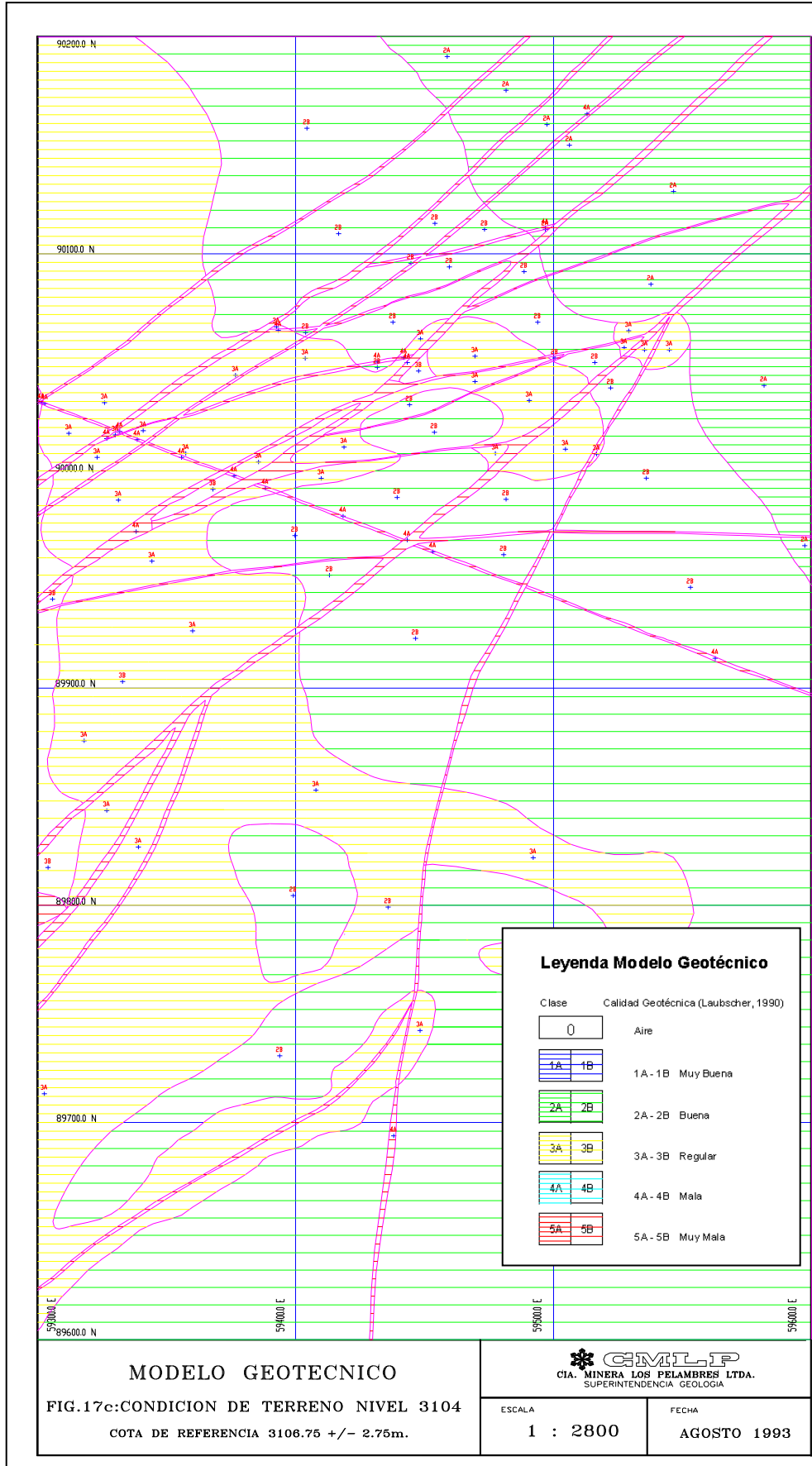


Figura N° 17d: Modelamiento Geotécnico. Condición de terreno en el Nivel 3093.

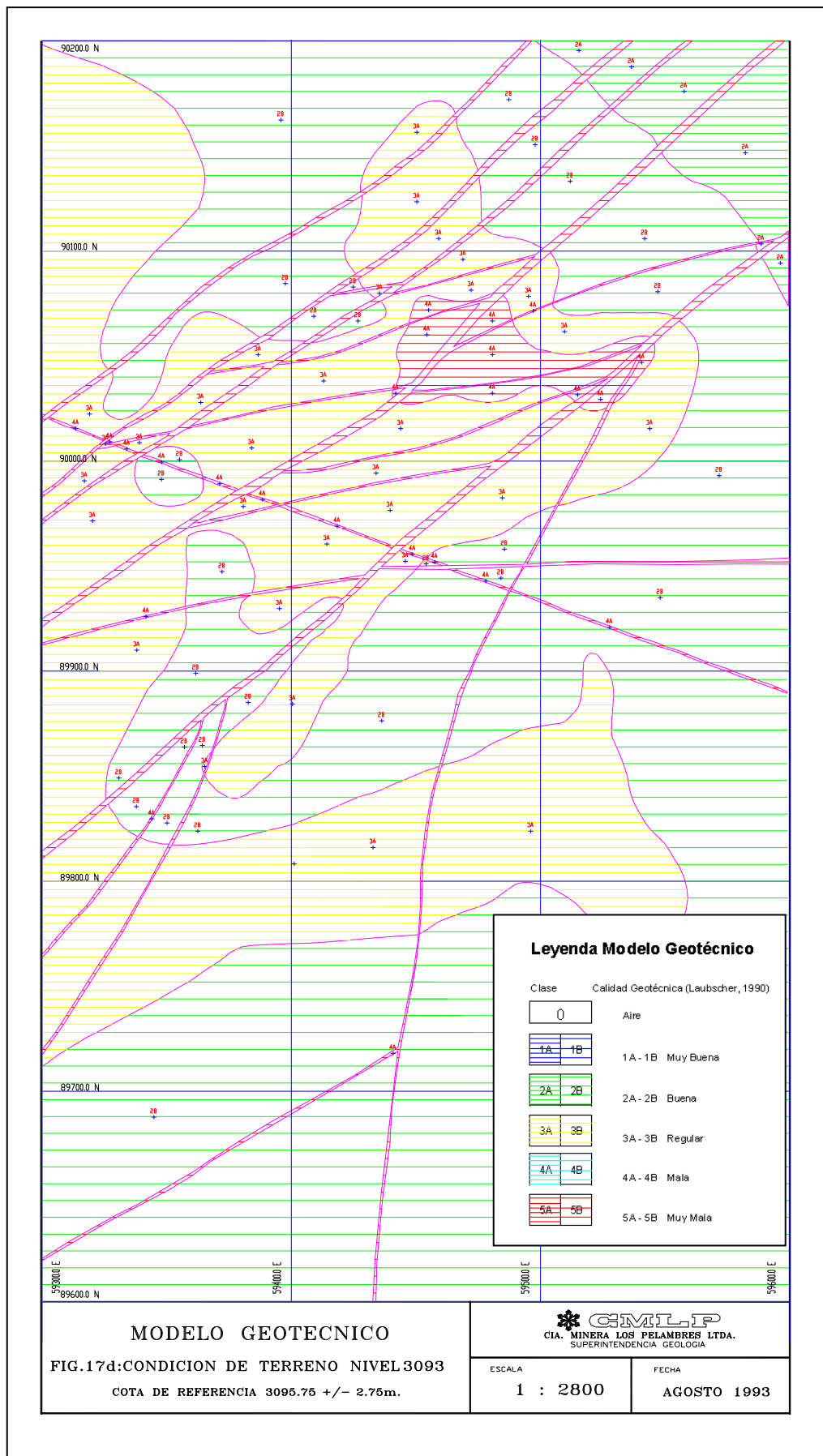


Figura N° 17e: Modelamiento Geotécnico. Condición de terreno en el Nivel 3080.

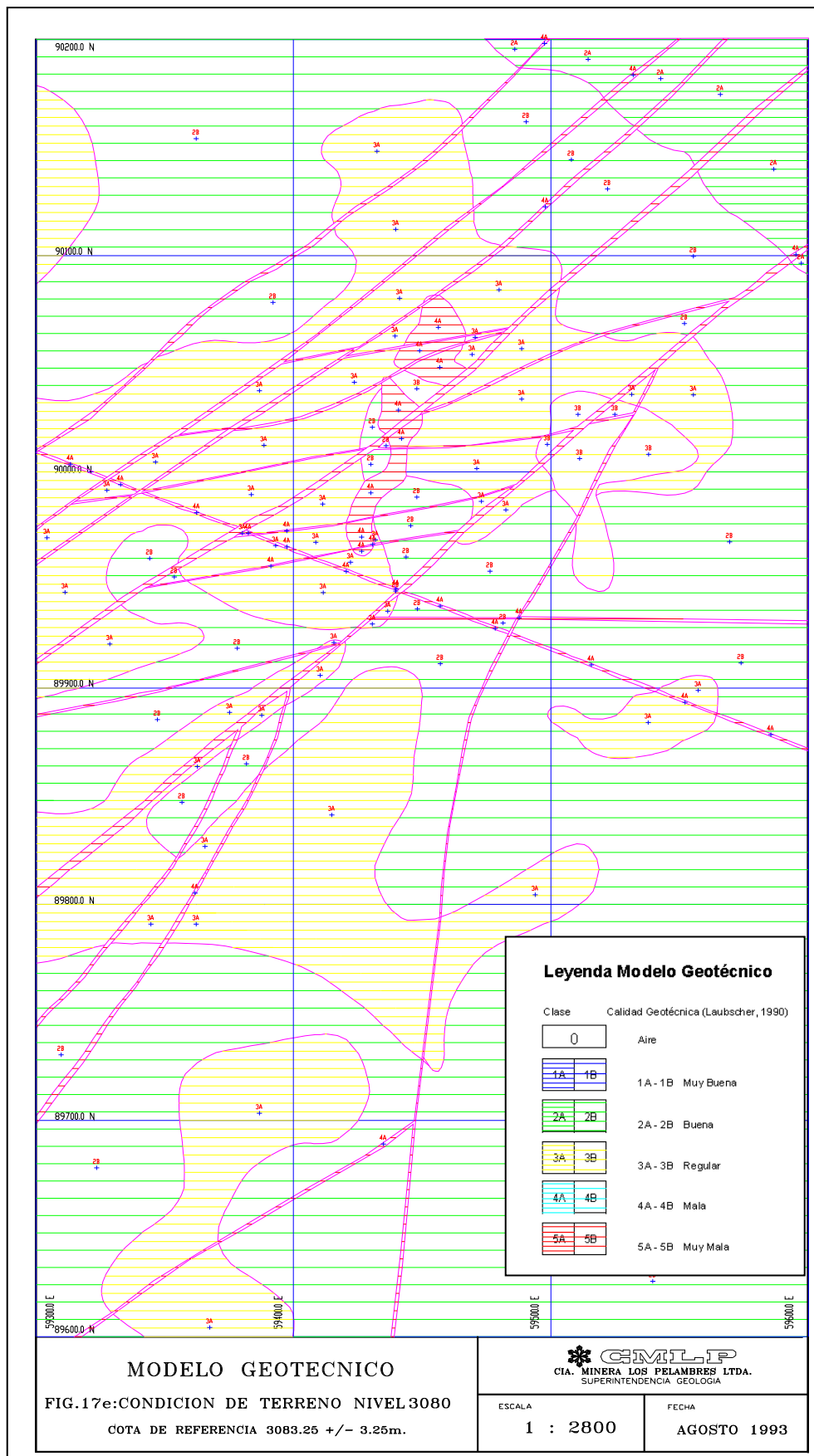


Figura N° 17f: Modelamiento Geotécnico. Condición de terreno en el Nivel 3067.

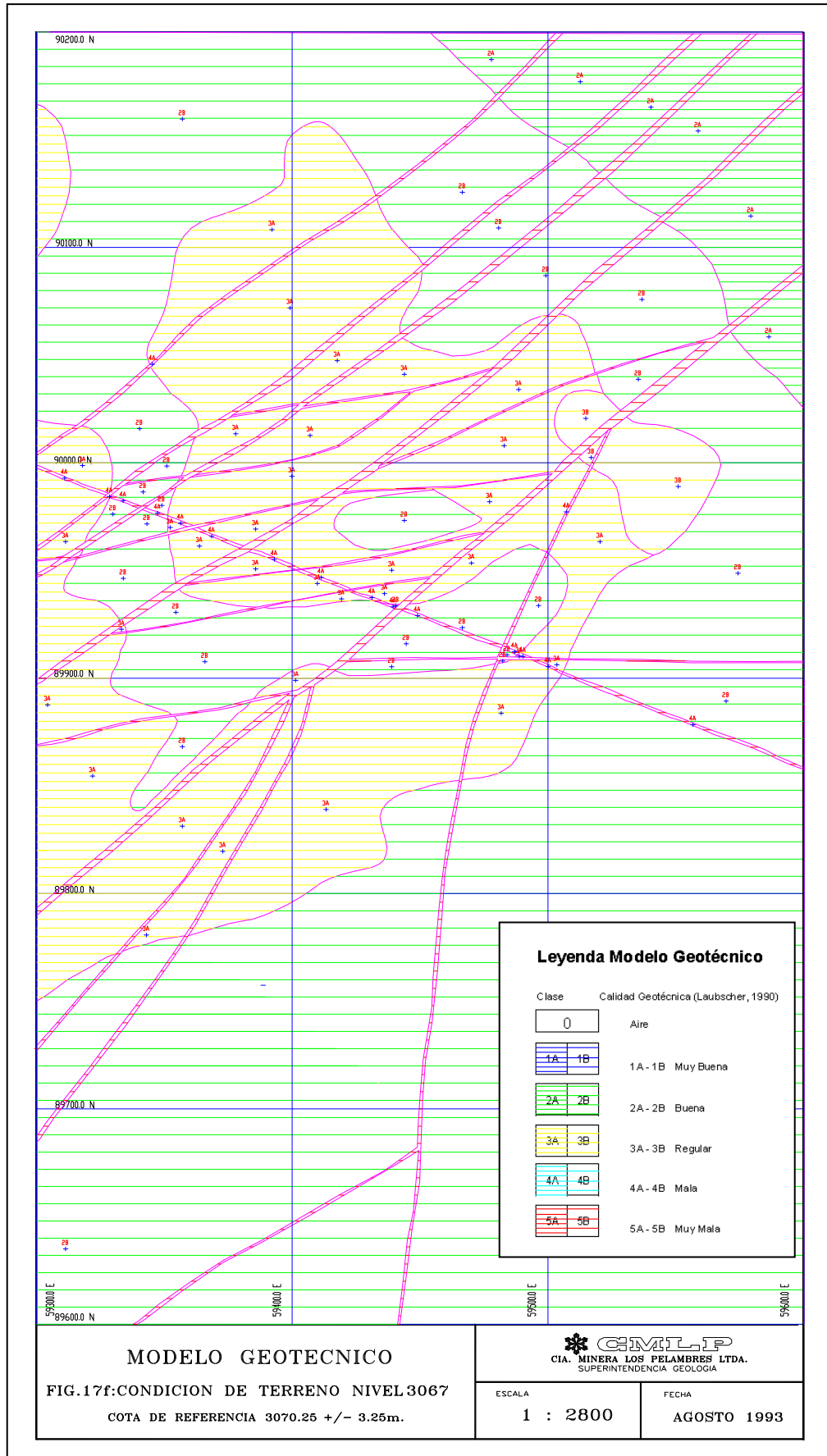


Figura N° 17g: Modelamiento Geotécnico. Condición de terreno en el Nivel 3054.

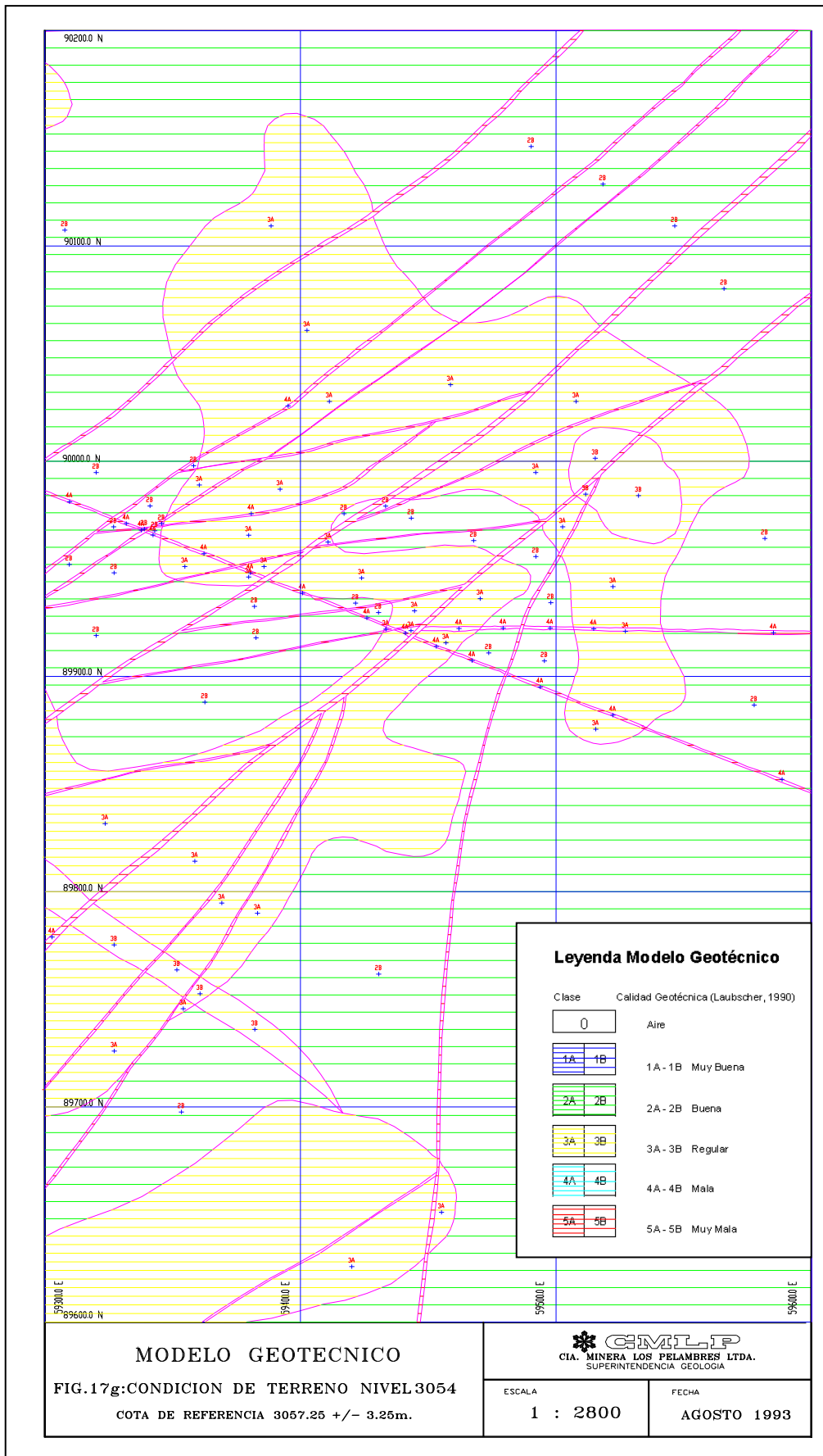


Figura N° 17h: Modelamiento Geotécnico. Condición de terreno en la Sección N-90100.

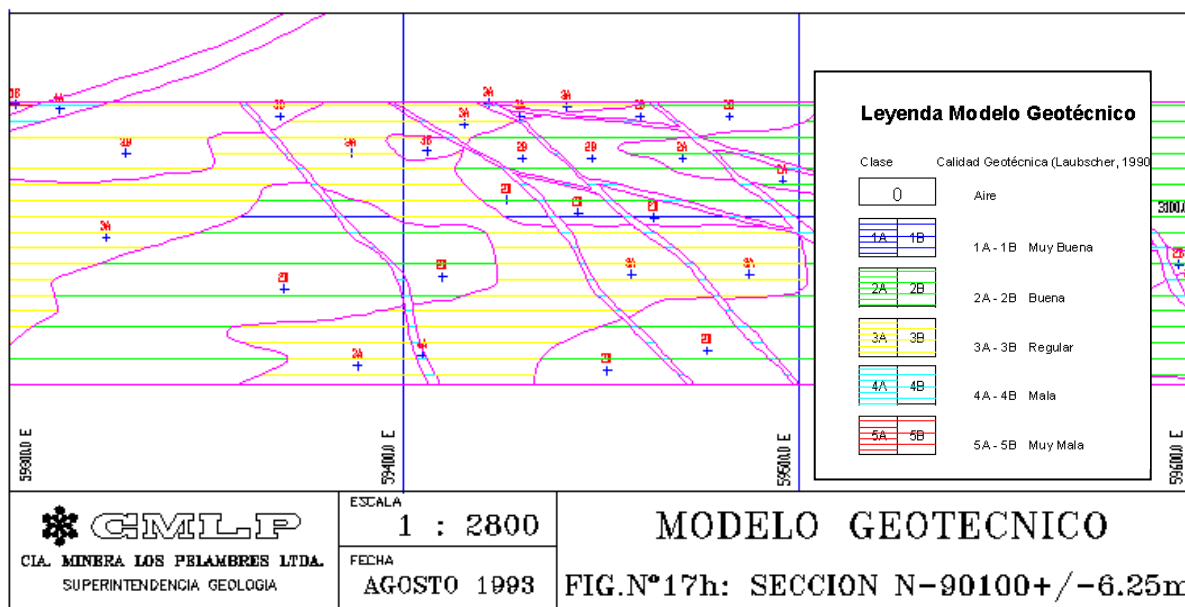


Figura N° 17i: Modelamiento Geotécnico. Condición de terreno en la Sección N-90000.

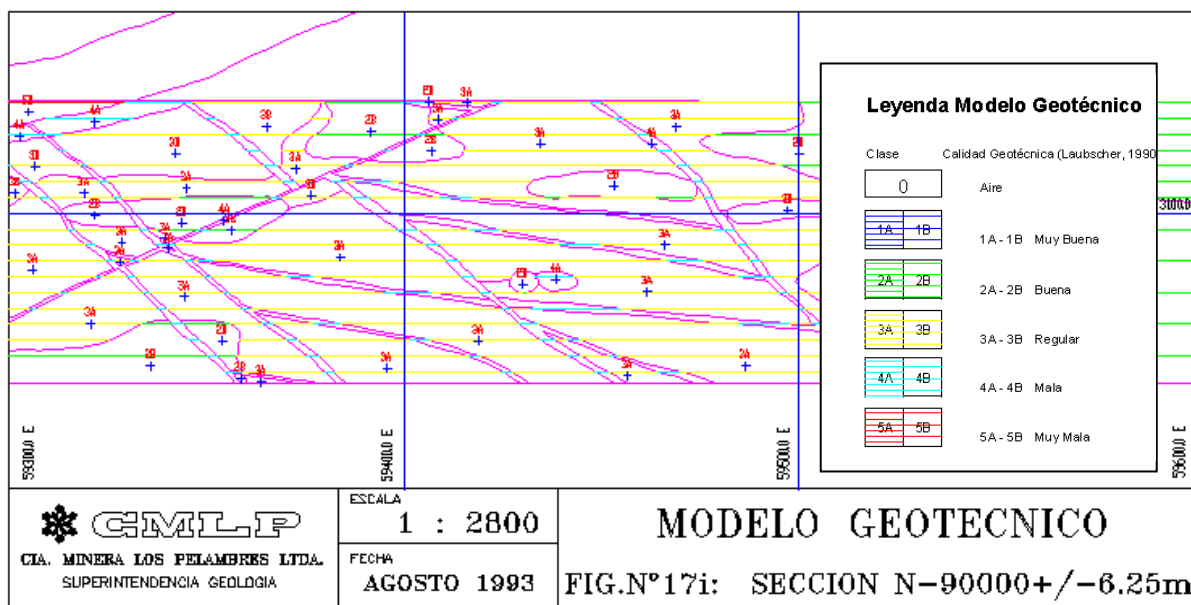


Figura N° 17j: Modelamiento Geotécnico. Condición de terreno en la Sección N-89850.

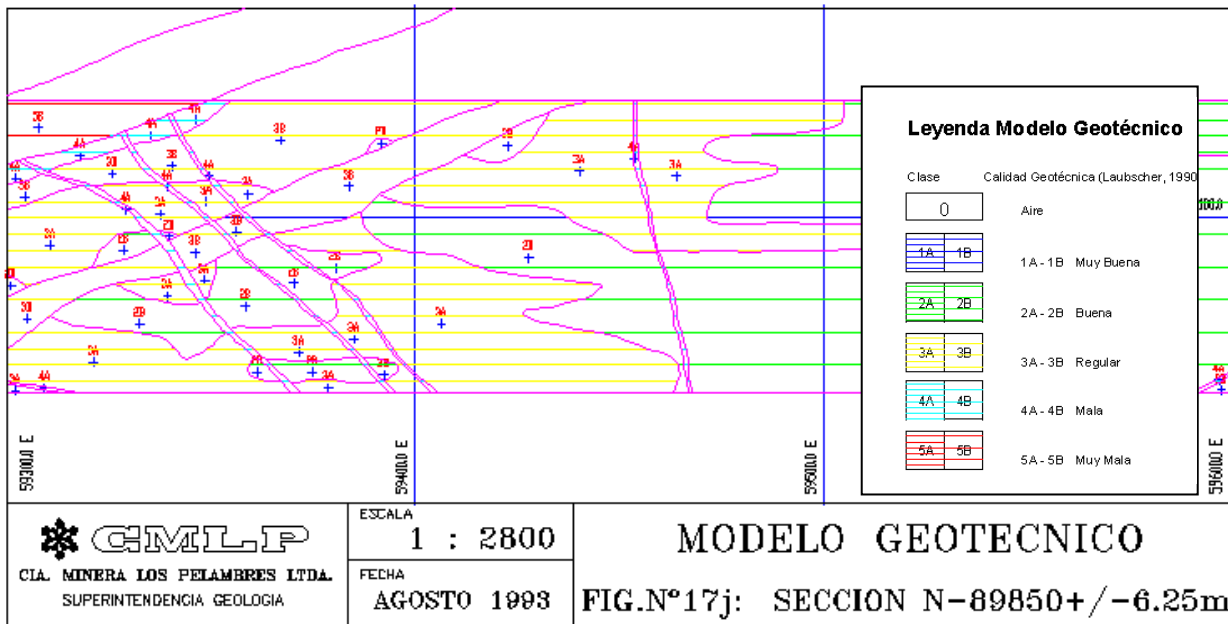


Figura N° 17k: Modelamiento Geotécnico. Condición de terreno en la Sección N-89750.

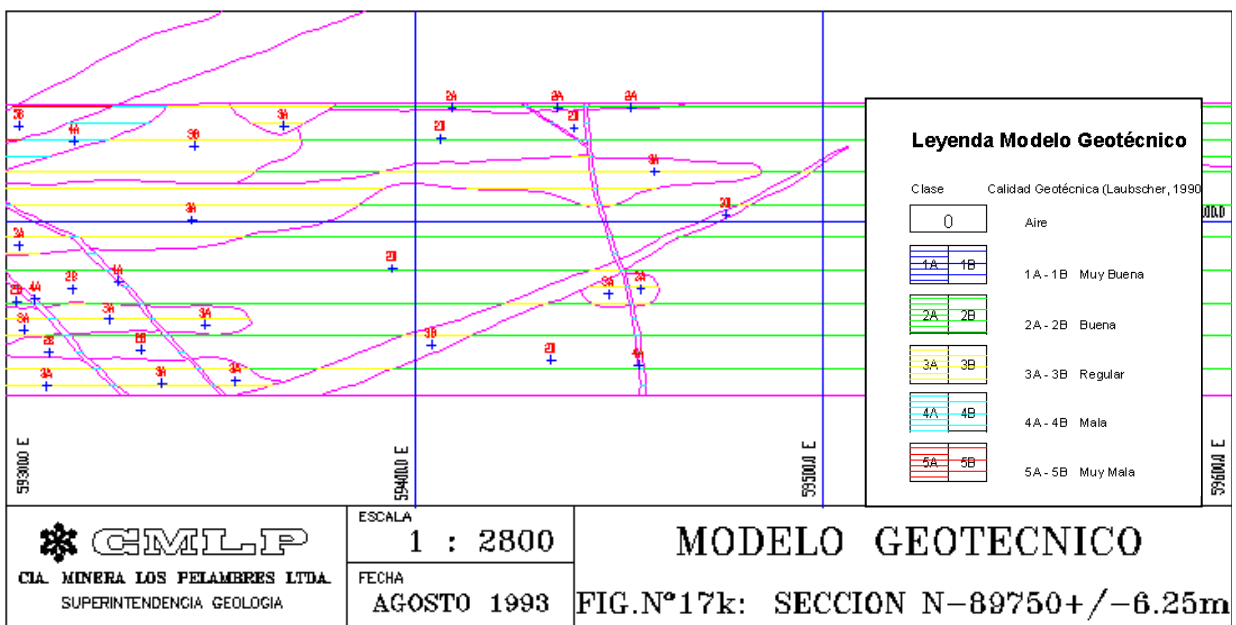


Figura N° 17l: Modelamiento Geotécnico. Condición de terreno en la Sección E-59400.
 Figura N° 17m: Modelamiento Geotécnico. Condición de terreno en la Sección E-59500.

