



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



**CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA DE FALLAS  
GEOLÓGICAS SEGÚN PARÁMETROS CRÍTICOS Y  
ESTIMACIÓN DE SU RESISTENCIA AL CORTE EN MINA  
EL TENIENTE. REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL  
BERNARDO O'HIGGINS, CHILE.**

Memoria para optar al Título de Geólogo

**Daniel Nicolás Sepúlveda Arias**

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

**Profesionales Guía:** Msc. José Edgardo Seguel Sepúlveda  
Dr. Andrés Brzovic Pérez

**Profesores Comisión:** Msc. Abraham Elías González Martínez  
Sr. Ramiro Ulises Bonilla Parra

Concepción, 2017



Dedicado a Dios, y a mis padres Héctor y Verónica.

# ÍNDICE

Página

## RESUMEN

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1. Generalidades</b> .....	1
1.1.1. Ubicación y Accesos .....	2
1.1.2. Área de Estudio .....	3
<b>1.2. Problema y Motivación</b> .....	4
<b>1.3. Objetivos</b> .....	5
1.3.1. Objetivo General .....	5
1.3.2. Objetivos Específicos .....	5
<b>1.4. Metodología de Trabajo</b> .....	6
1.4.1. Etapa de Recopilación y Análisis de Información Bibliográfica .....	6
1.4.2. Etapa de Selección y Análisis de Datos de Fallas .....	6
1.4.3. Etapa de Análisis de Resultados y Confección de Mapas e Informe .....	7
<b>1.5. Fisiografía</b> .....	7
<b>1.6. Clima, Flora y Fauna</b> .....	8
<b>1.7. Trabajos Anteriores</b> .....	9
<b>1.8. Agradecimientos</b> .....	11
<b>2. MARCO GEOLÓGICO</b> .....	13
<b>2.1. Geología Regional</b> .....	13
<b>2.1.1. Rocas Estratificadas</b> .....	14
2.1.1.1. Formación Nacientes del Teno (Bajociano-Kimmeridgiano Inferior) .....	14
2.1.1.2. Formación Río Damas (Kimmeridgiano Superior-Titoniano Inferior) .....	15
2.1.1.3. Formación Leñas-Espinoza (Kimmeridgiano Superior-Titoniano Inferior) .....	15
2.1.1.4. Formación Baños del Flaco (Titoniano-Neocomiano) .....	15
2.1.1.5. Formación Colimapu (Barremiano-Albiano) .....	16
2.1.1.6. Formación Coya-Machalí (Eoceno Superior-Mioceno Inferior) .....	16
2.1.1.7. Formación Farellones (Mioceno Superior) .....	17
2.1.1.8. Formación Colón-Coya (Plioceno-Pleistoceno) .....	17
2.1.1.9. Depósitos no Consolidados (Plioceno-Pleistoceno) .....	17
<b>2.1.2. Rocas Intrusivas</b> .....	17
<b>2.1.3. Estructuras</b> .....	18
2.1.3.1. Pliegues .....	19
2.1.3.2. Fallas .....	19
2.1.3.3. Discordancias .....	20

2.1.4. Marco Geotectónico .....	20
<b>2.2. Geología del Yacimiento El Teniente .....</b>	<b>23</b>
2.2.1. Unidades Litológicas .....	24
2.2.1.1. Complejo Máfico El Teniente (CMET) .....	24
2.2.1.2. Complejo Félsico .....	26
i) Pórfido Dacítico .....	26
ii) Tonalita .....	27
iii) Pórfido Diorítico .....	28
iv) Pórfido Microdiorítico .....	28
2.2.1.3. Complejo Brecha Braden .....	28
i) Unidad Brecha Braden .....	28
ii) Unidad Brecha Marginal .....	29
2.2.1.4. Cuerpos de Brechas Hidrotermales .....	29
i) Brechas de Anhidrita .....	29
ii) Brechas de Turmalina .....	30
iii) Brechas de Biotita .....	30
iv) Brechas Ígneas .....	30
2.2.1.5. Intrusivos Menores .....	30
i) Pórfido Latítico .....	30
ii) Diques de Lamprófido .....	31
iii) Dique de Andesita .....	31
2.2.2. Geología Estructural .....	31
2.2.2.1. Tipos de Estructuras .....	31
i) Vetas de Cuarzo .....	31
ii) Vetas Rellenas con Sulfuros .....	32
iii) Fallas .....	32
iv) Diques .....	32
2.2.2.2. Clasificación de Estructuras .....	32
i) Estructuras Distritales o de 1er Orden .....	33
ii) Estructuras Maestras o de 2° Orden .....	33
iii) Estructuras Mayores o de 3 <sup>er</sup> y 4° Orden .....	33
iv) Estructuras Intermedias o de 4° y 5° Orden .....	34
v) Estructuras Menores o de 5° a 6° Orden .....	34
2.2.2.3. Sistemas Estructurales .....	35
2.2.2.4. Descripción General de las Fallas .....	36
2.2.2.5. Descripción General de las Vetillas .....	37
i) Clasificación según Mineralogía, Alteración y Relaciones de Contacto .....	38
ii) Clasificación según Espesor de Vetilla .....	39
iii) Clasificación según Traza de Vetilla .....	39
2.2.3. Alteración y Mineralización .....	39
2.2.3.1. Etapa Tardimagmática .....	40
i) Descripción de Vetillas de la Categoría Tardimagmática .	41

2.2.3.2. Etapa Hidrotermal Principal .....	43
i) Descripción de Vetillas de la Categoría Hidrotermal Principal .....	44
2.2.3.3. Etapa Hidrotermal Tardía .....	46
i) Descripción de Vetillas de la Categoría Hidrotermal Tardía .....	46
2.2.3.4. Etapa Póstuma .....	47
2.2.3.5. Etapa Supérgena .....	47
<b>3. MÉTODOS MINEROS DE EXPLOTACIÓN .....</b>	<b>49</b>
3.1. Introducción .....	49
3.2. Método de Hundimiento de Bloques .....	49
3.3. Método de Hundimiento de Paneles .....	51
3.3.1. Diseño Minero .....	52
i) Nivel de Hundimiento .....	52
ii) Nivel de Producción .....	53
iii) Nivel de Martillos Picadores .....	53
iv) Sub-nivel de Ventilación .....	53
v) Nivel de Acarreo .....	53
3.3.2. <i>Panel Caving</i> Convencional .....	54
3.3.3. <i>Panel Caving</i> con Hundimiento Previo .....	55
3.3.4. <i>Panel Caving</i> con Hundimiento Avanzado .....	57
3.4. Método de Explotación Reservas Norte- Dacita .....	58
3.4.1. Descripción General .....	58
3.4.1.1. Nivel de Hundimiento .....	58
3.4.1.2. Nivel de Producción .....	59
<b>4. CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA DE FALLAS SEGÚN PARÁMETROS CRÍTICOS .....</b>	<b>60</b>
4.1. Introducción .....	60
4.2. Parámetros Críticos .....	60
4.2.1. Persistencia .....	60
4.2.2. Actitud .....	61
4.2.3. Espesor de Relleno .....	62
4.2.4. Material de Relleno .....	63
4.2.5. Ondulación .....	64
4.2.6. Observaciones con respecto a los Parámetros Críticos .....	65
4.3. Metodología para la Caracterización Geométrica .....	68
4.3.1. Mapa Base .....	68
i) Mapa Base "SUB6-Producción" .....	70
ii) Mapa Base "Dacita Producción" .....	72
iii) Mapa Base "SUB6-Hundimiento" .....	72
iv) Mapa Base "Dacita Hundimiento" .....	72
4.3.2. Mapa Interpretación Estructural .....	73

i) Mapa Interpretación Estructural "2102 TTE SUB6 PRO" ..	74
ii) Mapa Interpretación Estructural "2121 TTE SUB6 HUN"...	75
4.3.3. Consideraciones de los Datos .....	76
4.3.3.1. Xilab .....	76
4.3.3.2. Tipo de Información .....	77
i) Mapa Base .....	77
ii) Mapa Interpretación Estructural .....	79
4.3.3.3. Cantidad y Agrupación de la Información .....	80
4.4. Caracterización Geométrica de Fallas Intermedias del Nivel Sub6 según Parámetros Críticos .....	81
4.4.1. Persistencia de las Fallas .....	82
4.4.2. Actitud de las Fallas .....	85
4.4.2.1. Proyecciones Estereográficas y Diagramas de Concentración de Polos .....	86
4.4.2.2. Rumbo .....	90
4.4.2.3. Manteo .....	92
4.4.3. Espesor de Relleno de las Fallas .....	94
4.4.4. Material de Relleno de las Fallas .....	98
4.4.5. Ondulación de las Fallas .....	105
4.5. Correlación entre Parámetros Críticos .....	106
4.5.1. Espesor y Longitud de Traza .....	106
4.5.2. Persistencia Vertical vs Persistencia Horizontal .....	107
4.6. Relación con Fallas Principales .....	108
4.6.1. Relación de Persistencia .....	109
4.6.2. Relación de Actitud .....	109
4.6.3. Relación de Espesor de Relleno .....	110
4.6.4. Relación de Material de Relleno .....	110
<b>5. ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE DE FALLAS ANTE EL AVANCE DE LA MINERÍA .....</b>	<b>112</b>
5.1. Introducción .....	112
5.2. Aspectos Teóricos sobre Resistencia al Corte en Discontinuidades de Roca .....	112
5.2.1. Criterio de Mohr–Coulomb .....	113
5.2.2. Criterio de Patton .....	114
5.2.3. Criterio de Barton y Choubey .....	116
5.2.3.1. Descripción de las variables del criterio de Barton y Choubey .....	117
i) Esfuerzo Normal .....	117
ii) JRC ( <i>Joint Roughness Coefficient</i> ) .....	118
iii) JCS ( <i>Joint Compressive Strength</i> ) .....	118
iv) Ángulo de Fricción Residual .....	116
5.2.3.2. Efecto Escala .....	120
5.2.3.3. Comentarios Adicionales .....	120

5.2.4. Comentarios sobre Criterios Resistencia al Corte en Discontinuidades de Roca .....	121
5.3. Metodología .....	123
5.3.1. Área de Estudio .....	123
5.3.2. Determinación de los Parámetros Influyentes en la Resistencia al Corte de Fallas del El Teniente .....	126
5.3.2.1. Esfuerzo Normal ( $\sigma_n$ ) .....	126
5.3.2.2. JRC ( <i>Joint Roughness Coefficient</i> ) .....	133
5.3.2.3. JCS ( <i>Joint Compressive Strength</i> ) .....	141
5.3.2.4. Ángulo de Fricción Residual ( $\phi_r$ ) .....	146
5.4. Resultados de Resistencia al Corte y Mapa .....	147
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	151
6.1. Conclusiones .....	151
6.2. Recomendaciones .....	155
7. REFERENCIAS .....	157

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. 1. Imagen 3-D de los sectores productivos de División El Teniente .....	1
1. 2. Ubicación y vías de acceso al yacimiento El Teniente .....	2
1. 3. A) Vista en planta de algunos sectores productivos de El Teniente. B) Vista en planta del Nivel Sub6 .....	3
1. 4. Daños originados por estallidos de rocas asociados a fallas de Segundo Orden en labores de mina El Teniente .....	4
1. 5. Elevación tridimensional de la fisiografía de la VI región del Libertador Bernardo O'Higgins .....	7
2. 1. Mapa Geológico Regional de la franja cordillerana de Chile Central .....	14
2. 2. Modelo de estructuras tipo Riedel para una zona de transcurrancia sinistral .....	19
2. 3. Marco Geotectónico: (A) Perfiles transversales de la evolución magmato-tectónica de los Andes Centrales (B) Ubicación del segmento Zona Volcánica Central (ZVC), zona de <i>flat slab</i> y la porción norte de la Zona Volcánica Sur (ZVS) .....	20
2. 4. Geología simplificada del Nivel Teniente 6 del yacimiento El Teniente .....	25
2. 5. Imágenes de las unidades petrográficas del Complejo Félsico El Teniente .....	27
2. 6. Imágenes de las unidades petrográficas del Complejo de Brechas El Teniente .....	29
2. 7. Zona de Falla El Teniente (ZFT) .....	36
2. 8. Vetilla Hidrotermal fallada en Nivel Sub6 .....	37
2. 9. Vetilla Hidrotermal Tardía típica .....	38
2.10. Perfil de enriquecimiento secundario dentro de la mina .....	41
2.11. Vetillas Tardimagmáticas V1, V2 y V3 .....	42
2.12. Vetillas Tardimagmáticas V4, V5 y V6 .....	43

2.13.	Vetillas Tardimagmáticas V7 y V8 .....	44
2.14.	Vetillas de la categoría Hidrotermal Principal V9, V10, V11 y V12 .....	45
2.15.	Vetillas de la categoría Hidrotermal Tardía V13, V14 y V15 .....	47
3. 1.	Modelo isométrico que ejemplifica el método Block Caving .....	50
3. 2.	Esquema idealizado del método Hundimiento de Paneles .....	52
3. 3.	Planta del método de Hundimiento de Paneles con el sistema LHD .....	53
3. 4.	Esquema de las variantes del método <i>Panel Caving</i> .....	55
3. 5.	Esquema de la condición de esfuerzos en las variantes del método <i>Panel Caving</i> ...	56
4. 1.	Esquemas generales que describen la actitud .....	61
4. 2.	<i>Jogs</i> dilatacionales .....	62
4. 3.	Relación de escala entre el espesor de falla y su longitud .....	63
4. 4.	Material de relleno en el núcleo de falla .....	63
4. 5.	Ondulación y rugosidad de una superficie de discontinuidad .....	64
4. 6.	Representación esquemática de las propiedades geométricas de las Discontinuidades .....	65
4. 7.	Influencia de la orientación de las discontinuidades con respecto a las obras de ingeniería .....	66
4. 8.	Perfiles de Rugosidad .....	67
4. 9.	Mapeo geológico en minería subterránea. A) Frente del desarrollo minero. B) Geólogo mapeando en frente de avance .....	69
4.10.	A) Modelo Digital de terreno (DTM) de labor minera visto desde diferentes direcciones. B) DTM de calidad óptima .....	70
4.11.	A) Planta SUB6-Producción Mapa Base. B) Simbología de falla geológica del Mapa Base .....	71
4.12.	Planta Dacita Producción Mapa Base .....	72
4.13.	Planta SUB6-Hundimiento Mapa Base .....	73
4.14.	Planta Dacita Hundimiento Mapa Base .....	74
4.15.	A) Fallas del Mapa Base superpuestas al Mapa de DTMs. B) Falla del Mapa Interpretación superpuesta al Mapa de DTMs. C) DTM3678 con falla mapeada .....	75
4.16.	Planta 2102 TTE SUB6 PRO Mapa Interpretación Estructural .....	75
4.17.	Planta 2121 TTE SUB6 HUN Mapa Interpretación Estructural .....	76
4.18.	Histograma de la cantidad de fallas en porcentaje, según orden en el Sub6 .....	83
4.19.	Histograma de la cantidad de fallas según su rango de traza en el Sub6 .....	85
4.20.	Proyección estereográfica (equiareal) de polos con actitudes de Fallas Intermedias del Sub6 Nivel Producción .....	87
4.21.	Diagrama de Concentración de Polos de Fallas Intermedias del Sub6 Nivel Producción .....	87
4.22.	Proyección estereográfica (equiareal) de polos con actitudes de Fallas Intermedias del Sub6 Nivel Hundimiento .....	88
4.23.	Diagrama de Concentración de Polos para Fallas Intermedias del Sub6 Nivel Hundimiento .....	88
4.24.	Proyección estereográfica (equiareal) de polos con actitudes de las todas Fallas Intermedias (Total Sub6) .....	89

4.25.	Diagrama de Concentración de Polos para Fallas Intermedias de Total Sub6 .....	89
4.26.	A) Orientaciones preferenciales de rumbos. B) Orientaciones asociadas a los ángulos de <i>DipDirection</i> .....	90
4.27.	Histograma de la cantidad de Fallas Intermedias según las cuatro orientaciones preferenciales en el Sub6 .....	91
4.28.	Diagramas de Roseta de Fallas Intermedias del Sub6 Nivel Producción, Sub6 Nivel Hundimiento y Total Sub6 .....	92
4.29.	Histograma del porcentaje de Fallas Intermedias según rangos de manteo en el Sub6 .....	92
4.30.	Histograma del porcentaje de Fallas Intermedias según dirección del manteo en el Sub6 .....	93
4.31.	Gráfico de frecuencia acumulada de espesores mínimo y máximo de Fallas Intermedias del Sub6 .....	95
4.32.	Gráfico de frecuencia acumulada de espesores mínimo, máximo y típico de "Fallas Intermedias MB" de Sub6-Pro .....	96
4.33.	Gráfico de frecuencia acumulada de espesores mínimo, máximo y típico de "Fallas Intermedias MB" de Sub6-Hun .....	97
4.34.	Gráfico de frecuencia acumulada de espesores mínimo y máximo de Fallas Intermedias y de espesor típico de "Fallas Intermedias MB" .....	98
4.35.	Falla en un frente de avance en Reservas Norte con poco milímetros-centímetros de espesor .....	99
4.36.	Histograma de los cinco rellenos más típicos como relleno 1 o "mayoritario" en el Sub6 (Producción y Hundimiento) .....	100
4.37.	Histograma de los cinco rellenos más típicos como relleno 2 o "abundante" en el Sub6 (Producción y Hundimiento) .....	101
4.38.	Histograma de los cinco rellenos más típicos como relleno 3 o "moderado" en el Sub6 (Producción y Hundimiento) .....	101
4.39.	Histograma de los cinco rellenos más típicos como relleno 4 o "escaso" en el Sub6 (Producción y Hundimiento) .....	102
4.40.	Histograma de los cinco rellenos más típicos como relleno 1 o "mayoritario" en Total Sub6 .....	102
4.41.	Histograma de los cinco rellenos más típicos como relleno 2 o "abundante" en Total Sub6 .....	103
4.42.	Histograma de los cinco rellenos más típicos como relleno 3 o "moderado" en Total Sub6 .....	103
4.43.	Histograma de los cinco rellenos más típicos como relleno 4 o "escaso" en Total Sub6 .....	104
4.44.	Plano de falla con materiales de relleno expuestos .....	105
4.45.	Histograma de la planaridad de "Fallas intermedias MB" en Sub6 .....	106
4.46.	Gráfico de correlación entre espesor de relleno y longitud de falla .....	107
4.47.	Gráfico de persistencia horizontal versus persistencia vertical de Fallas Intermedias .....	108
4.48.	Diagramas de Concentración de Polos para Fallas Principales de Reservas Norte ..	109
4.49.	Diagramas de Concentración de Polos para Fallas Principales de Dacita .....	110

5. 1.	A) Curvas típicas tensión tangencial $\tau$ - desplazamiento tangencial $\mu$ . B) Resistencia al corte teórica de una discontinuidad plana .....	113
5. 2.	Influencia del ángulo de rugosidad ( $i$ ) en la resistencia al corte de la discontinuidad .....	115
5. 3.	Criterio de rotura bilineal de Patton .....	115
5. 4.	Ensayos de <i>tilt test</i> .....	117
5. 5.	Tabla para la evaluación de JRC de Barton y Choubey .....	118
5. 6.	A) Amplitud y longitud del perfil de la discontinuidad. B) Tabla para la estimación JRC según parámetros largo del perfil y amplitud.....	119
5. 7.	Componentes fundamentales que influyen en la resistencia al cizalle .....	121
5. 8.	Estados del macizo rocoso respecto al campo de esfuerzos .....	123
5. 9.	Polígono "RENO-Dacita" en parte de las minas Reservas Norte y Dacita en la Zona de Transición .....	125
5.10.	Relación entre los esfuerzos principales y los esfuerzos sobre el plano de falla .....	126
5.11.	Gráfico de las condiciones de esfuerzo iniciales en diferentes sectores de la mina ..	127
5.12.	Magnitud del esfuerzo principal mayor $\sigma_1$ (Pa) en RENO-Dacita .....	128
5.13.	Dirección del esfuerzo principal mayor $\sigma_1$ (Pa) en RENO-Dacita .....	128
5.14.	Magnitud (A) y dirección (B) de esfuerzo principal intermedio $\sigma_2$ (Pa) en RENO- Dacita .....	129
5.15.	Magnitud (A) y dirección (B) de esfuerzo principal menor $\sigma_3$ (Pa) en RENO-Dacita ..	129
5.16.	A) Sectores en los que se divide el área del Mapa de Resistencia. B) Direcciones del esfuerzo principal $\sigma_1$ según los tres sectores .....	130
5.17.	Esquemas para la determinación del ángulo beta .....	131
5.18.	Gráfico de resultados de esfuerzo normal sobre las fallas .....	133
5.19.	Falla geológica en a base de datos Xilab .....	134
5.20.	Archivo DXF de fallas .....	134
5.21.	Falla geológica con línea de mejor ajuste .....	135
5.22.	Tabla de Barton para evaluar la rugosidad de las fallas .....	135
5.23.	Porcentaje y largo de fallas según rango de JRC en RENO-Dacita .....	136
5.24.	Ejemplo de la variación del JRC a lo largo de la traza .....	137
5.25.	Falla completa dividida en 3 segmentos .....	138
5.26.	Frecuencia acumulada de Falla Total, Fallas o Segmentos hasta 40 m y 80 m según JRC .....	139
5.27.	Mapa de JRC de Fallas RENO-Dacita (Falla Total) .....	140
5.28.	Mapa de JRC de Fallas o Segmentos hasta 40 m .....	142
5.29.	A) Valor $\gamma=e/a$ (espesor/amplitud). B) Esquema discontinuidad indicando espesor y amplitud .....	143
5.30.	Relación amplitud/espesor de fallas RENO-Dacita .....	143
5.31.	Mapa de Xilab con las litologías principales de RENO-Dacita .....	144
5.32.	Esquema para la determinación del JCS ponderado .....	145
5.33.	Gráfico de resistencia al corte versus largo de falla por sector .....	147
5.34.	Mapa Resistencia al Corte de Fallas en RENO-Dacita .....	149

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
2. 1. Cuadro resumen de las Formaciones de los Andes de Chile Central .....	13
2. 2. Unidades petrográficas pertenecientes al Complejo Máfico El Teniente .....	26
2. 3. Clasificación de estructuras geológicas en yacimiento El Teniente .....	33
2. 4. Clasificación de discontinuidades .....	34
2. 5. Etapas de alteración y mineralización en El Teniente .....	40
4. 1. Descripción de la continuidad .....	66
4. 2. Coordenadas del polígono SUB6-Producción .....	71
4. 3. Coordenadas del polígono SUB6-Hundimiento .....	73
4. 4. Ejemplo de tabla producto de la exportación de datos desde un Mapa Interpretación Estructural .....	80
4. 5. Identificación de mapas, número de soportes y agrupación de datos .....	80
4. 6. Clasificación modificada de fallas de El Teniente .....	82
4. 7. Resumen del número de fallas y su respectivo porcentaje según orden .....	83
4. 8. Resumen del número de fallas y su respectivo porcentaje según su tipo .....	84
4. 9. Resumen del número de fallas y su respectivo porcentaje según rango de largo de traza .....	85
4.10. Orientaciones preferenciales de rumbos asociadas a rangos de <i>DipDirection</i> .....	90
4.11. Resumen del número de fallas y su respectivo porcentaje según orientación .....	91
4.12. Resumen del número de fallas y su respectivo porcentaje según rango de manteo ...	93
4.13. Resumen del número de fallas y su respectivo porcentaje según la dirección del manteo .....	94
4.14. Parámetros estadísticos del espesor mínimo y máximo de las fallas .....	95
4.15. Parámetros estadísticos de los espesores de las "Fallas Intermedias MB" .....	96
4.16. Relación entre promedios de espesores del Mapa Interpretación y del Mapa Base ...	97
4.17. Minerales típicos como relleno 1, 2, 3 y 4 .....	100
4.18. Minerales más típicos como relleno 1 (mayoritario), 2 (abundante), 3 (moderado) y 4 (escaso) .....	104
4.19. Cantidad de "Fallas Intermedias MB" según planaridad .....	106
4.20. Espesor típico de las Fallas Principales del Sub6 .....	110
5. 1. Valores del ángulo de fricción básico .....	120
5. 2. Segmentos que delimitan al polígono que define el área de estudio .....	125
5. 3. Esfuerzos principales según sector dentro del área del Mapa de Resistencia .....	130
5. 4. Resumen de resultados de esfuerzos normales calculados .....	132
5. 5. Cantidad de fallas según rugosidad .....	136
5. 6. Resumen resultados JRC .....	139
5. 7. Valores de UCS de las principales litologías del área de estudio .....	144
5. 8. Ejemplo del cálculo del JCS estimado .....	145
5. 9. Valores de ángulo de fricción para fallas El Teniente .....	146

5.10.	Resumen de resultados de la resistencia al corte .....	147
5.11.	Rangos de resistencia al corte de las fallas .....	148

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo</b>	<b>Página</b>
A Xilab .....	166
B Tablas de Datos de los Mapa de Interpretación Estructural del Sub6 .....	178
C Datos de Espesores de las Fallas del Sub6 .....	198
D Cálculo del Esfuerzo Normal de las Fallas de RENO-Dacita .....	199
E Cálculo del JRC de las Fallas de RENO-Dacita .....	201
F Cálculo del JCS de las Fallas de RENO-Dacita .....	219
G Cálculo del Ángulo de Fricción Residual de RENO-Dacita .....	222
H Resultados de Resistencia al Corte de las Fallas de RENO-Dacita .....	223
I Mapas .....	224



## RESUMEN

En minería subterránea, en ambiente de altos esfuerzos, el riesgo de ocurrencia de inestabilidades geotécnicas asociadas a la presencia de estructuras geológicas es una preocupación permanente. En mina El Teniente fallas geológicas aparecen relacionadas con siniestralidades geotécnicas: colapsos y eventos sísmicos de gran magnitud, que pueden causar cuantiosas pérdidas económicas, y en los peores casos, pérdidas humanas. Por esto es importante su identificación, caracterización y estudio, que en la presente Memoria se aborda en dos temas, el primero, una caracterización geométrica estructural, y el segundo, desde un enfoque dinámico y geométrico, en el cual se estima la resistencia al corte de ellas, relacionada a su potencial de activación.

La caracterización geométrica se efectúa a las fallas de Segundo Orden Nivel Mina o Fallas Intermedias (persistencia entre 10 a 100 m), mediante análisis de cinco parámetros críticos definidos para fallas de El Teniente: 1) Persistencia 2) Actitud 3) Material de relleno 4) Espesor del relleno y 5) Ondulación-rugosidad, aplicado hasta el momento sólo a las Fallas Principales (traza >100 m). Esta caracterización se realiza mediante el uso de estadística para la población de Fallas Intermedias del Nivel Sub6, que comprende las minas Dacita, Reservas Norte y Pilar Norte, en el nivel de producción (2.102 m s.n.m.) y en el nivel de hundimiento (2.121 m s.n.m), por separado y de forma conjunta (Total Sub6) sumando un total de 1.350 fallas, registradas en la base de datos Xilab de la Superintendencia de Geología de Codelco División El Teniente. La información utilizada proviene de mapeos rutinarios que realizan los geólogos en las labores de la mina y en modelos digitales de terreno, que han sido estudiados e interpretados y conforman el modelo geológico de El Teniente.

La caracterización indica que la mayor proporción de fallas son Intermedias (86%) en comparación a las Principales (14%). Dentro de las primeras, el rango predominante de persistencia es entre 25 m a 50 m (46%), seguido del rango de 50 a 75 m (23%). Las proporciones en ambos niveles (Producción y Hundimiento) son muy similares, relacionado a la cercanía que existe entre los niveles. Las Fallas Intermedias están mayoritariamente orientadas entre las orientaciones ENE-WSW y EW, y adyacentes. En general son de muy alto ángulo, subverticales a verticales (ángulo de manto mayor a 75°) con un 63% de los datos, seguidos de fallas de alto ángulo (60° a 75°). El espesor mínimo varía principalmente entre 0,5 a 1,2 cm, el espesor máximo entre 1,0 a 3,0 cm y el espesor típico entre 0,5 a 1,5 cm, con promedios de 1,3 cm, 2,9 cm y 1,3 cm respectivamente. Los materiales de relleno más característicos son: anhidrita, carbonato, yeso, subordinadamente calcopirita, clorita, cuarzo, salbanda, y en menor proporción: molibdenita, bornita y turmalina. La planaridad de las fallas se describe como recta a ondulosa predominante (70-80%).

Con respecto al segundo tema, para todas las fallas (136) de un sector acotado del nivel de producción del Sub6 que abarca parte de la Zona de Transición de las minas Reservas Norte (RENO) y Dacita, que es la zona donde se concentran los esfuerzos producto de la actividad minera, se estima la resistencia al corte en base al criterio de Barton y Choubey (1977), determinando para cada una de las estructuras los parámetros: esfuerzo normal, *Joint Roughness Coefficient* (JRC), *Joint Compressive Strength* (JCS) y ángulo de fricción residual.

El esfuerzo normal se calcula en base a los esfuerzos principales locales producto de modelos de esfuerzos, de acuerdo a tres sectores donde ellos se asemejan dentro del área de estudio. El JRC se determina a partir de la geometría de la falla registrada en el plano 2D desde la base de datos; se obtiene una amplitud máxima y el largo del perfil en utilizando principalmente el programa Rhinoceros. Con respecto a la rugosidad, aproximadamente 1/3 de las fallas poseen alta rugosidad, por lo que se encuentran más trabadas y el 36% de las fallas poseen bajo a medio bajo JRC, por lo que son más propensas a activarse. Además el JRC de las fallas se estudia en partes más acotadas de ellas, considerando segmentos hasta 40 m y 80 m de largo, producto de esto se infiere que una misma falla en partes más reducidas de ella suele poseer menores rugosidades. Se confecciona un Mapa de JRC de Falla Total y de Fallas o Segmentos hasta 40 m. El material de relleno no tiene influencia en la resistencia al corte, pues la relación espesor/amplitud es menor a 1 en todas las fallas estudiadas, por lo que JCS de las estructuras es igual al UCS de la roca intacta. El ángulo de fricción residual es calculado mediante una relación logarítmica establecido para las fallas de la mina. Finalmente las resistencias al corte calculadas toman valores entre 13,4 MPa y 46,0 MPa con una media de 35,8 MPa. Se elabora un Mapa de Resistencia al Corte de las fallas del sector RENO-Dacita, en el cual se visualiza mayor cantidad de fallas con menor resistencia al corte, con colores más cálidos. Se propone que aquellas cuyos valores de resistencia al corte estimados están más cercanos al esfuerzo de corte poseen mayor potencial de activación.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Generalidades

El presente trabajo se desarrolló en la mina El Teniente, propiedad de la Corporación Nacional del Cobre (Codelco Chile). El Teniente es un yacimiento de Cobre-Molibdeno, ubicado aproximadamente 70 km al sureste de Santiago de Chile, en el margen occidental de la Cordillera de los Andes y dentro de los confines del cinturón de pórfidos cupríferos de Chile central. Este pórfido supergigante alberga reservas de aproximadamente 95 Mt de Cu fino y 2,5 Mt de Mo (Stern *et al.*, 2010) y posee la mina subterránea de cobre más grande del mundo con más de 3.000 km de túneles, 1 km de profundidad y un área aproximada de 3 km<sup>2</sup>. Entre sus unidades productivas destacan las minas Diablo Regimiento, Esmeralda, Dacita, Reservas Norte, Pipa Norte, Pilar Norte y Teniente 4 Sur (Figura 1.1). El método de explotación es hundimiento de bloques (*block caving*) y de paneles (*panel caving*), y también a cielo abierto en Rajo Sur. Diariamente se extraen 100.000 toneladas de material, y anualmente se producen más de 400.000 toneladas de cobre fino, la cual alcanzó su récord el año 2015 con 471.000 toneladas. Todos los años Codelco División El Teniente, al ser una empresa estatal, realiza aportes que se entregan al Estado de Chile, los que entre 2007 y 2014 sumaron US\$12.000 millones.

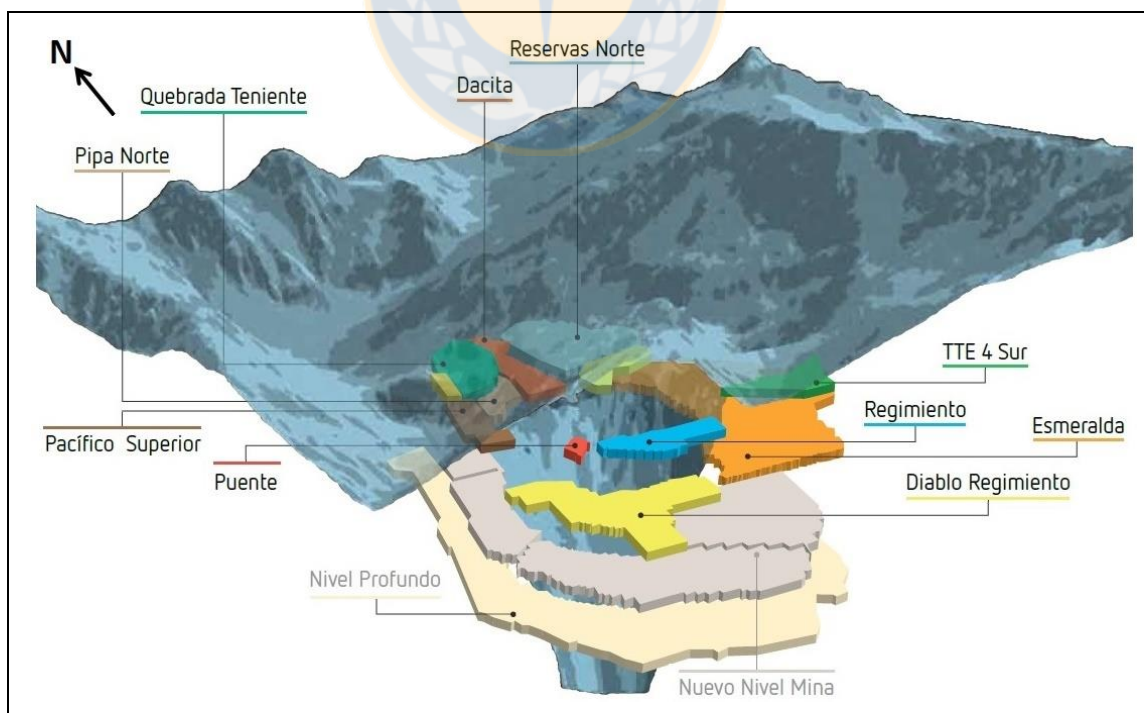


Figura 1.1: Imagen 3-D de los sectores productivos de División El Teniente. Codelco (2011).

### 1.1.1. Ubicación y Accesos

El yacimiento El Teniente se localiza en la Cordillera de Los Andes de Chile central, en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Provincia del Cachapoal, aproximadamente 45 km al noreste de la capital regional, Rancagua (Figura 1.2); 73 km al sureste de la capital nacional, Santiago, y a 475 km al noreste de Concepción. Sus coordenadas geográficas son 70°21' de longitud Oeste y 34°14' de latitud Sur; entre las cotas 2.000 y 3.200 m s.n.m.

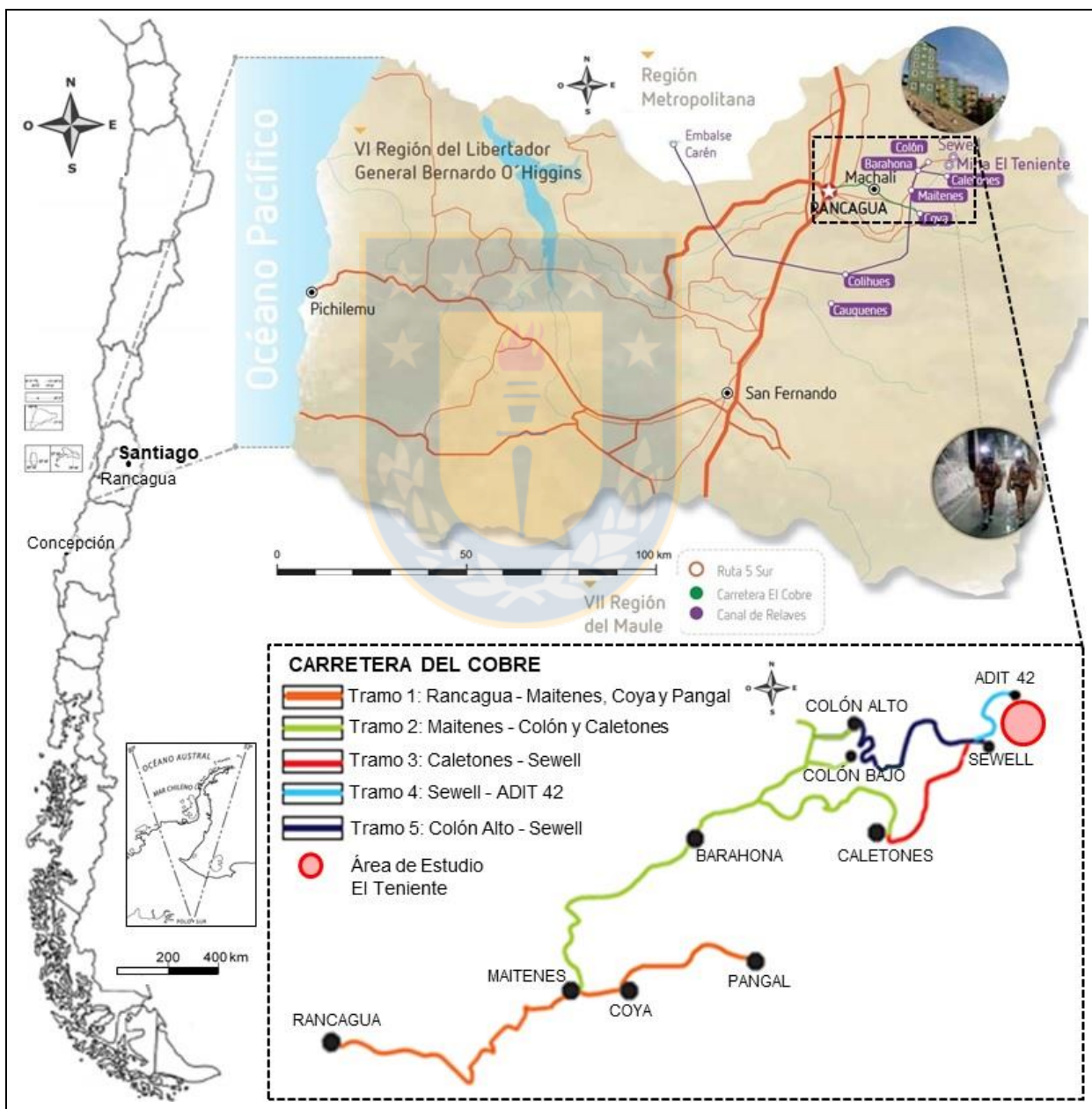


Figura 1.2: Ubicación y vías de acceso al yacimiento El Teniente a través de la Carretera del Cobre.

El acceso a las instalaciones del yacimiento se realiza desde Rancagua, a través de la Carretera Presidente Eduardo Frei Montalva o Carretera del Cobre. Ésta corresponde a una vía de doble sentido, asfaltada, la cual se mantiene en excelente estado, con una longitud aproximada de 60 km y consta de 5 tramos (Figura 1.2); el primero de ellos es de uso público y conecta la ciudad Rancagua con el puesto de control de Codelco, denominado Maitenes, los tramos restantes son caminos privados, de uso público.

El ingreso al interior de la mina se efectúa principalmente en taxibuses o camionetas, a través del tramo 5 de la Carretera del Cobre y el ADIT-71 (principal acceso a la mina). Este recorrido se realiza en un ferrocarril eléctrico que conduce hasta el Nivel Teniente 8, cuando las condiciones climáticas lo exigen. Para ingresar o movilizarse dentro de los distintos niveles de la mina se utilizan piques (B, C o 2) y/o rampas.

### 1.1.2. Área de Estudio

El estudio se desarrolla en minas Reservas Norte, Dacita y Pilar Norte ubicadas al norte de la Pipa Braden del Yacimiento El Teniente, en el Nivel Sub6 (Figura 1.3).

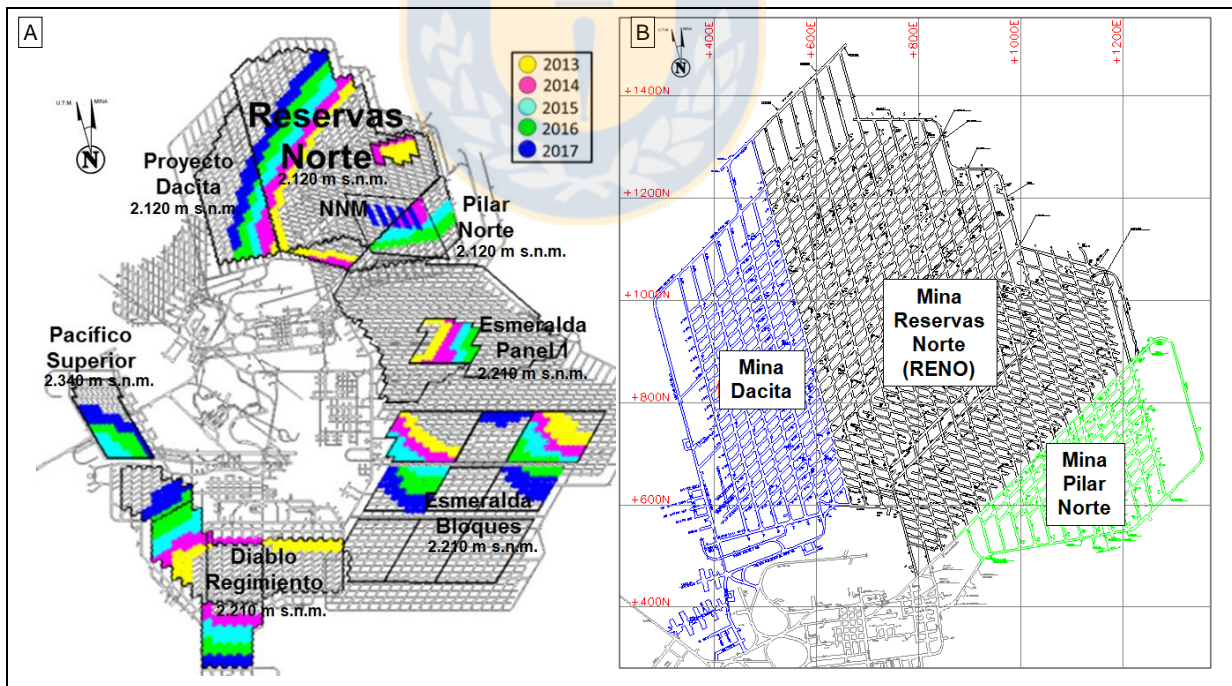


Figura 1.3: A) Vista en planta de algunos sectores productivos de El Teniente con cotas de nivel de hundimiento. Las áreas coloreadas están relacionadas al año en que se ha planificado su explotación. González y Brzovic (2015). B) Vista en planta del Nivel Sub6 donde se encuentran las minas Dacita, Reservas Norte y Pilar Norte. Guzmán (2015).

Todo el sector está operativo: Reservas Norte desde 1997, Pilar Norte desde 2010 y el último en incorporarse fue Dacita el 2014. El subnivel de producción está a una cota de 2.102 m s.n.m y el de hundimiento a una cota de 2.121 m s.n.m. Toda esta área se encuentra ubicada entre las coordenadas locales del yacimiento +200E a +1.400E y +300N a +1.400N, cuyo origen en el sistema de coordenadas UTM (Sistema de Referencia WGS84) corresponde a 374.615,79E – 6.227.561,66N 19 H.

Las principales unidades litológicas encontradas en estos sectores son: Complejo Máfico El Teniente (CMET), Pórfido Dacítico, Pórfido Diorítico, Pórfido Andesítico, Brecha de Anhidrita, Brechas Ígneas y Diques de Cuarzo, todos al norte del Complejo de Brechas Braden.

## 1.2. Problema y Motivación

Las fallas geológicas constituyen un factor importante en el riesgo de obras de minería subterránea, ya que configuran planos de debilidad que controlan los procesos de deformación y rotura en macizos rocosos. En El Teniente, evidencia de esto son estallidos de roca y eventos sísmicos asociados a trazas de fallas, que han ocurrido en diferentes sectores productivos, tales como Reservas Norte, Esmeralda, Teniente 4 Sur, entre otros, y muy probablemente continúen aconteciendo en el futuro (Figura 1.4). Así, siniestralidades geotécnicas que involucran a este tipo de discontinuidades pueden implicar cuantiosas pérdidas económicas y en los peores casos, pérdidas humanas, por lo que son una preocupación permanente en minería subterránea.

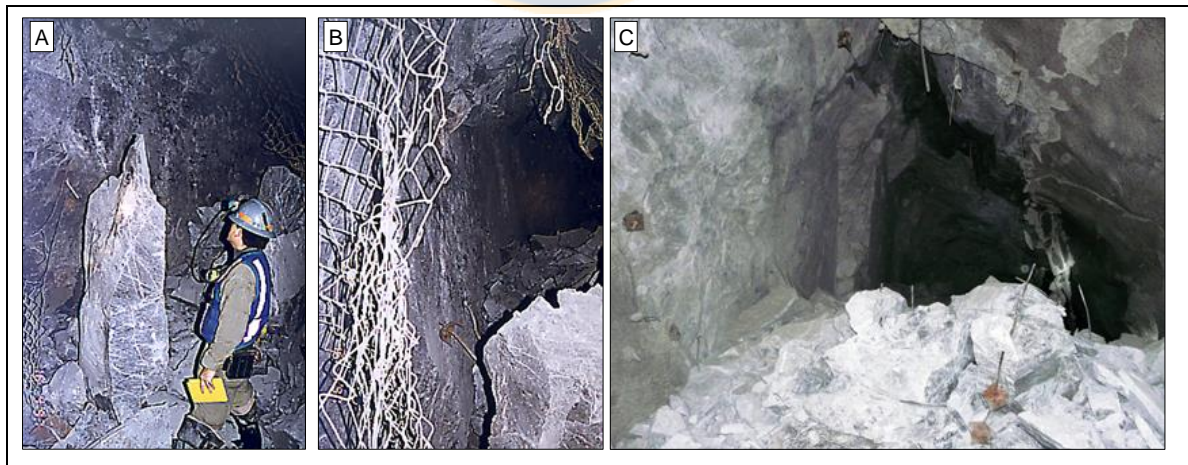


Figura 1.4: Daños originados por estallidos de rocas asociados a fallas de Segundo Orden en labores de mina El Teniente. A) y B) Evento ocurrido el 8 de abril de 1997, en nivel de hundimiento de mina Esmeralda. En A) se observa un bloque rectangular de  $0,5 \text{ m}^3$  con sus planos (caras del bloque). SGL (2003). C) Consecuencias de estallido de rocas ocurrido en mina Reservas Norte el 3 de agosto 2012. González y Brzovic (2015).

En consecuencia, es importante la identificación y una adecuada descripción de fallas, que puede abordarse por un análisis tanto de su geometría, como desde sus parámetros geotécnicos, lo cual en el presente estudio se aborda en dos temas relacionados pero independientes entre sí, el primero: una caracterización geométrica de acuerdo a los parámetros críticos de la mina, definidos y aplicados en el trabajo Seguel (2013) a las Fallas Principales (traza >100 m) donde recomienda extender tal caracterización a las estructuras Intermedias. Además, en la misma línea, se efectúa un análisis dinámico, considerando la geometría de estas estructuras, para estimar su resistencia al corte, relacionada con su probabilidad de activación. Esta información es muy importante, ya que puede ser considerada para la planificación minera, pudiendo prevenir o atenuar posibles grandes pérdidas.

### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. Objetivo General

El objetivo general esta Memoria de Título es caracterizar geoméricamente las Fallas Intermedias (Segundo Orden Nivel Mina) del Nivel Sub6 de mina El Teniente, y estimar la resistencia al corte de un grupo de ellas.

#### 1.3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar las Fallas Intermedias del Nivel Sub6 (minas Reservas Norte, Dacita y Pilar Norte), en el nivel de producción, en el nivel de hundimiento, y de forma conjunta (Total Sub6) según los parámetros críticos de Seguel (2013): Persistencia, Actitud, Espesor de Relleno, Material de Relleno y Ondulación-Rugosidad; utilizando la información de la base de datos de la Superintendencia de Geología.
- Comparar la caracterización de las Fallas Intermedias del Nivel Producción (2.102 m s.n.m.) con las del Nivel Hundimiento (2.121 m s.n.m.) del Sub6.
- Estimar la resistencia al corte de cada una de las fallas de parte de la Zona de Transición del Nivel Sub6 Producción, estableciendo procedimientos para calcular cada uno de los parámetros de acuerdo al criterio de Barton y Choubey (1977): esfuerzo normal, coeficiente de rugosidad o Joint Roughness Coefficient (JRC), resistencia a la compresión simple de la pared de la discontinuidad o Joint Compressive Strength (JCS) y ángulo de fricción residual.

- Utilizar el Mapa de Interpretación Estructural del modelo geológico actualizado de la mina para determinar el coeficiente de rugosidad (JRC) de las fallas.
- Generar un Mapa de JRC y un Mapa de Resistencia al Corte de fallas en parte de la Zona de Transición de las minas Reservas Norte- Dacita Nivel Producción.

#### **1.4. Metodología de Trabajo**

El presente estudio se realizó principalmente en un trabajo de gabinete basado en datos históricos de fallas de la mina, producto de mapeos rutinarios de geólogos y su posterior interpretación, almacenados en la base de datos de la Superintendencia de Geología (SGL) de Codelco División El Teniente. Se pueden establecer las siguientes etapas de trabajo:

##### **1.4.1. Etapa de Recopilación y Análisis de Información Bibliográfica**

Inicialmente se recopila información bibliográfica geológica-estructural de mina El Teniente, a nivel regional y del yacimiento. Se utilizan estudios de diversas fuentes relacionados con las temáticas de esta memoria, y además, publicaciones, modelos litológicos y estructurales desarrollados por la Superintendencia de Geología de la División.

##### **1.4.2. Etapa de Selección y Análisis de datos de Fallas**

Se elige un sector productivo de la mina, correspondiente al Nivel Sub6, y en él se selecciona y ordena la información de las fallas, extraída de la base de datos por medio del *software* Xilab, a fin de llevar a cabo análisis estadísticos, utilizando los programas Microsoft Office Excel 2007 y Dips 5.0, para el tema de la caracterización geométrica; y Rhinoceros 5.0 para estimar el JRC necesario en el cálculo de la resistencia al corte de las fallas.

De forma paralela se realizan visitas esporádicas a la mina con el propósito de reconocer y estudiar las fallas *in situ*, observando y apoyando el mapeo efectuado por los geólogos de la Unidad de Minas de la Superintendencia de Geología (SGL).

### 1.4.3. Etapa de Análisis de Resultados y Confección de Mapas e Informe

La etapa final consistió en el análisis e interpretación de los resultados, la confección de los mapas (JRC y Resistencia al Corte) con AutoCAD 2014, y la redacción del presente informe.

## 1.5. Fisiografía

En la VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins se reconocen las siguientes unidades de relieve, de Oeste a Este: Planicie Litoral, Cordillera de la Costa, Depresión Central o Valle Longitudinal, Precordillera y Cordillera de los Andes (Figura 1.5).

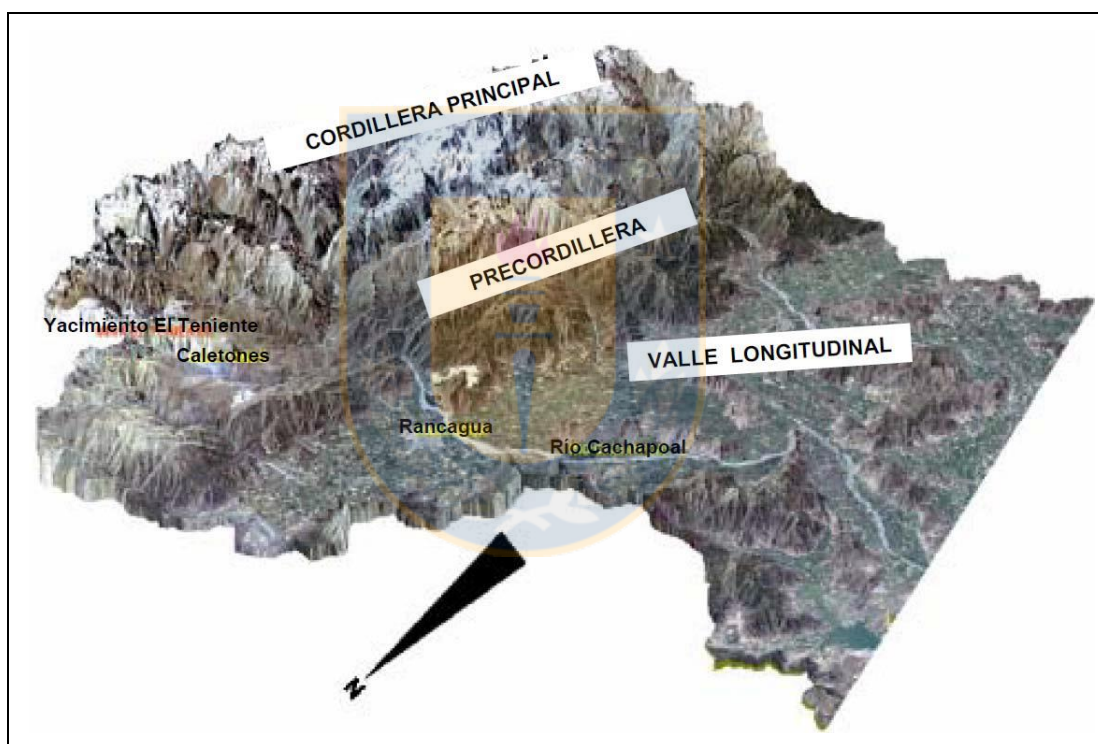


Figura 1.5: Elevación tridimensional de la fisiografía de la VI región del Libertador Bernardo O'Higgins, sin escala. González (2006) en Herrera (2012).

La Plataforma o Planicies Litorales constituyen superficies relativamente planas, de bajo relieve, con una extensión de 110 km de largo, 18 a 4 km de ancho y una altitud de 140 m al este en la base de la Cordillera de la Costa, hasta 80 m en el borde del acantilado costero (Valenzuela, 1990).

La Cordillera de la Costa es una cadena montañosa de orientación N-S cuyo ancho en esta zona varía entre 65 y 90 km. Se presenta como zona transicional entre la parte norte, más alta y maciza, y

la parte sur de la Cordillera de la Costa, más erosionada y de baja altitud. En general no sobrepasa los 800 m s.n.m.

La Depresión Central o Valle Longitudinal es una depresión de orientación N-S, de origen tectónico, relleno por depósitos cuaternarios provenientes, principalmente, de la Precordillera y de la Cordillera Principal. Alcanza una altura promedio en el área de Rancagua de 500 m s.n.m. (Charrier, 1973).

Entre la Depresión Central y la Cordillera de los Andes es posible diferenciar un relieve denominado Precordillera, correspondiente a los faldeos de la ladera oeste de la Cordillera de Los Andes. Posee altitudes menores a 1.500 m s.n.m. y se presenta hendida por planicies y valles con rellenos laháricos originados por actividad volcánica pliocena-cuaternaria que afectó a una reducida cuenca tectónica ubicada entre Coya y Sewell.

La Cordillera de los Andes o Cordillera Principal es la unidad más oriental de Chile en esta región, y más al este del límite internacional se extiende entre 60 y 70 km en territorio argentino. Su relieve escalonado está estrechamente relacionado a fallas normales de orientación N-S. En este sector se caracteriza por ser un relieve joven, con cumbres que alcanzan entre 3.000 y 4.000 m de altitud. Es en la vertiente occidental de esta unidad donde se encuentra el depósito El Teniente.

## **1.6. Clima, Flora y Fauna**

La VI región posee un clima templado a cálido, con abundantes precipitaciones de lluvia y nieve invernales y estación estival seca y prolongada (Fuenzalida, 1967). Las temperaturas máximas en verano alcanzan los 32°C o más y en invierno de 5°C a -6°C. En la zona donde se encuentra el yacimiento, el clima es Templado Frío de altura, con precipitaciones superiores a los 1.000 mm anuales. Entre los 1.000 y 1.500 m s.n.m oscila la isoterma cero en período invernal, altura en la cual la precipitación es en forma de nieve. Esta condición hace que la estación seca en los valles dura 7 a 8 meses, se acorte sólo 4 a 5 meses. Las temperaturas medias son alrededor de 4°C más bajas que en el valle y la diferencia entre el mes más cálido y el más frío también desciende a unos 11°C.

La vegetación local está compuesta por una cubierta de pequeños arbustos y plantas. En los márgenes fluviales y rinconadas abundan los boldos, peumos, maitenes, arrayanes, canelos y maquis. Sin embargo en la planicies abiertas predominan los espinos y Algarrobos (Fuenzalida, 1967).

La fauna está conformada por vizcachas (*Lagidium V. Viscacia*), pumas y zorrillos. Las aves presentes en la zona corresponden a algunas especies de patos, la perdiz cordillerana (*Attagis gayi*) y el cóndor (*Vultur gryphus*) (Fuenzalida, 1967).

## 1.7. Trabajos Anteriores

Es numerosa la bibliografía que existe del yacimiento El Teniente, no obstante, en la mina es limitada la cantidad de estudios sobre las temáticas que sustentan esta memoria. A continuación se mencionan los más vinculados e influyentes a la línea de investigación tratada:

- De los Santos (2011) estudia el efecto de la mineralogía, alteración y geometría en la resistencia mecánica de vetillas de El Teniente, en base a pruebas mecánicas en probetas de roca, concluyendo que al aumentar el valor del JRC junto con la disminución de la razón espesor/amplitud ( $e/a$ ) aumenta la resistencia al corte y cuando los valores de  $e/a > 1$  se pierde el efecto de la rugosidad.
- Díaz (2013) determina el coeficiente de rugosidad (JRC) para perfiles a través de la medición de la amplitud máxima que definen las asperezas para el largo de perfil observado, a escala de las labores en mina El Teniente. Colige que la resistencia al corte de las vetillas está gobernada fundamentalmente por su rugosidad. Asimismo, el JRC de las estructuras es una propiedad anisótropa que varía según la dirección analizada, y un alto porcentaje (~60%) presentan valores de rugosidad sobre 10, es decir, la mayoría de ellas son bastante trabadas. En su informe recomienda aplicar la metodología de estimación del JRC a otras escalas.
- Seguel (2013) realiza una caracterización geométrica de las Fallas Principales de diferentes sectores productivos de El Teniente de acuerdo a los parámetros críticos definidos en ese mismo estudio, que son: i) actitud (buzamiento/dirección de buzamiento); ii) persistencia, iii) ondulación, iv) material de relleno, v) espesor del relleno. Algunos resultados de su estudio son que las fallas de la mina corresponden a vetillas hidrotermales tardías falladas, que las Fallas Principales son estructuras segmentadas, heterogéneas y ondulosas; que existe una relación lineal entre el espesor y el largo de las estructuras; que a distintas escalas, evidencian variaciones geométricas significativas (sinuosidad) a lo largo del rumbo y manto del plano de falla y que las Fallas Principales presentan valores espesor/amplitud ( $e/a$ ) muy bajos, menor que 1, por lo que la resistencia al corte está gobernada fundamentalmente por la ondulación

(rugosidad). Además, recomienda extender la caracterización a estructuras intermedias y menores.

- Millán (2014) lleva a cabo una estimación de las propiedades físico-mecánicas de la roca intacta de las principales unidades litológicas y fallas de El Teniente sobre la base de información publicada en informes, notas técnicas y documentos emitidos en forma oficial por la división y entes consultores. Entre sus conclusiones se menciona que las propiedades de resistencia y deformabilidad de las estructuras fallas dependen fuertemente de su geometría (persistencia, espesor y tipo de relleno, rugosidad, actitud). También, que resulta fundamental disponer de la mejor caracterización geométrica de las estructuras en distintas escalas y conocer el contexto de esfuerzos donde se emplazan. Los resultados de este trabajo pueden ser utilizados como referencia para estudios que requieran de parámetros geotécnicos, pero no implica que puedan existir variaciones locales de las propiedades.
- González y Brzovic (2015) describen los resultados del levantamiento de daños de estallidos de rocas ocurridos en Mina Reservas Norte, cuyos focos se registraron delante del frente de socavación en la Zona de Transición. Estos daños están controlados por el Sistema de Fallas Este-Oeste, cuya geometría, paralelismo al frente de hundimiento, ubicación cercana a una excavación de dimensiones relevantes y estado tensional inducido por la Zona de Transición, estarían favoreciendo la activación de tal sistema de fallas. Sostienen que tan o más relevante que la resistencia al corte, es incluir una mejor caracterización geométrica (persistencia, rugosidad, espesor relleno, etc.) para las estructuras mayores y el contexto de esfuerzo donde se emplazan.
- Seguel *et al.* (2015) realizan una revisión de la caracterización geotécnica de las fallas geológicas que incluye caracterización geométrica y estimación de las propiedades geotécnicas. Sostienen que son estructuras sinuosas y la resistencia al corte de ellas está fuertemente relacionadas a su geometría (persistencia, actitud, relleno, espesor y rugosidad) y el contexto de esfuerzos donde se emplazan.
- Guzmán (2015) desarrolla una caracterización cuantitativa de las cuatro fallas geológicas Principales de mina Dacita. De las conclusiones se destaca que poseen orientación E-W a NE-SW, buzamiento subvertical con tendencia al Sur, con gran ondulación, elevados valores de amplitud (superiores a 5 m en promedio), espesor típico con una mediana cercana a 2,0 cm, pero con grandes variaciones localmente, rellenos mayoritarios de anhidrita y yeso, y abundante carbonato a molibdenita. Añade que las principales fallas de mina Dacita presentan grandes

variaciones, tanto en la vertical como la horizontal, y con valores de amplitud muy superiores a los espesores, lo que significa que se encuentran truncadas. Pero a su vez estas pueden generar potenciales inestabilidades en labores cuando la traza sea localmente recta.

## 1.8. Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a Codelco Chile División El Teniente por darme la oportunidad de desarrollar esta Memoria de Título, a través de mi profesional guía Msc. José Seguel, quien me ha guiado con muy buena disposición durante todo el proceso, instruyéndome y dándome sabios consejos relacionados a la presente investigación; al Jefe de Geología de Minas Dr. Andrés Brzovic por su guía y sugerencias para el desarrollo de ésta, al Superintendente de Geología Sr. Felipe Celhay, y al Gerente General, Msc. Mauricio Larraín, quienes aprobaron el tema de investigación.

También quiero agradecer al personal de la Superintendencia de Geología de División El Teniente por su buena disposición, colaboración y consejos, especialmente a los geólogos: Diego Díaz, Jack Cubillos, José Millán, Roberto González, Oscar Herrera, Sebastián González, Carlos de los Santos y Carlos Guzmán. Añado también a: Ignacio Fredes, Boris Leiva, David Benado, Maribel Valdés, Manuel Salazar, María Paz Sepúlveda, Marcela Cereceda, Carolina Becerra y Marcelo Ramírez. También a personal de la Superintendencia de Gestión Producción de El Teniente, los geólogos Olivia Mejías y Eduardo Diez.

A mi profesor patrocinante, Jorge Quezada por su gran apoyo, consejos y revisión de la presente; y a la comisión integrada por Ramiro Bonilla y Abraham González, por su revisión y correcciones. A Luis Quinzio, quien revisó el formato.

A los docentes del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción por toda su gran labor de formación académica, y a todo el personal por su disposición a ayudar, a la bibliotecaria Lucy Henríquez, a las secretarias Carolina Rojas y María Esperanza Aravena, y a todos los auxiliares.

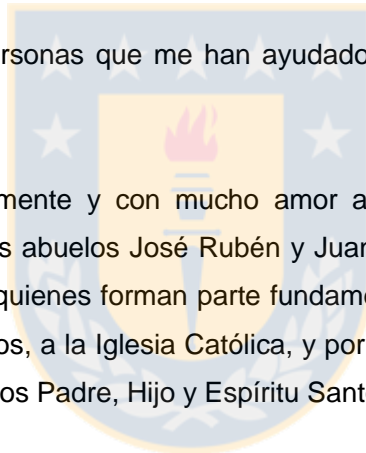
A Codelco Chile por haberme becado parte de la carrera, al Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD) también por haberme becado y darme la posibilidad de efectuar una pasantía en la Universidad de Freiberg, donde me recibieron cordialmente, a mi tutor Gerhard Heide, a Arturo Bravo, Alena Fröde y Kristina Wopat, entre otras personas relacionadas a la pasantía.

También agradezco mis tutores de mis prácticas profesionales en Codelco Andina y El Teniente: Fernando Ortiz y Olivia Mejías respectivamente, a los docentes de mis ayudantías: Sonia Helle, Liubow González y Roberto Gómez; y al coordinador del Museo Geológico: Gerardo Flores.

Agradezco a amistades, compañeros y conocidos, entre los que menciono: C. Santana, S. Böhme, A. Bravo, P. Toledo, M. González, A. Fica, P. Crockan, A. León, C. Díaz, J. Bernal, V. Bonnet, R. Cortés, N. Preston, K. Raiber, J. Wormull, E. Chiorrini, C. Ramírez, A. Rivas, S. Ainol, C. Escare, P. Fasce, T. Fasce, M. Carrasco, E. Sáez, P. Köhler, T. Carrasco, T. May, A. Hidalgo, V. Vila, E. Concha, etc. A mis amistades de la universidad, de voluntariados: Misión País, Misión de Vida, Trabajo País, Construye UdeC, Rotaract, Techo; del colegio y de la vida en general por los gratos momentos compartidos y enriquecedoras experiencias. No puedo dejar de mencionar a mis compañeros de curso y de la carrera de geología por su compañía, colaboración, apoyo y amena convivencia durante los años universitarios.

Agradezco a todas aquellas personas que me han ayudado de alguna forma en la realización de esta Memoria de Título.

Finalmente agradezco enormemente y con mucho amor a mis padres Verónica Arias y Héctor Sepúlveda, a mi hermano, a mis abuelos José Rubén y Juanita Rosario, a mis tías y tíos, primas y primos, a toda mi gran familia, quienes forman parte fundamental de mi vida. A la Santísima Virgen María, a los ángeles, a los santos, a la Iglesia Católica, y por sobre todo y con adoración al ser más importante de mi existencia a Dios Padre, Hijo y Espíritu Santo.



## 2. MARCO GEOLÓGICO

### 2.1. Geología Regional

El megayacimiento de cobre y molibdeno El Teniente forma parte de la Franja Cuprífera del Mioceno Superior-Plioceno, ubicada en los Andes Centrales y que también incluye a los yacimientos Los Pelambres y Río Blanco-Los Bronces (Skewes *et al.*, 2002).

En la zona comprendida entre los 33°45'-34°45' latitud Sur y los 70°00'-71°00' longitud Oeste, afloran principalmente potentes secuencias estratificadas de rocas volcánicas intercaladas con secuencias sedimentarias (marinas y continentales) depositadas desde el Triásico Superior (Klöhn, 1960), las cuales han sido intruidas por cuerpos plutónicos e hipabisales cenozoicos responsables de metasomatismo hidrotermal y mineralización económica, que, en conjunto, son evidencia del Ciclo Orogénico Andino. Las unidades litológicas se resumen en la Tabla 2.1 y su distribución espacial se muestra en el mapa geológico regional de la Figura 2.1.

Tabla 2.1: Cuadro resumen de las Formaciones de los Andes de Chile Central. Modificado de Charrier *et al.* (1996).

Formación	Litología	Espesor (m)	Edad	Autor	Observaciones
Colón-Coya	Lahares, coladas de lavas, andesíticas, dacíticas y piroclastos	150	Plioceno Superior-Reciente	Gómez (2001)	
Discordancia del 3° Plegamiento					Fase del Mioceno-Plioceno
Farellones	Depósitos continentales, lavas dacíticas y depósitos piroclásticos	2.400	Mioceno	Klöhn (1960)	
Discordancia del 2° Plegamiento					Fase del Oligoceno Inferior o del Mioceno Inferior
Coya-Machalí	Depósitos volcanoclásticos y depósitos detríticos	3.200	Paleógeno-Neógeno Inferior	Klöhn (1960)	Correlacionable con Fm. Abanico
Discordancia del 1° Plegamiento					Fase del Cretácico Superior
Colimapu	Depósitos sedimentarios rojos (Mb. Inferior) y depósitos volcánicos (Mb. Superior)	2.000-3.000	Barremiano-Albiano	Klöhn (1960)	
Baños del Flaco	Sedimentarias marinas fosilíferas	2.000	Titoniano-Neocomiano	Klöhn (1960)	Correlacionable con Fm. Lo Valdés
Leñas-Espinoza	Rocas piroclásticas y depósitos turbidíticos	1.200	Kimmeridgiano Superior	Klöhn (1960)	Concordante y en contacto por falla
Río Damas	Areniscas rojas. Contienen talus, conglomerados y lavas.	3.000	Kimmeridgiano Superior-Titoniano Inferior	Klöhn (1960)	
Nacientes del Teno	Areniscas marinas y calizas, 100-200 m de yeso (Miembro Superior)	600-1.000	Bajociano-Kimmeridgiano Inferior	Klöhn (1960)	En Los Andes de Chile Central no afloran estratos más antiguos

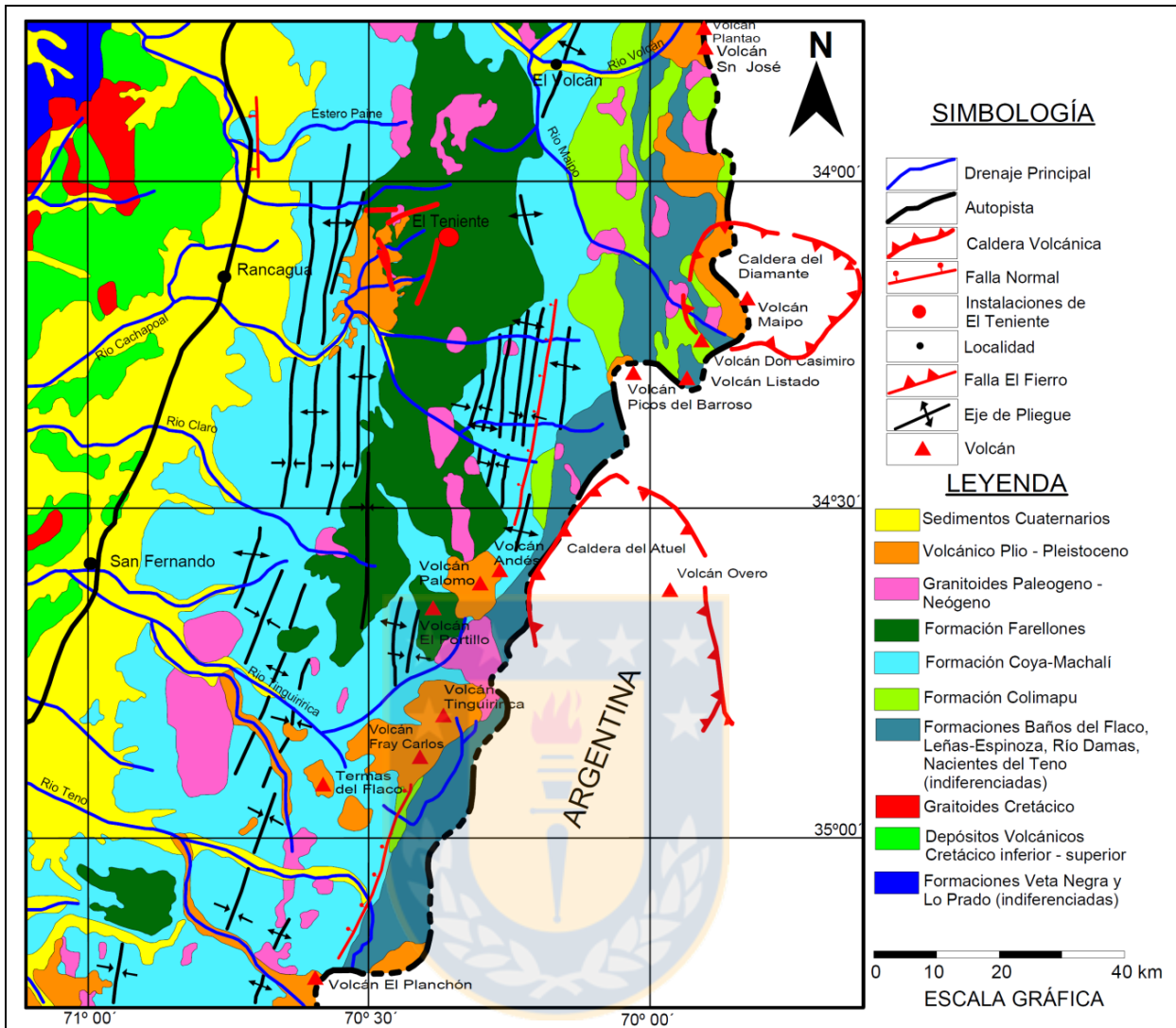


Figura 2.1: Mapa Geológico Regional de la franja cordillerana de Chile Central. Modificado de Charrier *et al.* (1996) en Harrison (2009).

## 2.1.1 Rocas Estratificadas

Las unidades estratificadas de la zona han sido incorporadas en formaciones, por autores como Klöhn (1960), Charrier (1973 y 1981) y González (2000). Dichas formaciones se describen a continuación, desde la más antigua a la más reciente.

### 2.1.1.1. Formación Nacientes del Teno (Bajociano-Kimmeridgiense Inferior)

Definida por Klöhn (1960), son rocas sedimentarias marinas, principalmente clásticas, depositadas durante el ciclo marino Bajociano-Kimmeridgiense Inferior, en el evento marino transgresivo ocurrido

en el trasarco del Jurásico Medio-Superior. Se distribuye discontinuamente en la porción oriental de la región (Charrier, 1973) y su localidad tipo se ubica en el valle superior del Río Teno, donde posee un algo más de 1.500 m de espesor. Esta unidad consta de un Miembro Superior Evaporítico de 500 a 600 m en la zona de mayor potencia, y un Miembro Inferior Detrítico y Calcáreo (Davidson y Vicente, 1973). Sobreyace discordantemente a Estratos Troncoso, rocas triásicas, entre los 36° y 37°S (Muñoz y Niemeyer, 1984; en Charrier *et al.*, 2007) y subyace en concordancia a la Formación Río Damas.

#### **2.1.1.2. Formación Río Damas (Kimmeridgiano Superior-Titoniano Inferior)**

Definida por Klöhn (1960), son rocas sedimentarias clásticas continentales intercaladas con potentes depósitos de origen volcánico (efusivo y piroclástico) y esporádicos sedimentos químicos. Estas rocas representan el término del ciclo regresivo desarrollado en el trasarco en un ambiente continental (terrestre subaéreo y lagunar) desde el Kimmeridgiano Superior al Titoniano Inferior, donde cuyos depósitos que corresponden a brechas, abanicos aluviales y depósitos volcánicos alcanzan la mayor potencia de 3.000 m en la zona del Río Damas. Se dispone de forma concordante sobre la Formación Nacientes del Teno y subyace, en concordancia, a la formación Baños del Flaco, y en contacto por falla limita con la Formación Leñas-Espinoza (Charrier, 1973).

#### **2.1.1.3. Formación Leñas-Espinoza (Kimmeridgiano Superior-Titoniano Inferior)**

Definida por Klöhn (1960) y redefinida por Charrier (1981), como una secuencia transgresiva de rocas sedimentarias detríticas en la parte inferior, y calcáreas fosilíferas en la parte superior, con 1.200 m de potencia, distribuidas en afloramientos orientales restringidos con orientación Norte-Sur (Figura 2.1). Su límite inferior es desconocido, pero existe un contacto local por falla con Fm. Río Damas, considerado como contemporáneo. Hacia techo subyace a las Formaciones Baños del Flaco y Coya-Machalí en contacto gradual y discordante, respectivamente.

#### **2.1.1.4. Formación Baños del Flaco (Titoniano-Neocomiano)**

Definida por Klöhn (1960) como una secuencia de rocas sedimentarias calcáreas marinas (margas y calizas) con intercalaciones detríticas y volcánicas (conglomerados, brechas, areniscas, tobas y lavas), con una potencia que varía entre 1.100 y 2.300 m aproximadamente, la cual disminuye hacia el Este. Los estratos superiores de Fm. Leñas Espinoza son añadidos a esta formación por Charrier (1981). Su localidad tipo se sitúa en el sector Baños del Flaco, en el valle del Río Tinguiririca. Se reconoce en el sector oriente de la región con un espesor promedio de 1 km. Los depósitos marinos

de la formación se asocian al segundo ciclo de transgresión marina desarrollado entre el Kimmeridgiano y el Hauteriviano. Las características de esta formación se repiten en todo el margen occidental de la Cordillera Principal, donde recibe diferentes nombres, como Formación Lo Valdés en el sector metropolitano (Thiele, 1980) y Formación San José (Aguirre, 1960), en el sector del Río Aconcagua. En cuanto a sus relaciones de contacto, sobryace concordantemente a la Fm. Río Damas y subyace, también concordantemente a Fm. Colimapu. El techo se encuentra localmente erosionado y contacta discordantemente con la Fm. Coya-Machalí.

#### **2.1.1.5. Formación Colimapu (Barremiano-Albiano)**

Definida por Klöhn (1960) y posteriormente estudiada por González y Vergara (1962), corresponde a un conjunto de rocas estratificadas volcano-sedimentarias continentales, que incluye areniscas tobíferas rojizas, lutitastobíferas y tufitas rojas, que presentan intercalaciones con capas conglomerádicas, brechas y lavas andesíticas, calizas y capas de yeso en forma discontinua. Se compone de un Miembro Inferior Sedimentario de 1.500 m de areniscas finas epiclásticas y calizas micríticas, y un Miembro Superior Volcánico de 1.600 m de potencia que contiene tobas lítico-cristalinas, lapilli e ignimbritas (Charrier, 1981). Su origen se remonta al segundo ciclo sedimentario continental, asociado a una fase de alzamiento durante el Barremiano-Albiano, que culmina con una fase plegada de las unidades del Cenoniano en la fase Sub-Hercínica (Charrier, 1973). Esta formación sobryace a Fm. Baños del Flaco concordantemente y hacia techo presenta una discordancia erosiva con la Fm. Coya-Machalí.

#### **2.1.1.6. Formación Coya-Machalí (Eoceno Superior-Mioceno Inferior)**

Definida por Klöhn (1960) consiste en una secuencia estratificada de rocas continentales, principalmente volcánicas (coladas de lava, brechas y tobas andesíticas-riolíticas), con importantes intercalaciones sedimentarias (Charrier y Munizaga, 1979) y con una potencia de 3.200 m. Se distribuye en dos franjas paralelas orientadas N-S, la occidental contiene lavas afaníticas, porfídicas y microfaneríticas de composición andesítica, y la franja oriental se compone de rocas piroclásticas con intercalaciones importantes de sedimentitas finas (Charrier *et al.*, 1994; Charrier y Munizaga, 1979). La franja occidental posee 1.900 m de potencia, en tanto que la franja oriental unos 1.300 m y están separadas por la Fm. Farellones (Charrier *et al.*, 1994). Levi *et al.* (1989) plantean que existe metamorfismo de bajo grado en esta formación. Dataciones radiométricas de K-Ar indican edades de 20,5-23,1 Ma (Charrier y Munizaga, 1979). Su contacto inferior es discordante con la Formación Baños del Flaco, Leñas-Espinoza, Río Damas y Nacientes del Teno, ésta se debería a la orogénesis a la que se vio expuesta. Infrayace mediante una discordancia angular a Formación Farellones.

### **2.1.1.7. Formación Farellones (Mioceno Superior)**

Definida por Klöhn (1960) de litología predominante volcánica, compuesta por sedimentitas, lavas andesíticas, riolíticas y basálticas, y rocas piroclásticas que se alternan con depósitos lagunares (areniscas, lutitas, tufitas y calizas). Presenta una potencia de al menos 2.400 m. Se distribuye en franjas N-S y se encuentra delimitada por la Formación Coya-Machalí por ambos lados. Dataciones radiométricas K-Ar indican edades de 14,3-4,13 Ma (Charrier, 1983), asignándola así al Mioceno Medio-Superior. Esta formación contiene al megayacimiento El Teniente. Se encuentra levemente plegada a subhorizontal (Charrier, 1973) y sobreyace en discordancia angular a la Fm. Coya-Machalí, con la cual limita hacia el este y al oeste. Presenta una cubierta local por la Fm. Colorado-La Parva (Thiele, 1980), aunque en general su límite superior es la superficie de erosión actual.

### **2.1.1.8. Formación Colón-Coya (Plioceno-Pleistoceno)**

Reconocida primeramente por Enrione (1972) y luego definida por Gómez (2001). Son depósitos laháricos de granulometría heterogénea con intercalaciones locales de niveles de ceniza, coladas andesíticas y gravas fluviales. Su espesor varía entre algunos centímetros y 150 m. Dataciones radiométricas K-Ar obtenidas por Charrier y Munizaga (1979), coinciden con los resultados de Cuadra (1986), situando esta Formación en el Plioceno-Pleistoceno (2,3-1,3 Ma). Está ubicada al suroeste del yacimiento. Su contacto basal corresponde a una disconformidad con las Formaciones Coya-Machalí y Farellones, cubriendo un área de 160 km<sup>2</sup> y rellenando la paleotopografía del valle. El techo corresponde a la superficie de erosión actual.

### **2.1.1.9. Depósitos no consolidados (Plioceno-Pleistoceno)**

Corresponde a depósitos aluviales, fluviales, lacustres, glaciofluviales, glaciales, de escombros y derrumbes (Charrier, 1983), que rellenan los sistemas de drenaje del área, tales como los valles de los ríos Cachapoal, Maipo, Teno y Blanco.

## **2.1.2. Rocas Intrusivas**

Los intrusivos emplazados en la zona donde se localiza el yacimiento El Teniente poseen una amplia variedad composicional, textural, de edad y extensión. Forman alineaciones N-S, creando cinco franjas de intrusivos que se agrupan en complejos ígneos del Paleógeno- Neógeno (Oligoceno Superior- Mioceno Superior) intruyendo a las Formaciones Farellones y Coya-Machalí, con edades entre los 34,5 a los 5,59 Ma (Falcón y Rivera, 1998). Se reconocen litologías como granodioritas de

hornblenda y biotita, pórfidos diorítico-andesítico, monzonitas, monzodioritas y pórfidos dacíticos. La diversidad textural se debe a su origen desde plutónico a hipabisal.

También existen cuerpos de menor tamaño tales como stocks, diques, filones y apófisis provenientes de los cuerpos intrusivos mayores. Su composición varía desde granitos, granodioritas, tonalitas, monzonitas a dioritas cuarcíferas (Charrier, 1981). En general se trata de cuerpos relativamente pequeños y aislados.

En base a las relaciones de contacto con la roca caja, se les ha asignado una edad relativa posterior a la Formación Farellones (Stewart *et al.*, 1972) y una edad Miocena según Godoy (1993). Dataciones radiométricas Ar-Ar indican una edad de 34,3 a 5,5 Ma (Drake *et al.*, 1982; Gana y Wall, 1997; Kurtz *et al.*, 1997). Según las edades obtenidas Kurtz *et al.* (1997) las agrupan en 3 unidades:

- **Complejo Plutónico Antiguo (Oligoceno Superior- Mioceno Inferior):** Datado en  $21,6\pm 4,9$  Ma y  $16,2\pm 1,2$  Ma. Es el grupo más occidental e incluye a los plutones La Obra y Santa Rosa de Rengo.
- **Complejo Plutónico Teniente (Mioceno Medio- Mioceno Superior):** Presenta dos unidades, la más antigua datada en  $12,4\pm 2,5$  Ma y  $11,3\pm 0,3$  Ma y la más joven,  $8,8\pm 0,1$  Ma y  $7,7\pm 1,2$  Ma. Comprende a los plutones Alfalfalito, Carlota, Nacimiento Río Cortaderal, Lago Yeso y Romeral.
- **Complejo Plutónico Joven (Mioceno Superior):** Datado en  $6,6\pm 0,1$  Ma y  $5,5\pm 0,2$  Ma. Incluye a los plutones Jeria y Cruz de Piedra.

La actividad magmática de la zona ocurrió desde el Oligoceno Superior al Mioceno Superior, lo que es contemporáneo a las edades de las Formaciones Coya-Machalí y Farellones (Kurtz *et al.*, 1997; Falcón y Rivera, 1998).

### 2.1.3. Estructuras

A escala regional Chile Central, entre los  $33^\circ$  y  $39^\circ$ S, presenta estructuras NW-SE y NNW-SSE producidas por eventos tecto-magmáticos del Paleozoico- Mesozoico (Godoy y Lara, 1994). Estas delimitan los segmentos tectónicos que se disponen oblicuamente a la Cordillera y son reactivadas reiteradamente en el Mesozoico- Cenozoico (Rivera y Cembrano, 2000), además, sus movimientos pueden explicar la distribución en franjas de centros volcánicos e intrusivos miocenos (Falcón y

Rivera, 1998). Los eventos tectónicos habrían sido controlados por una zona de transcurrancia sinistral N50°W que coincide con la Zona de Falla Río Blanco-Codegua, lo que produce fracturas sintéticas sinestrales (Tipo R) de orientación N60°W y antitéticas-dextrales (Tipo R') de orientación N50°E, según un sistema Riedel (Falcón y Rivera, 1998), como se muestra en la Figura 2.2.

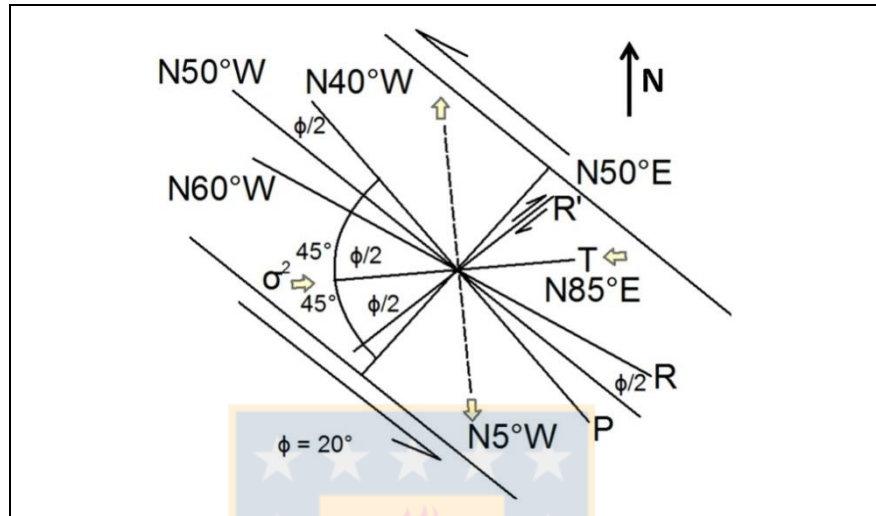


Figura 2.2: Modelo de estructuras tipo Riedel para una zona de transcurrancia sinistral de rumbo N50°W que coincide con la Falla Codegua. Modificado de Falcón y Rivera (1998) en Rojas (2003).

Se presenta a continuación una descripción de rasgos estructurales de la región:

### 2.1.3.1. Pliegues

Anticlinales y sinclinales, descritos por Klöhn (1960) y Charrier *et al.* (1994), que afectan a Formación Farellones, con eje de rumbo general N-S, leve buzamiento hacia el sur e inflexiones en el rumbo de N30°W a N30°E (Gómez, 2001). Su continuidad longitudinal está delimitada por los sistemas de fallas N30°W (Rivera y Falcón, 2000).

### 2.1.3.2. Fallas

Sistemas de fallas de orientación N30°W (Rivera y Falcón, 2000) que se componen de siete zonas de falla reconocidas en la Cordillera de la Costa y de Los Andes, pero no en la Depresión Intermedia, pues el relleno sedimentario moderno tiende a obliterar la traza de estas estructuras. En torno al yacimiento destacan las Zonas de Falla Piuquencillo, El Azufre y Juanita, al norte, al centro y al sur, respectivamente (Rivera y Cembrano, 2000), las cuales truncan los ejes de plegamiento de la Fm. Farellones. Además, Rivera y Falcón (2000) describen a la cuenca El Teniente como una

depresión volcano-tectónica limitada al norte por la Falla Piuquencillo y al sur por el lineamiento Tinguiririca-Navidad, con un ancho de casi 100 km y largo superior a los 150 km en dirección NW-SE. También se identifican fallas inversas en la franja oriental de la Formación Coya-Machalí, y fallas normales con desplazamientos verticales, asociadas a la tectónica de bloque Plio-Cuaternaria resultante del alzamiento Andino (Charrier, 1981).

### 2.1.3.3. Discordancias

Se reconocen tres fases compresivas en la zona, las cuales se manifiestan como tres discordancias de plegamiento y erosión (Klöhn, 1960). La primera, del Cretácico Superior pondría en discordancia las unidades de la Fm. Colimapu y las rocas volcánicas terciarias y cuaternarias. La segunda fase compresiva sería la responsable de la discordancia entre la Fm. Coya-Machalí y la Fm. Farellones. La edad de esta fase no es clara, pues algunos autores la asignan al Oligoceno Inferior y otros al Mioceno Inferior (Charrier *et al.*, 1996). Finalmente, en el Mioceno-Plioceno, tomó lugar una fase compresiva que generó un suave plegamiento de la Fm. Farellones, depositándose sobre ella y en discordancia la Formación Colón-Coya.

### 2.1.4. Marco Geotectónico

El depósito se ubica al este de la intersección de la Dorsal de Juan Fernández y la Fosa de Chile, en el límite entre la Zona Volcánica Sur (ZVS) y el segmento tectónico andino de bajo ángulo o *flat slab* (Figura 2.3), segmento que se caracteriza por la ausencia de actividad volcánica moderna (Kurtz *et al.*, 1997).

Dentro de la evolución de Los Andes, se destacan dos grandes ciclos orogénicos, el Ciclo Pre-Andino (fin del Paleozoico, 230 Ma) y el Ciclo Andino (Meso-Cenozoico). El Ciclo Andino, se divide en cinco intervalos principales, que representan condiciones tectónicas y paleogeográficas diferentes (Charrier *et al.*, 1996):

- **Triásico Superior- Jurásico Inferior (205 a 180 Ma):** Sistema de grabens de orientación NNW-SSE es generado en este periodo.
- **Jurásico Inferior- Jurásico Superior (180 a 135 Ma):** Se desarrolla un arco volcánico, que corresponde a la actual Cordillera de la Costa, parte de la Cordillera Principal y una cuenca de trasarco al este de ella.

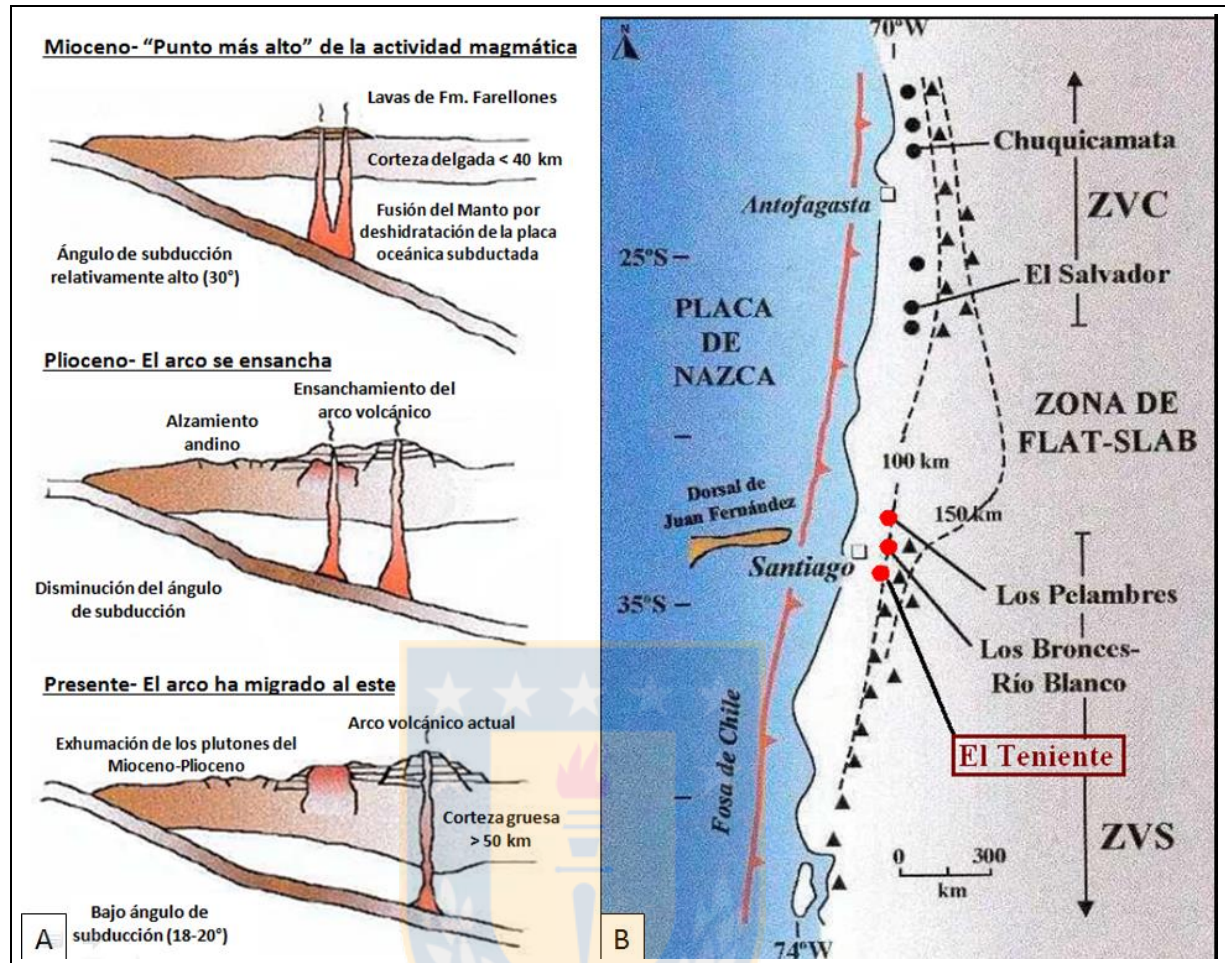


Figura 2.3: Marco Geotectónico: (A) Perfiles transversales de la evolución magmatotectónica de los Andes Centrales a los 34°S entre el Mioceno al Presente. (B) Ubicación del segmento Zona Volcánica Central (ZVC), zona de *flat slab* y la porción norte de la Zona Volcánica Sur (ZVS). Los triángulos representan el actual frente volcánico activo y los círculos rojos los tres yacimientos de pórfidos de cobre denominados como "gigantes" del Mio-Plioceno, ubicados en el extremo norte de la ZVS y los círculos negros otros pórfidos más antiguos, ubicados en el extremo sur de la ZVC. Líneas segmentadas indican la actual profundidad de la Zona de Benioff. Modificado de Stern y Skewes, 1995 y 1997.

- **Jurásico Superior- Cretácico Inferior (135 a 95 Ma):** Una cuenca de intra-arco en la actual Cordillera de la Costa y parte occidental de la Cordillera Principal, y al este de ésta, una cuenca de trasarco, son generadas en este periodo.
- **Cretácico Superior- Paleógeno Inferior (95 a 24 Ma):** Acumulación de depósitos sedimentarios continentales y marinos, seguidos de un periodo de fuerte erosión.
- **Neógeno- Presente (a partir de los 24 Ma):** Periodo con desarrollo de dominios volcánicos y plutónicos en condiciones paleogeográficas muy diferentes entre sí.

Durante el Mioceno Inferior (quinto intervalo) la corteza continental bajo la zona era delgada, con un espesor inferior a los 45 km y se encontraba sobre una zona de subducción relativamente inclinada, mayor a los 25°. A partir del Mioceno Medio- Plioceno Temprano ha decrecido el ángulo de subducción, causando deformación, engrosamiento y alzamiento de la corteza continental, donde, al norte de los 33°S, el descenso de ángulo es rápido y al sur de los 33°S es lento y menos extendido (Figura 2.3) (Stern y Skewes, 1994 y 1995).

Durante el Mioceno Medio, disminuye el ángulo de subducción bajo el segmento al norte de los 33°S, debido a una posible respuesta a la subducción activa de la Dorsal de Juan Fernández (Pilger, 1981), que produjo, a su vez, un ensanchamiento del arco magmático, con la subsecuente migración del frente volcánico hacia el este en el Mioceno Tardío y el término de la actividad magmática durante el Plioceno (Kay y Kurtz, 1995). Todo esto se encuentra relacionado a un alzamiento, producto de la deformación y el aumento en el espesor de la corteza bajo la cadena volcánica al norte de los 33° latitud Sur (Kay *et al.*, 1991).

La latitud 33°S marca el límite en los Andes Centrales. Al norte de los 33°S se reconoce una zona de *flat slab* (28°-33°S) con ausencia de volcanismo activo, y al sur se halla una zona volcánica activa, llamada Zona Volcánica Sur (ZVS: 33°-46°S), en la cual el ángulo de subducción decrece en forma contemporánea al desarrollo de la zona de *flat slab*, y en menor magnitud, lo que provoca la migración del frente volcánico hacia el este en su actual ubicación en Los Andes. Además, se produce una deformación, engrosamiento de la corteza y alzamiento de la cadena volcánica andina a esta latitud (Skewes y Stern, 1994).

Durante el Plioceno, el frente volcánico migró 35 km al este (Stern, 1989). Diques y lava post-mineralización representan el estadio final de la actividad magmática en la región (Stern y Puig, 1991).

La Zona Volcánica Sur (ZVS) actualmente comprende la Cordillera de la Costa (rocas paleozoicas a mesozoicas), Valle Longitudinal (relleno sedimentario), Cordillera de los Andes o Principal (el flanco oeste contiene rocas paleógenas del cinturón volcánico que hospedan a El Teniente) y volcanismo máfico de trasarco al sur de la latitud del Volcán Maipo (Kay y Kurtz, 1995).

Tres de los más grandes e importantes yacimientos de tipo pórfido cuprífero de Chile: El Teniente, Río Blanco- Los Bronces y Los Pelambres, están ubicados en la zona central del país, en el límite del segmento de *flat slab* y la Zona Volcánica Sur. La génesis de estos depósitos se relacionaría al engrosamiento cortical y solevantamiento asociado a la progresiva disminución del ángulo de

subducción de la Plaza de Nazca, entre el Mioceno y el Reciente (Figura 2.3). Así, el rápido alzamiento y la exhumación de los sistemas plutónicos emplazados en profundidad generaron la exsolución de fluidos magmáticos ricos en cobre, los que serían responsables de la mineralización del tipo pórfido cuprífero en la región (Stern y Skewes, 1995).

Con respecto a los rasgos geotectónicos mencionados, El Teniente se ubica a 260 km de la Fosa de Chile, a aproximadamente 90 km sobre la zona sísmica, y a unos 50 km al oeste del frente magmático ubicado en Los Andes altos, donde el drenaje se divide entre Chile y Argentina.

## 2.2. Geología del Yacimiento El Teniente

El Teniente es un megayacimiento de cobre y molibdeno cuya producción histórica es de 12.500 Mt, con leyes de Cu de 0,63% y 0,02% de Mo. Corresponde a la mayor concentración de Cu en la corteza terrestre (Sillitoe y Perelló, 2005), con recursos estimados de 75 Mt (Skewes *et al.*, 2002), donde el Cu y el Mo se hospeda en la mineralización sulfurada hipógena, principalmente calcopirita, bornita y molibdenita. En la zona de enriquecimiento secundario, el mineral característico es la calcosina y en forma subordinada covelina, cobre nativo y cuprita (Cuadra, 1986).

El distrito geológico es dominado por rocas volcánicas del Mioceno (Formación Farellones) localmente intruidas por rocas ígneas de composición intermedia (Kay *et al.*, 1999). En el área del yacimiento la Formación Farellones es intruida por rocas del Complejo Máfico El Teniente (CMET) y posteriormente por cuerpos félsicos relativamente pequeños (Ossandón, 1974; Camus, 1975; Skewes, 2000). En los contactos de éstos últimos con las rocas máficas se reconocen cuerpos discretos de brecha ígnea y de brechas magmático-hidrotermales de amplia distribución. Las rocas del Complejo de Brecha Braden, intruyen a las unidades anteriores (Camus, 1975), modificando los rasgos primarios y secundarios de éstas. Estas rocas forman una megaestructura ubicada en la parte central del yacimiento, posee forma de un cono invertido y en ella se ubican las principales instalaciones de la mina. Diques de lamprófido cortan a todas las rocas anteriores y marcan el fin de los eventos de mineralización sulfurada de cobre y molibdeno (Cuadra, 1986; Skewes *et al.*, 2002).

El yacimiento es el resultado de sucesivos eventos de deformación, intrusión, mineralización y alteración superpuestos, ocurridos en un lapso de al menos 5,3 Ma, mientras que los recursos se generaron en un periodo de 1,2 Ma (Maksaev y Zentilli, 2002; Maksaev *et al.*, 2004; Cannell, 2004).

Tradicionalmente El Teniente se incluye dentro de los yacimientos del tipo pórfido cuprífero, en el que la sucesiva intrusión de cuerpos félsicos, al menos cinco episodios intrusivos de magmas félsicos genéticamente relacionados y cada uno asociado con alteración hidrotermal (Maksaev *et al.*, 2004). También se ha propuesto considerarlo como un depósito de megabrecha, producto de exsolución de fluidos magmáticos de plutones de enfriamiento (Skewes *et al.*, 2002).

La mineralización de cobre y molibdeno ocurre en un 70% en vetillas resultantes del relleno y sellado de grietas en rocas subvolcánicas de composición máfica, y el otro 30% se concentra en el cemento de diversas brechas magmático-hidrotermales de biotita, anhidrita, cuarzo y turmalina. También se encuentra diseminada en la matriz de los cuerpos intrusivos félsicos, pero en escasa proporción (Cuadra, 1986).

En la mina se reconocen tres sistemas estructurales preferenciales: N-S, NE-SW y NNW-SSE, este último con continuidad distrital, evidenciados por la traza de los contactos entre unidades de rocas diferentes, por fallas y zonas de cizalle y por la distribución y geometría de las vetas y vetillas (Figura 2.4).

### **2.2.1. Unidades Litológicas**

En el yacimiento, la Formación Farellones es cortada e intruida por las siguiente unidades.

#### **2.2.1.1. Complejo Máfico El Teniente (CMET)**

Es la unidad litológica más extensa que aloja el 80% de la mineralización (Camus, 1975). Denominadas anteriormente "Andesitas de la Mina" (Camus, 1975; Ojeda *et al.*, 1980; Cuadra, 1986), el concepto de Complejo Máfico introducido por Skewes *et al.*, 2002, agrupa a un conjunto de rocas oscuras del Mioceno Superior (Munizaga *et al.*, 2002; Charrier *et al.*, 2002), que a gran escala forman un lacolito que intruye a Formación Farellones (Skewes *et al.*, 2002). Corresponde a un complejo subvolcánico de composición básica y afinidad toleítica (Skewes, 1997), de color pardo oscuro a negro, cuyas dimensiones son de aproximadamente 2 km de alto, 2,4 km de largo y 1,2 km de ancho, agrupando a gabros, diabasas, basaltos, pórfidos basálticos y andesitas basálticas (Burgos, 2002). También se incluyen brechas de biotita (Skewes *et al.*, 2002).

Las rocas de este complejo contienen plagioclasa, relictos de piroxeno y presentan una fuerte alteración potásica biotítica, responsable de su característica coloración gris-pardo a negro (Burgos, 2002; Villalobos, 1975), presentan textura afanítica a porfídica con fenocristales de plagioclasa

(Cuadra, 1986), que varían su tamaño. Las texturas de grano fino corresponderían a los márgenes del intrusivo y las de grano grueso al centro de éste.

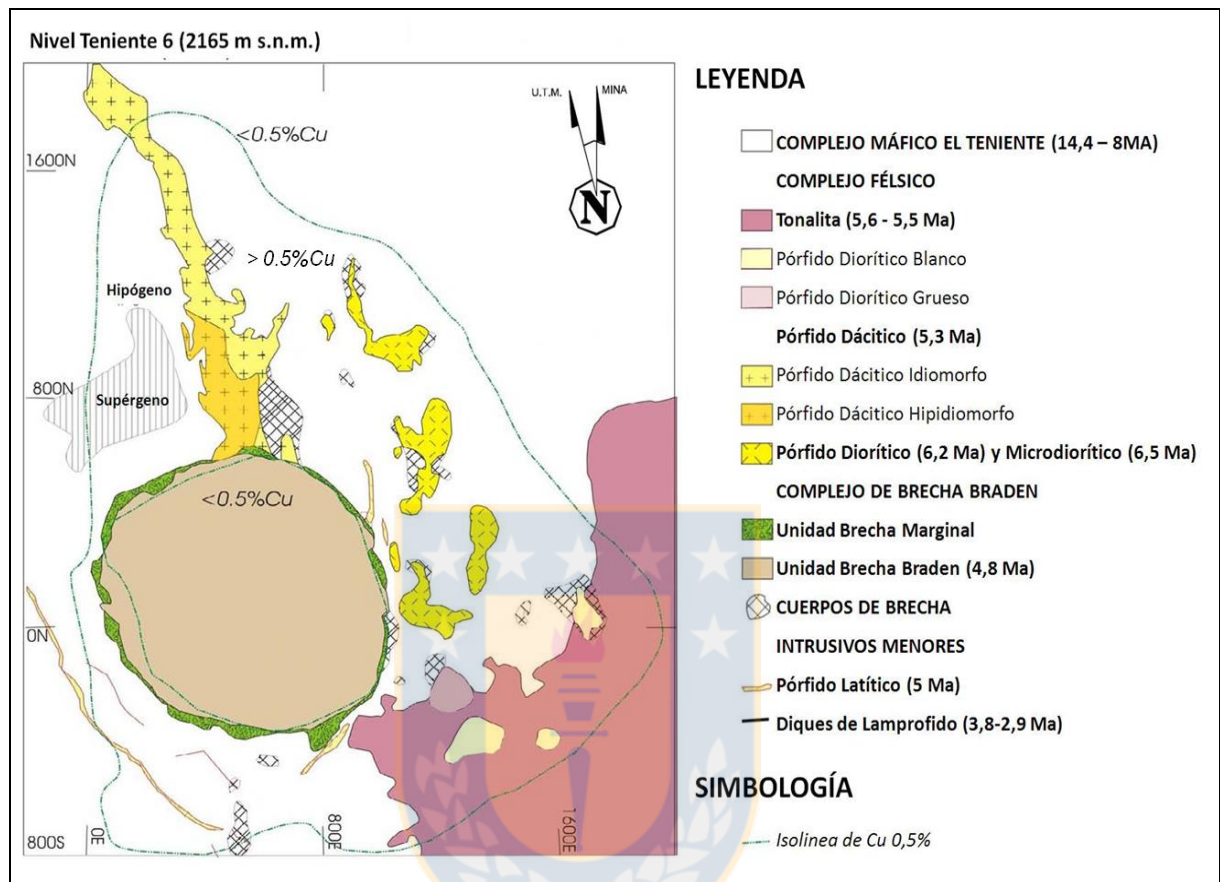


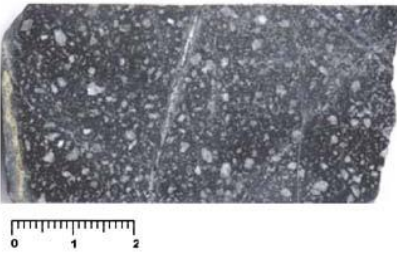


Figura 2.4: Geología simplificada del Nivel Teniente 6 (2.165 m s.n.m.) del yacimiento El Teniente modificada de la base de datos del yacimiento. En la figura se muestra límite del depósito definido por concentraciones superiores al 0,5% de Cu. En él se indican las coordenadas locales medidas en metros. De Los Santos (2011).

Las características texturales originales de la roca han sido obliteradas por la alteración, mineralización y brechización del complejo. La alteración principal, de tipo potásica, tiene a la biotita como mineral predominante (Villalobos, 1975), y anhidrita, cuarzo, clorita, sericita, actinolita y turmalina en cantidades menores (Skewes *et al.*, 2002). Este complejo presenta, además, un intenso *stockwork* que enmascara las características primarias de las rocas.

Las diabasas y diques basálticos que conforman el CMET se habrían emplazado durante el Mioceno. En este periodo se generó una cuenca volcano-tectónica en el Arco Andino por extensión, a partir de un sistema de fallas de orientación NNW-SSE, la cual se cerró en el Mioceno Tardío (Godoy, 1993; Falcón y Rivera, 1998).

Una breve descripción petrográfica de las litologías de este complejo se presenta en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2: Unidades petrográficas pertenecientes al Complejo Máfico El Teniente (CMET). SGL (2003).

Litologías	Características Macroscópicas	Fotografía
Diabasa	<p>Roca de color gris oscuro a negro, con textura porfídica, fenocristales de plagioclasa tabulares entre 5% a 40% aprox. Generalmente los fenocristales tienen un largo mayor a 2 mm, y la masa fundamental corresponde a cristales de plagioclasa de menor tamaño (&lt; 1 mm).</p> <p>Rasgos característicos: Textura porfídica, independiente del tamaño de sus fenocristales o la proporción de ellos. Los cristales de la masa fundamental se pueden observar con lupa de mano.</p>	
Gabro	<p>Roca de color gris oscuro a negro, con textura equigranular. Los cristales son tabulares a aciculares.</p> <p>Variaciones texturales:            Microgabro: Textura fina con cristales menores a 1 mm de largo.            Gabro: Cristales mayores a 1 mm.</p> <p>Rasgos característicos: Textura equigranular, independiente del tamaño de sus cristales (Microgabro-Gabro).</p>	
Pórfido Basáltico	<p>Roca de color gris oscuro a negro, con textura porfídica. Presenta fenocristales tabulares de plagioclasa (5 a 20%), con largo mayor a 2 mm.</p> <p>Variaciones texturales:            Pórfido Basáltico fino: Fenocristales tabulares a aciculares de plagioclasa de 1 a 2 mm de largo.            Pórfido Basáltico Grueso: Fenocristales de plagioclasa con forma más cuadrada (<i>equant</i>), mayores a 2 mm de largo.</p> <p>Rasgos característicos: Textura porfídica. Masa fundamental afanítica la que le otorga una apariencia aterciopelada.</p>	

### 2.2.1.2. Complejo Félsico

Es un conjunto de intrusivos félsicos subverticales de edad Mioceno a Plioceno que se presentan en formas de apófisis relativamente tabulares y diques, con afinidad calcoalcalina y contenido de sílice mayor al 56% (Rabbia *et al.*, 2000). Las litologías que componen el Complejo Félsico son definidas en "Estándares y Metodologías de Trabajo para Geología de Minas Actualización Año 2003" (Referencia Interna SGL-I-123/2003). Éstas se pueden observar en la Figura 2.5 y se describen a continuación:

- i) **Pórfido Dacítico:** Antiguamente denominado Pórfido Teniente, Dacita Porfídica o Dacita (Cuadra, 1986; Rojas, 2003; Skewes *et al.*, 2002). Corresponde a un cuerpo tabular irregular subvertical situado en el sector norte del yacimiento, e intruye a las rocas máficas donde se

observan contactos nítidos, pero de diseño irregular o bien transicional. El cuerpo se dispone con orientación general aproximadamente NNW-SSE con 1.500 m de corrida y una potencia variable entre 50 m, hacia los niveles más superficiales, y 300 m hacia los niveles más profundos. El límite sur está truncado por la Chimenea de Brechas Braden, en cuyo contacto se desarrolla una brecha con fragmentos del pórfido y matriz de turmalina. Petrográficamente es una roca de color gris claro a blanco y se distinguen dos variedades texturales: la porfídica idiomorfa y la porfídica hipidiomorfa (Ossandón, 1974; Rojas, 2003), con fenocristales de oligoclasa, biotita y cuarzo (Cuadra, 1986). Dataciones U/Pb en circón, indican que su cristalización ocurrió hace  $5,28 \pm 0,10$  Ma (Maksaev *et al.*, 2004).

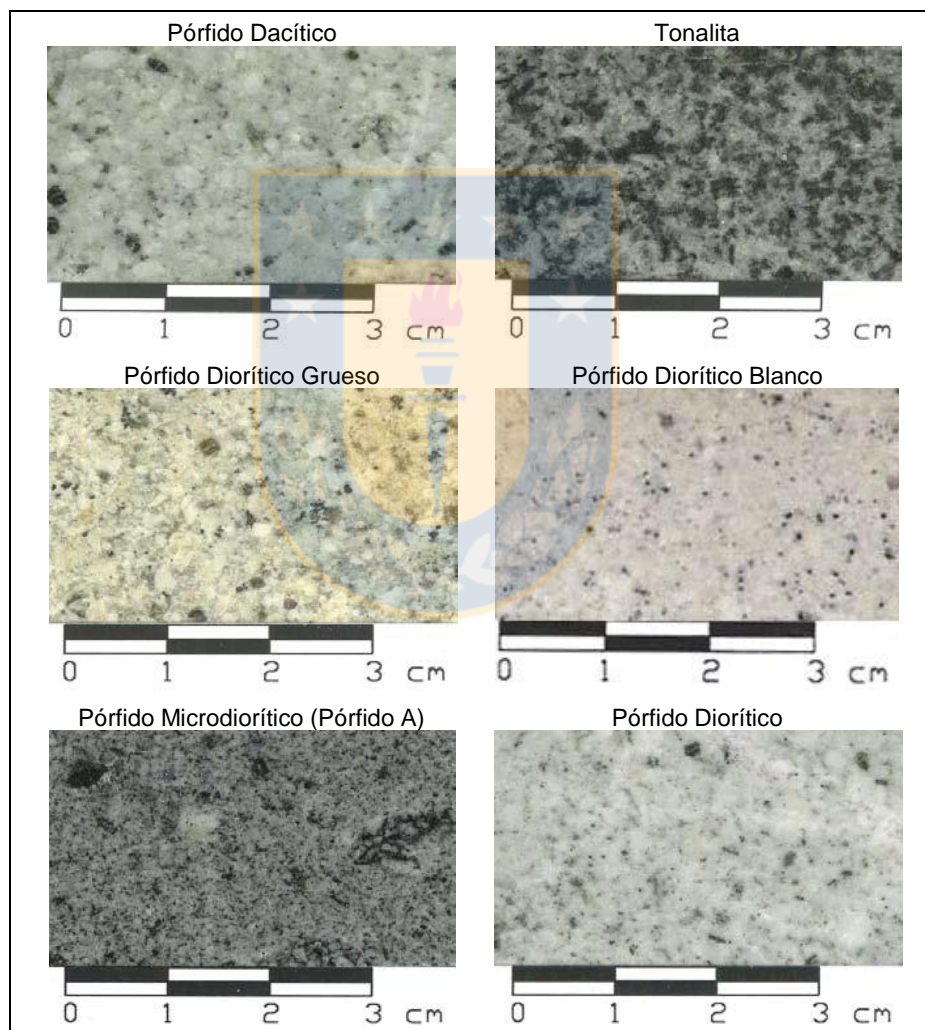


Figura 2.5: Imágenes de las unidades petrográficas del Complejo Félsico El Teniente. SGL (2003) en De Los Santos (2011).

- ii) **Tonalita:** También denominada Diorita Sewell (Skewes *et al.*, 2002), es un gran cuerpo intrusivo que intruye al CMET al sureste del yacimiento (al sureste de la Pipa Braden). Corresponde a un

stock de 200 m<sup>2</sup> de litología color gris claro. En las zonas marginales posee textura porfídica con fenocristales primarios de plagioclasa, biotita y relictos de anfíbol; mientras que gradúa a un núcleo es fanerítico. Ambas zonas han sufrido una fuerte alteración cuarzo-sericita-clorita (Cuadra, 1986). Su composición química es de carácter calcoalcalino, con contenidos de sílice variable entre 63,6% y 64,2% (Rabbia *et al.*, 2000; Reich, 2001). Dataciones <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar en biotita, indican una edad de 5,47±0,12 Ma a 5,63±0,12 Ma (Maksaev *et al.*, 2004).

**iii) Pórfido Diorítico:** También conocido como Diorita Central, se presenta como una serie de stocks y diques menores de gran extensión vertical, alineados en dirección N30°W en la parte norte y central del yacimiento (Figura 2.4). En su contacto con CMET, generalmente se observan brechas ígneas y/o hidrotermales. El intrusivo posee fenocristales de plagioclasa, biotita y ojos de cuarzo, conformando entre un 30 a 60% de la roca, y presenta localmente asociaciones mineralógicas de alteración potásica, fílica y argílica (Guzmán, 1991). Dataciones radiométricas U/Pb en circón indican una edad de cristalización del intrusivo de 6,11±0,13 Ma a 6,28±0,16 Ma (Maksaev *et al.*, 2004).

**iv) Pórfido Microdiorítico:** Anteriormente llamado Pórfido A (Spröhnle, 1990). Corresponde a una diorita de grano fino, con abundantes xenolitos de andesita y cúmulos de biotita (Arredondo, 1994), emplazado en el sector centro-este del yacimiento, en contacto por intrusión con la Tonalita y el CMET. Este cuerpo genera un volumen importante de brechas ígneas e hidrotermales que contienen altas leyes de cobre. Dataciones U/Pb en circón, indican una edad de cristalización de 6,46±0,11 Ma (Maksaev *et al.*, 2004).

### 2.2.1.3. Complejo Brecha Braden

Este cuerpo es la parte central del yacimiento (Figura 2.4) y corresponde a una chimenea volcánica originada por la expulsión de gases que fragmentan la roca caja. Este complejo de brechas tiene forma de cono invertido. Su flanco oriental es subvertical, mientras que el resto posee una inclinación que varía entre los 60° a 70° hacia el centro del cuerpo. Su máximo diámetro es de 1.200 m y su extensión en profundidad es de más de 2.150 m, desde la superficie. Su edad se estima en 4,7 a 4,5 Ma (Cuadra, 1986), cercana a la fase tardimagmática del yacimiento (inicio del Plioceno).

Las dos grandes unidades geológicas que componen este complejo son las siguientes:

**i) Unidad Brecha Braden:** Brechas con fragmentos redondeados a subangulosos mal seleccionados, de composición es andesítica, diorítica, dacítica y latítica de tamaños variables,

con alteración hipógena propia, en una matriz de polvo de roca y cemento de sericita con cantidades menores de turmalina, calcita y sulfuros, principalmente pirita lo que la hace una unidad de baja ley.

- ii) **Unidad Brecha Marginal:** Unidad que rodea a la Unidad Brecha Braden como un anillo de 50 a 60 m de espesor promedio el que disminuye en profundidad, hasta llegar a 10 m (Cuadra, 1986). El contacto entre ambas unidades de brecha es gradacional, reconocido por un porcentaje variable de turmalina (Ojeda *et al.*, 1980). Sus fragmentos son angulosos a subangulosos polimícticos. Presenta alteración cuarzo-sericita-clorita en distintos grados y cantidades leves de anhidrita, yeso, sulfuros y sulfosales de la serie tenantita-tetraedrita. Su cemento es de turmalina y cuarzo con cantidades menores de anhidrita, yeso, carbonatos, sulfuros y tenantita-tetraedrita. Los minerales de mena presentes son calcopirita, bornita, tenantita-tetraedrita y pirita.

#### 2.2.1.4. Cuerpos de Brechas Hidrotermales

Arredondo (1994) distingue las brechas según la composición de su matriz (Figura 2.6):

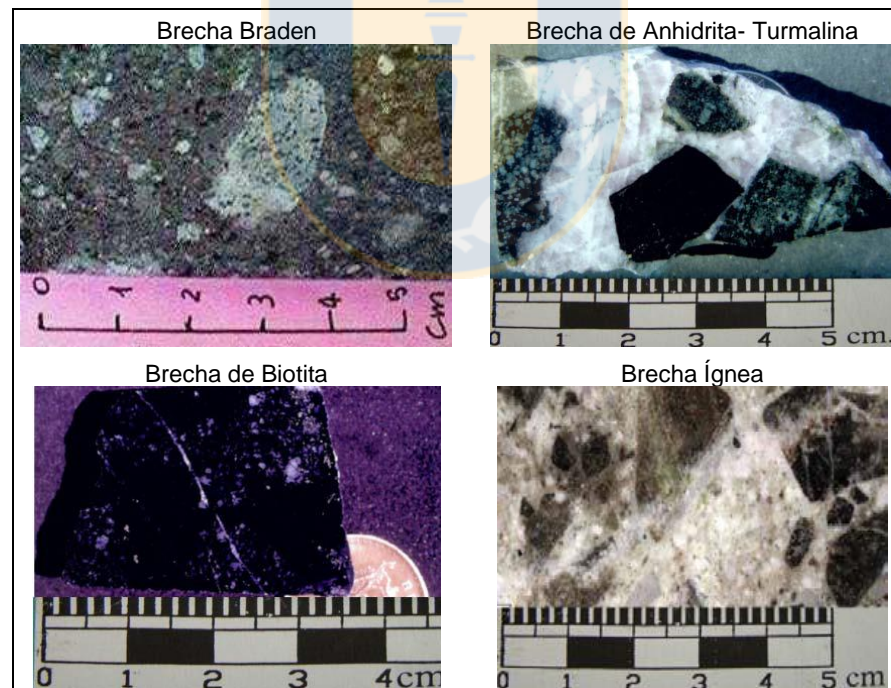


Figura 2.6: Imágenes de las unidades petrográficas del Complejo de Brechas El Teniente. SGL (2003), Skewes (2004), Cannell (2004) en De Los Santos (2011).

- i) **Brechas de Anhidrita:** Los fragmentos son polimícticos de rocas máficas y félsicas alteradas. El cemento es principalmente de anhidrita con menores cantidades de cuarzo, calcopirita, pirita y

molibdenita. Emplazadas en el sector noreste y sureste del yacimiento. Habitualmente presenta leyes de cobre mayores a las de su entorno.

- ii) **Brechas de Turmalina:** Brechas de carácter polimíctico (rocas máficas y félsicas alteradas). El cemento-matriz está conformado por turmalina con anhidrita, cuarzo y sulfuros en forma subordinada (Zúñiga, 1982). Se encuentran preferentemente en el sector norte de la Chimenea de Brecha Braden. La brechización se habría producido entre las etapas de mineralización tardimagmática e hidrotermal principal, mientras que las brechas de turmalina y cuarzo, sólo contienen fragmentos de rocas máficas y su formación se relaciona con la etapa hidrotermal tardía.
- iii) **Brechas de Biotita:** Contienen fragmentos polimícticos, tanto de rocas intrusivas máficas como félsicas, los que están fuertemente biotitizados y sus minerales máficos han sufrido un reemplazo total por biotita. La biotitización se asocia con la infiltración de numerosas vetillas de biotita (Skewes, 1999 y Skewes, 2000). Su cemento además contiene plagioclasa± cuarzo± bornita-calcopirita± anhidrita± yeso y también polvo de roca. Estas brechas se ubican en zonas de cobre hipógeno, rodeando a la Pipa Braden.
- iv) **Brechas Ígneas:** Pueden contener en la matriz biotita predominante, en tal caso son llamadas brechas ígneas andesíticas, o bien, tener más anhidrita, feldespato y cuarzo, y corresponder a brechas ígneas dacíticas o dioríticas según su contenido de cuarzo y feldespato. Se ubican preferentemente en los contactos entre el CMET y los pórfidos del Complejo Félsico que lo intruyen, desarrollándose una potencia desde centímetros hasta decenas de metros.

#### 2.2.1.5. Intrusivos Menores

Corresponden a unidades de ocurrencia restringida y de menor importancia, volumétricamente menos importantes y de carácter principalmente estéril. Estos intrusivos corresponden a los últimos eventos intrusivos reconocidos en el yacimiento:

- i) **Pórfido Latítico:** Cuerpos irregulares, discontinuos y autobrechizados, con fragmentos redondeados y subredondeados en una matriz de la misma composición, ubicados aledaños a la Chimenea de Brecha Braden, con formas de diques anulares de poca potencia constituidos por latita porfídica (Howell y Molloy, 1960). Riveros (1991) identifica diques de pórfido latítico emplazados en el sector sur del yacimiento con disposición subvertical y potencias que varían entre los 2 a 15 m. Éstos presentan textura porfídica con cristales de plagioclasa, biotita y cuarzo,

en una masa fundamental afanítica. La edad determinada en base a dataciones de K/Ar es de  $4,96 \pm 0,25$  Ma, lo que indica que su existencia es previa a la Brecha Braden (Riveros, 1991).

- ii) Diques de Lamprófidio:** Cuerpos tabulares de color gris verdoso, textura porfídica fina con fenocristales aciculares de hornblenda (15%), en una masa fundamental traquítica compuesta por microlitos de augita y labradorita. Ubicados al sur de la Chimenea, con potencias variables de 1 a 2 m, corrida muy continua en el rumbo y manteo subvertical. Atraviesan a las rocas máficas, al Pórfido Diorítico y a la Chimenea de Brechas Braden. Los contactos son nítidos y bien definidos. Químicamente el lamprófidio corresponde a una andesita con 56,3 a 61% en peso de  $\text{SiO}_2$  y 1,6 a 2% de  $\text{K}_2\text{O}$  (Skewes, 2000). Dataciones K-Ar en roca total arrojan una edad de 3,8 a 2,9 Ma (Cuadra, 1986 y Godoy, 1993), representando las últimas etapas de la actividad ígnea en la zona.
- iii) Dique de Andesita:** Cuerpo tabular de potencia entre 0,5 y 1,0 m con rumbo  $\text{N}60^\circ\text{E}$  y continuidad de 500 m, de color gris negro y textura porfídica. Corta a la Diorita Sewell en el sector sur de esta. A través del método K-Ar se le asignó una edad de 3,8 y 3,9 Ma (Cuadra, 1986).

## 2.2.2. Geología Estructural

### 2.2.2.1. Tipos de Estructuras

Vetillas, fallas y diaclasas constituyen aproximadamente un 95% del universo de estructuras reconocidas, y en conjunto conforman el *stockwork* característico del yacimiento, reconociéndose frecuencias de hasta 40 estructuras por metro lineal como promedio general en conteos de sondajes. Otras estructuras presentes, pero de menor relevancia corresponden a vetas de cuarzo, diques de guijarros, y cuerpos tabulares intrusivos (latitas, dioritas, lamprófidios y dacitas). A continuación una breve descripción de cada tipo de estructura:

- i) Vetas de Cuarzo:** Presentan orientación predominante NE-SW. Se reconocen vetas premineralización (distritalmente en el perímetro del yacimiento) de geometrías irregulares que pueden alcanzar hasta 10 m de potencia y vetas tempranas en la mina. También han sido reportadas vetas polimetálicas (galena, blenda, calcopirita) en las cuales el cuarzo es constituyente mayoritario.
- ii) Vetas Rellenas con Sulfuros:** Corresponden a las vetillas que contienen la mineralización de sulfuros del yacimiento.

**iii) Fallas:** Estructuras que presentan manteos variables desde bajo a alto ángulo ( $35^\circ$  a  $85^\circ$ ) con desplazamientos de milímetros a centímetros y espesores de hasta 1,2 m. La mayoría de ellas están rellenas con un conjunto mineralógico tardío. En la mina la continuidad horizontal reconocida alcanza los 800 m. Fallas inversas también se reconocen.

**iv) Diques:** Corresponden a cuerpos tabulares y sinuosos. Ocurren con orientaciones bien consistentes. Localmente paralelos y controlados por fallas. Por ejemplo:

- **Diques de latita:** Entre 2 y 3 m de potencia. Muestran orientaciones preferenciales N-S, WNW-ESE, NNE-SSW. En el sur del yacimiento presentan formas arqueadas conformando diques anulares paralelos al contacto con la Brecha Braden.
- **Diques de guijarros:** Orientados NE-SW y WNW-ESE y localmente concéntricos a la Brecha Braden.
- **Diques tardíos de hornblenda:** Con espesores entre 1 y 3 m de ancho, tienen una orientación preferencial NE-SW. Se localizan en la parte sur de la mina y en el perímetro oeste.

#### 2.2.2.2. Clasificación de Estructuras

Los criterios para clasificar a las estructuras en El Teniente de acuerdo a su tamaño, se han modificado a través del tiempo, éstos se abordan a continuación:

- Cuadra (1986) sólo se limita a mencionar el tamaño de las estructuras, pero no establece aún un criterio de clasificación en su publicación sobre la geología de El Teniente.
- Hasta el año 1994, diversos trabajos de geólogos, identificaron estructuras principales en la mina, señalándolas como importantes por su relevancia y su continuidad tanto en la horizontal como en la vertical. Estas fueron designadas con nombres o nomenclaturas especiales, es así que se reconocen la Falla "B", "P", "S" y "K" en la mina sur y central, "N1", "G", "C", "M" y "O" en el sector norte. Sin embargo no se define una clasificación de éstas.
- Garrido (1995), con motivo de la publicación del proyecto geodinámico de mina El Teniente resume la experiencia acumulada anteriormente y entrega la primera clasificación de estructuras de la mina, siendo esta: Estructuras Mayores (continuidad superior a 100 m); Estructuras Intermedias (continuidades entre 100 m y 3 m); y Estructuras Menores (continuidad inferior a 3 m). El mismo autor había definido estas mismas categorías en un informe previo (Garrido, 1992), pero en vez de establecer el límite inferior en 3 m, lo hizo en 4 m.

- En 1996 EGM Servicios Ltda. realizó un modelamiento sobre la base del espesor y continuidad, y clasificó las estructuras presentes en la mina en dos grupos (SGL, 2003):
  - Fallas Maestras aquellas de espesores entre 5 y 120 cm y continuidades entre 100 m y 500 m. Ejemplos son las fallas "N1", "N2", "P" y "P1".
  - Otras fallas de menores espesores, entre 5 y 25 cm y continuidades menores a 100 m.
- Posteriormente, a este último modelamiento geológico, los geólogos de mina confeccionaron un plano estructural integrado del yacimiento, estableciendo como criterio de clasificación de estructuras el espesor de éstas. De este trabajo se desprende que el rango inferior de las Fallas Maestras son aquellas con espesores entre 2 a 10 cm y continuidad que tengan dos o más labores.

La clasificación actual de estructuras geológicas las agrupa en 5 rangos (Tabla 2.3), cada uno relacionado con la clasificación de Orden de magnitud de las discontinuidades de Pusch (1995) (Tabla 2.4), de acuerdo a su continuidad:

Tabla 2.3: Clasificación de estructuras geológicas en yacimiento El Teniente.

Tipo de Estructura	Continuidad (c)	Espesor Típico ( $e_t$ )
Distrital (1er Orden Pusch)	$c > 1$ km	$e_t > 1$ m
Maestra (2° Orden Pusch)	$500 \text{ m} < c < 1 \text{ km}$	$5 \text{ cm} < e_t < 100 \text{ cm}$
Mayor (3° y 4° Orden Pusch)	$100 \text{ m} < c < 500 \text{ m}$	$2 \text{ cm} < e_t < 10 \text{ cm}$
Intermedia (4° a 5° Orden Pusch)	$4 \text{ m} < c < 100 \text{ m}$	$0,2 \text{ cm} < e_t < 0,5 \text{ cm}$
Menor (5° a 6° Orden Pusch)	$0 \text{ m} < c < 4 \text{ m}$	$0 \text{ cm} < e_t < 0,2 \text{ cm}$

- i) **Estructuras Distritales o de 1<sup>er</sup> Orden:** Caracterizadas por importantes espesores y continuidades de varios km que limitan la Cuenca Volcano-Tectónica El Teniente, como por ejemplo: La Zona de Falla Piuquencillo, la Falla Juanita y la Falla Agua Amarga.
- ii) **Estructuras Maestras o de 2° Orden:** Caracterizadas por sus importantes espesores (5 y 120 cm) y sus grandes corridas (mayores a 500 m), reconocidas en varios lugares y distintos niveles, ejemplos: fallas N1 y P.
- iii) **Estructuras Mayores o de 3<sup>er</sup> y 4° Orden:** Caracterizadas por espesores entre 2 a 10 cm y corridas importantes pero locales (más de 3 labores o mayores a 100 m), ejemplo de estas fallas, conocidas en sus respectivas minas son: fallas G y C, en Sub6; M, O y R en Qda. Tte., K en Ten 4 Central, B y B1 en Esmeralda, S y S1 en Isla, etc.

Tabla 2.4: Clasificación de discontinuidades. Pusch (1995) en SGL (2003).

Orden de Magnitud de las discontinuidades	Definición
Primer Orden	Zonas de fracturas regionales con un espaciamento y extensión de varias decenas de kilómetros. El ancho del núcleo central, hidráulicamente más activo, está caracterizado por arcillas y compuestos férricos que varían de metros a decenas de metros conteniendo estas zonas quiebres interconectados y muy cercanamente espaciados, lo cual provoca una conductividad hidráulica de $10^{-6}$ m/s.
Segundo Orden	Zonas de fracturas locales con un espaciamento de varios cientos de metros y extensión de varios kilómetros. Las características son similares a las de las discontinuidades de primer orden, sin embargo con un menor ancho, con frecuencia de fracturas y contenido de arcillas. La conductividad hidráulica promedio es del orden de $10^{-7}$ m/s.
Tercer Orden	Zonas de fracturas locales con un espaciamento de pocas decenas de metros a unos pocos decímetros hasta un par de metros. Una sección longitudinal no muestra contenidos de arcillas pero generalmente muestra fracturas interactuando que provocan una conductividad hidráulica promedio del orden de $10^{-8}$ m/s.
Cuarto Orden	Estas discontinuidades a pequeña escala son hidráulicamente más activas con espaciamientos comunes entre 2-10 m y una extensión en sus propios planos de la misma magnitud pero ocasionalmente aún mayor que eso. El sector percolante de las fracturas son canales distribuidos a lo largo del plano de fractura pero más común en la intersección de los planos de fractura. La conductividad hidráulica promedio es del orden de entre $10^{-11}$ m/s a $10^{-9}$ m/s.
Quinto Orden	Estas discontinuidades representan el restante 90% de las estructuras visibles en la roca. No contribuyen de manera significativa a la conductividad hidráulica total ya sea porque no interactúan o porque están selladas por solución a presión o precipitación. El espaciamento promedio es un décimo parte de las discontinuidades de 4 orden (0,2-1 m). Representan debilidades potenciales que pueden activarse mecánicamente o por deformación termal inducida, en otras palabras se pueden estimular hidráulicamente por cizalle o tensión.
Sexto Orden	Estas discontinuidades pueden ser observadas ocularmente pero requieren una caracterización microscópica. Representan debilidades en la forma de enriquecimiento zonal y orientación de minerales o por fisuras finísimas. Estas constituyen comúnmente subsistemas que pertenecen en menor o mayor grado a las discontinuidades de 4 y 5 orden.
Séptimo Orden	Estas discontinuidades representan las oquedades inter e intracristalinas y contactos cristalinos incompletos, todos ellos sirviendo como quiebres embrionales, denominados "Grietas de Griffith".

**iv) Estructuras Intermedias o de 4° y 5° Orden:** Caracterizadas por espesores menores a 0,5 cm y corridas de no más de 3 labores o menor a 100 m. Cruzan una labor. Este universo de estructuras corresponde a la gran mayoría de las estructuras mapeables a escala 1:1.000 en El Teniente.

**v) Estructuras Menores o de 5° a 6° Orden:** Caracterizadas por espesores menores a 0,2 cm y corridas de no más 4 m. Este universo de estructuras corresponde a la gran mayoría de las estructuras que conforman el *stockwork* en El Teniente.

Con respecto a las fallas cabe mencionar que Seguel (2013) agrega y define el concepto de Fallas Principales de la Mina (2° y 3<sup>er</sup> orden según la clasificación de Pusch) como aquellas estructuras

geológicas que atraviesan toda o parte importante de un sector productivo, con longitudes de traza mayor a 100 m, por lo que todas y cada una de ellas deben ser caracterizadas en forma individual.

### 2.2.2.3. Sistemas Estructurales

El yacimiento se encuentra emplazado en una compleja zona de cizalle, de características distritales y con una orientación aproximada de N65°E, denominada Zona de Falla El Teniente (ZFT) (Garrido, 1992). Esta zona presenta tres dominios estructurales particulares que corresponden a zonas de mayor frecuencia relativa de fallas, constituidos en su mayoría por fallas de rumbo con manteo subvertical, estos son: N46°E (Sistema NE-SW); N64°W (Sistema NW-SE); y un tercero de dirección N20°E, dispuesto en *echelon* con respecto a los anteriores. En la mina se manifiestan en forma de mayor frecuencia de fallas paralelas, con un espesor variable de entre 20 y 400 m. Estas fallas de rumbo se caracterizan por desplazamientos de algunos centímetros y geometría anastomosada.

La ZFT posee una extensión de 14 km y ancho de 3 km, limitando al norte con la Quebrada Teniente y al sur con la Falla Agua Amarga (Figura 2.7). Controla el emplazamiento del Complejo Tonalítico Sewell (8,9-7,0 Ma) (Kay y Kurtz, 1995), y las zonas de alteración en el yacimiento. Garrido (1995) nota que el esfuerzo principal regional es de tendencia E-W, siendo este rotado dentro de la ZFT a la dirección NW-SE, o dicho de otro modo, dentro de la zona que cubre la falla, las estructuras se comportan de manera distinta a las reconocidas en el entorno, independiente sobre la litología que actúen, definiendo un eje de acortamiento de dirección  $N48^{\circ}\pm 11^{\circ}W$ . Debido a la disposición de estas fallas en zonas, se suponen como generadas por cizalle, producto de la deformación distrital.

La Chimenea de Brechas Braden se habría emplazado en una zona de debilidad estructural (Ojeda *et al.*, 1980). En torno a ella, existen estructuras sobreimpuestas de características lineales y cónicas (Reyes, 1979). Entre las estructuras lineales se encuentran fallas de dirección principalmente NE-SW y en menor proporción de dirección NW-SE. Entre las cónicas se agrupa un conjunto de diques concéntricos a la chimenea que mantean hacia el ápice de ésta (diques de latita y lamprófidio).

Las estructuras más relevantes que se reconocen en el yacimiento se asocian al sistema principal de fallas de dirección NE-SW, estas estructuras poseen espesores variables (5 a 120 cm), con corridas entre 100 y 500 m, las que han sido denominadas Falla N, N1, N2, P, P1 y Sursur (Harrison, 2009).

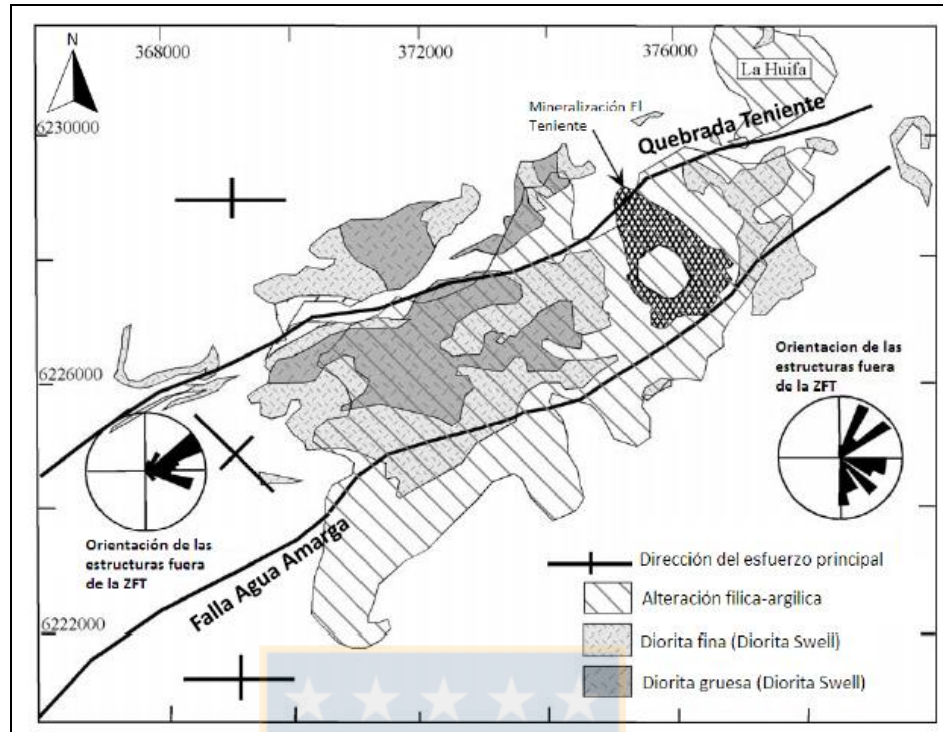


Figura 2.7: Zona de Falla El Teniente (ZFT). Es una extensa zona de tendencia NE-SW Limitada por la quebrada El Teniente hacia el Norte y la falla Agua Amarga hacia el Sur. Garrido (1995) en De Los Santos (2011).

Las estructuras en la mena primaria poseen en promedio un largo menor a 4 metros, suelen estar selladas, formando un *stockwork* y cortan a las estructuras mayores. Mientras que en la mena secundaria ubicada en las partes altas del yacimiento, las estructuras sufren lixiviación y pérdida del sello, debido a la exposición al ambiente.

#### 2.2.2.4. Descripción General de las Fallas

La gran mayoría de las fallas del yacimiento afecta a vetas y vetillas hidrotermales tardías preexistentes (Figura 2.8), es decir, las trazas de estas últimas estructuras se observan falladas y en menor cantidad, trazas de fallas ocurren rellenas por vetas y vetillas, donde estas últimas no han sido falladas. También se ha podido constatar indicadores de crecimiento de minerales dentro de la traza de algunas fallas, paralelos a los indicadores de movimiento del fallamiento (ej. yeso fibroso paralelo a las estrías de falla).

En su mayoría están rellenas por minerales tardíos en distintas proporciones (núcleo polimineral) más bordes de espesor variable de salbanda con un porcentaje medio de aproximadamente 5% de material de relleno total. La presencia de minerales arcillosos ocurre en algunos casos como elementos traza (p.ej. caolinita y esmectita) (Seguel, 2013).



Figura 2.8: Vetilla Hidrotermal (HT) fallada en Nivel Sub6. Se observa una pátina rojiza (Óxido de Hierro) alrededor del plano fallado y vetillas TM (Cuarzo-anhidrita) desplazadas que evidencia su reciente movimiento. SGL (2003).

Según Seguel (2013) las Fallas Principales (traza mayor a 100 m) de mina El Teniente son estructuras segmentadas, heterogéneas y ondulosas, que no presentarías superficies planares regulares. Los espesores de las fallas son variables y se relacionan con *jogs* dilatacionales (curvaturas), mineralización y zonas de cizalle. Además, presentan valores de la razón espesor y amplitud ( $e/a$ ) muy bajos, menor a 1, por lo que su resistencia al corte a una escala de observación mayor a 100 m de longitud (100 m - 800 m) estará gobernada fundamentalmente por la ondulación (rugosidad), en otras palabras, estas fallas están trancadas "*locked*" a movimientos de corte.

#### 2.2.2.5. Descripción General de las Vetillas

Estas discontinuidades geológicas están selladas por rellenos minerales cuya resistencia varía desde muy alta (cuarzo) a muy baja (yeso), generados por acción de soluciones hidrotermales, las que además, pueden generar un halo de alteración en la roca caja (Figura 2.9). Sus características han permitido clasificarlas de acuerdo a su origen genético, entender el ambiente en que aparecieron y conocer la evolución del yacimiento.



Figura 2.9: Vetilla Hidrotermal Tardía típica, con varios minerales de relleno, un halo de alteración cuarzo-sericítica y un detalle que muestra la interface o plano de contacto entre la roca caja y el relleno. Karzulovic (2001) en De Los Santos (2011).

Las vetillas alojan más del 70% de la mineralización de Cu del yacimiento (Brzovic y Benado, 2003), y están selladas con rellenos mineralógicos bastante competentes en comparación con los rellenos que comúnmente se encuentran en una minería a rajo abierto. La mineralogía de la vetilla suele ser: anhidrita, bornita, calcopirita, carbonato, cuarzo, molibdenita, sericita y tenantita, que pueden presentarse como un único mineral rellenando la vetilla, o en proporciones variables junto a otros minerales.

Las vetillas selladas del yacimiento pueden clasificarse de acuerdo a tres criterios, considerando su espesor o potencia, su extensión y en función de su composición, alteración y relaciones de contacto entre ellas:

**i) Clasificación según Mineralogía, Alteración y Relaciones de Contacto:** De acuerdo a estas características las vetillas se asocian a etapas de alteración. En la próxima sección "Alteración y Mineralización" se detallarán sus características.

- Vetillas TM (Etapa Tardimagnética).
- Vetillas HP (Etapa Hidrotermal Principal).
- Vetillas HT (Etapa Hidrotermal Tardía).

## ii) Clasificación según Espesor de Vetilla:

- Vetas: Se definen como estructuras rectilíneas de longitud mayor al lado de la preparación microscópica (4,5 cm), y ancho superior a los 3 mm.
- Vetillas: Son también estructuras lineales de espesor comprendido entre 1 a 3 mm, y longitud igual o mayor a 2,5 cm, con relleno continuo en toda su longitud.
- Microvetillas: Estructuras de longitud variable y ancho inferior a 1 mm, con trazado generalmente rectilíneo y relleno discontinuo.

## iii) Clasificación según Traza de Vetilla:

- Vetillas Mayores: Abarcan al menos el ancho de dos labores. Usualmente corresponden a vetillas HT o HP, pueden tener potencias de hasta 200 mm, pero típicamente presentan espesores de 5 a 25 mm.
- Vetillas Intermedias: Cruzan una labor. Pueden tener potencias de hasta 50 mm, pero típicamente tienen espesores de 1 a 10 mm.
- Vetillas Menores: No alcanzan a cruzar una labor, con potencias menores a 10 mm.

### 2.2.3. Alteración y Mineralización

La mineralización en El Teniente es producto de la sobreimposición de diversos eventos de alteración y mineralización, asociados al emplazamiento de los cuerpos intrusivos Pórfido Dacítico y Tonalita Sewell, y a la génesis de la Chimenea de Brechas Braden en las rocas máficas intrusivas y volcánicas del miembro inferior de la Formación Farellones (Rojas, 2003).

Se reconocen cuatro etapas hipógenas y una supérgena, en un proceso continuo de alteración y mineralización (Cuadra, 1986). Las etapas hipógenas de Cuadra (1986) (Tabla 2.5) coinciden con las descritas por Howell y Molloy (1960).

Durante las etapas hipógenas, descritas más adelante, se desarrolló la zonación mineralógica consistente en un núcleo de bornita-calcopirita, envuelto por una capa de calcopirita mayor que bornita, ésta a su vez envuelta por una zona de calcopirita y un halo de pirita. Otros centros de mineralización hipógena se asocian a los Pórfidos Diorítico y Microdiorítico y al desarrollo de brechas hidrotermales de altas leyes. El emplazamiento de la Pipa Braden corresponde al evento terminal de la evolución de la mineralización, donde este elimina gran parte del núcleo de bornita y lo reemplaza por pirita.

Tabla 2.5: Etapas de alteración y mineralización en El Teniente. Cuadra (1986) en SGL (2003).

<b>Tardimagmática (TM)</b>		
Características Generales	Mineralogía Principal	Relacionado a
Alteración potásica en vetillas (cuarzo, biotita, feldespato potásico y anhidrita) y en forma masiva (pertzitización en intrusivos y biotización en andesitas) y biotización de Complejo Máfico.	Cuarzo, anhidrita, feldespato potásico (pertzita), biotita, clorita. Calcopirita, bornita, pirita, molibdenita.	Consolidación de los intrusivos.
<b>Hidrotermal Principal (HP)</b>		
Características Generales	Mineralogía Principal	Relacionado a
Alteración fílica desarrollada a partir de vetillas de sulfuros, generando halos de alteración de cuarzo, sericita, y clorita de ancho variable.	Cuarzo, sericita, clorita, anhidrita. Calcopirita, pirita, molibdenita.	Reacción de los fluidos tardimagmáticos con las aguas meteóricas.
<b>Hidrotermal Tardía (HT)</b>		
Características Generales	Mineralogía Principal	Relacionado a
Alteración fílica que afecta a los clastos de la Brecha de Turmalina y como halos de vetillas, en forma similar a la anterior, pero con menos frecuencia. Se desarrolla a partir de la Brecha Braden, extendiéndose a unos 100 o 150 m en una zona concéntrica a esta. También se incluye en esta etapa la Alteración Póstuma con alteración a Sericita y calcita restringida a la Brecha Braden, en vetillas de baja frecuencia o afectando a la matriz y los clastos de esta.	Anhidrita, cuarzo, sericita, turmalina, yeso, carbonatos, clorita. Calcopirita, bornita, pirita, molibdenita, tenantita. Sericita, calcita, yeso, cuarzo, siderita, ankerita, baritina, anhidrita, turmalina. Pirita, calcopirita, molibdenita, esfalerita, galena, tenantita.	Fluidos hidrotermales asociados al emplazamiento de la Brecha Marginal. Fluidos hidrotermales asociados al desarrollo del Complejo de Brechas Braden.

La alteración supérgena se produce por infiltración gradual de aguas desde la superficie que genera lixiviación y enriquecimiento secundario en la parte alta de la mineralización. Aparecen nuevos minerales de alteración, como sericita, arcillas, minerales oxidados en los niveles superiores. En profundidad aumenta la ley de cobre debido a la aparición de calcosina sobre calcopirita y menor cantidad de covelina en pátinas.

La Figura 2.10 muestra distintos niveles geológicos, basados en mapeos históricos de la mina, según el tipo de mineral encontrado, su origen y tipo de mena. En ella se observa la ubicación relativa de la mineralización hipógena y supérgenas, etapas descritas a continuación.

### 2.2.3.1. Etapa Tardimagmática

Corresponde a la primera etapa de alteración-mineralización. Se caracteriza por la alteración biotítica pervasiva y por un enrejado intenso de vetillas rellenas con cuarzo, anhidrita, sulfuros, como bornita, calcopirita, pirita y molibdenita, diseminada y en mayor proporción en vetillas sin halo (Zúñiga, 1982). Relacionada al emplazamiento de la Tonalita Sewell y del Pórfido Dacítico Teniente. Afecta a los intrusivos y rocas encajante como alteración potásica en forma de feldespato potásico y biotita. La mineralización ocurre en vetillas y en forma diseminada, con una marcada zonación en torno al Pórfido Dacítico, y con un núcleo de bornita, zonación intermedia con predominio de calcopirita y una zonación periférica con pirita (Cuadra, 1986).

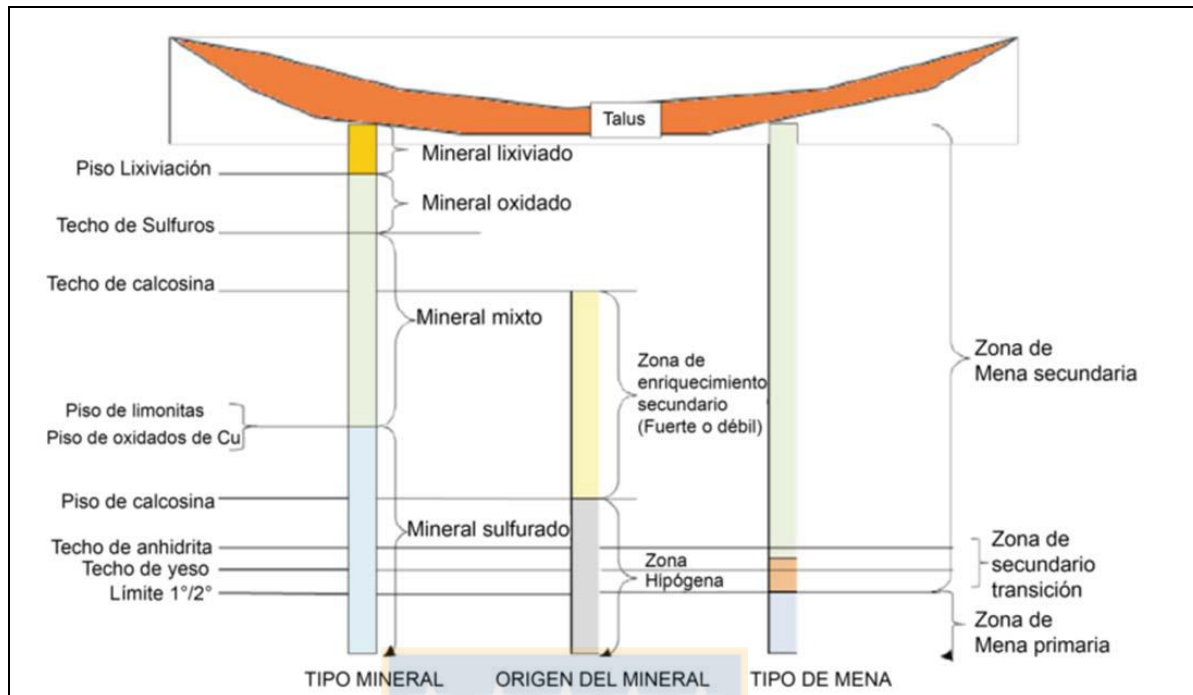


Figura 2.10: Perfil de enriquecimiento secundario dentro de la mina. Contienen el tipo de mineral, su origen y a que mena se encuentran asociada. SGL (2003).

Esta etapa define claramente dos sectores. El primero, en la mitad norte del yacimiento, aparentemente relacionado con el emplazamiento del Pórfido Dacítico (Arévalo y Floody, 1995), contiene un centro de intensa alteración potásica que grada a intensidades menores hacia afuera y a asociaciones propilíticas. El segundo sector, ubicado al sur, presenta zonación tardimagmática enmascarada por las sucesivas etapas posteriores de alteración superpuestas, aunque aún se distingue una elongación noreste en que los valores porcentuales máximos de penetrabilidad coinciden con el eje mayor del Pórfido Dacítico.

En el Pórfido Dacítico la alteración potásica se caracteriza por la pseudo-pertitización de las plagioclasas y por la formación de cúmulos irregulares de biotita secundaria y vetillas de cuarzo. En el CMET, se manifiesta por la presencia de biotita, albita y cuarzo, destruyendo parcial o totalmente la textura original de la roca (Arredondo, 1994). En la Unidad Tonalita existe un reemplazo de los cristales de plagioclasa por feldespatos potásicos, la ocurrencia de biotita secundaria y de feldespato potásico y biotita en su masa fundamental.

**i) Descripción de Vetillas de la Categoría Tardimagmática:** La categoría TM agrupa a las vetillas sin halo o con halo silíceo o biotítico generalmente simétrico (SGL, 2003). En esta categoría existen ocho clases de vetillas de espesor variable:

- **V1: Vetillas de magnetita mayoritaria:** Son vetillas nítidas de magnetita de color oscuro. Puede presentar cuarzo, biotita en cantidades minoritarias, trazas de anhidrita, calcopirita y clorita (Figura 2.11A). El halo es muy difuso y la interfaz halo-roca es indefinida (roca deslavada).

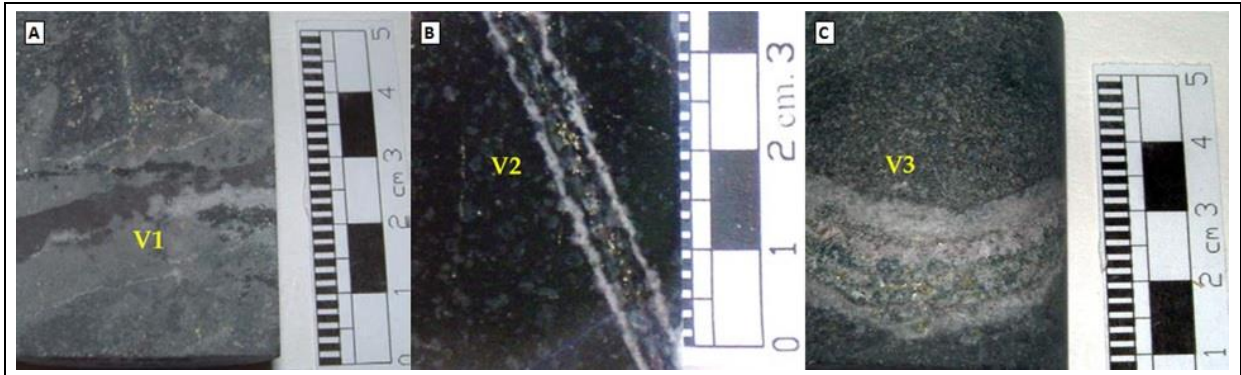


Figura 2.11: Vetillas Tardimagmáticas V1, V2 y V3. A) Vetilla V1 de magnetita-cuarzo con halo deslavado. B) Vetilla V2 de cuarzo-biotita, anhidrita y calcopirita minoritaria. C) Vetilla V3 de cuarzo, anhidrita, biotita, clorita y calcopirita con halo silíceo difuso. La interfaz vetilla-halo no es nítida. SGL (2003).

- **V2: Vetillas de cuarzo-biotita, sin halo:** Son vetillas o vetas principalmente de cuarzo-biotita sin halo, con anhidrita y clorita minoritaria (Figura 2.11B). Presenta en ocasiones mineralización diseminada de sulfuros: calcopirita (cpy), pirita (py) y bornita (bo). Raras veces se observa molibdenita en trazas. En el Pórfido Dacítico y Pórfido Diorítico, esta clase de vetillas se presenta con la misma mineralogía metálica y la biotita es reemplazada por clorita.
- **V3: Vetillas de cuarzo-biotita, con halo:** Son vetillas de cuarzo-biotita. Presentan anhidrita, calcopirita y clorita minoritaria. Se encuentra, a veces, bornita, molibdenita en trazas. La biotita se puede presentar como relleno continuo. El halo es generalmente silíceo y difuso, a veces biotítico. Si es silíceo, tiene aspecto de nube (sinuoso) que destaca por su color claro (Figura 2.11C). Si es biotítico, es difuso debido al contraste de color con roca huésped (CMET). El halo puede tener trazas de sulfuros diseminados.
- **V4: Vetas o vetillas de anhidrita con halo:** Vetas o vetillas de anhidrita mayoritaria con biotita y sulfuros diseminados. Presenta halo silíceo-biotítico característico (Figura 2.12A). La biotita se encuentra diseminada en el halo silíceo. Interfaz vetilla-halo nítida, interfaz halo-roca difusa.
- **V5: Vetas o vetillas de cuarzo mayoritario:** El cuarzo es mayoritario con respecto a los demás minerales. Los metálicos diseminados son calcopirita, pirita, bornita, molibdenita. Los

metálicos en sutura son calcopirita y molibdenita (Figura 2.12B). Estas vetillas no presentan halo.

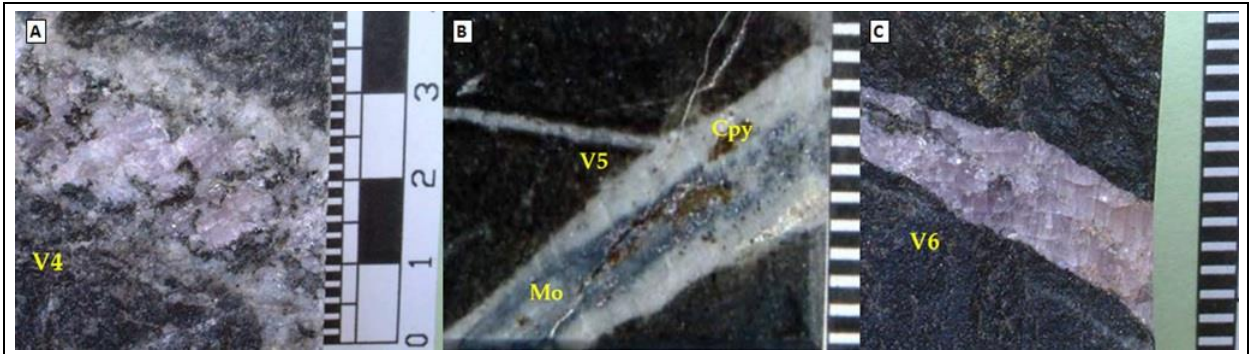


Figura 2.12: Vetillas Tardimagmáticas V4, V5 y V6. A) Vetilla V4 de anhidrita con biotita diseminada y halo silíceo-biotítico. B) Veta de cuarzo V5, sin halo, con calcopirita-molibdenita depositada en sutura central. C) Veta V6 de anhidrita. SGL (2003).

- **V6: Vetas o vetillas de anhidrita mayoritaria:** Se caracteriza por la abundancia y predominio de la anhidrita sobre los metálicos y cuarzo. Los metálicos que pueden estar presentes a simple vista, son inclusiones de calcopirita, bornita y molibdenita. Estas vetillas no presentan halo (Figura 2.12C).
- **V7: Vetillas o microvetillas de sulfuro mayoritarios:** Son vetillas de sulfuros en cantidades mayoritarias (calcopirita- piritita- bornita- molibdenita). Principalmente las más vistas de calcopirita masiva que cortan a todas las vetillas de la misma etapa. Estas vetillas no presentan halo. Son delgadas de 0,1-0,3 mm, y presentan cristales de calcopirita, piritita y trazas de bornita que pueden alternar con los no metálicos, principalmente la biotita, provocando una traza de aspecto discontinuo. Generalmente bordes nítidos, no presentan halo (Figura 2.13A).
- **V8: Vetillas de turmalina:** Vetillas y microvetillas de turmalina mayoritaria, con presencia de anhidrita, cuarzo y sulfuro subordinados. De bordes nítidos, no presenta halo (Figura 2.13B).

### 2.2.3.2. Etapa Hidrotermal Principal

Sobreimpuesta a la etapa anterior, se relaciona a la interacción de los fluidos tardimagmáticos procedentes de cuerpos intrusivos en proceso de cristalización, con agua meteóricas. Se caracteriza por el desarrollo de algunas vetillas con halos de alteración de anchos variables, que obliteran la textura y mineralogía tardimagmática (Arévalo *et al.*, 1998). Se distribuye según una zonación de

franjas de dirección referencial N-S, y la zona de máxima intensidad se dispone subparalela al Pórfido Dacítico e invaden subverticalmente a las rocas máficas de la zona.

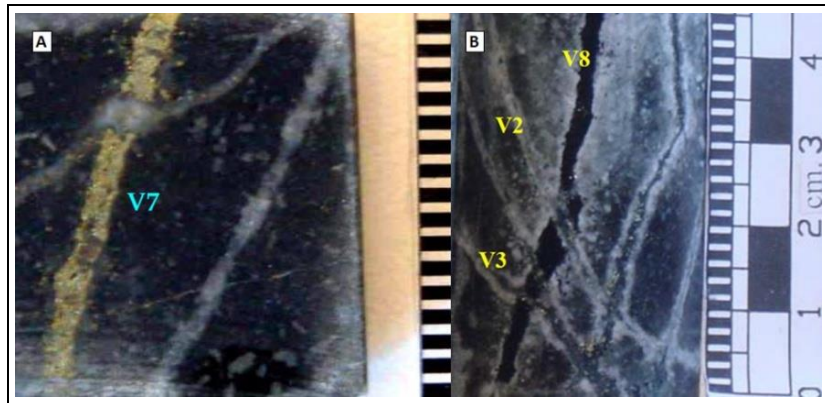


Figura 2.13: Vetillas Tardimagmáticas V7 y V8. A) Vetilla V7 de calcopirita y cuarzo. B) Vetilla V8 en CMET con halo síliceo difuso, cortada por vetillas V2 y V3. SGL (2003).

La alteración se representa por la asociación cuarzo-sericita, con menor proporción de anhidrita y clorita. La asociación se desarrolla a expensas de la biotita tardimagmática y de los feldespatos de las rocas máficas del Pórfido Dacítico, respectivamente. En el Pórfido Diorítico y en Dacítico, el feldespato potásico, plagioclasas y minerales ferromagnesianos se encuentran alterados en forma similar y la textura original fanerítica y/o porfídica es reemplazada por una sacaroidal fina. La mineralización corresponde a calcopirita, pirita y molibdenita subordinada, principalmente en vetillas y escasamente en forma diseminada en los halos de alteración (Zúñiga, 1982).

**i) Descripción de Vetillas de la Categoría Hidrotermal Principal:** La categoría HP agrupa vetillas continuas, planares y con caras paralelas. Presentan halo simple o complejo, a veces mineralizado. En esta categoría existen cuatro clases de vetillas que se diferencian de las anteriores por la presencia de uno o más halos, el predominio de los minerales metálicos sobre los no metálicos y una mayor complejidad de las vetillas y estilos de mineralización (SGL, 2003).

- **V9: Veta o vetilla de magnetita mayoritaria con halo simple:** Las vetas son predominantemente más gruesas que 2 mm. La mineralogía es mayoritariamente magnetita, con calcopirita y pirita en menor proporción (Figura 2.14A). El halo es simple y generalmente asimétrico. Su aspecto puede ser moteado por la presencia de clorita-sericita, cúmulos de biotita, y calcopirita más pirita diseminada. La interfaz del halo con la roca de caja es sinuosa.

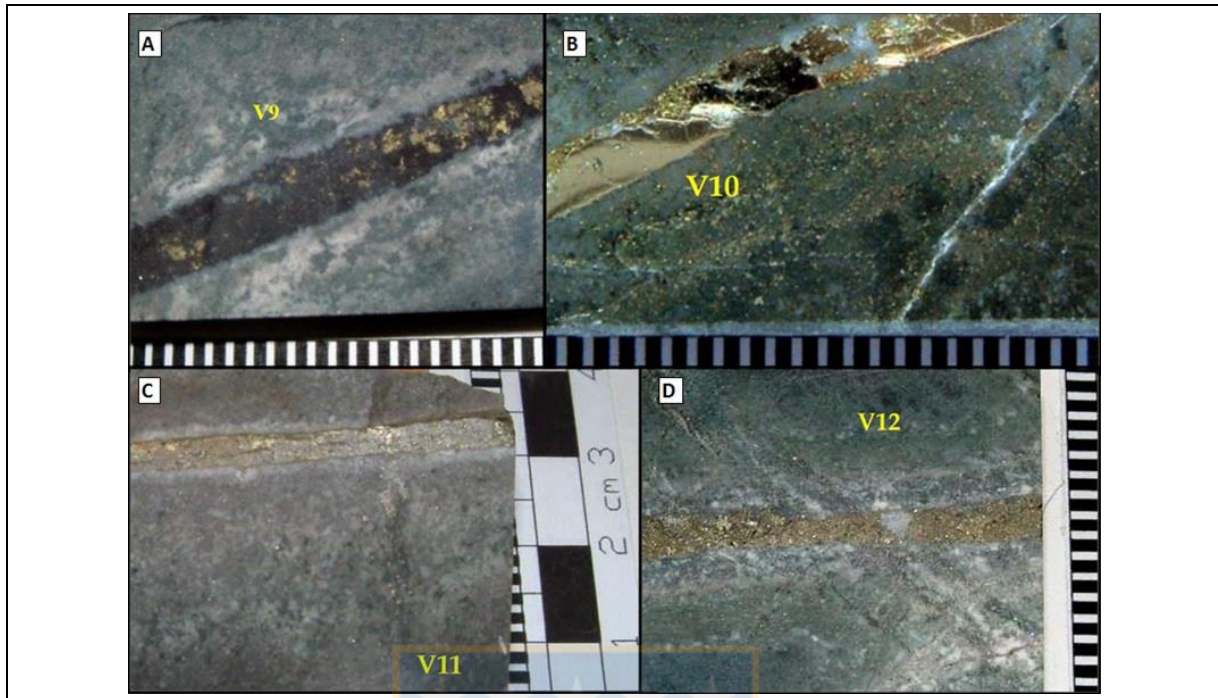


Figura 2.14: Vetillas de la categoría Hidrotermal Principal V9, V10, V11 y V12. A) Vetilla V9 de magnetita con calcopirita y halo sericítico-clorítico moteado. B) Vetilla V10 masiva de calcopirita, pirita y cuarzo con halo simple y mineralización diseminada. C) Vetilla V11 en CMET, de calcopirita, pirita y cuarzo subordinado con halo semi-complejo de sericita-clorita y mineralización diseminada de calcopirita subordinada. D) Vetilla V12 de calcopirita-pirita y cuarzo subordinado con doble halo cuarzo-sericítico-clorítico. SGL (2003).

- **V10: Veta o vetilla de sulfuros mayoritarios con halo simple:** Se caracteriza por tener una mineralización masiva de calcopirita y/o pirita en la veta y los mismos minerales diseminados en el halo (Figura 2.14B). La mena metálica se presenta con o sin cuarzo. El halo es bandeado o simple, predominantemente con sericita y sulfuros diseminados.
- **V11: Veta o vetilla de sulfuros mayoritarios con halo semi-complejo:** Transicional entre V10 y V12 porque presenta una leve tendencia a la formación de un segundo halo de alteración. Se caracteriza por presentar un sector central con mineralización masiva de calcopirita y/o pirita en la veta (Figura 2.14C). El halo es una transición gradual a la roca de caja con bordes externos que podrían interpretarse como un dudoso segundo halo. La mineralización del halo es escasa y diseminada.
- **V12: Veta o vetilla de sulfuros mayoritarios con halo complejo:** Se presenta como vetas o como vetillas con mineralización masiva de calcopirita y/o pirita. El halo es doble, generalmente el primer halo, en contacto con la veta, es cuarzo-sericítico y la interfaz con la roca es nítida o difusa, con escasa o ausente mineralización de sulfuros diseminados (Figura 2.14D).

### 2.2.3.3. Etapa Hidrotermal Tardía

Relacionada espacial y genéticamente a la Unidad Brecha Marginal (Villalobos, 1975). Se manifiesta por la alteración cuarzo-sericita de los fragmentos de la brecha, así como por vetas y vetillas. Las vetas se presentan con relleno de anhidrita, yeso, turmalina, siderita y cuarzo; y con halos de alteración de cuarzo-sericita-clorita-calcita. Las vetillas se presentan con relleno de cuarzo, turmalina, anhidrita, sericita, clorita, yeso, carbonatos y menas de cobre, hierro y molibdeno (Zúñiga, 1982). Estas estructuras se distribuyen en una franja concéntrica al anillo de brechas y, además, como cemento en la matriz de la brecha hidrotermal de turmalina y como parte de la alteración de sus fragmentos. Arévalo *et al.*, (1998) dividieron a esta etapa en dos: una temprana y una tardía propiamente tal, asociada a la brecha de turmalina y que constituye los valores máximos de penetrabilidad de la etapa original.

**i) Descripción de Vetillas de la Categoría Hidrotermal Tardía:** La categoría HT agrupa a las vetillas de mayor grado de complejidad y variabilidad mineralógica con o sin sulfuros que contienen carbonatos, yeso, anhidrita y turmalina. Presenta halos desarrollados y difusos. Se diferencia de las categorías anteriores por la aparición de nuevos minerales no metálicos (carbonatos, yeso, turmalina), y metálicos (tenantita). Se subdivide en tres clases. La suma del ancho de las vetas más el halo generalmente es superior al diámetro del testigo (2,5 cm) (SGL, 2003).

- **V13: Vetillas de sulfuros mayoritarios:** Se caracterizan por presentar una variedad mineralógica metálica mayoritaria. En general son vetas o vetillas de sulfuros masivos, con cuarzo, anhidrita y carbonatos. Se destaca la presencia de sulfuros tales como bornita y tenantita-tetraedrita. Asociados a estos, se reconocen microscópicamente sulfuros de plomo y hierro-zinc (galena y blenda, respectivamente). El halo es de bordes indefinidos o difusos, generalmente bien desarrollado (Figura 2.15A).
- **V14: Vetillas de carbonatos y sulfatos mayoritarios:** Se caracterizan por presentar carbonatos y/o sulfatos masivos. Entre ellos destacan: calcita, ankerita, siderita y yeso, anhidrita, respectivamente. Los sulfuros asociados se presentan en cantidades minoritarias (Figura 2.15B). El halo es generalmente desarrollado y difuso, de composición sericítica-clorítica.
- **V15: Vetillas de turmalina mayoritaria:** Se caracteriza por presentar mineralogía no metálica correspondiente a turmalina y anhidrita subordinada (Figura 2.15C). En el sector sur, en

algunos casos existe epidota en baja proporción. El halo es difuso o indefinido, principalmente sericítico.

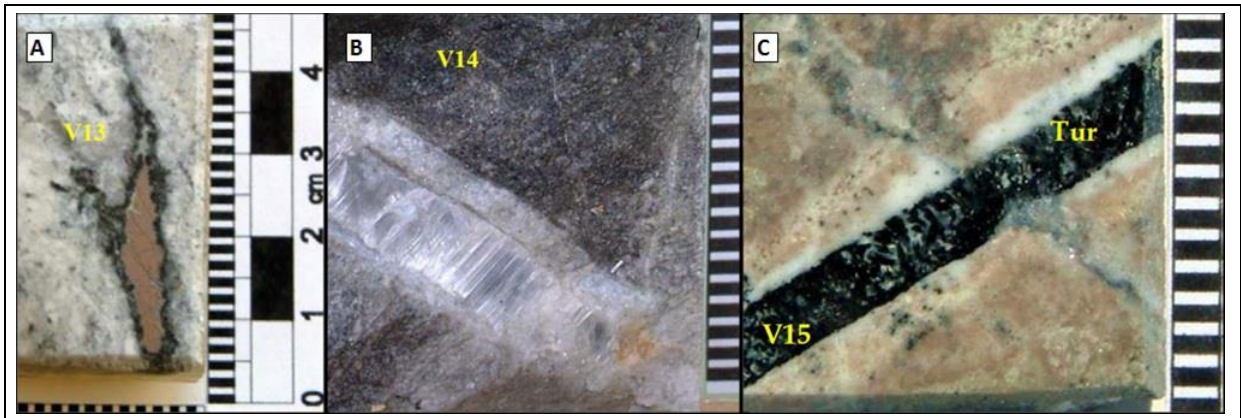


Figura 2.15: Vetillas de la categoría Hidrotermal Tardía V13, V14 y V15. A) Vetilla V13 en Pórfido Dacítico con mineralización masiva de bornita y tenantita subordinada, con turmalina en sus bordes. El halo silíceo-sericítico-clorítico, es indefinido abarcando toda la muestra. B) Vetilla V14 de yeso masivo con calcita y bornita subordinada. El halo es poco desarrollado y de bordes nítidos. C) Veta V15 de turmalina mayoritaria y carbonatos. Presenta un halo muy desarrollado silíceo-sericítico. Referencia interna SGL (2003).

#### 2.2.3.4. Etapa Póstuma

Última etapa hipógena, asociada a la consolidación de la Brecha Braden. La alteración asociada al cemento corresponde a calcita, pirita y sericita; mientras que la asociación de los clastos corresponde solamente a sericita. Esta etapa está marcada por la presencia de minerales de baja temperatura como: ankerita, anhidrita, baritina, blenda, cuarzo, galena, turmalina y yeso, las que rellenan estructuras (Ojeda *et al.*, 1980). La mineralización hipógena se encuentra completamente en vetas y corresponde a calcopirita, pirita, tenantita-tetraedrita, molibdenita y galena-esfeno.

#### 2.2.3.5. Etapa Supérgena

Su presencia se distingue en las partes altas del yacimiento, en un área de 15 km<sup>2</sup> formando una elipse de eje mayor NE-SW (Camus, 1974; Ojeda *et al.*, 1980). Los sectores en que se desarrolla la alteración supérgena coinciden con las zonas de enriquecimiento secundario del yacimiento, de espesor de entre 300 m y 500 m (Álvarez, 1990) y su desarrollo sigue el borde de la Brecha Braden y el Pórfido Dacítico hacia el norte, hasta desembocar en la Quebrada Teniente (Floody y Huete, 1998).

Es característica la presencia de caolinita y en menor proporción se encuentra montmorillonita, alunita y sericita. La mineralización corresponde a calcosina gris, calcosina celeste y covelina, en vetillas y diseminada, la cual reemplaza a los sulfuros preexistentes a partir de fracturas, bordes de granos y clivaje.



## 3. MÉTODOS MINEROS DE EXPLOTACIÓN

### 3.1. Introducción

La minería subterránea necesita un sistema de excavaciones que permita llegar a las zonas de minerales contenidos en la roca, bajo la superficie terrestre, para esto, se escoge un método de explotación en función de la morfología del cuerpo (regular-irregular) y las características geotécnicas del macizo de roca. Así habrá métodos específicos para labores mineras autosostenibles (roca en buenas condiciones) y para aquellas que, por problemas de estabilidad, requieren algún tipo de sustentación.

La mina El Teniente, con más de un siglo de explotación industrial, a partir del año 1906, ha empleado diferentes métodos de explotación, que van desde el "Realce sobre Mineral" combinado con "Hundimiento de Pilares" (*Shrinkage Stopping* y *Pillar Caving* respectivamente), hasta "Hundimiento de Bloques" (*Block Caving*) (De Los Santos, 2011), en donde el traspaso es manual o semimecanizado, todos ellos utilizados en sectores productivos emplazados en mineral secundario. Posteriormente, debido a la profundización de la explotación se detectó un cambio de las propiedades físico-mecánicas de la roca, siendo ésta más competente, masiva y de más difícil fragmentación, características de un ambiente hipógeno, que implicó mecanizar las operaciones mineras a partir de 1982, al método de extracción "Hundimiento de Paneles" (*Panel Caving*) (Herrera, 2015), con traspaso mecanizado e incorporación continua de área hundida a la producción (frente de hundimiento dinámico).

En esta sección se describirán los métodos de explotación mineros existentes en El Teniente a fin de tener un mejor contexto del estudio realizado.

### 3.2. Método de Hundimiento de Bloques

En esta técnica la roca se fractura y se rompe por sí sola, debido al efecto de tensiones internas y la gravedad, por esto se necesita un mínimo de perforación y voladura para la producción de mineral. El plan de explotación implica dividir el yacimiento en grandes secciones cuadradas llamadas "bloques", de un área de varios miles de metros cuadrados. Cada bloque es socavado completamente; se excava una abertura horizontal en la parte inferior del bloque, para sacar el soporte de la roca. Las fuerzas de gravedad, en el orden de millones de toneladas actúan en la masa de roca. Se realiza una fracturación sucesiva que afecta a todo el bloque. Ascende la presión

de la roca en fondo del bloque, triturando el material a fragmentos que pueden ser manejados en labores de evacuación o por cargadores.

El Hundimiento de Bloques se utiliza para grandes yacimientos y masivos con:

- Fuerte buzamiento o en un depósito masivo con gran extensión vertical.
- Roca que se hunda y se rompa en fragmentos manejables.
- Superficie que permita hundimiento.

La preparación del Hundimiento de Bloques tradicional considera en orden descendente: un nivel de socavación del bloque, un juego de chimeneas estrechas o coladeros de mineral hasta un nivel de parrillas donde se puede controlar la fragmentación y se puede realizar voladura secundaria y un segundo nivel de chimeneas que lleva el material hasta un sistema de galerías de carga-acarreo como se puede ver en la Figura 3.1.

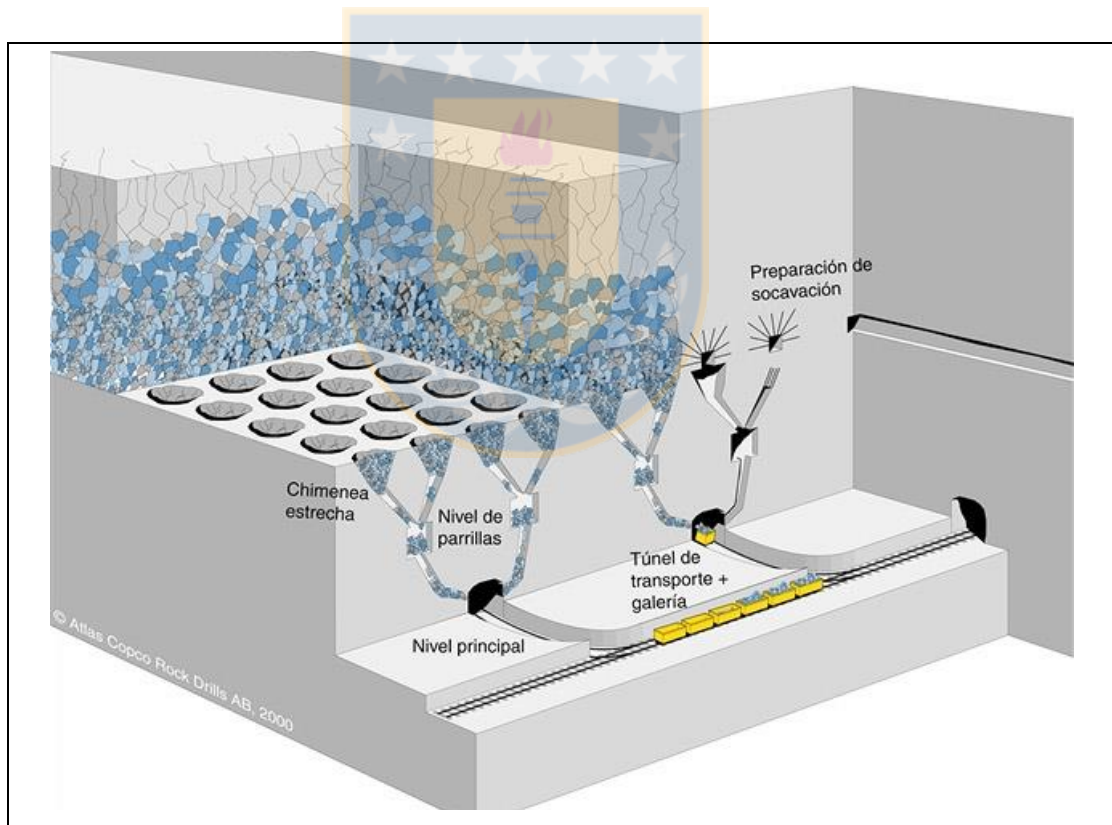


Figura 3.1: Modelo isométrico que ejemplifica el método Block Caving. Muñoz (2002).

Aunque el mineral secundario comenzó a agotarse en la década de los setenta, un pequeño sector de la mina está siendo actualmente extraído dentro de la zona de mineral secundario (Brzovic, 2010).

Todas las excavaciones bajo el bloque explotado están sujetas a una alta presión de roca, por lo que se trata de mantener una sección transversal de las galerías y otras excavaciones lo más pequeña posible, las cuales frecuentemente necesitan refuerzo o fortificación con hormigón. La fase de preparación en una mina con Hundimiento de Bloques es un proceso complicado ya que se requieren varios años para comenzar la producción.

El Hundimiento de Bloques es un método económico bajo condiciones favorables. Las desventajas son la extensa preparación y el tiempo que se tarda antes de que la producción alcance su capacidad máxima. Además, los riesgos, como el derrumbamiento y la fragmentación que se encuentran fuera del control del minero. Es difícil tratar con enganches y bloques grandes en un ámbito fracturado.

### 3.3. Método de Hundimiento de Paneles

Es un método de explotación masivo muy similar al Hundimiento de Bloques, con la diferencia que el quiebre y extracción del mineral se va haciendo por tajadas de un ancho menor.

La profundización de la explotación en El Teniente implicó, a partir de 1976, la explotación de mineralización hipógena en roca primaria, y con ello, un comportamiento geomecánico diferente del macizo rocoso. De acuerdo a Kpvail *et al.* (1982) en De Los Santos (2011) se concluye que:

- El macizo rocoso primario es de mayor persistencia, competencia y rigidez que la roca secundaria.
- Se desarrolla una menor hundibilidad (*Caving*) y la fragmentación es más gruesa.
- La extracción manual se hizo ineficiente pues los bloques de rocas generados por el *Caving* fueron cada vez más gruesos, disminuyendo la productividad.
- Se detectan los problemas de sismicidad inducida, registrándose los primeros estallidos de roca en la década de los setenta.

Estos estudios también demostraron que la roca primaria puede continuar explotándose por métodos de hundimiento, pero debe considerarse que la propagación del *Caving* es más lenta que en roca secundaria y que la fragmentación es más gruesa por lo que las mallas de extracción deben ser de mayores dimensiones (Rojas *et al.*, 2001). Así, se modificó el sistema del *Block Caving* al *Panel Caving* Convencional o "Método de Hundimiento de Paneles". Los avances tecnológicos permitieron, además, que evolucionaran desde el manejo totalmente manual a otro mecanizado, mediante el uso de sistemas de traspaso vía LHD (*Load Haul and Dump*), y el manejo de

granulometría más gruesa obtenida de la roca primaria se mejoró con la generación de puntos de reducción de material a través del uso de martillos picadores hidráulicos (Figura 3.2).

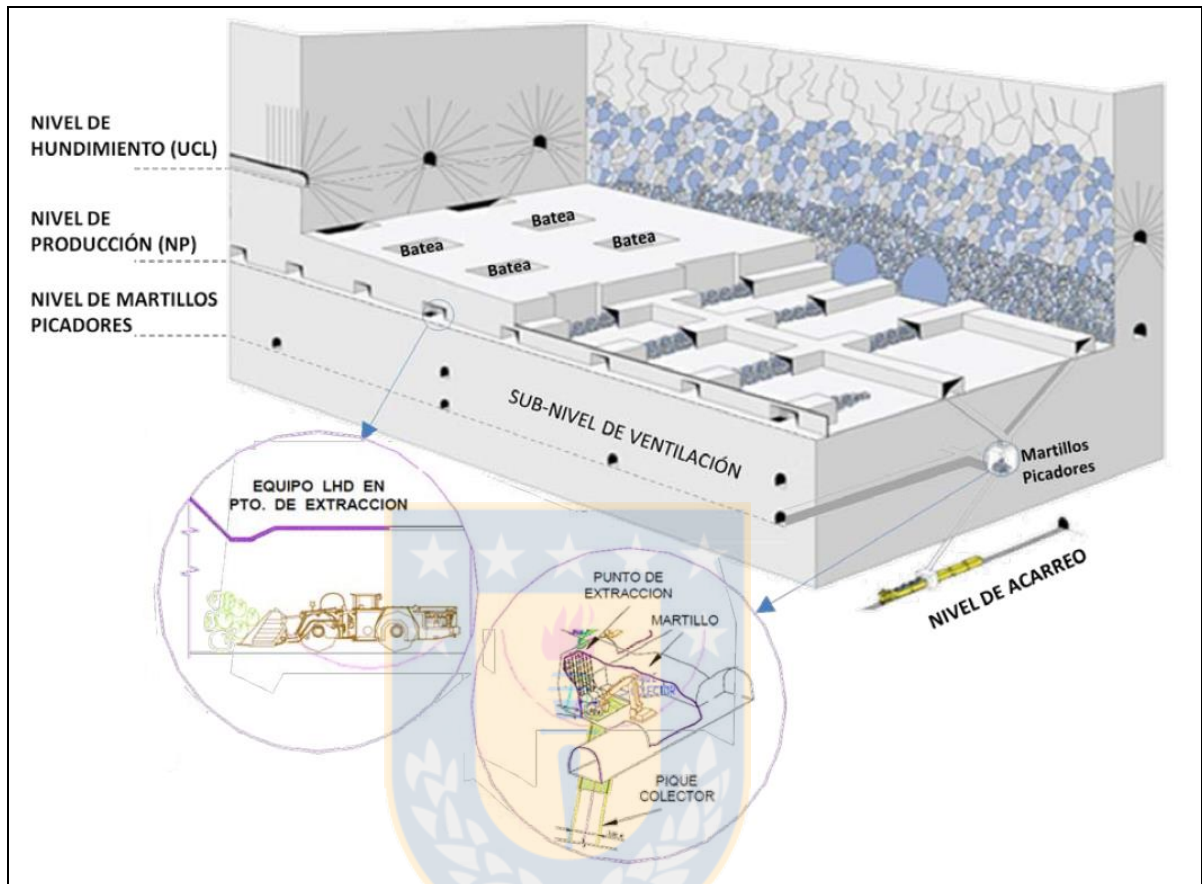


Figura 3.2 Esquema idealizado del método Hundimiento de Paneles, sin escala. Hamrin (2001) en De Los Santos (2011).

### 3.3.1. Diseño Minero

El diseño minero incluye un nivel de hundimiento o socavación (UCL: *Undercut Level*), un nivel de producción (NP o LHD: *Load Haul and Dump*), un nivel de martillos picadores, un sub-nivel de ventilación (SNV), un nivel de control, que es opcional y un nivel de acarreo o transporte (NT) estos pueden apreciarse en el modelo idealizado de la Figura 3.2, y sus principales características son:

- i) **Nivel de Hundimiento o "UCL" (Undercut Level):** Caracterizado por un diseño de calles y labores que definen pilares de socavación. Las calles se disponen paralelas a distancias de 30 m y los cruzados (labores que conectan a las calles) a una distancia variable entre 30 a 60 m y a 60° de las primeras. Esta malla describe pilares a socavar con forma romboidal que oscilan entre 30 m a 140 m de largo.

ii) **Nivel de Producción o "LHD" (Load Haul and Dump):** Diseño de una malla de extracción con calles paralelas espaciadas 15 m entre ellas, que conectan a puntos de extracción o zanjas con un ángulo de  $60^\circ$ , con una distancia entre ellas de 17 m aproximadamente (Figura 3.3). La disposición de calles y zanjas está diseñado para el desplazamiento de equipos LHD con capacidad de 6 yardas cúbicas (aprox.  $4,6 \text{ m}^3$ ) que recogen el material fragmentado de las zanjas, para luego descargar en puntos de recolección o "bateas" que poseen una abertura cuadrada de  $4,5 \text{ m}^2$ .

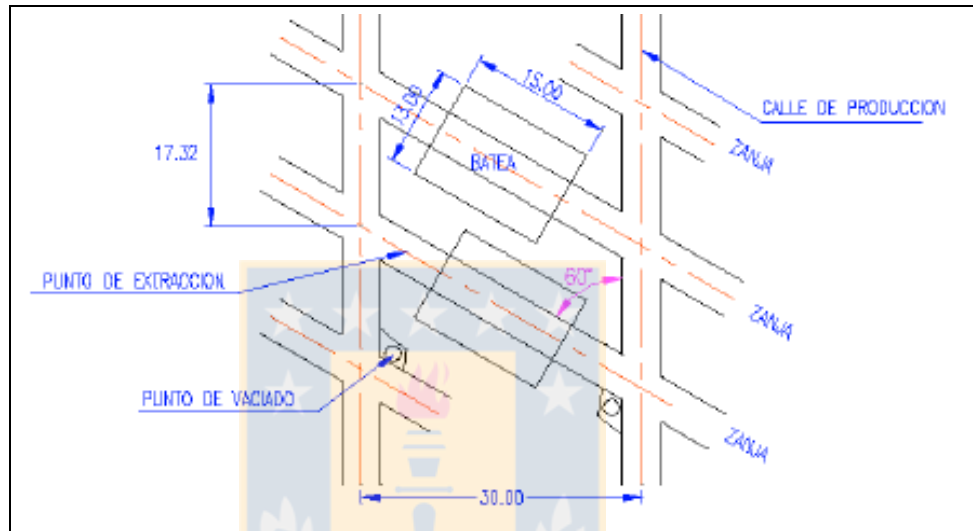


Figura 3.3: Planta del método de Hundimiento de Paneles con el sistema LHD en el sector Teniente 4 Sur. Arce (2002) en De los Santos (2011).

iii) **Nivel de Martillos Picadores:** Corresponde a puntos ubicados entre niveles, directamente debajo de las "bateas" del nivel de producción, donde se ubican martillos hidráulicos picadores que tienen la función de reducir el tamaño del material que pasa a niveles inferiores. También pueden existir martillos picadores en el mismo nivel de producción que fragmentan el material en las bateas, antes que descienda a un nivel inferior.

iv) **Sub-nivel de Ventilación:** En este nivel se descarga el aire viciado de los demás niveles hacia el exterior a través de socavones hacia la superficie, inyectando aire puro en un circuito coordinado, generando así la ventilación de la mina.

v) **Nivel de Acarreo:** El material proveniente de niveles superiores es dirigido a través de piques de traspaso (piques con una inclinación de  $67^\circ$  y con dimensiones de  $4,8 \times 4,5 \text{ m}$  de abertura) y descargando en este nivel en grandes carros féreos, denominados "Trenes Metaleros" con capacidad de 1.200 t, en dirección a la localidad de Colón Alto.

En El Teniente el método de explotación incluye la tecnología del pre-acondicionamiento, la cual consiste en intervenir el macizo rocoso antes del proceso de hundimiento, con el objetivo de reducir el riesgo sísmico y el tamaño de la roca en los puntos de extracción, provocando que el proceso sea más rápido, seguro y económicamente rentable. Esto se logra mediante la combinación de dos tecnologías: fracturamiento hidráulico (utilizando agua a presión) y debilitamiento dinámico con explosivos (sucesivos estallidos menores distribuidos en el macizo).

La explotación del mineral se desarrolla en una roca primaria muy competente y de alta resistencia, mediante en *Panel Caving*. La experiencia usando este método ha mostrado un daño en el frente del nivel de socavamiento causado por la concentración de *stress* en este frente, generando el colapso paulatino de los niveles de producción como en el sector Teniente 4 (Brzovic, 2010). Como resultado se han desarrollado dos variantes del método, la diferencia de ambas respecto al método convencional es la ubicación de las áreas socavadas, área de socavación previa, áreas preparadas, áreas de fortificación definitiva, y áreas de desarrollos. Las variantes que se reconocen son: *Panel Caving* Convencional, *Panel Caving* con Hundimiento Previo y *Panel Caving* con Hundimiento Avanzado (Figura 3.4), la diferencia entre ellos radica principalmente en el orden secuencial de la actividad minera. A continuación se describen los métodos mencionados.

### 3.3.2. *Panel Caving* Convencional

Se caracteriza por mantener paralela la línea de incorporación de puntos de extracción con la línea de avance del frente de hundimiento. La secuencia de desarrollo de las labores se muestra en la Figura 3.4A y se detalla a continuación (Karzulovic, 1998; Rojas *et al.*, 2000):

1. Desarrollo labores niveles de producción y de hundimiento.
  2. Excavación de las zanjas o bateas recolectoras de mineral.
  3. Tronadura de socavación en el nivel de hundimiento, avanzando con el frente de hundimiento hacia las bateas abiertas.
  4. Inicio de la extracción.
- Condición de esfuerzos: En este método las labores del nivel de producción están completamente desarrolladas por delante del frente de hundimiento, por lo que son afectadas por una zona en el que se concentra el esfuerzo conocida como Zona de Transición o *abutment stress* y que se forma delante de dicho frente (Karzulovic *et al.*, 1999 en De Los Santos, 2011; flechas rojas verticales en la Figura 3.5A). Las trayectorias de los esfuerzos principales mayores afectan a la zona del nivel de producción que se ubica delante del frente de hundimiento (Karzulovic *et al.*, 1999 en De Los Santos, 2011; flechas negra en línea punteada, en la Figura

3.5A), comprometiendo la estabilidad de las excavaciones. Posteriormente, la apertura de las bateas de extracción aumentará el daño al macizo rocoso, el cual será finalmente afectado por un nuevo avance del frente de hundimiento.

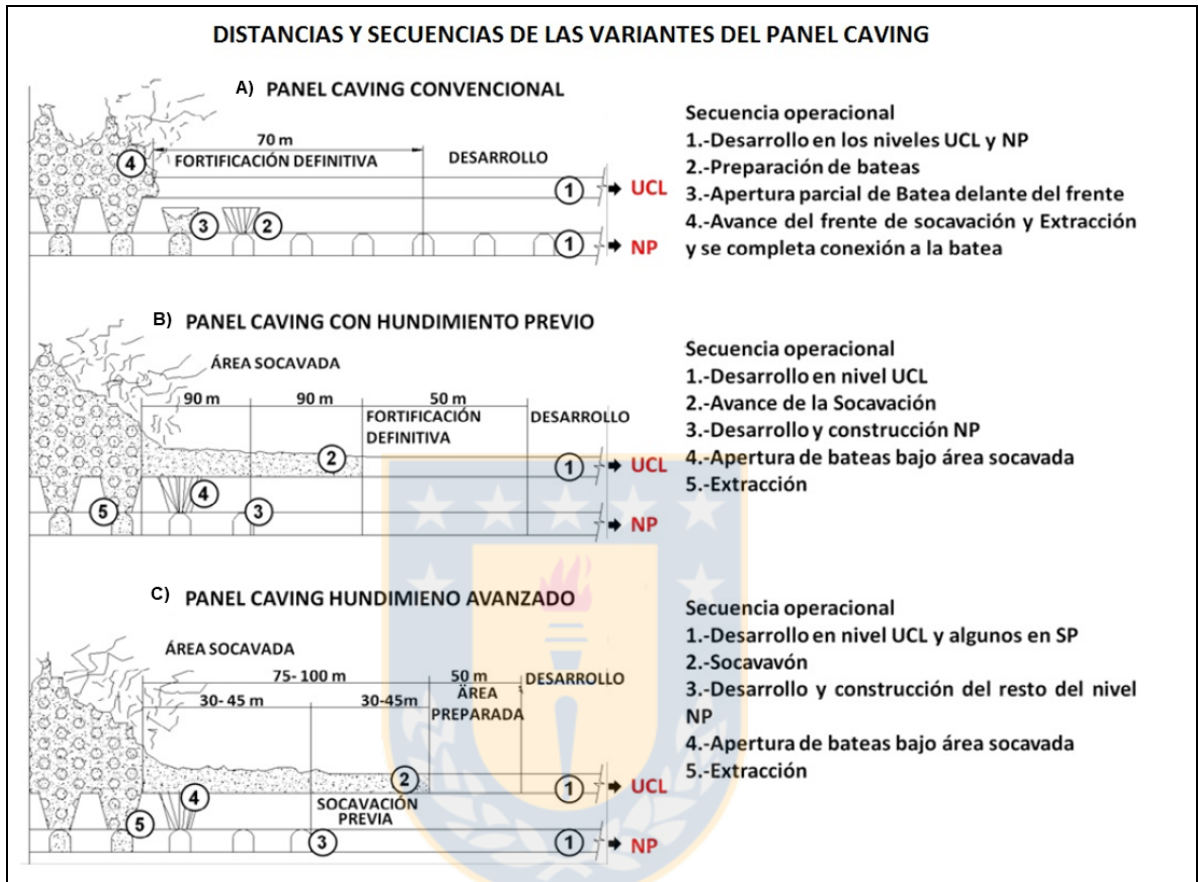


Figura 3.4: Esquema de las variantes del método *Panel Caving*, se incluye la secuencia operacional de cada variante. En la figura UCL: *Undercut Level* (nivel de hundimiento) y NP: nivel de producción. A) *Panel Caving* Convencional B) *Panel Caving* con Hundimiento Previo C) *Panel Caving* con Hundimiento Avanzado.

### 3.3.3. *Panel Caving* con Hundimiento Previo

Con la finalidad de disminuir el efecto de la concentración de esfuerzos se definió la variante conocida como "Hundimiento Previo", que consiste en anticipar la socavación con respecto al desarrollo de las labores en el nivel de producción.

La principal característica de esta variante es el desarrollo de todas las labores del nivel de producción bajo área completamente socavada, hasta una distancia de seguridad por detrás del frente de socavación. La secuencia de excavación de las labores es la siguiente (Karzulovic, 1998; Rojas *et al.*, 2000):

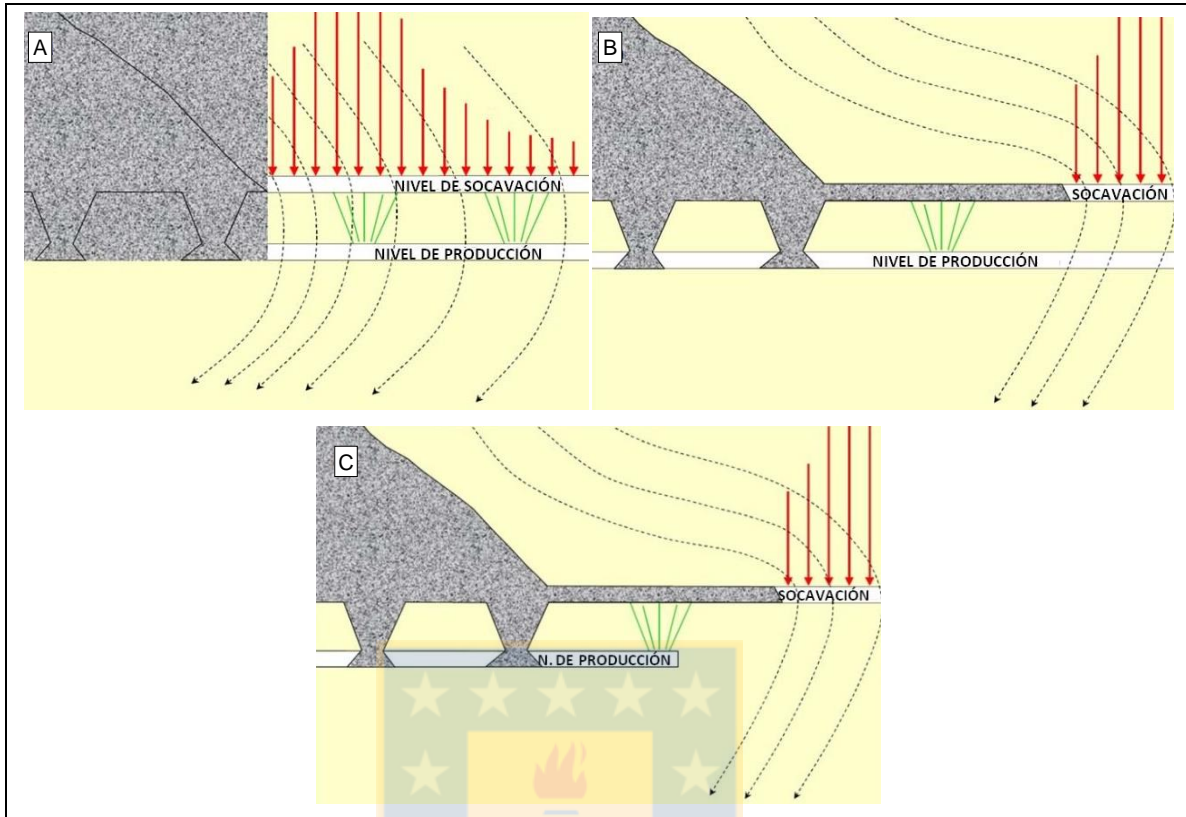


Figura 3.5: Esquema de la condición de esfuerzos en las variantes del método *Panel Caving*. En las figuras A, B y C; las flechas rojas son la zona de *abutment stress* y las segmentadas negras son las trayectorias de los esfuerzos principales mayores en relación a la Fig. 3.4. A) *Panel Caving Concencional* B) *Panel Caving con Hundimiento Previo* C) *Panel Caving con Hundimiento Avanzado*. Karzulovic *et al.* (1999) en De Los Santos (2011).

1. Desarrollo de las labores del nivel de hundimiento.
  2. Tronadura de socavación en el nivel de hundimiento, avanzando con el frente de socavación hasta alcanzar una cierta distancia por delante del futuro frente de extracción.
  3. Desarrollo de las labores del nivel de producción.
  4. Apertura de bateas bajo áreas socavada.
  5. Inicio de la extracción.
- Condición de Esfuerzos: Este método busca alejar la zona del *abutment stress* del frente de extracción, y desarrollar todas las labores del nivel de producción bajo el área socavada, de modo de lograr la máxima seguridad operacional (Figura 3.4B). El frente de hundimiento está adelantado con respecto al frente de extracción y las labores del nivel de producción no se terminan de desarrollar ni se abren las bateas hasta que se ubican bajo área socavada y a cierta distancia detrás del frente de socavación. Se forma una Zona de Transición delante del frente de socavación (esquematisada con flechas rojas verticales en la Figura 3.5B) y tiene un mucho menor efecto sobre las labores del nivel de producción (el área abierta es mucho menor). Las

trayectorias de los esfuerzos principales mayores (inclinadas con flechas negras en línea segmentada Figura 3.5B), no afectan al nivel de producción. El daño final inducido en los pilares de este nivel es mucho menor que en el caso de *Panel Caving* Convencional, pues la abertura de bateas se produce después del paso del frente de socavación.

### 3.3.4. *Panel Caving* con Hundimiento Avanzado

En esta variante la socavación en el nivel de hundimiento se realiza sobre un nivel de producción parcialmente desarrollado, dejando las galerías de zanjas y bateas para ser excavadas bajo área hundida o socavada. La ventaja de esta variante con respecto a la anterior es que proporciona una mayor flexibilidad en el desarrollo del nivel de producción. La secuencia de excavación de las labores se detalla a continuación (Karzulovic, 1998):

1. Desarrollo de las labores del nivel de hundimiento y de algunas del nivel de producción. En general solamente se construyen las calles de producción.
  2. Tronadura de socavación en el nivel de hundimiento, avanzando con el frente de socavación hasta alcanza una cierta distancia por parte delante del futuro frente de extracción.
  3. Se desarrollan las restantes labores del nivel de producción en el sector bajo el área socavada.
  4. Se realiza la apertura de las bateas.
  5. Se inicia la extracción.
- Condición de esfuerzos: Esta variante del *Panel Caving* también busca alejar la zona del *abutment stress* del frente de extracción. El frente de hundimiento va adelantado respecto al frente de extracción y algunas labores del nivel de producción (normalmente calles), están desarrolladas por delante del frente de hundimiento, pero las bateas no se abren hasta que se ubican bajo área socavada y a cierta distancia del frente de socavación. La zona de transición se forma delante del frente de socavación (esquemática con flechas rojas verticales, Figura 3.5C) y tendrá un menor efecto sobre las labores del nivel de producción y bajo éstas. Las trayectorias de los esfuerzos principales mayores (flechas rojas verticales, Figura 3.5C) afectan la zona del nivel de producción que se ubica delante del frente de socavación, sin embargo, el daño final inducido en los pilares del nivel de producción es menor que en el caso del *Panel Caving* Convencional (Karzulovic *et al.*, 1999 en De Los Santos, 2011), debido a que el desarrollo de galerías y la apertura de las bateas se produce después del paso del frente de socavación.

### 3.4. Método de Explotación Reservas Norte- Dacita

#### 3.4.1. Descripción General

El método de explotación de Dacita y Reservas Norte (RENO) corresponde a un *Panel Caving* con hundimiento convencional. Se considera, además, una etapa de pre-acondicionamiento hidráulico para asegurar un manejo aceptable de la granulometría y un buen control sobre el tiraje para Dacita.

En el sector Dacita, tanto el sistema de explotación como el manejo de materiales, son similares al del sector Reservas Norte, la razón principal de ello es que estos sectores utilizan la misma infraestructura general de traspaso, ventilación, servicios y suministros, entendiendo que al momento de incorporarse a la producción el proyecto Dacita, éste invierte previamente recursos de capital para ampliar y fortalecer las instalaciones que permitan el funcionamiento eficiente de los sectores productivos. Así se tiene entonces que, sus niveles de hundimiento, producción y acarreo se ubican a la misma cota. Un aspecto importante que diferencia al sector Dacita es que su roca presenta una baja frecuencia de fractura lo cual la induce a quebrar en colpas de gran volumen. Esto sin duda no colabora a la eficiencia del sistema de explotación y manejo de materiales, por ello es que se ha considerado la aplicación en su etapa exploratoria de una técnica de forzamiento a través del pre-acondicionamiento hidráulico, el cual permite generar planos de fractura a distintas distancias de una perforación en la roca in situ. Esta modificación estructural del macizo permite, como fortaleza relevante, realizar las tareas de preparación con un cerro distendido y baja probabilidad de eventos sísmicos (GPRO, 2006).

Se describen brevemente los dos niveles en donde se efectuará el estudio de las fallas:

##### 3.4.1.1. Nivel de Hundimiento

El nivel de hundimiento se encuentra emplazado en la cota 2.120 m s.n.m, y a 18 metros por sobre el nivel de producción. En este nivel se desarrollan actividades de socavación del bloque, lo cual permite iniciar la extracción y el posterior *caving* de la columna de mineral.

Las galerías del nivel de hundimiento están diseñadas a una sección de 4,0 m x 4,0 m libres, y separadas 30 metros entre ejes, dispuestas paralelas a las calles de producción, orientadas N 15° W.

### 3.4.1.2. Nivel de Producción

El nivel de producción, ubicado a la cota 2.102 m s.n.m., está compuesto por calles orientadas N15° W (paralelas a las galerías del UCL), interceptadas por zanjas con orientación N45°E (en la mayoría actualmente, pues en Reservas Norte este diseño minero no es uniforme), y con una malla de extracción para todo el sector de 20 m x 15 m.

En este nivel se ejecutan las actividades de extracción del mineral proveniente del nivel de hundimiento, para posteriormente ser transportado hacia los respectivos piques de traspaso ubicados en este mismo nivel.



## 4. CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA DE FALLAS SEGÚN PARÁMETROS CRÍTICOS

### 4.1. Introducción

Es bien conocido el riesgo que genera la presencia de fallas geológicas en proyectos mineros, por lo que en minería es muy importante un estudio adecuado de ellas, que incluye su identificación, descripción y análisis. En mina El Teniente de Codelco Chile, esta labor es llevada a cabo por geólogos de la Superintendencia de Geología (SGL).

Esta parte de la Memoria de Título tiene por objetivo dar a conocer las características geométricas de las fallas de Segundo Orden o Intermedias de El Teniente, mediante el análisis de cinco parámetros críticos, que se abordan en la próxima sección. Este análisis estructural de las fallas se efectúa en un sector de la mina, llamado Nivel Sub6, que abarca las minas Dacita, Reservas Norte y Pilar Norte, a dos cotas, a 2.102 m s.n.m. y 2.121 m s.n.m. correspondientes al nivel de producción y al nivel de hundimiento, respectivamente.

### 4.2. Parámetros Críticos

Son características geométricas de las fallas definidas en el trabajo de Seguel (2013) para las Fallas Principales (traza > 100 m) de la Mina El Teniente. El nombre de parámetro crítico se debe a que cada una de éstos son datos de gran importancia para describir a la falla. Propone 5 parámetros: i) Persistencia, ii) Actitud (buzamiento/ dirección de buzamiento), iii) Espesor de Relleno, iv) Material de Relleno y v) Ondulación, expuestos en seguida.

#### 4.2.1. Persistencia

Corresponde a la longitud observable de una falla en afloramiento y está directamente relacionada con la dimensión (escala) de la estructura. El mapeo de las galerías de una mina subterránea presenta problemas de truncación para las estructuras de persistencia mayor a la superficie de mapeo. Conforme a esto, con la sola excepción de las estructuras cuya persistencia es visible totalmente en afloramiento, la definición de persistencia de fallas requiere un grado importante de interpretación geológica, que permita inferir continuidad para estructuras mapeadas en distintos puntos y que presentan similar orientación, potencia y tipo de relleno (Karzulovic, 2003).

En términos operacionales la persistencia representa el parámetro director para la categorización de las fallas, según la magnitud del compromiso del macizo rocoso con respecto a la unidad de diseño de explotación.

#### 4.2.2. Actitud

Este parámetro responde a la problemática de representar una estructura en el espacio. Para ello se asume la premisa de que la discontinuidad (falla) puede ser representada de manera simplificada como un plano único imaginario. Entonces, la actitud considera dos datos medidos (Figura 4.1A):

1. Un ángulo medido en un plano horizontal, entre la orientación del Norte magnético con la intersección del plano imaginario con el plano horizontal.
2. Ángulo medido en un plano vertical, que representa la inclinación máxima del plano imaginario con respecto al plano horizontal.

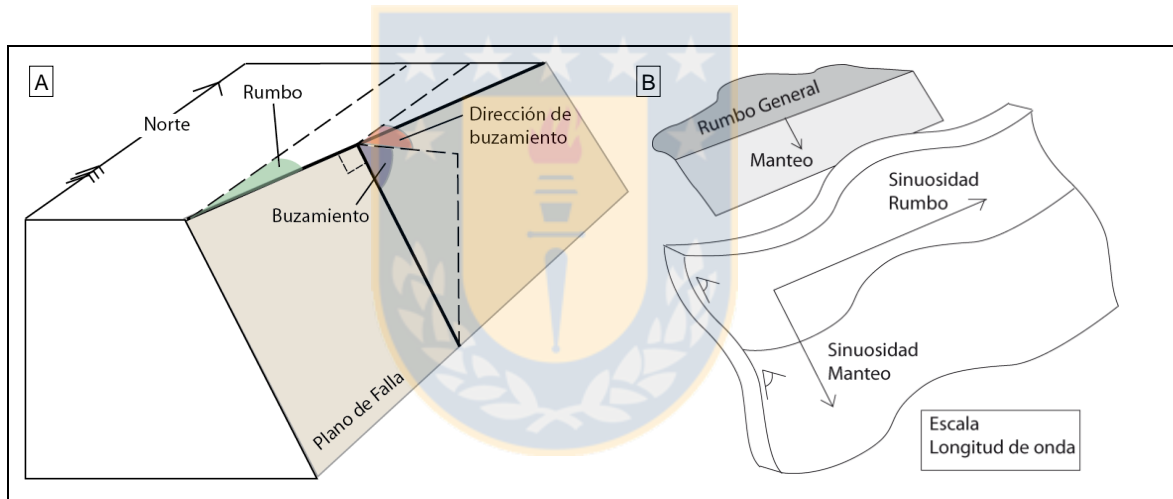


Figura 4.1: A) Esquema general que describe los parámetros de la actitud de una estructura geológica "planar". Buzamiento corresponde al *Dip* y la Dirección de Buzamiento al *DipDir* (*DipDirection*). B) Esquema general que describe los parámetros de la actitud de una estructura geológica sinuosa. Seguel (2013).

En geología se utilizan diferentes nomenclaturas para la actitud, tales como Rumbo/Manteo, Azimut/Manteo, *DipDirection/Dip*, siendo el primer término el referido al ángulo medido en el plano horizontal y el segundo en el plano vertical, aunque también puede describirse de forma viceversa como: *Dip/DipDir*. La actitud definida por buzamiento/dirección de buzamiento o *Dip/DipDirection* (*Dip/DipDir*) es más útil para análisis estadísticos, ya que posee dos valores numéricos, en donde el primer término puede adquirir valores entre 0 a 90° y el segundo de 0 a 360°.

En su gran mayoría las fallas no representan superficies planas regulares, a pesar de esto, es posible realizar mediciones locales de su actitud con el fin de reconocer estadísticamente su

presencia y/o representar una zona de daño geoméricamente asociada a ella. La variación de la actitud local de una falla permite conocer indirectamente su sinuosidad, la que puede estar asociada a deflexión litológica, zonas de transferencia y ligazón de segmentos y conexiones asintóticas entre fallas maestras y subsidiarias (Seguel, 2013). Por ello no se debería considerar la actitud de una falla como un parámetro único característico que identifica una falla en particular, si no, más bien, parámetros que fluctúan entre un rango. La Figura 4.1B representa un esquema más realista para la geometría de las Fallas Principales de la mina. En realidad las fallas representan geometrías heterogéneas: sinuosas en el rumbo y en el manteo, con ondulaciones, bifurcaciones y asperezas.

### 4.2.3. Espesor de Relleno

Es la distancia perpendicular entre las paredes de la roca caja. Generalmente es irregular presentando variaciones a lo largo de la extensión de la estructura. Los mayores espesores corresponden a "jogs" dilatacionales (Figura 4.2), los que pueden ser interpretados como indicativos de desplazamientos por cizalle.

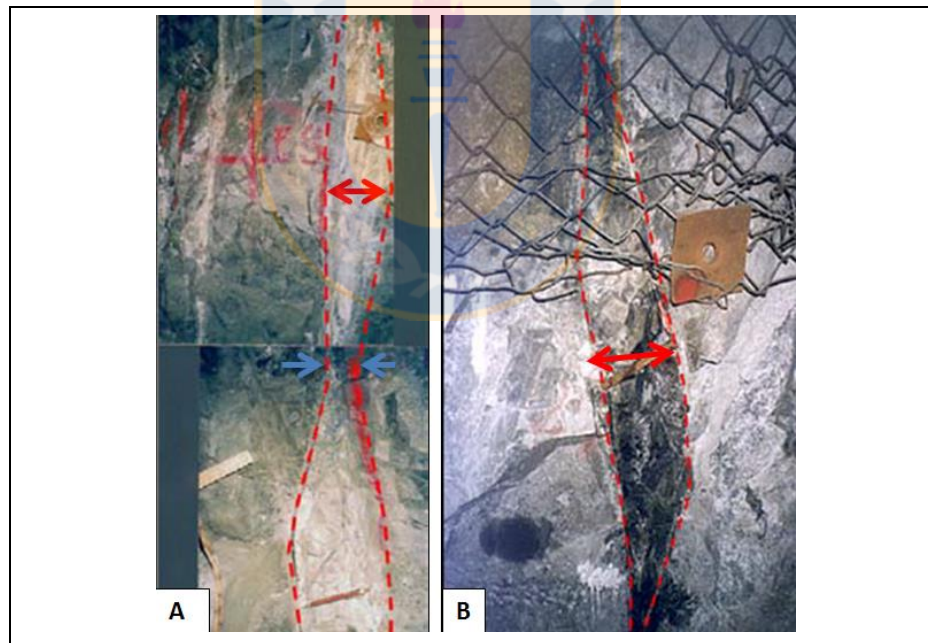


Figura 4.2: *Jogs* dilatacionales, que corresponden a flexuras con mayor espesor. A) Traza vertical de Falla B, OP-5, Nivel 2.190, sector Esmeralda. B) Falla B, calle 13, Nivel 2.210, Esmeralda. Seguel (2013).

El espesor de las fallas entrega evidencia de la dimensión de la estructura, debido a la relación de escala para las fallas que relaciona parámetros de desplazamiento máximo, longitud de falla y su

espesor, como se muestra en la Figura 4.3 de Gudmundsson (2000) donde la regresión lineal indica que la relación longitud/espesor de falla es alrededor de 400, con coeficiente de relación  $R=0,81$ .

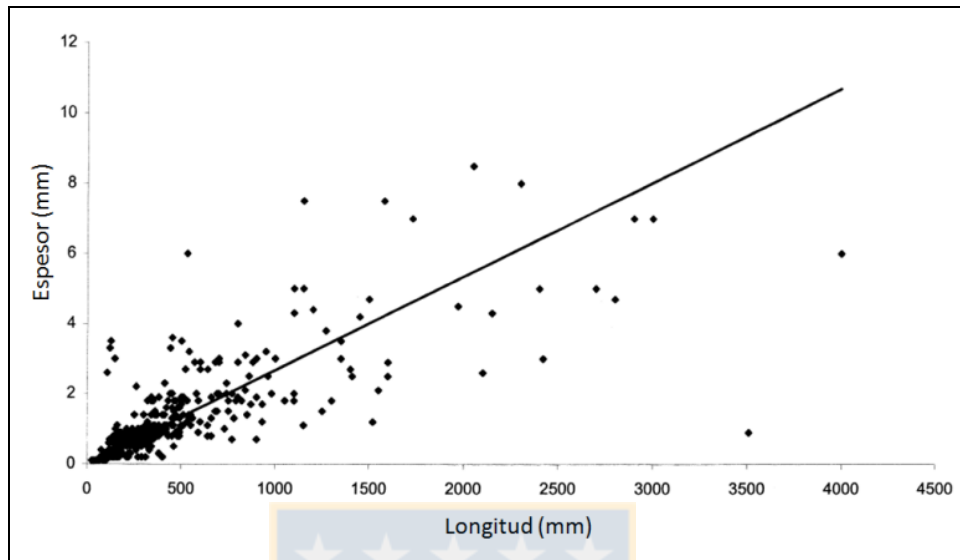


Figura 4.3: Relación de escala entre el espesor de falla y su longitud. Gudmundsson (2000).

#### 4.2.4. Material de Relleno

Es aquel que se ubica entre ambas paredes de la roca caja, formando generalmente el núcleo de la zona de daño (Figura 4.4). Por ser una zona de mayor deformación y/o permeabilidad es frecuente encontrar evidencias de circulación y precipitación de fluidos (metamórficos y epitermales). Por ello es común observar la presencia de rellenos múltiples asociados a la matriz del corazón de la falla.



Figura 4.4: Material de relleno en el núcleo de falla. Seguel (2013).

En mina El Teniente han sido reconocidos rellenos polimineralógicos alojados principalmente en la matriz y bordes de clastos. Los rellenos de las fallas no son homogéneos, sino que varían a lo largo de la distribución espacial de la estructura. A pesar de la amplia variedad de ocurrencias mineralógicas, fueron considerados los siguientes rellenos predominantes:

- Minerales ganga: principalmente carbonatos, yeso, anhidrita, clorita, cuarzo y turmalina.
- Sulfuros: calcopirita, bornita, molibdenita, pirita, tenantita-tetrahedrita.
- Salbanda: roca molida a brechosa, que en algunos casos puede presentar trazas de arcillas.

#### 4.2.5. Ondulación

La ondulación o sinuosidad de una falla corresponde a la irregularidad de la geometría de la superficie, zona de falla o de la interfaz falla/roca. En general, las fallas presentan ondulaciones a diferentes escalas, por lo cual es necesario referir la descripción de la ondulación con respecto a una longitud de onda. Este parámetro es muy importante en términos de la modelización de la resistencia de las fallas. Cuando la irregularidad de la superficie se mide a escala métrica o decimétrica, se llama ondulación, mientras que si se considera una escala mesoscópica (mm-cm), se llama rugosidad (Figura 4.5). La caracterización cuantitativa de este parámetro está controlada por la calidad y espaciamiento de los puntos de control de la geometría de las fallas.



Figura 4.5: Ondulación y rugosidad de una superficie de discontinuidad. González de Vallejo *et al.* (2002).

En el trabajo de Seguel (2013) se consideró la ondulación de las Fallas Principales como un ángulo de variabilidad con respecto al rumbo medio (que representa la orientación media de la estructura), obtenida del diagrama de roseta de rumbos de la falla. Según ese ángulo hay tres tipos de fallas según ondulación: i) ondulosa-rugosa (ondulación  $>40^\circ$ ), ii) ondulosa-lisa (ondulación  $20^\circ$  a  $40^\circ$ ) y iii) planas-lisas (ondulación  $0^\circ$  a  $20^\circ$ ).

#### 4.2.6. Observaciones con respecto a los Parámetros Críticos:

El concepto de "parámetro crítico" es nuevo y como se mencionó anteriormente, fue implementado por Seguel (2013) para las fallas de El Teniente, estudio en el cual se caracterizó a las Fallas Principales, es decir, aquellas con una persistencia mayor a 100 m. No obstante, se puede mencionar una semejanza a algunas de las "características geométricas" de las discontinuidades definidas por la Sociedad para la Mecánica de Rocas o *International Society for Rock Mechanics* (ISRM), que se esquematizan en la Figura 4.6 y se describen brevemente a continuación.

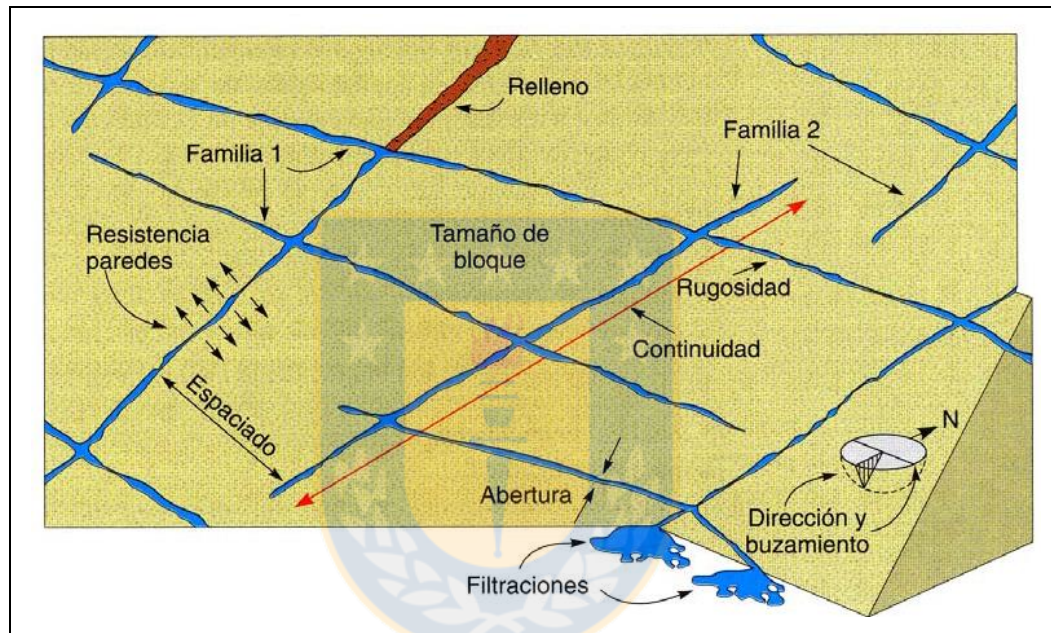


Figura 4.6: Representación esquemática de las propiedades geométricas de las discontinuidades. Hudson (1989) en González de Vallejo *et al.* (2002).

- **Orientación:** Equivalente al parámetro crítico "Actitud". Está definida por su buzamiento y por su dirección de buzamiento. La orientación de las discontinuidades con respecto a las estructuras u obras de ingeniería condiciona la presencia de inestabilidades y roturas a favor. En la Figura 4.7 se presentan ejemplos de la influencia de la orientación de planos de debilidad en obras como taludes, presas y túneles.
- **Espaciado:** Distancia media perpendicular entre los planos de discontinuidad de una misma familia. El espaciado condiciona el tamaño de los bloques de matriz rocosa y, por tanto, define el papel que ésta tendrá en el comportamiento mecánico del macizo rocoso, y su importancia con respecto a la influencia de las discontinuidades. No tiene un equivalente a algún parámetro crítico.

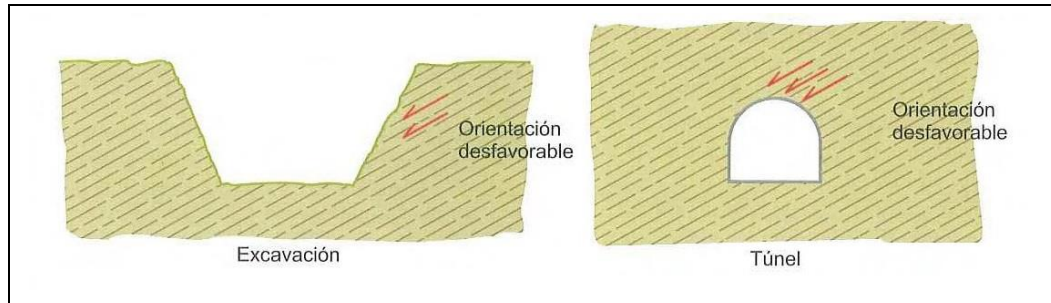


Figura 4.7: Influencia de la orientación de las discontinuidades con respecto a las obras de ingeniería. González de Vallejo *et al.* (2002).

- **Continuidad o persistencia:** Extensión del plano de discontinuidad, medida por la longitud según la dirección del plano y según su buzamiento. Equivalente al parámetro crítico "Persistencia". Es un parámetro de gran importancia, pero de difícil cuantificación a partir de la observación de afloramientos, en los que normalmente se ven las trazas de los planos de discontinuidad según un buzamiento aparente. La continuidad se describe en la Tabla 4.1 según la ISRM.

Tabla 4.1: Descripción de la continuidad (ISRM, 1981).

Continuidad	Longitud
Muy baja continuidad	< 1 m
Baja continuidad	1-3m
Continuidad media	3-10 m
Alta continuidad	10-20 m
Muy alta continuidad	> 20 m

- **Rugosidad:** Semejante al parámetro crítico "Ondulación". Está directamente relacionada a la resistencia al corte, pues a mayor rugosidad mayor es su resistencia. Esto se debe a que la presencia de irregularidades dificulta el movimiento durante los procesos de desplazamiento tangencial por corte a favor de las discontinuidades. La ondulación y la rugosidad pueden controlar las posibles direcciones de desplazamiento en los planos, y definen la resistencia al corte para las distintas direcciones: la resistencia puede ser muy variable según la dirección de movimiento coincida con la de las rugosidades, o sea transversal a ella. El término rugosidad se emplea en sentido amplio para hacer referencia tanto a la ondulación de las superficies de discontinuidad, como a las irregularidades o rugosidades a pequeña escala de los planos, definidas en ocasiones como de 1° y 2° orden respectivamente. La descripción de la rugosidad requiere, pues, dos escalas de observación:
  - Escala decimétrica y métrica para la ondulación de las superficies: superficies planas, onduladas o escalonadas.

- Escala milimétrica y centimétrica para la rugosidad o irregularidad: superficies pulidas, lisas o rugosas.

La rugosidad puede ser medida en campo con diversos métodos; el más sencillo y rápido es la comparación visual de la discontinuidad con los perfiles estándar de rugosidad de la Figura 4.8.

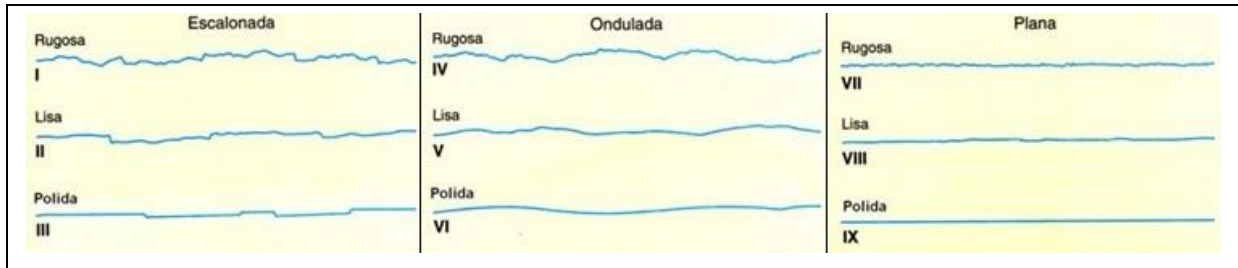


Figura 4.8: Perfiles de Rugosidad. La longitud de los perfiles está entre 1 y 10 m. ISRM (1981) en González de Vallejo *et al.* (2002).

- **Resistencia de las paredes de la discontinuidad:** Influye en su resistencia al corte y en su deformabilidad. Depende del tipo de matriz rocosa, del grado de alteración y de la existencia o no de relleno. En discontinuidades sanas y limpias, la resistencia sería la misma de la matriz rocosa, pero generalmente es menor debido a la meteorización de las paredes: los procesos de alteración afectan en mayor grado a los planos de discontinuidad que a la matriz rocosa.
- **Abertura:** Distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno. Similar al parámetro crítico "Espesor de relleno", pero no igual pues la abertura considera una discontinuidad sin relleno.
- **Relleno:** Materiales blandos arcillosos o rocosos de naturaleza distinta a la de las paredes. Equivalente al parámetro crítico "Material de relleno". Las características principales del relleno que deben describirse en el afloramiento son: su naturaleza, espesor o anchura, resistencia al corte y permeabilidad (los dos últimos parámetros de forma indirecta o cualitativa).
- **Filtraciones:** El agua en el interior de un macizo rocoso procede generalmente del flujo que circula por las discontinuidades (permeabilidad secundaria), aunque en ciertas rocas permeables las filtraciones a través de la matriz rocosa (permeabilidad primaria) pueden ser también importantes.

### 4.3. Metodología para la Caracterización Geométrica

La caracterización geométrica se realiza en base a los cinco parámetros críticos descritos anteriormente, por medio de análisis estadísticos con respecto cada uno de ellos, tomando en cuenta la información de fallas almacenada en la base de datos de la Superintendencia de Geología de mina El Teniente, utilizando un sistema genérico de administración y levantamiento de datos: Xilab.

Xilab es un *software* en el cual se puede registrar, almacenar y modificar información geológica, tal como: litología, estructuras (fallas, vetillas, diaclasas), material de relleno de las estructuras, información de sondajes, etcétera. La información de datos alfanumérica tabulada puede ser exportada a hojas de cálculo, con las cuales es posible trabajar en aplicaciones como Microsoft Excel; mientras que para información gráfica proveniente de mapas existe la opción de exportarla a archivos de dibujo asistido por computadora o DXF (*Drawing Exchange Format*) y con ellos trabajar en programas de dibujo, verbigracia, AutoCAD. Más información sobre procedimientos que se pueden realizar en Xilab en Anexo A.

La información está acopiada según su tipo y el sector de la mina al cual pertenece. Cada sector productivo posee diferentes niveles, y cada nivel tiene un nombre específico en la base de datos. Con el fin de seleccionar las fallas se definen polígonos, uno para el nivel de producción Sub6 y otro para el nivel de hundimiento Sub6; los datos dentro de estos polígonos pueden estar asociados a dos tipos de mapa de Xilab: Mapa Base o Mapa Interpretación Estructural, descritos a continuación.

#### 4.3.1. Mapa Base

Son planos que representan gráficamente información geológica y su importancia radica en que almacenan los datos vinculados al sector (litologías, estructuras, etc.), tal como son mapeados o registrados *in situ*, representando aquello observado en la mina o en el afloramiento. Los datos estructurales son producto de los mapeos rutinarios que realizan los geólogos en las frentes de avance de las galerías de la mina subterránea o a través de fotogrametría ADAM. Las estructuras denominadas "fallas" del Mapa Base, representan más bien parte de una falla, o el afloramiento visto en terreno; la falla completa aparece en el Mapa Interpretación.

En los mapeos de rutina los geólogos de mina registran información litológica y estructural principalmente, y otros datos relacionados con la minería. Estas labores tienen un procedimiento

específico para que el profesional realice su tarea con la mayor seguridad posible. Debido a la naturaleza del mapeo geológico, donde es necesario acercarse lo más posible a la frente del desarrollo, pero sin exponerse a zonas sin fortificación o en estado deficiente, resulta necesario que pida explícitamente autorización para retirar y luego volver a poner los loros, que son una barrera física, por ejemplo, una cadena con un letrero que impide el acceso a la frente (Figura 4.9A), o una persona (loro vivo). Una vez que el profesional está lo más cerca a la frente, siempre bajo zona fortificada, anota la información de interés, ya sea en una libreta, planilla, hoja de mapeo o en una tableta de mapeo digital, además puede tomar fotografías si observa algo de mayor interés. En caso que la frente se encuentre sin fortificación, el geólogo realiza el mapeo con apoyo del distanciómetro láser para estimar la ubicación de los rasgos geológicos que considera de interés (Figura 4.9B). Éstos se registran de acuerdo a su ubicación en la labor, a la altura de la gradiente que es a un metro del piso.



Figura 4.9: Mapeo geológico en minería subterránea. A) Frente del desarrollo minero. Sus lados están cubiertos por una malla reforzada, la roca posee pernos a modo de fortificación y su acceso está restringido por un cartel ("loro"), son algunas medidas de seguridad que existen en las frentes de avance de mina El Teniente. B) Geólogo registrando datos litológicos y estructurales en frente de avance de la mina. Los lados están fortificados con *shotcrete*. El profesional utiliza todos sus EPP (Elementos de Protección Personal) de uso obligatorio dentro de la mina.

Otro modo en que los geólogos adquieren información es por medio del Sistema de Fotogrametría Digital en los desarrollos subterráneos de la mina. La fotogrametría es una técnica para obtener las características geométricas de un objeto a partir de fotografías, las que, en El Teniente, se obtienen en las frentes de desarrollo, se traslapan y se georreferencian de tal forma que permite generar un Modelo Digital de Terreno (DTM: *Digital Terrain Model*) (Figura 4.10), que es esencialmente un conjunto de puntos (o triángulos) georreferenciados entre sí y conectados para generar una superficie con una imagen 3D asociada (Díaz, 2013).

Para procesar las fotografías se utiliza el sistema de fotogrametría digital *3DM Analyst* de la empresa *Adam Technology*. El sistema consta de dos módulos: *3DM Calibcam* y *3DM Analyst*. El primero se utiliza para calibrar la cámara y generar los DTM; el segundo, permite la manipulación del DTM y levantamiento de información geológica de interés (Benado *et al.*, 2010 en León, 2016), lo cual permite corroborar datos de mapeo como, por ejemplo, orientaciones y largo de trazas de las estructuras.

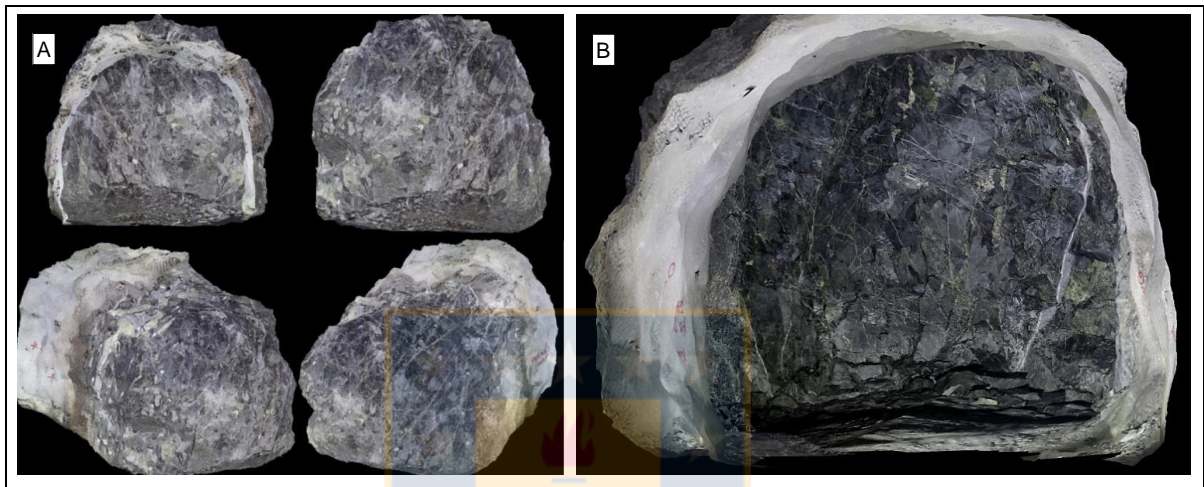


Figura 4.10: A) Modelo Digital de terreno (DTM 7872 sector Esmeralda) de labor minera visto desde diferentes direcciones en *3DM Analyst* (Imágenes confeccionadas en *3DM Analyst*). B) Modelo Digital de Terreno DTM 4909 – Esmeralda, de calidad óptima. Se puede observar la litología correspondiente al CMET (Complejo Máfico El Teniente) y el claro contraste entre la matriz rocosa y el relleno de las estructuras (*3DM Analyst*). León (2016).

Los registros almacenados en los Mapa Base son históricos, es decir, contienen toda información adquirida hasta la fecha, y son actualizados en la medida que se conoce nueva información, relacionada directamente con el avance de las galerías de la mina; de esta forma se complementa y enriquece el modelo geológico del sector y de El Teniente.

Ahora se describen los Mapas Base escogidos para el análisis de la base de datos para efectuar la caracterización geométrica.

**i) Mapa Base "SUB6-Producción":** Almacena información de las minas Reservas Norte y Pilar Norte, en el nivel de producción a una cota de 2.102 m s.n.m. A fin de seleccionar las fallas que son objeto de estudio se define un polígono, dentro del cual las estructuras son consideradas, definido por vértices referenciados con respecto al sistema de coordenadas del yacimiento (Tabla 4.2) que forman un heptágono irregular (Figura 4.11). El mismo polígono se utiliza para los demás mapas que toman en cuenta las fallas del nivel de producción, vale decir, el Mapa Base

"Dacita Producción" y el Mapa Interpretación Estructural "2102 TTE SUB6 PRO" descritos más adelante. Los vértices están enumerados, desde el 1, ubicado más al norte, el 2, ubicado al oeste más próximo al 1, y luego crecen en sentido anti horario hasta cerrar la línea poligonal.

Tabla 4.2: Coordenadas del polígono SUB6-Producción

Vértice	Coordenada E	Coordenada N
1	650	1.500
2	250	1.200
3	250	450
4	800	450
5	1.250	550
6	1.400	700
7	1.250	1.100

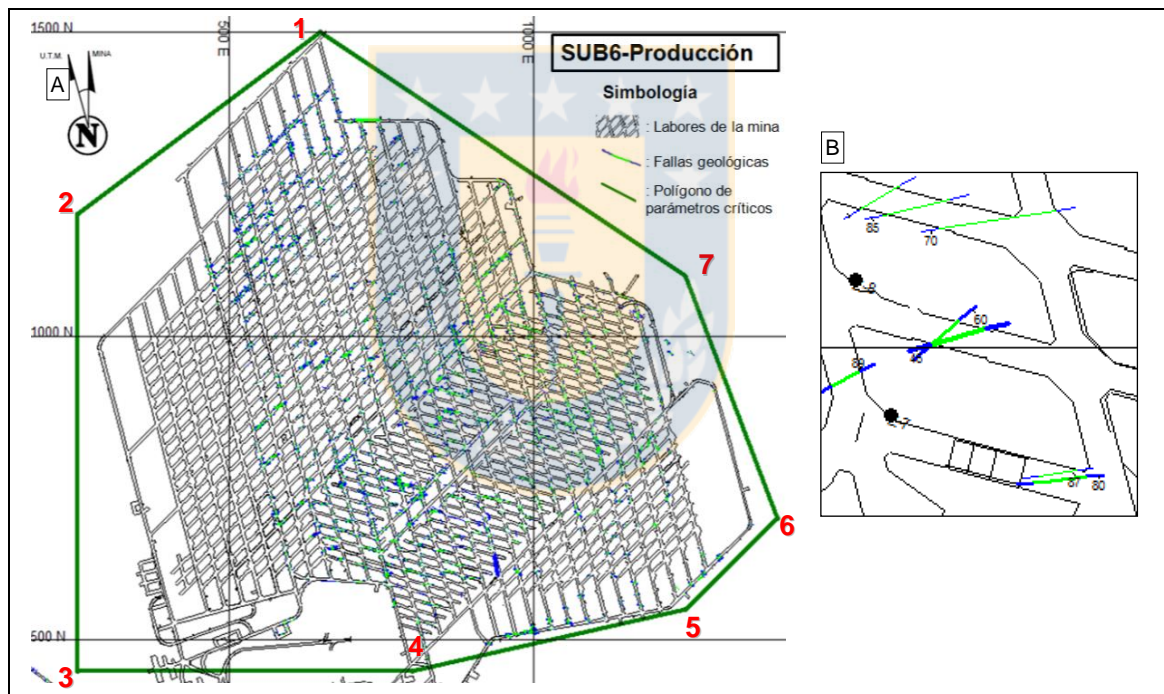


Figura 4.11: A) Planta SUB6-Producción Mapa Base con polígono de parámetros críticos y vértices que lo delimitan enumerados. Imagen tomada y modificada del *software* Xilab de Codelco-El Teniente. B) Simbología de falla geológica del Mapa Base, con zoom. Línea verde: traza observada, segmentos azules: traza interpretada.

Dentro del polígono existen un total de 1.539 soportes, que corresponden a todas las fallas registradas. En Xilab se seleccionan estos soportes y se elige la opción de "Analizar soportes seleccionados", lo que abre la base de datos tabulada en el *software*, así se exporta a un documento archivo de Excel para poder trabajar con los datos. Este archivo está en el Anexo

Digital como "00 01 SUB6- Producción". Los procedimientos efectuados en Xilab se encuentran en el Anexo A.

ii) **Mapa Base "Dacita Producción"**: Corresponde a mina Dacita nivel de producción a la cota de 2.102 m s.n.m. Esta mina está adyacente al oeste de Reservas Norte, su límite es la calle 20, destacada con una línea naranja en la Figura 4.12. Se seleccionan las fallas dentro del polígono que suman un total de 996 soportes. Sus datos están en el archivo "00 02 Dacita Producción" del Anexo Digital.

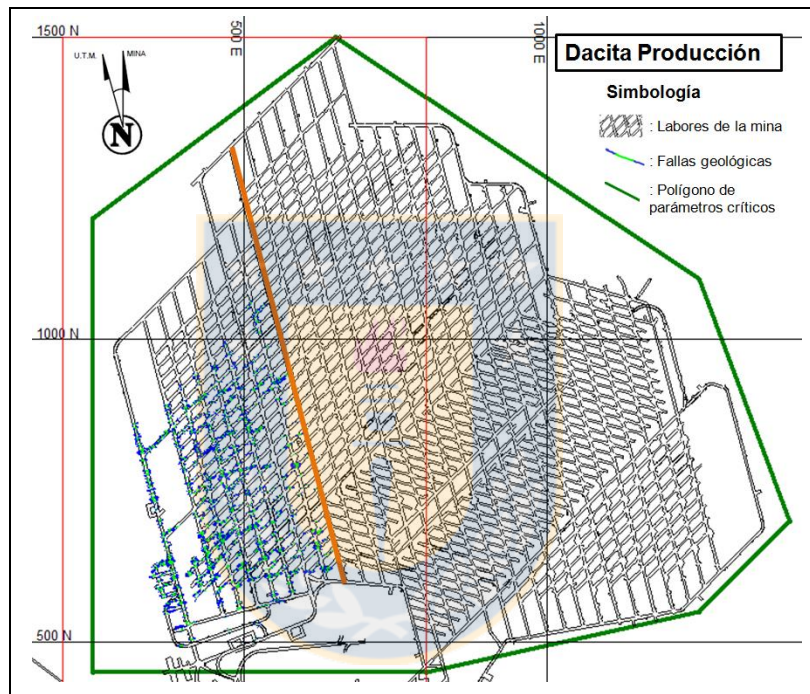


Figura 4.12: Planta Dacita Producción Mapa Base con polígono de parámetros críticos. Imagen tomada y modificada del software Xilab de Codelco-El Teniente.

iii) **Mapa Base "SUB6-Hundimiento"**: Almacena información de minas Reservas Norte y Pilar Norte, en el nivel de hundimiento a 2.121 m s.n.m. El polígono de análisis forma un decágono irregular e incluye todas las galerías de la Planta 2.121, sus vértices son detallados en la Tabla 4.3 y presentados en la Figura 4.13. Este mapa posee en total 1.718 soportes, cuyos datos están en el archivo "00 03 SUB6- Hundimiento" del Anexo Digital.

iv) **Mapa Base "Dacita Hundimiento"**: Corresponde a la mina Dacita a 2.121 m s.n.m. (Figura 4.14). Posee 494 soportes, en el archivo "00 04 Dacita- Hundimiento" del Anexo Digital.

Tabla 4.3: Coordenadas del polígono SUB6-Hundimiento.

Vértice	Coordenada E	Coordenada N
1	650	1.500
2	400	1.250
3	400	1.150
4	250	1.000
5	200	900
6	300	800
7	350	550
8	1.100	450
9	1.400	650
10	1.250	1.100

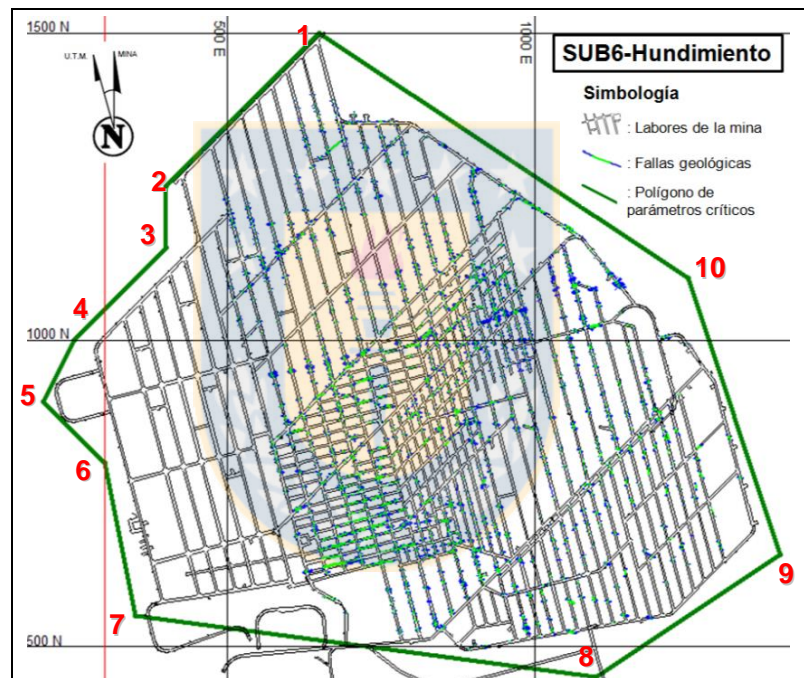


Figura 4.13: Planta SUB6-Hundimiento Mapa Base con polígono de parámetros críticos y vértices que lo delimitan enumerados. Imagen tomada y modificada del *software* Xilab de Codelco-El Teniente.

#### 4.3.2. Mapa Interpretación Estructural

Corresponde a la información geológica generada o inferida en base a datos ya existentes (provenientes del Mapa Base) y a la interpretación geológica efectuada por los geólogos de la SGL. Este mapa representa un modelo más aproximado de la realidad geológica de la mina, por lo que se considera para el Plano Geológico Integrado oficial del yacimiento, el cual se va modificando y

perfeccionando a medida que se conoce nueva información. Las fallas de este mapa pueden ser denominadas "fallas interpretadas", o simplemente fallas.

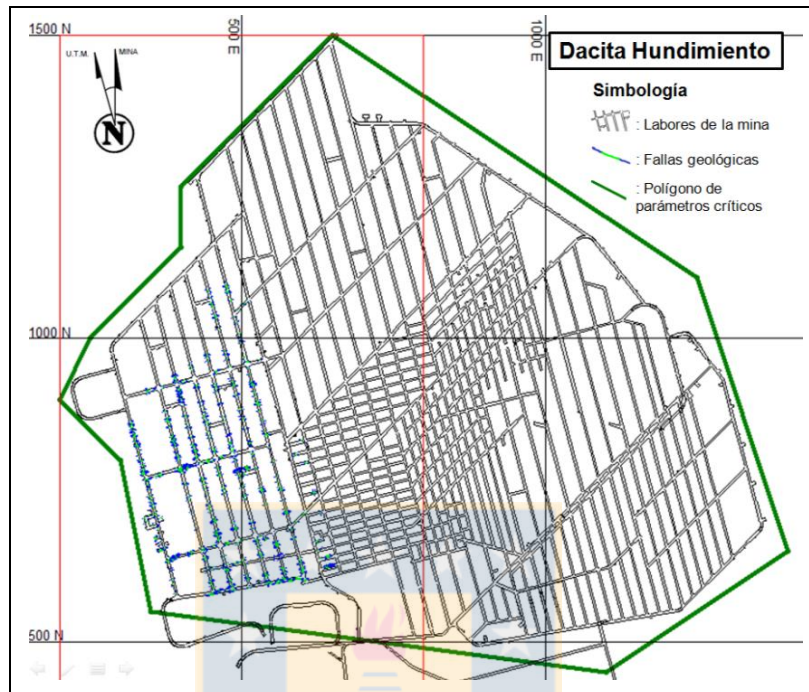


Figura 4.14: Planta Dacita Hundimiento Mapa Base con polígono de parámetros críticos. Imagen tomada y modificada del software Xilab de Codelco-El Teniente.

Estos mapas se caracterizan por tener estructuras con trazas más largas, que se explica producto del trabajo de la interpretación, pues una vez traspasados los datos a un Mapa Base, dos o más segmentos pueden ser interpretados como de una misma falla, tomando en cuenta su ubicación e implícitamente los parámetros críticos, como por ejemplo: actitud, espesor y material de relleno. A modo de ilustrar, la Figura 4.15A muestra estructuras del Mapa Base Dacita Producción y la Figura 4.15B, el mismo sector, pero con fallas del Mapa Interpretación. En ésta última, se visualiza una falla con mayor largo de traza, como lo muestran las líneas azules que indican interpretación, a diferencia de la línea verde que es la falla mapeada in situ o en un DTM (Modelo Digital de Terreno). Ambos mapas estructurales están superpuestos al Mapa de DTMs, que revelan la ubicación de los éstos en las galerías de la mina. La falla mapeada en el *software 3DM Analyst* se distingue en el DTM3678 (Figura 4.15C). Los Mapas de Interpretación utilizados son dos:

- i) **Mapa Interpretación Estructural "2102 TTE SUB6 PRO"**: Vinculado a minas Dacita, Reservas Norte y Pilar Norte, en el nivel de producción. El polígono abarca todas las galerías de la Planta 2102 (Figura 4.16) y es el mismo de vértices detallados en la Tabla 4.2. En este mapa son

examinados 557 soportes. Los datos de esta cartilla están en el Anexo B en la Tabla TTE Sub6 Pro, y en el archivo digital " 00 05 2102 TTE SUB6 PRO".

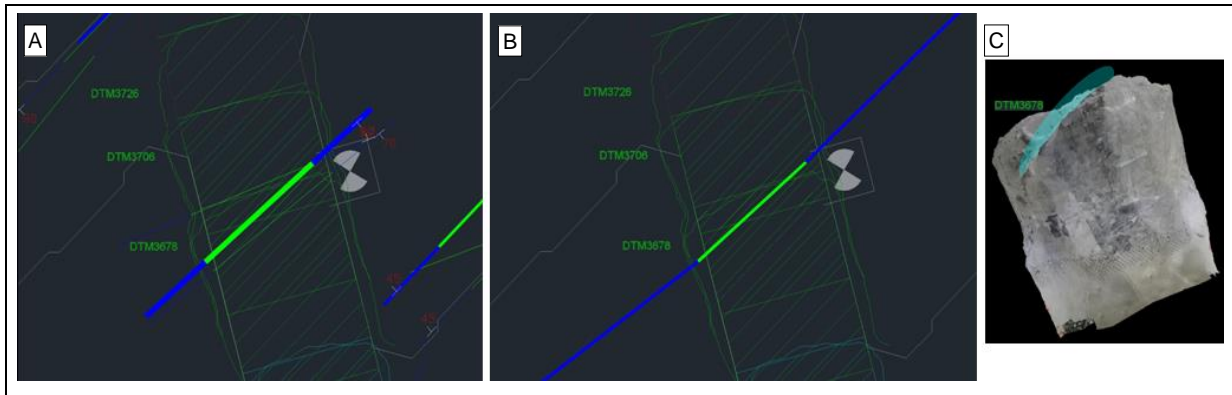


Figura 4.15: A) Fallas del Mapa Base Dacita Producción superpuestas al Mapa de DTMs. B) Falla del Mapa Interpretación 2102 TTE SUB6 PRO superpuesta al Mapa de DTMs. C) DTMs3678 con falla mapeada en labor usando el *software 3DM Analyst*.

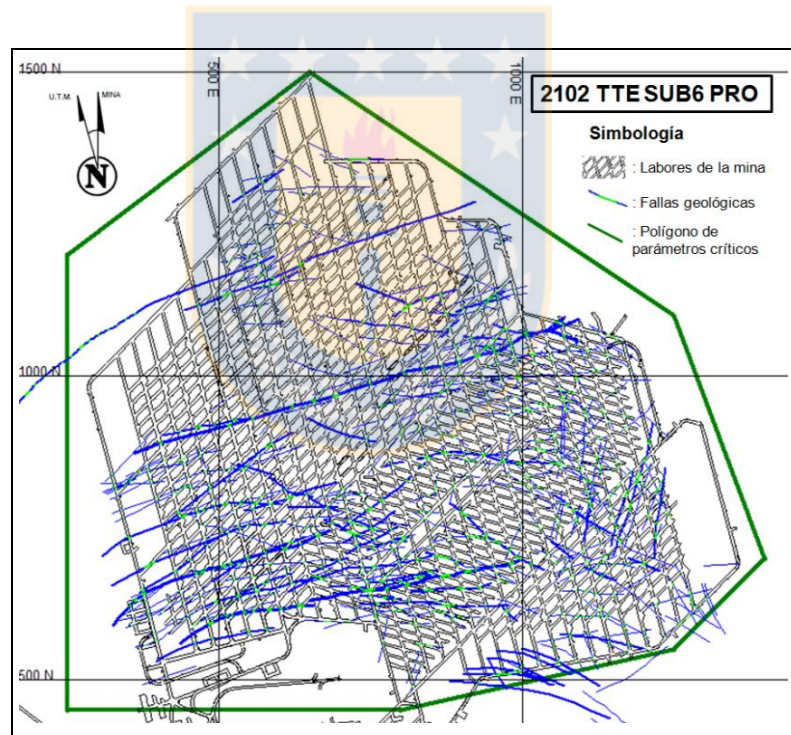


Figura 4.16: Planta 2102 TTE SUB6 PRO Mapa Interpretación Estructural con polígono de parámetros críticos. Imagen tomada y modificada del *software Xilab* de Codelco-El Teniente.

ii) **Mapa Interpretación Estructural "2121 TTE SUB6 HUN"**: Correspondiente a las minas Dacita-Reservas Norte-Pilar Norte (Figura 4.17). El polígono tiene los mismos vértices detallados en la Tabla 4.3. Se consideran un total de 799 soportes. Los datos de esta cartilla están en el Anexo B en la Tabla TTE Sub6 Hun y en el archivo digital " 00 06 2121 TTE SUB6 HUN".

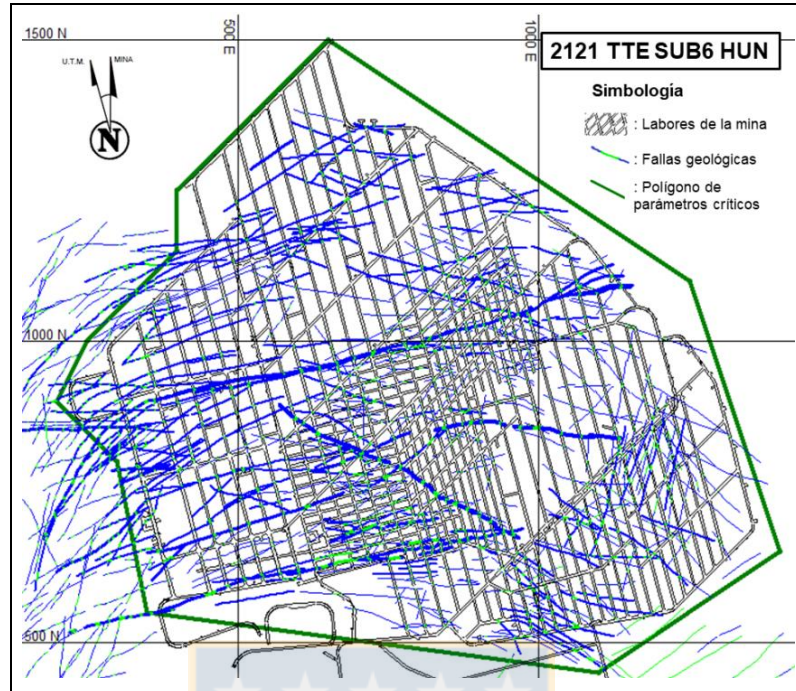


Figura 4.17: Planta 2121 TTE SUB6 HUN Mapa Interpretación Estructural con polígono de parámetros críticos. Imagen tomada y modificada del *software* Xilab de Codelco-El Teniente.

### 4.3.3. Consideraciones de los Datos

#### 4.3.3.1. Base de Datos Xilab

En Xilab es un *software* que permite registrar, almacenar y modificar información geológica, entre otras funciones. Los datos se pueden ser exportados a archivos de hojas de cálculo y a archivos de dibujo, tal como es realizado en el presente estudio. Los principales procedimientos utilizados son descritos en el Anexo A.

Los cuatro productos de Xilab de la empresa Geomintec son:

- **Sistema genérico de administración y levantamiento de datos:** Consiste en un conjunto de módulos de *software*, que permiten levantar datos (principalmente geológicos), tanto en mapas 2D como en sondajes (testigos), garantizando el cumplimiento de un estándar de mapeo, asegurando la adecuada sincronización con un motor de base de datos central Oracle.

- **Servicio:** Es el módulo central que permite administrar los requerimientos o solicitudes de mapeo sobre sondajes y mapas, controlando accesos y permisos sobre elementos, usuarios e información.
- **Administrador:** Es el módulo de administración del sistema, el que permite mantener la configuración de la información y plataforma, controlar la operación y el acceso a los datos.
- **Mapeador:** Es el módulo de levantamiento de datos del sistema, el que permite realizar la captura de información en terreno de manera *off-line*, la cual una vez oficializada es transferida a la base de datos central.

#### 4.3.3.2. Tipo de Información

Todos los datos de este estudio están actualizados al 31 de diciembre de 2015. La base de datos Xilab posee información agrupada en "cartillas" que en esta Memoria de forma equivalente se mencionan como Mapa Base o Interpretación. Dentro de las cartillas existen "Temas" que recopilan cierto tipo de información, por ejemplo: Tema Interpretación Estructural, Tema Interpretación Litológica, etc. En cada tema existen soportes (ej.: fallas, vetillas, unidades litológicas), y cada uno de ellos posee datos de acuerdo a diferentes parámetros.

A continuación se explica la información que se obtiene producto de exportar los datos desde Xilab a archivos de Excel, de acuerdo a la cartilla o mapa de origen:

- i) **Mapa Base:** Desde los Mapas Base se puede exportar los datos de los soportes a un archivo de hoja de cálculo (Adjuntos en Anexos Digitales), el cual posee 4 hojas:
- **"INFO":** Primera hoja donde aparece el nombre del archivo asignado por automáticamente por el software: EXPORT\_1.
  - **"Estructuras":** Segunda hoja donde aparece la mayor cantidad de información relacionada a las estructuras (soportes). Para cada una de ellas los siguientes criterios son considerados, en la primera fila, de izquierda a derecha:
    - N°: número de soporte, asignado de forma arbitraria al momento de exportar.
    - IdSoporte: nombre del soporte dentro de la base de datos. Ejemplo: 511-114757-1.
    - Fecha de Última Mod: fecha en que se actualizó la información del soporte detallados al año, mes, día, hora, minuto y segundo. Ejemplo: 20151228 16:18:30.

- Tipo de Soporte: referido a la clase de soporte, en el caso de estudio una falla corresponde a una polilínea.
  - Grupo de Soporte: número arbitrario, en caso de fallas es 0.
  - Dip: valor del *Dip* (buzamiento) de la falla, toma valores de 0 a 90.
  - DipDir: valor del *DipDirection* (dirección de buzamiento) de la falla, toma valores de 0 a 360.
  - Rumbo/Manteo: orientación de la falla, con notación tradicional. Ejemplo: N75° E / 85°N.
  - Traza (m): longitud de la falla.
  - Tipo: se refiere al tipo de falla. En el caso de estudio es Falla y Falla HT (Hidrotermal Tardía).
  - Planaridad: relacionada con la superficie de la falla, puede ser Recta, Recta a Ondulosa, Ondulosa o Escalonada.
  - Esp. Mín (cm): espesor mínimo de relleno de falla.
  - Esp. Máx. (cm): espesor máximo de relleno de falla.
  - Esp. Típico (cm): espesor típico de relleno de falla.
  - Influencia (m): se refiere a la influencia que tiene la falla en la roca adyacente. Casi no existen datos de este parámetro, la gran mayoría de las celdas están vacías.
  - Salbanda: se refiere a si la falla posee salbanda, puede tomar valores de "Ninguna", "Roca Molida" o "Vetilla Molida".
  - Salbanda\_Esp (cm): se refiere al espesor de la salbanda. Muy pocos datos, la mayoría de las celdas están vacías.
  - Plunge\_Estrías: valor del *plunge* de las estrías, cuyo valor puede estar entre 0 a 90. Muy pocos datos, la gran mayoría de las celdas están vacías.
  - Plunge\_Dir: dirección del *Plunge*. Ejemplo: Noreste. Muy pocos datos, la gran mayoría de las celdas están vacías.
  - Observaciones: anotaciones de diversa índole relacionada a la estructura. Por ej.: "Dique asociado" o "Espejo de falla". Muy pocas observaciones, la mayoría de las celdas están vacías.
  - Origen de la Información: puede ser por "Mapeo de estructuras a distancia", "Mapeo de estructuras in situ" o "Mapeo de estructuras por sistema Adam". Este dato está presente principalmente registrado para las fallas más actuales. Antes de junio de 2014 no hay datos.
- **"Relleno"**: La tercera hoja entrega características del material de relleno de las fallas. Los primeros criterios de la primera fila son idénticos a los de la segunda hoja "Estructuras": N°, IdSoporte, Fecha Última Mod, Tipo de Soporte, Grupo Soporte, Dip, DipDir, Rumbo/Manteo y Traza (m), además posee los siguientes criterios:
    - Componente: es el mineral de relleno, por ejemplo: calcita, cuarzo, yeso, etc.

- Abundancia: referente a la cantidad cualitativa del relleno, en términos de: abundante, moderado, escaso, etc.
- Ocurrencia: cómo se presenta el relleno, por ejemplo: diseminado, en sutura, etc.
- **"VERTICES"**: La cuarta hoja posee información en relación a la ubicación de las estructuras en el mapa. El nombre de las columnas es: IdSoporte, y:
  - VERT\_NUMERO: una falla está formada por varios puntos que forman la polilínea que la representa. Estos puntos poseen un número el cual corresponde a este parámetro.
  - NORTE: es la coordenada Norte del punto, dentro del sistema de coordenadas interno del yacimiento.
  - ESTE: es la coordenada Este del punto, dentro del sistema de coordenadas interno del yacimiento.
  - COTA: es la coordenada vertical del punto. Se relaciona al nivel en donde se observa la estructura. Por ejemplo: una falla en el Nivel Sub6 Producción pertenece a la cota 2.102 m s.n.m.

De los criterios mencionados anteriormente, los que están directamente relacionados con los parámetros críticos son: *Dip*, *DipDir*, Rumbo/Manteo, Traza, Esp. Mín., Esp. Máx., Esp. Típico, Componente (Relleno) y Planaridad.

**ii) Mapa Interpretación Estructural:** En los Mapa Interpretación Estructural, el documento exportado posee sólo dos hojas, la primera es la misma que el producto de la exportación del Mapa Base ("INFO"), mientras que la segunda hoja llamada "Interpretación\_Estructural" es similar a la hoja "Estructuras" y posee los mismos criterios: N°, IdSoporte, Fecha de Última Mod, Tipo de Soporte, Grupo de Soporte, *Dip*, *DipDir*, Rumbo/Manteo y Traza (m), el resto corresponde a:

- Tipo\_Estructura: equivalente al criterio Tipo del Mapa Base. Corresponde a "Falla" y "Falla HT" (Hidrotermal Tardía).
- Espesor\_Mínimo: es el espesor mínimo de relleno de la "falla interpretada".
- Espesor\_Máximo: es el espesor máximo de relleno la "falla interpretada".
- Relleno 1: material de relleno principal o mayoritario.
- Relleno 2: material de relleno secundario o abundante.
- Relleno 3: material de relleno terciario o moderado.
- Relleno 4: cuarto material de relleno o escaso. Existen casos en que se observan menor cantidad de rellenos, por lo que no todas las estructuras poseen hasta un "Relleno 4".

La Tabla 4.4 muestra datos entregados directamente relacionados a los parámetros críticos producto de la exportación de información desde un Mapa de Interpretación Estructural. Se omiten las siguientes parámetros: N°, Fecha de Última Mod., Tipo de Soporte, Grupo Soportes, Tipo\_Estructura, Relleno 3, Relleno 4.

Tabla 4.4: Ejemplo de tabla producto de la exportación de datos desde un Mapa Interpretación Estructural.

IdSoporte	Dip	DipDir	Rumbo/ Manteo	Traza (m)	Espesor Mínimo (cm)	Espesor Máximo (cm)	Relleno 1	Relleno 2
409-103927-7	78	157	N67° E / 78° SE	133.06	1	4	Yeso	Anhidrita

Los datos de los Mapas Interpretación Estructural son los fundamentales para realizar la caracterización de las fallas, debido a que se considera el modelo más cercano a la realidad, por esta razón, se trabaja principalmente con datos provenientes de ellos para los análisis.

#### 4.3.3.3. Cantidad y Agrupación de la Información

Debido a que en ciertas secciones se utilizarán datos del Mapa Base para relacionarlos a los Mapas Interpretación Estructural, los datos de fallas de los Mapas Base se unen, en el nivel de producción y en el nivel de hundimiento, tal como se resume en la Tabla 4.5 y se describe a continuación:

Tabla 4.5: Identificación de mapas, número de soportes (fallas) y agrupación de datos.

N°	Nombre Mapa en Xilab	Cartilla en Xilab	N° Soportes	N° Soportes	Tabla de Datos	Tabla de Datos
1	SUB6- Producción	SGL_MAPA_BASE	1.539	2.535	Sub6-Pro	Mapa Base (MB) Sub6
2	Dacita Producción	SGL_MAPA_BASE	996			
3	SUB6- Hundimiento	SGL_MAPA_BASE	1.718	2.212	Sub6-Hun	
4	Dacita Hundimiento	SGL_MAPA_BASE	494			
5	2102 TTE SUB6 PRO	SGL_MAPA_INTERP	557	557	TTE Sub6 Pro	Total Sub6
6	2121 TTE SUB6 HUN	SGL_MAPA_INTERP	799	799	TTE Sub6 Hun	

- La unión de los datos del Mapa Base "SUB6- Producción" y del Mapa Base "Dacita Producción" se nombra "**Sub6-Pro**" y se ocupa cuando el Mapa Interpretación Estructural "2102 TTE SUB6 PRO" identificado "**TTE Sub6 Pro**" no tiene información de cierto parámetro.
- La unión de los datos del Mapa Base "SUB6- Hundimiento" y del Mapa Base "Dacita Hundimiento" se nombra "**Sub6-Hun**" y se ocupa cuando el Mapa Interpretación Estructural "2121 TTE SUB6 HUN" identificado "**TTE Sub6 Hun**" no tiene información de cierto parámetro.

Los datos de "TTE Sub6 Pro" y "TTE Sub6 Hun" ocupados para la caracterización geométrica están tabulados en el Anexo B.

- Con respecto a la cantidad de soportes en el Mapa Base en Nivel Producción: 1.539 en SUB6 y 996 en Dacita, en total 2.535 fallas en Sub6-Pro (En comparación con 557 fallas del Mapa Interpretación TTE Sub6 Pro).
- Con respecto a la cantidad de soportes en el Mapa Base en Nivel Hundimiento: 1.718 en SUB6 y 494 en Dacita, en total 2.212 fallas en Sub-Hun (En comparación con 799 fallas del Mapa Interpretación TTE Sub6 Hun).
- La unión de los datos de los Mapas Base Sub6-Pro y Sub6-Hun da origen al concepto de MB Sub6, que corresponde a la información de todas las fallas de ambos niveles del Sub6 que suman un total de 4.747.
- La unión de los datos de los Mapas Interpretación TTE Sub6 Pro y TTE Sub6 Hun da origen al concepto de Total Sub6, que corresponde a la información de todas las fallas de ambos niveles del Sub6 que suman un total de 1.356.

#### **4.4. Caracterización Geométrica de Fallas Intermedias del Nivel Sub6 según Parámetros Críticos**

De acuerdo a la clasificación de estructuras geológicas de mina El Teniente, las Fallas Intermedias son aquellas que poseen una traza de entre 4 m a 100 m de longitud (Tabla 2.3), sin embargo, para este estudio, se consideran Intermedias aquellas que poseen entre 10 m a 100 m de longitud. Esto se explica debido a que, por definición, una Falla Intermedia atraviesa por completo una galería o labor, las cuales tienen un ancho aproximado de 4 m; tomando en cuenta que se agregan 3 m de longitud a cada extremo de ella al momento de registrarla en un mapa de Xilab, y que en realidad, la mayoría de ellas no atraviesan perpendicularmente las labores; la traza observable es mayor a 4 m, estimándose y proponiéndose un mínimo de 10 m de persistencia para las Fallas Intermedias. En consecuencia, la clasificación utilizada en este estudio es la misma del Yacimiento, pero modificando el límite entre Falla Intermedia y Falla Menor (Tabla 4.6).

A continuación se presenta una descripción de los parámetros críticos aplicados por primera vez a las Fallas Intermedias de El Teniente, en el Nivel Sub6: minas Dacita, Reservas Norte y Pilar Norte

(Producción y Hundimiento), por medio de análisis de los Mapas Interpretación Estructural, salvo en casos donde no haya datos, donde se recurre a información de Mapas Base. Se prioriza en la descripción a nivel total (Total Sub6), no obstante, también se hace alusión a la descripción de acuerdo al nivel frecuentemente.

Tabla 4.6: Clasificación modificada de fallas de El Teniente. El límite entre Falla Intermedia y Falla Menor es 10 m.

Tipo de falla	Continuidad (c)
Distrital	$c \geq 1 \text{ km}$
Maestra	$500 \text{ m} \leq c < 1 \text{ km}$
Mayor	$100 \text{ m} \leq c < 500 \text{ m}$
Intermedia	$10 \text{ m} \leq c < 100 \text{ m}$
Menor	$0 \text{ m} < c < 10 \text{ m}$

#### 4.4.1. Persistencia de las Fallas

Este parámetro se examina desde dos perspectivas: la primera, de forma introductoria, pues toma en cuenta a todas las fallas del sector de estudio; y la segunda, relacionada sólo a las protagonistas, vale decir, las Fallas Intermedias.

De acuerdo a los datos existentes de traza (m) en los Mapas de Interpretación Estructural, se decide agrupar las fallas en base al "orden de falla" y "tipo de falla". En un sector productivo de El Teniente una falla puede ser considerada Principal o de Primer Orden Nivel Mina, si su traza es mayor o igual a 100 m, o sea, engloba a las Fallas Distritales, Maestras y Mayores; o bien, puede ser considerada Falla Intermedia o de Segundo Orden Nivel Mina, si posee una traza menor a 100 m y mayor o igual a 10 m.

En el nivel de producción Sub6, la cantidad en porcentaje de Falla Principales y Fallas Intermedias, son un 12,1% y 87,9% respectivamente, mientras que en el nivel de hundimiento, un 15,6% son Fallas Principales y 84,4% son Fallas Intermedias. Las proporciones son muy similares en ambos niveles, que es de esperar, pues ambos niveles están separados aproximadamente 20 metros de altitud.

De forma general, tomando en cuenta todas las fallas de ambos niveles (Total Sub6), las Fallas Principales son un 14,1% y las Intermedias un 85,9%, por lo que se puede decir que aproximadamente 9 de cada 10 fallas son Fallas Intermedias. Esto se calcula en base a una población de 1.350 fallas de las cuales, 1.159 son Intermedias y 191 son Fallas Principales.

Los resultados anteriores se resumen en el histograma de la Figura 4.18 que muestra la predominancia de las Fallas Intermedias en el Nivel Sub6, a derecha del histograma, con barras rellenas de color café para el nivel de producción, gris para el nivel de hundimiento y naranja para el total de los datos. Las cifras exactas de la cantidad de fallas y porcentajes correspondientes se exponen en la Tabla 4.7.

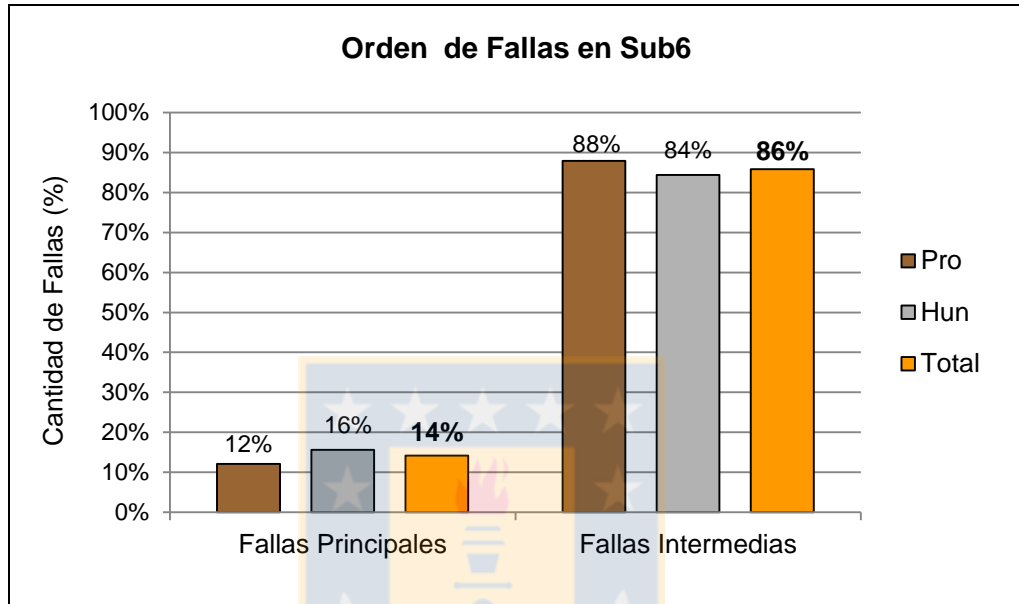


Figura 4.18: Histograma de la cantidad de fallas en porcentaje, según orden en el Sub6. (Pro: nivel de producción, Hun: nivel de hundimiento, Total: Total Sub6).

Tabla 4.7: Resumen del número de fallas y su respectivo porcentaje según orden en cada nivel y de forma total en el Sub6.

Falla según orden	TTE Sub6 Pro		TTE Sub6 Hun		Total Sub6	
	N°	Porcentaje	N°	Porcentaje	N°	Porcentaje
Fallas Intermedias (2° Orden Nivel Mina)	488	87,9%	671	84,4%	1.159	85,9%
Fallas Principales (1 <sup>er</sup> Orden Nivel Mina)	67	12,1%	124	15,6%	191	14,1%
	555	100,0%	795	100,0%	1.350	100,0%

Ahora bien, considerando todas las fallas interpretadas y clasificándolas según su tipo de acuerdo a la clasificación por traza hecha para este estudio (Tabla 4.6), en donde el piso de traza de las Fallas Intermedias es 10 m, las proporciones son similares a las descritas anteriormente y se detallan en la Tabla 4.8.

Debido a la gran cantidad de Fallas Intermedias presentes en la mina, se recomienda realizar una caracterización geométrica a través de análisis estadísticos, tal como se efectúa en la presente

Memoria de Título. Por otra parte, las Fallas Principales deben ser caracterizadas cada una de ellas en forma individual, como es efectuado en el trabajo de Seguel (2013) en distintos sectores productivos y en Guzmán (2015) aplicado a Dacita.

Tabla 4.8: Resumen del número de fallas y su respectivo porcentaje según su tipo de acuerdo a la clasificación de fallas de El Teniente modificada, en cada nivel y de forma total en el Sub6.

Tipo de falla	Continuidad	TTE Sub6 Pro		TTE Sub6 Hun		Total Sub6	
		N°	Porcentaje	N°	Porcentaje	N°	Porcentaje
Fallas Menores	0 m < c < 10 m	2	0,4%	4	0,5%	6	0,4%
Fallas Intermedias	10 m < c < 100 m	488	87,9%	671	84,4%	1.159	85,5%
Fallas Mayores	100 m < c < 500 m	66	11,9%	123	15,5%	189	13,9%
Fallas Maestras	500 m < c < 1000 m	1	0,2%	1	0,1%	2	0,1%
	Total Fallas Interpretadas	555	100,0%	795	100,0%	1.356	100,0%

El primer análisis estadístico efectuado, es entonces, con respecto a la variable cualitativa del orden de las fallas, agrupadas en Fallas Principales (1<sup>er</sup> Orden Nivel Mina) o Fallas Intermedias (2° Orden Nivel Mina), basado en el parámetro crítico persistencia, donde se distingue las fallas que se describen por separado y con mayor detalle (Principales), de aquellas que se describen de forma grupal o como una población estadística (Intermedias).

En el segundo análisis se estudia la persistencia como una variable cuantitativa, en donde las fallas se agrupan en intervalos con una amplitud de 25 m (excepto para la primera clase o grupo 1 con amplitud 15 m), definidos por los siguientes valores:

- Grupo 1: Traza  $\geq 10$  m y  $< 25$  m
- Grupo 2: Traza  $\geq 25$  m y  $< 50$  m
- Grupo 3: Traza  $\geq 50$  m y  $< 75$  m
- Grupo 4: Traza  $\geq 75$  m y  $< 100$  m

Los resultados indican que la mayoría de las Fallas Intermedias (46%) se encuentran en el rango de 25 a 50 m de longitud de traza (Figura 4.19). Y aproximadamente  $\frac{1}{4}$  de ellas en el rango de 50 a 75 m, seguido muy de cerca del rango del grupo 1 con un rango de traza de 10 a 25 m. El rango minoritario de Fallas Intermedias son las que tienen mayor traza, de 75 a 100 m (10%). Los datos de porcentaje se exponen en la Figura 4.19, y las cifras específicas de la cantidad de fallas están en la Tabla 4.9.

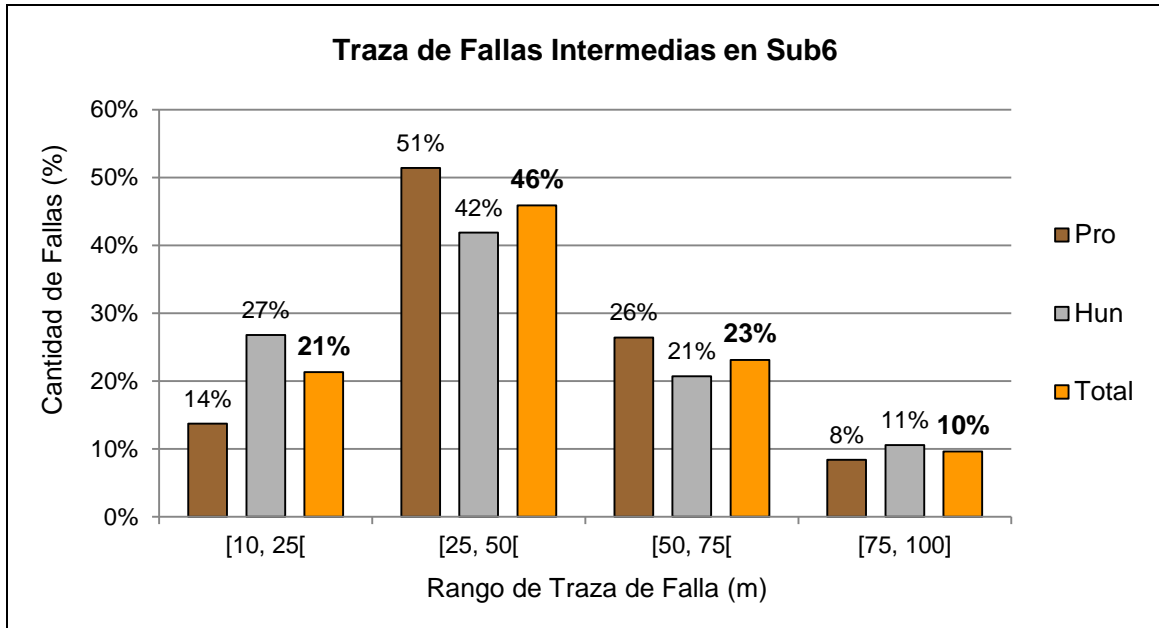


Figura 4.19: Histograma de la cantidad de fallas según su rango de traza en el Sub6.

Tabla 4.9: Resumen del número de fallas y su respectivo porcentaje según rango de largo de traza en cada nivel y de forma total en el Sub6.

Rango de largo de traza de Fallas Intermedias (m)	TTE Sub6 Pro		TTE Sub6 Hun		Total Sub6	
	N°	Porcentaje	N°	Porcentaje	N°	Porcentaje
[10, 25[	67	13,7%	180	26,8%	247	21,3%
[25, 50[	251	51,4%	281	41,9%	532	45,9%
[50, 75[	129	26,4%	139	20,7%	268	23,1%
[75, 100[	41	8,4%	71	10,6%	112	9,7%
Total Fallas Intermedias	488	100,0%	671	100,0%	1.159	100,0%

La distribución de persistencia de las fallas en ambos niveles de Sub6 es similar; sólo presenta una mayor diferencia con respecto al primer grupo de 10 m a 25 m, en donde en el nivel de hundimiento es casi el doble que en el nivel de producción.

Este parámetro al estar directamente vinculado a la traza se refiere a la persistencia horizontal. La persistencia vertical no es medida, al menos para las Fallas Intermedias, pero se asume de la misma escala, o de una magnitud similar.

#### 4.4.2. Actitud de las Fallas

La base de datos almacena información relacionada a la actitud de las fallas expresadas como *Dip*, *DipDir* y Rumbo/Manteo. Para análisis estadísticos es más factible trabajar con datos de *Dip/DipDir* pues representa dos únicos valores que pueden ser fácilmente utilizados en cálculos numéricos y

estadísticos, por esto, que en base a ellos se trabaja en esta sección, no obstante los resultados se expresan en términos de orientaciones o rumbo y manto. La primera parte aborda las actitudes en proyecciones estereográficas y diagramas de concentración de polos, y posteriormente, mediante gráficos de barras de acuerdo a la cantidad de fallas según al rumbo, al manto y a su dirección de manto.

#### **4.4.2.1. Proyecciones Estereográficas y Diagramas de Concentración de Polos**

Las proyecciones estereográficas transfieren un objeto de tres dimensiones a una superficie de dos dimensiones. Para las fallas, y de forma general, en geología estructural, se utiliza la proyección o equiareal o equidistancial, pues permite trabajar estadísticamente con grandes cantidades de datos o "nubes de datos", apoyándose en la red de Schmidt. Sobre ésta, la orientación de cada plano de falla es representada como un punto llamado polo, que corresponde a la proyección de la normal a la estructura en el hemisferio inferior de la esfera de proyección.

En estricto rigor, una proyección que conserva el área (equiareal), no es una proyección estereográfica propiamente tal, pues este término se refiere a cuando se utiliza la falsilla de Wulff (estereoneta) para obtener un estereograma que conserva ángulos y no área, sin embargo, en la práctica, en geología se usa el término estereoneta cuando se hace alusión indistintamente a la falsilla de Wulff o la de Schmidt, y por lo tanto, proyección estereográfica, cuando cualquiera de estas falsillas es usada.

Producto de proyecciones equiareales se puede obtener un diagrama de puntos, cuando sólo se muestran polos; o bien, un diagrama de concentración o de densidad de polos, que es una representación más precisa de las variaciones en orientación, ya que cuantifica el número de puntos por unidad de área de la proyección, separando zonas donde se mantienen las densidades medidas como porcentajes del número total de puntos. Estas zonas son delimitadas por líneas de contorno, de ahí que también se llama diagrama de contornos. Ambos tipos de representaciones se exhiben en seguida.

La distribución de actitudes de las 488 Fallas Intermedias interpretadas del Mapa TTE Sub6 Pro expuestas en el diagrama de puntos de la Figura 4.20, muestra una distribución poco uniforme, con una franja EW con menor concentración de polos, asociada a dos máximos poco definidos cercanos a los puntos cardinales Norte y Sur.

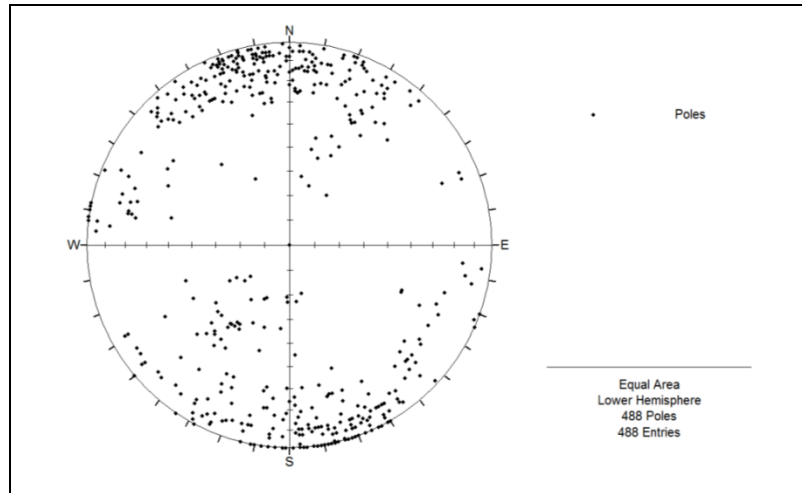


Figura 4.20: Proyección estereográfica (equiareal) de polos con actitudes de Fallas Intermedias del Sub6 Nivel Producción.

Por otra parte, el diagrama de contornos de los mismos datos de la proyección anterior, evidencia dos densidades de polos, una asociada a un centro con probabilidad de un 12,9% (concentración máxima) cercana al punto cardinal Norte, y otro centro con probabilidad dentro del rango 10,5-12% cercana al Sur, ambos considerados muy significativos, que indica una mayor probabilidad de encontrar polos en estas zonas. La leyenda de probabilidades está en una escala de grises, donde los tonos más oscuros indican mayor probabilidad de encontrar un polo (Figura 4.21).

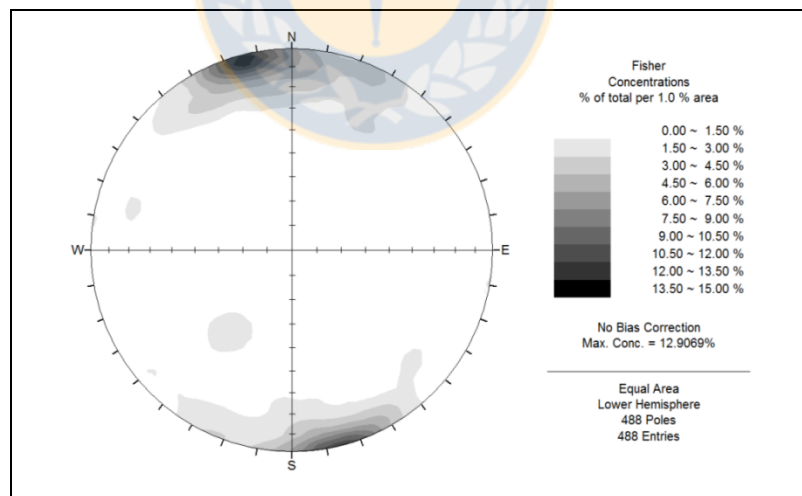


Figura 4.21: Diagrama de Concentración de Polos de Fallas Intermedias del Sub6 Nivel Producción.

Con respecto a las actitudes de las 671 Fallas Intermedias interpretadas del Mapa Interpretación Estructural TTE Sub6 Hun, tanto la gráfica del diagrama de puntos como del diagrama de contornos, son similares a los del Mapa Interpretación Estructural TTE Sub6 Pro (Figuras 4.22 y 4.23). La

diferencia que se menciona es que en el segundo, el diagrama de contornos o de concentración de polos, la densidad de probabilidad cercana al punto cardinal Sur es inferior, deducida por una menor cantidad de tonos grises, llegando a un máximo local de rango 7,5 a 9% de probabilidad.

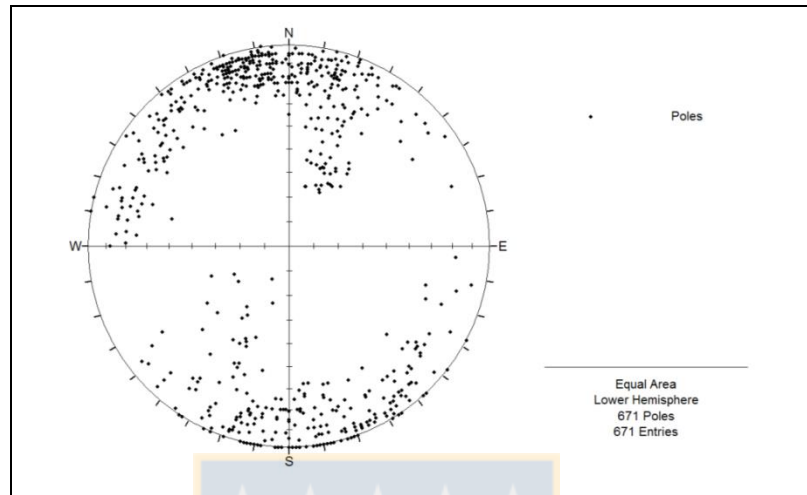


Figura 4.22: Proyección estereográfica (equiareal) de polos con actitudes de Fallas Intermedias del Sub6 Nivel Hundimiento.

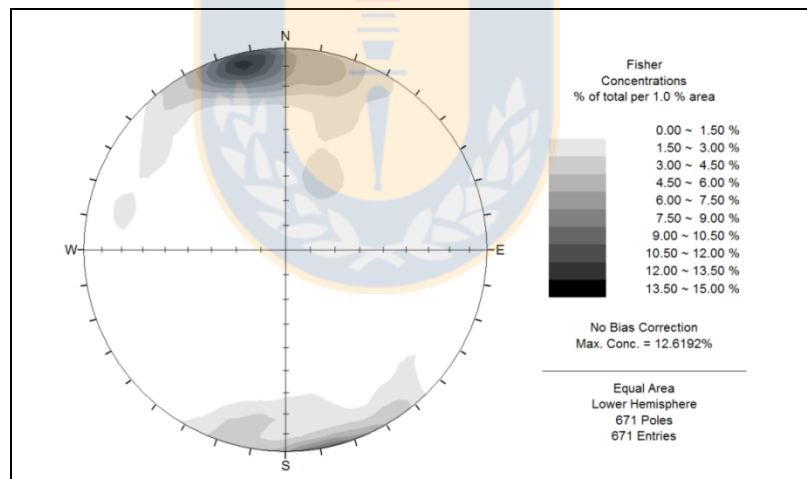


Figura 4.23: Diagrama de Concentración de Polos para Fallas Intermedias del Sub6 Nivel Hundimiento.

Finalmente se presentan los diagramas para el Total Sub6 (Figura 4.24 y 4.25), tomando en cuenta todas las Fallas Intermedias de ambos niveles. La proyección estereográfica de polos indica una menor concentración de ellos en una franja EW, con una distribución poco uniforme y dos máximos difusos, uno cercano al punto cardinal Norte y otro cercano al Sur. Esto concuerda con lo que expresa el Diagrama de Concentración de Polos, que revela la concentración de ellos también cercana a los puntos cardinales Norte y Sur, con un máximo de probabilidad de un 12,6% a unos 15° al W, cercano de la circunferencia, vinculado a polos de falla de alto ángulo y orientación

cercana al EW, más específicamente, relacionado a un rumbo  $N75^{\circ}E$ . Se aprecia otro máximo cercano al punto cardinal Sur con una concentración máxima dentro del rango 9-10,5%. Los patrones de distribución son similares en todos los gráficos.

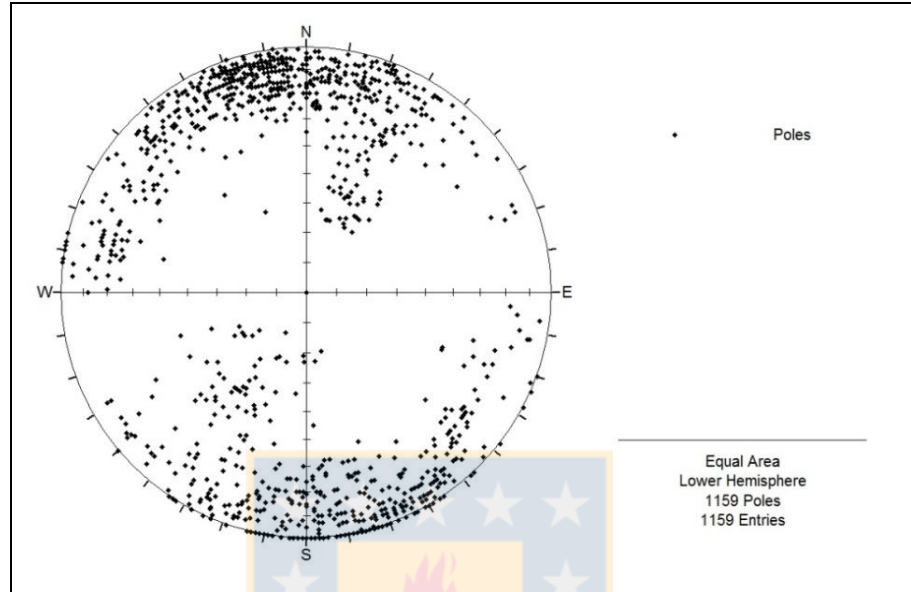


Figura 4.24: Proyección estereográfica (equiareal) de polos con actitudes de todas las Fallas Intermedias (Total Sub6).

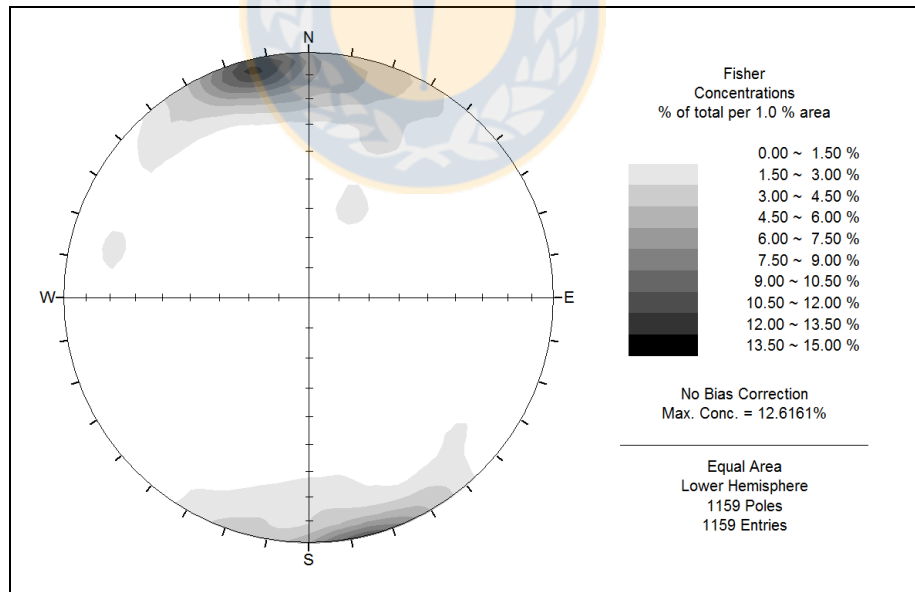


Figura 4.25: Diagrama de Concentración de Polos para todas las Fallas Intermedias (Total Sub6).

A partir de los diagramas se infiere que existe mayor probabilidad de encontrar fallas de alto ángulo con orientación cercana al rumbo N75°E, y que en ambos niveles del Sub6 la actitudes de las fallas son similares.

#### 4.4.2.2. Rumbo

En lo concerniente al rumbo, con el fin de simplificar los resultados, se precisan cuatro direcciones preferenciales: N-S, E-W, NW-SE y NE-SW. Para ello se establecen rangos de *DipDirection* equivalentes. Se define que fallas con una orientación preferencial N-S en el rumbo, tienen *DipDirection* entre 67,5 a 112,5° o entre 247,5 a 292,5°, incluyendo estos valores. Esta y las otras direcciones preferenciales de rumbo mencionadas, se aclaran en la Tabla 4.10, y se ilustran en la Figura 4.26. Por ejemplo, una falla con *DipDirection* 100° equivale a una orientación o rumbo igual a N10°E, así pues, se incluye en la orientación preferencial N-S.

Tabla 4.10: Orientaciones preferenciales de rumbos asociadas a rangos de *DipDirection*.

Orientación del Rumbo	Rango 1 (°)	Rango 2 (°)
N-S	[67,5 ; 112,5]	[247,5 ; 292,5]
E-W	[157,5 ; 202,5]	[337,5 ; 22,5]
NW-SE	]202,5 ; 247,5[	]22,5 ; 67,5[
NE-SW	]112,5 ; 157,5[	]292,5 ; 337,5[

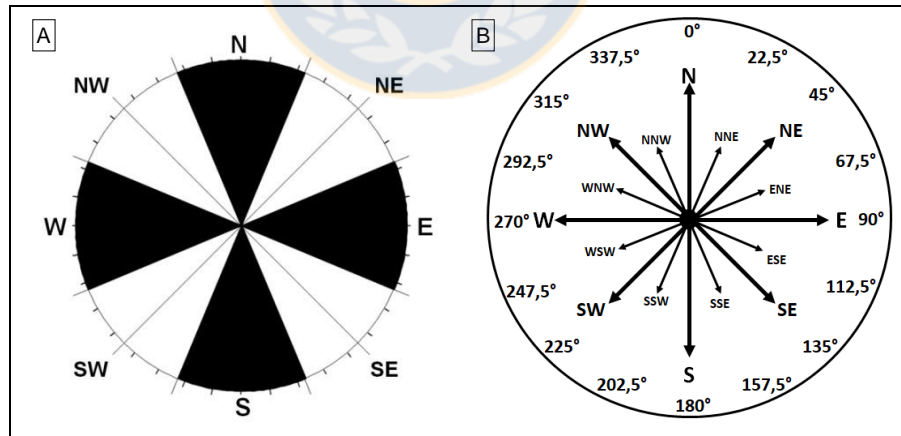


Figura 4.26: A) Orientaciones preferenciales de rumbos. B) Orientaciones asociadas a los ángulos de *DipDirection*.

De forma general (Total Sub6), los rumbos típicos de Fallas Intermedias presentan mayoritariamente rumbos en la dirección preferencial E-W representado con el 57% de los datos, seguido de la orientación NE-SW con 1/5 de los datos, muy de cerca la orientación NW-SE con el 17% de ellos, y la menor cantidad de fallas poseen orientación N-S (Figura 4.27). En relación al análisis por nivel,

las proporciones en ambos son muy similares. El detalle de la cantidad de fallas y porcentajes se muestra en la Tabla 4.11.

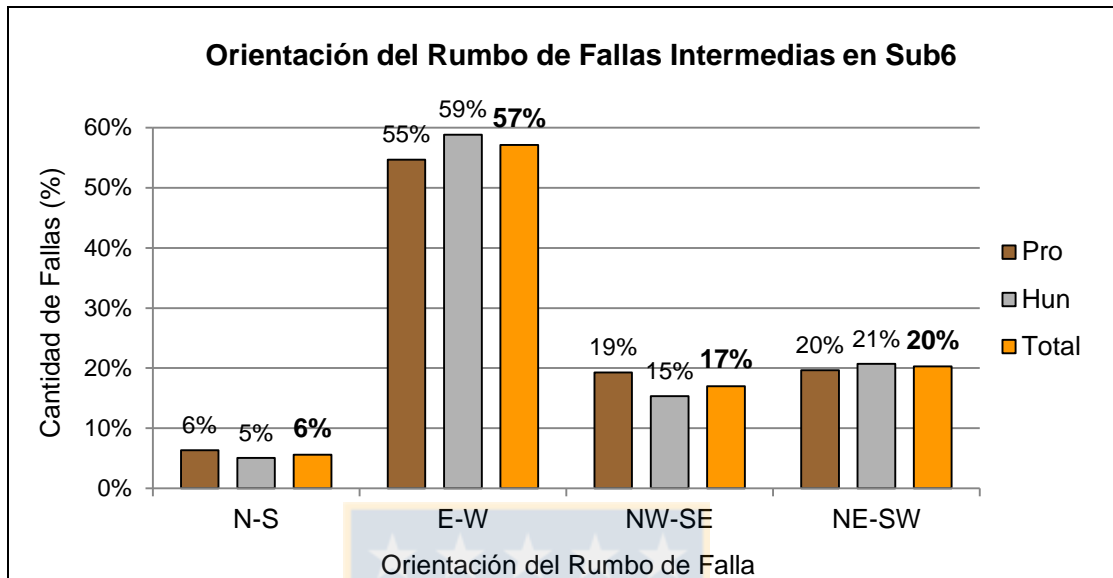


Figura 4.27: Histograma de la cantidad de Fallas Intermedias según las cuatro orientaciones preferenciales en el Sub6.

Tabla 4.11: Resumen del número de fallas y su respectivo porcentaje según orientación en cada nivel y de forma total en el Sub6.

Orientación del Rumbo	TTE Sub6 Pro		TTE Sub6 Hun		Total Sub6	
	N°	Porcentaje	N°	Porcentaje	N°	Porcentaje
N-S	31	6,4%	34	5,1%	65	5,6%
E-W	267	54,7%	395	58,9%	662	57,1%
NW-SE	94	19,3%	103	15,4%	197	17,0%
NE-SW	96	19,7%	139	20,7%	235	20,3%
Total Fallas	488	100,0%	671	100,0%	1.159	100,0%

Otra forma de representar las direcciones de rumbos generales de fallas es por medio de un diagrama de roseta, que se puede describir como un histograma de forma redonda (Figura 4.28). Estos diagramas se relacionan de manera directa y complementaria a los de densidad de polos, pues muestran una dirección preferencial entre N70°E a N80°E y orientaciones cercanas, indicado por los brazos más largos o más cercanos a la circunferencia externa. En la Fig. 4.28A la circunferencia exterior representa 100 fallas, en la 4.28B 130 fallas y en la Fig. 4.28C (Total Sub6) 235 fallas. En esta última roseta, las direcciones preferenciales son ENE-WSW, E-W y orientaciones contiguas.

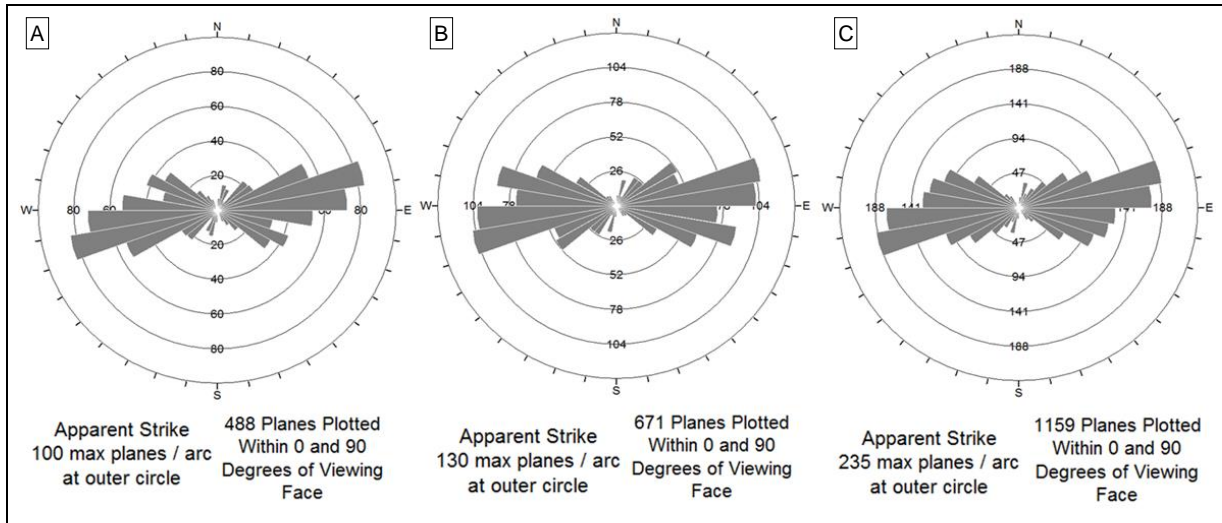


Figura 4.28: Diagramas de Roseta de Fallas Intermedias del Sub6 Nivel Producción (A), Sub6 Nivel Hundimiento (B) y Total Sub6 (C).

#### 4.4.2.3. Manteo

En esta caracterización se estipulan 4 rangos de ángulo de Manto (*Dip*) arbitrarios. De 0 a 45° (Bajo ángulo de manteo), de 45 a 60° (moderado), de 60 a 75° (alto) y de 75 a 90° (vertical a subvertical).

Los datos indican que la mayoría de las fallas, más del 60%, son de muy alto ángulo, verticales a subverticales (ángulo de manteo de 75 a 90°), seguido de fallas de alto ángulo (de 60 a 75°) que representan la cuarta parte de los datos, y finalmente manteos inferiores a 60° representan en conjunto el 11% de los datos (Figura 4.29).

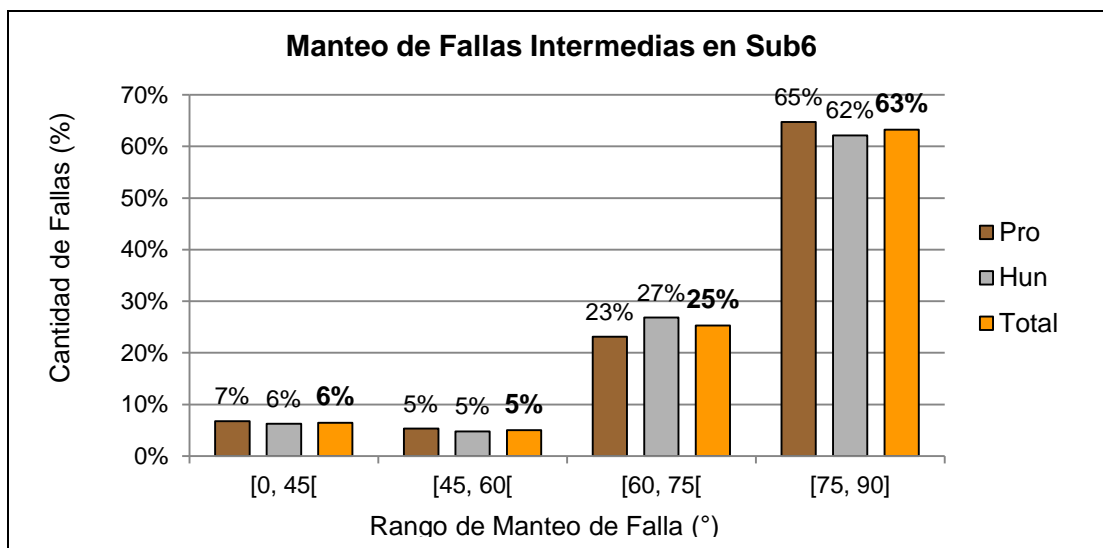


Figura 4.29: Histograma del porcentaje de Fallas Intermedias según rangos de manteo en el Sub6.

Entre los dos niveles las proporciones de fallas son muy similares. El detalle de la cantidad de fallas y su porcentaje respectivo se presenta en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12: Resumen del número de fallas y su respectivo porcentaje según rango de manto en cada nivel y de forma total en el Sub6.

Tipo de falla según Manteo	TTE Sub6 Pro		TTE Sub6 Hun		Total Sub6	
	N°	Porcentaje	N°	Porcentaje	N°	Porcentaje
Bajo ángulo [0°, 45°[	33	6.8%	42	6.3%	75	6.5%
Moderado ángulo [45°, 60°[	26	5.3%	32	4.8%	58	5.0%
Alto ángulo [60°, 75°[	113	23.2%	180	26.8%	293	25.3%
Muy alto ángulo, verticales a subverticales [75°, 90°]	316	64.8%	417	62.1%	733	63.2%
Total Fallas	488	100.0%	671	100.0%	1.159	100.0%

Estos resultados están influenciados por método de mapeo que considera sólo las estructuras que atraviesan la gradiente que es la cota horizontal a un metro del suelo; esto podría subestimar la cantidad de fallas de bajo ángulo, pero esto es bajo, pues una falla de bajo ángulo que no atraviesa la gradiente en el sector de mapeo, es mapeada en el sector de la mina donde efectivamente atravesase la gradiente, si se da el caso.

El manto, tiene asociado una dirección de inclinación que marca hacia dónde se inclina el plano. De acuerdo a esto se definen ocho direcciones: N, NE, E, SE, S, SW, W, NW, separadas 45° una de otra. Se confecciona un gráfico para el Total Sub6 (Figura 4.30).

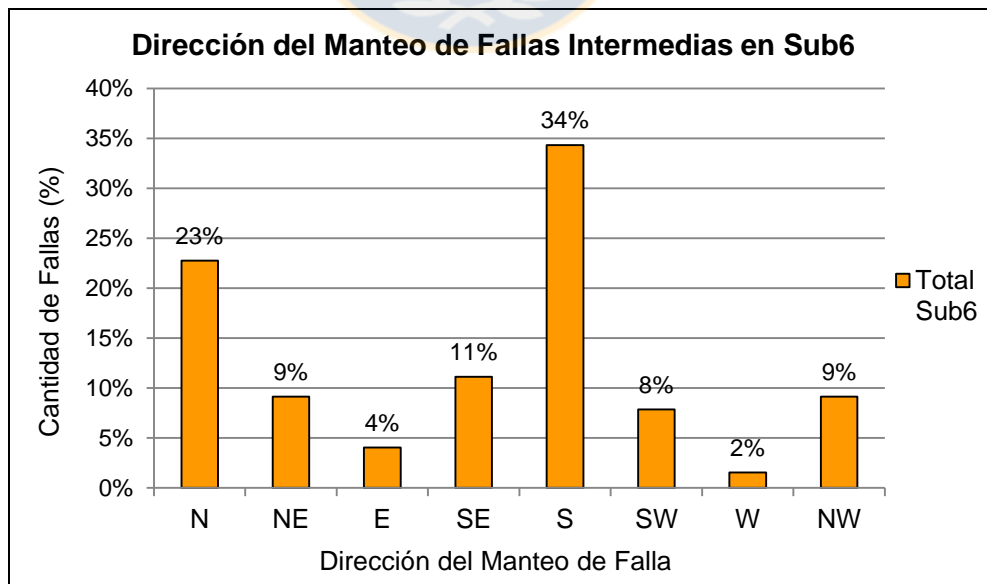


Figura 4.30: Histograma del porcentaje de Fallas Intermedias según dirección del manto en el Sub6.

Se concluye que alrededor de un tercio de las fallas mantean hacia el Sur, luego un 23% mantean al Norte, las demás direcciones son las adyacentes al Norte y al Sur, con porcentajes cercanos al 10%, finalmente la minoría de las fallas mantean al Este (4%) o al Oeste (2%). El detalle por nivel se expone en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13: Resumen del número de fallas y su respectivo porcentaje según la dirección del manto en cada nivel y de forma total en el Sub6.

Dirección del Manto	Rango de ángulos de <i>DipDirection</i> (°)	TTE Sub6 Pro		TTE Sub6 Hun		Total Sub6	
		N°	Porcentaje	N°	Porcentaje	N°	Porcentaje
N	]337,5 ; 22,5[	120	24,6%	144	21,5%	264	22,8%
NE	]22,5 ; 67,5[	62	12,7%	44	6,6%	106	9,1%
E	]67,5 ; 112,5[	20	4,1%	27	4,0%	47	4,1%
SE	]112,5 ; 157,5[	50	10,2%	79	11,8%	129	11,1%
S	]157,5 ; 202,5[	147	30,1%	251	37,4%	398	34,3%
SW	]202,5 ; 247,5[	32	6,6%	59	8,8%	91	7,9%
W	]247,5 ; 292,5[	11	2,3%	7	1,0%	18	1,6%
NW	]292,5 ; 337,5[	46	9,4%	60	8,9%	106	9,1%
		488	100,0%	671	100,0%	1.159	100,0%

La actitud posee la limitación de que las Fallas Intermedias se describen como una discontinuidad planar, con sólo un valor para el rumbo y otro para el manto, definiendo un plano representativo de la estructura, sin embargo, la realidad no es así, pues las estructuras varían en rumbo y manto a lo largo de su traza.

#### 4.4.3. Espesor de Relleno de las Fallas

El espesor de relleno no es uniforme a lo largo de la traza de la falla, por lo que en el mapeo existen tres datos relacionados a este parámetro:

- Espesor mínimo: distancia mínima entre las paredes de los bloques de la falla.
- Espesor máximo: distancia máxima entre las paredes de los bloques de la falla.
- Espesor típico: distancia representativa entre las paredes de los bloques de la falla.

Con el propósito de estudiar el espesor de las Fallas Intermedias, se generan gráficos de frecuencia acumulada (en porcentaje) del espesor máximo y del espesor mínimo. En el nivel de producción el 90% de las fallas poseen un espesor mínimo no supera los 2,0 cm, y aproximadamente el 90% tiene un espesor máximo que no supera los 5,0 cm. En el nivel de hundimiento las características de los espesores es muy similar, con líneas de frecuencia acumuladas que tienen un comportamiento casi idéntico (Figura 4.31).

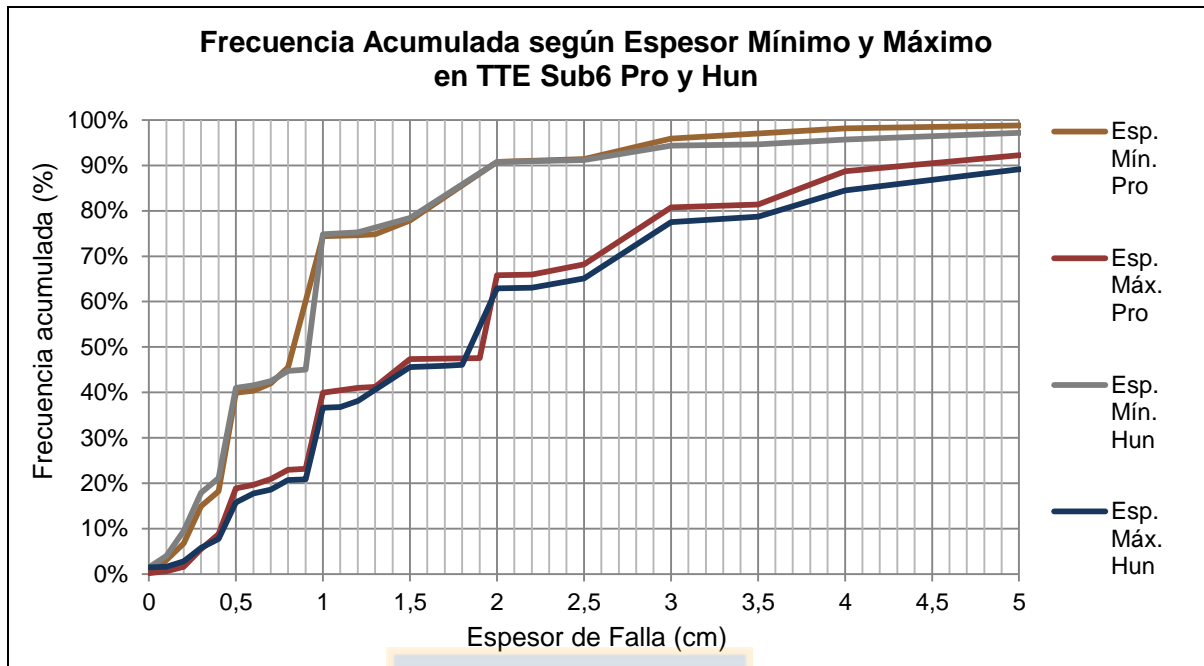


Figura 4.31: Gráfico de frecuencia acumulada de espesores mínimo y máximo de Fallas Intermedias del Sub6 (N. Producción: Pro y N. Hundimiento: Hun).

En el nivel de producción, el promedio del espesor mínimo es 1,2 cm y el del espesor máximo es 2,5 cm; mientras que en el nivel de hundimiento, el promedio del espesor mínimo es 1,3 cm y el del espesor máximo es 3,1 cm. Los valores de espesor mínimo y máximo que más se repiten son 1,0 cm y 2,0 cm, respectivamente en ambos niveles, y coinciden con el de la mediana en cada grupo de datos. Estos parámetros estadísticos se exponen en la Tabla 4.14. Los espesores son levemente superiores en el nivel de hundimiento.

Tabla 4.14: Parámetros estadísticos del espesor mínimo y máximo de las fallas del Sub6.

Mapa	N° Datos (Fallas)	Promedio		Moda		Mediana	
		Esp. Mín. (cm)	Esp. Máx. (cm)	Esp. Mín. (cm)	Esp. Máx. (cm)	Esp. Mín. (cm)	Esp. Máx. (cm)
TTE Sub6 Pro	488	1,2	2,5	1,0	2,0	1,0	2,0
TTE Sub6 Hun	671	1,3	3,1	1,0	2,0	1,0	2,0
Total Sub6	1.159	1,3	2,9	1,0	2,0	1,0	2,0

Debido a que no existe el dato del espesor típico en los Mapas Interpretación Estructural, se recurre a los Mapa Base. En ellos se definen las "Fallas Intermedias MB", que realmente no son fallas intermedias propiamente tal, sino que es un afloramiento en terreno de una falla, mapeado en una labor. Se consideran "Fallas Intermedias MB" aquellas con una traza del intervalo [4 m, 100 m], según la definición tradicional de las estructuras en El Teniente (Tabla 2.3).

Las curvas de frecuencia acumulada para los espesores de las “Fallas Intermedias MB” del nivel de producción (Figura 4.32) indican que el 90% de ellas poseen espesor mínimo menor o igual a 1,6 cm, espesor máximo menor a 4,0 cm y espesor típico menor o igual a 2,3 cm. El promedio del espesor mínimo es 0,8 cm, del espesor máximo 2,1 cm y del espesor típico 1,3 cm. Estos valores se resumen en la Tabla 4.15.

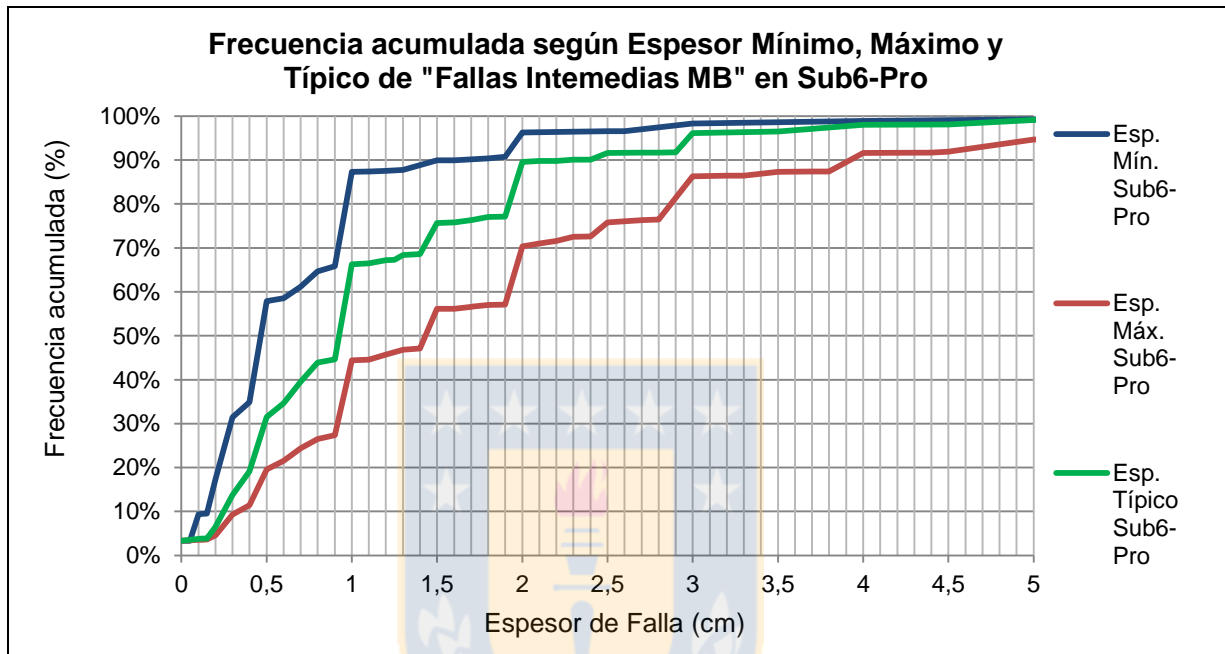


Figura 4.32: Gráfico de frecuencia acumulada de espesores mínimo, máximo y típico de “Fallas Intermedias MB” de Sub6-Pro.

Tabla 4.15: Parámetros estadísticos de los espesores de las "Fallas Intermedias MB" del Sub6.

Mapa	N° Datos (Fallas MB)	Promedio			Moda	Mediana
		Esp. Mín. (cm)	Esp. Máx. (cm)	Esp. Típ. (cm)	Esp. Típ. (cm)	Esp. Típ. (cm)
Sub6-Pro	2.520	0,8	2,1	1,3	1,0	1,0
Sub6-Hun	2.209	0,9	2,3	1,3	1,0	1,0
MB Sub6	4.729	0,8	2,2	1,3	1,0	1,0

En el nivel de hundimiento el 90% de las “Fallas Intermedias MB” poseen un espesor mínimo inferior a 2,0 cm, un espesor máximo no supera los 4,5 cm y un espesor típico inferior o igual a 2,5 cm (Figura 4.33). El promedio del espesor mínimo es 0,9 cm, del espesor máximo 2,3 cm y del espesor típico 1,3 cm (Tabla 4.15).

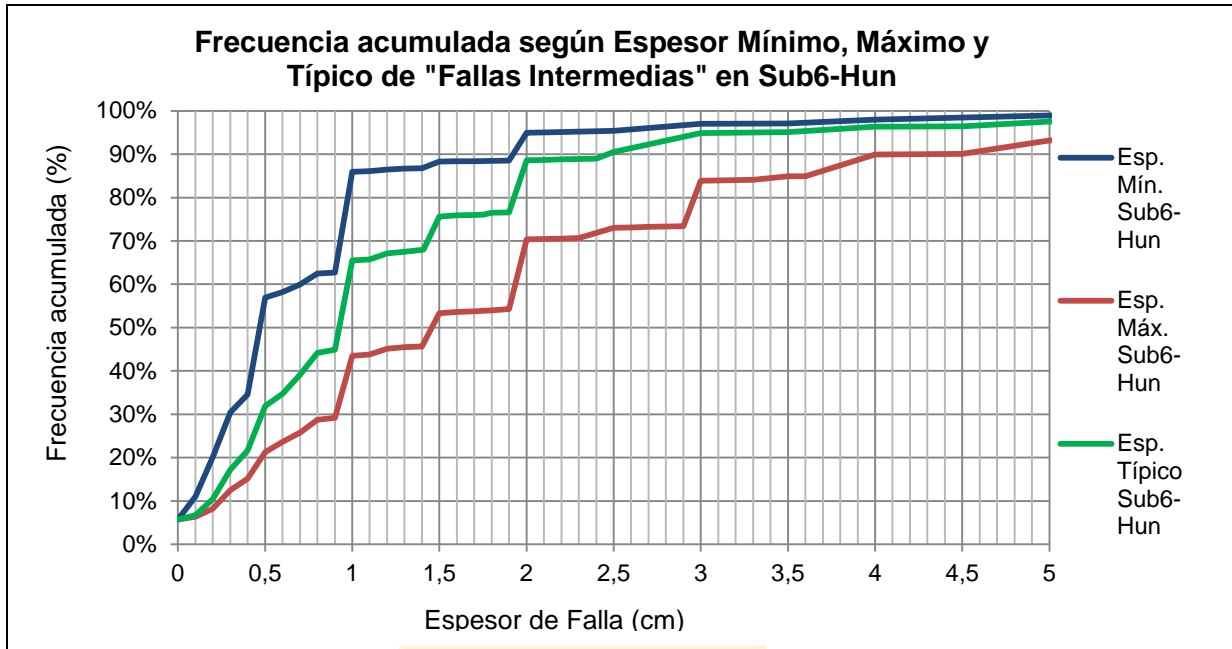


Figura 4.33: Gráfico de frecuencia acumulada de espesores mínimo, máximo y típico de "Fallas Intermedias MB" de Sub6-Hun.

Los espesores mínimos y máximos promedios del Mapa Base Total son menores que los de los Mapa Interpretación (Total Sub6), que está relacionado a que las "Fallas Intermedias MB" corresponden sólo una parte que aflora de las fallas del modelo geológico.

El espesor mínimo promedio del Mapa Interpretación es 1,5 veces el del Mapa Base, y el espesor máximo lo es 1,3 veces (Tabla 4.16); y en promedio los datos de espesor del Mapa Interpretación son aproximadamente 1,4 veces los del Mapa Base. Si se toma en cuenta esta relación, se puede calcular el espesor típico promedio del Mapa Interpretación como 1,4 veces el del Mapa Base, que daría un resultado de 1,8 cm (Tabla 4.16). Se recomienda agregar el dato del espesor típico al Mapa Interpretación.

Tabla 4.16: Relación entre promedios de espesores del Mapa Interpretación y del Mapa Base.  $X=1,8$  cm.

	Esp. Mín. (cm)	Esp. Máx. (cm)	Esp. Tip. (cm)
Promedio Mapa Interpretación (Total Sub6)	1,2774	2,8584	X
Promedio Mapa Base (MB Sub6)	0,8487	2,2294	1,2945
Relación M.Int./M. Base	1,5051	1,2821	1,3936

Finalmente se analiza toda la población de Fallas Intermedias en Sub6. El promedio del espesor mínimo, máximo y típico es 1,3 cm, 2,9 cm y 1,3 cm respectivamente (Tabla 4.14 y 4.15). En ese mismo orden, los valores de moda son 1,0 cm, 2,0 cm y 1,0 cm, y son los mismos que las medianas.

Los dos primeros son calculados en base a las Fallas Intermedias y el espesor típico se obtiene de las "Fallas Intermedias MB". De acuerdo a relaciones anteriormente mencionadas, el promedio del espesor típico para Fallas Intermedias sería 1,8 cm.

Con respecto a las frecuencias acumuladas, el 90% de los espesores mínimo es igual o menor a 2,0 cm; el 90% de los espesores máximos es igual o menor a 5,0 cm; y el 90% de los espesores típicos es igual o menor a 2,5 cm (Figura 4.34). El detalle de los valores para la frecuencia acumulada para el Total Sub6 está en Anexo C.

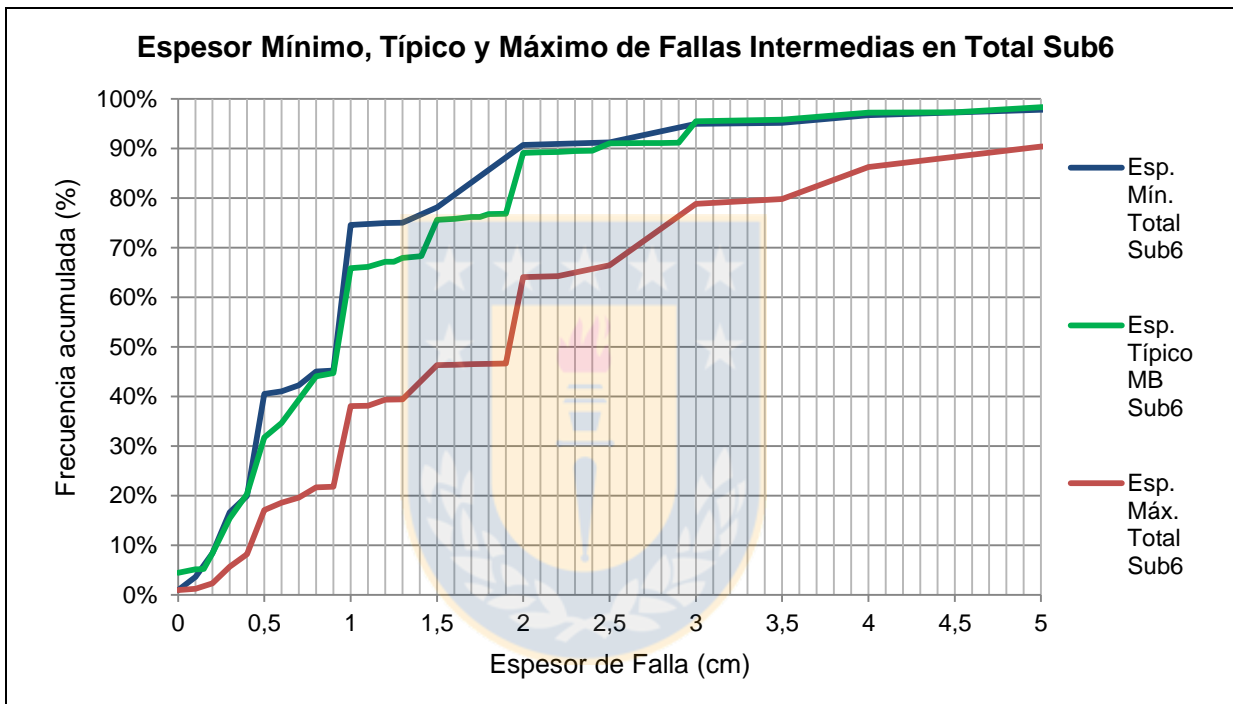


Figura 4.34: Gráfico de frecuencia acumulada de espesores mínimo y máximo de Fallas Intermedias y de espesor típico de "Fallas Intermedias MB".

El rango de espesores característicos podría asociarse a los rangos intercuartílicos (sobre el 25% inferior y bajo el 25% superior de la población) que varían entre 0,5 a 1,2 cm para el espesor mínimo, entre 1,0 a 3,0 cm para el espesor máximo, y entre 0,5 a 1,5 cm para el espesor típico. Se muestra una falla con espesores dentro de los rangos característicos en la Figura 4.35.

#### 4.4.4. Material de Relleno de las Fallas

El material de relleno se describe según composición mineralógica y cantidad relativa, para lo cual la base de datos guarda los cuatro rellenos enumerados según abundancia, desde el más abundante

(relleno 1) al menos abundante (relleno 4). También se pueden emplear los conceptos equivalentes: mayoritario= relleno 1, abundante= relleno 2, moderado= relleno 3 y escaso= relleno 4.

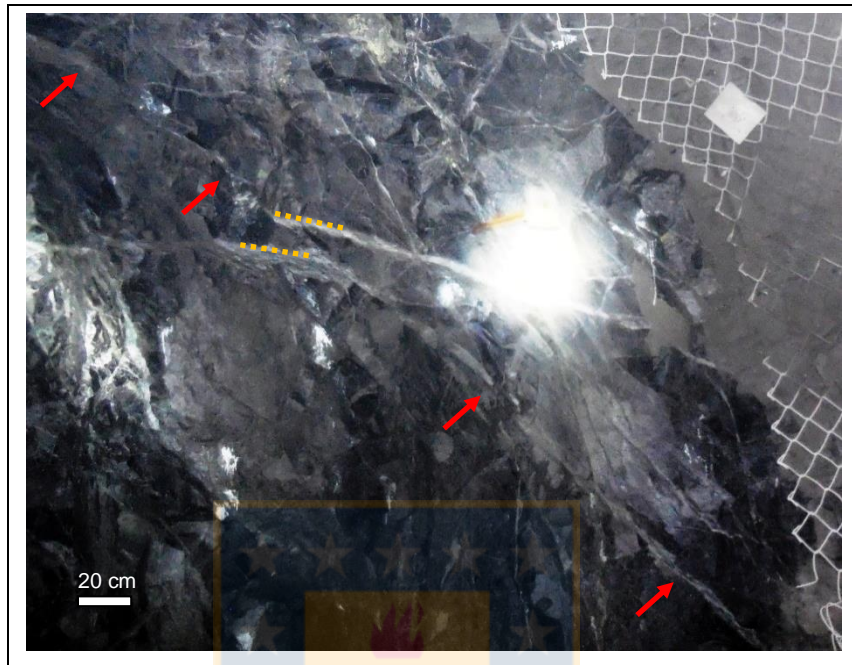


Figura 4.35: Falla en el techo de una frente de avance en Reservas Norte con pocos milímetros-centímetros de espesor (su traza está indicada por flechas rojas y va desde la esquina superior izquierda a la inferior derecha). Corta a una vetilla (líneas naranjas punteadas).

En primer lugar se analizan los cinco rellenos más característicos según predominancia, es decir los cinco rellenos que más se observan como relleno 1 o mayoritario, los cinco rellenos que más se observan como relleno 2 o abundante y así sucesivamente, según al nivel que pertenecen (Producción o Hundimiento) y posteriormente según Total Sub6.

Los minerales más típicos como relleno 1 o mayoritario son anhidrita, carbonato, yeso, cuarzo y salbanda en ambos niveles (Figura 4.36). Los porcentajes son similares, para anhidrita, el mineral más abundante se presenta en un 52,0% en el N. Producción versus un 38,5% en el nivel de hundimiento. En segundo lugar, carbonato con 13,9% en N. Producción y 23,6% en N. Hundimiento. Luego los porcentajes son relativamente similares (Tabla 4.17). Los minerales otros rellenos corresponden a: calcopirita, turmalina, ankerita, clorita, molibdenita, bornita, baritina, cuyos porcentajes individuales representan al menos el 1%.

Como relleno 2 o abundante, los tres más típicos son los mismos que los de relleno 1 (mayoritario), es decir: anhidrita, carbonato y yeso. En el nivel de producción la anhidrita (18,8%) es el más típico

como abundante, luego carbonato, yeso, calcopirita y clorita, mientras que en el N. Hundimiento, los más típicos son carbonato (26,5%), anhidrita, yeso, clorita, como se observa en la Figura 4.37. Otros rellenos corresponden a: ankerita, molibdenita, bornita, cuarzo, salbanda, turmalina, tennantita y calcita.

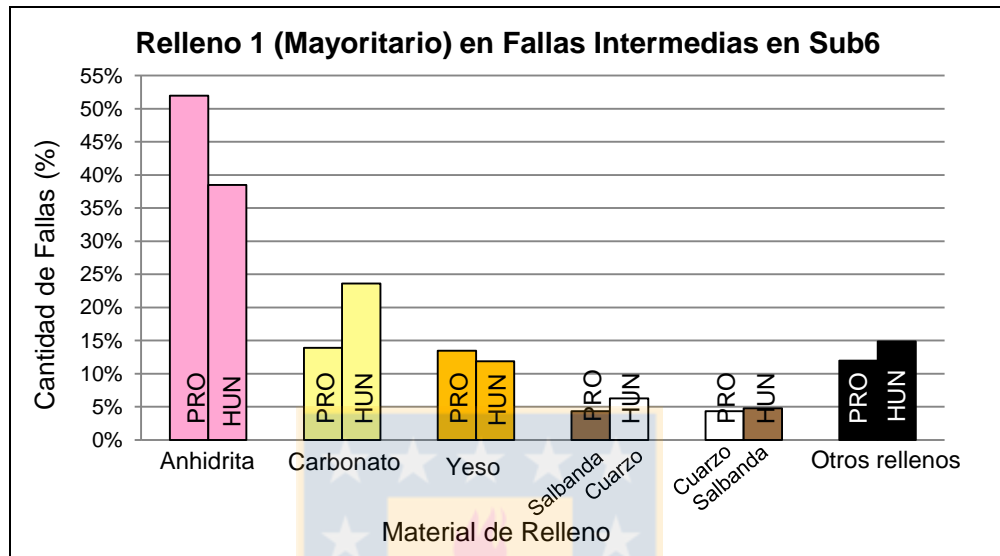


Figura 4.36: Histograma de los cinco rellenos más típicos como relleno 1 o "mayoritario" en el Sub6 (Producción y Hundimiento).

Tabla 4.17: Minerales típicos como relleno 1, 2, 3 y 4, en Sub6 Producción y Hundimiento.

<b>Relleno 1 TTE Sub6 Pro</b>	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Salbanda	Cuarzo	Otros rellenos	N° Datos
	52,0%	13,9%	13,5%	4,3%	4,3%	12,0%	460
<b>Relleno 1 TTE Sub6 Hun</b>	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Cuarzo	Salbanda	Otros rellenos	N° Datos
	38,5%	23,6%	11,9%	6,3%	4,8%	14,9%	605
<b>Relleno 2 TTE Sub6 Pro</b>	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Calcopirita	Clorita	Otros rellenos	N° Datos
	18,8%	16,4%	13,2%	12,3%	8,7%	30,5%	446
<b>Relleno 2 TTE Sub6 Hun</b>	Carbonato	Anhidrita	Yeso	Clorita	Calcopirita	Otros rellenos	N° Datos
	26,5%	18,6%	9,9%	8,5%	8,4%	28,0%	574
<b>Relleno 3 TTE Sub6 Pro</b>	Calcopirita	Carbonato	Clorita	Yeso	Bornita	Otros rellenos	N° Datos
	21,9%	15,0%	11,3%	8,1%	8,1%	35,6%	407
<b>Relleno 3 TTE Sub6 Hun</b>	Calcopirita	Carbonato	Anhidrita	Clorita	Turmalina	Otros rellenos	N° Datos
	19,6%	16,1%	9,7%	9,7%	8,5%	36,3%	515
<b>Relleno 4 TTE Sub6 Pro</b>	Calcopirita	Clorita	Bornita	Carbonato	Molibdenita	Otros rellenos	N° Datos
	23,7%	11,4%	8,7%	8,4%	7,7%	40,1%	299
<b>Relleno 4 TTE Sub6 Hun</b>	Calcopirita	Molibdenita	Carbonato	Anhidrita	Bornita	Otros rellenos	N° Datos
	18,8%	17,0%	10,7%	8,1%	7,8%	37,6%	335

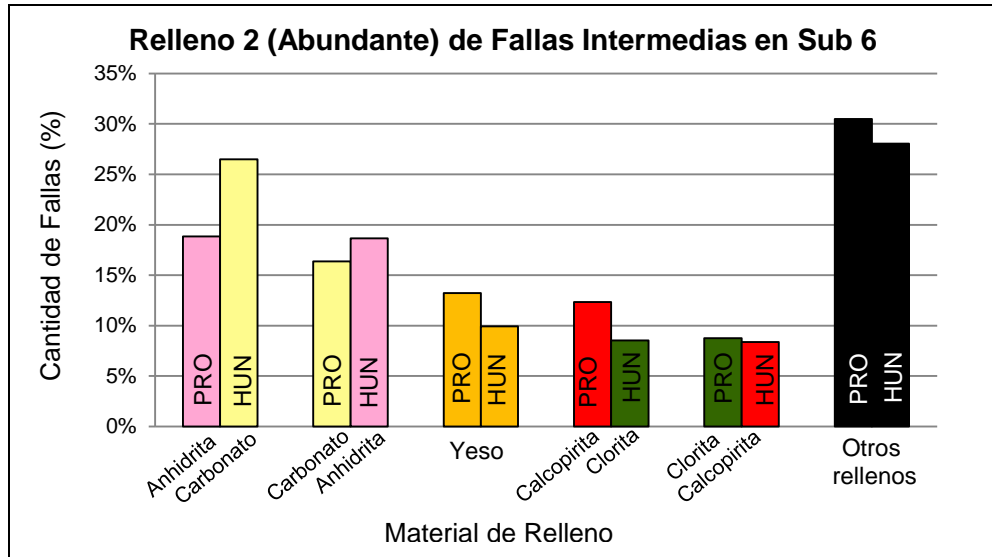


Figura 4.37: Histograma de los cinco rellenos más típicos como relleno 2 o "abundante" en el Sub6 (Producción y Hundimiento).

Como relleno 3 o moderado los minerales más típicos son: calcopirita y carbonato en ambos niveles, luego clorita, yeso y bornita, en Nivel Producción; anhidrita, clorita y turmalina en Hundimiento (Figura 4.38).

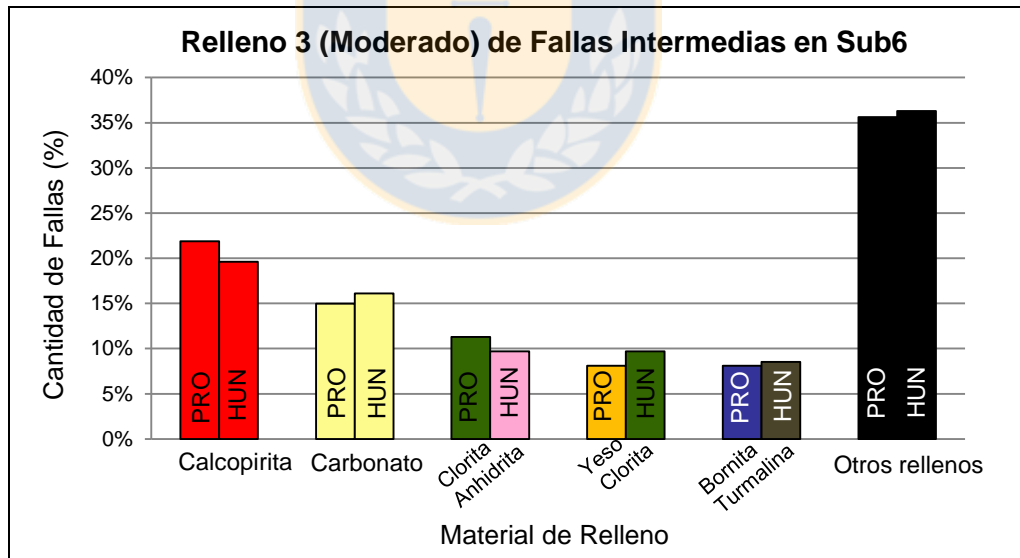


Figura 4.38: Histograma de los cinco rellenos más típicos como relleno 3 o "moderado" en el Sub6 (Producción y Hundimiento).

Los rellenos escasos más típicos son calcopirita, clorita, bornita, carbonato y molibdenita, en nivel de producción; y calcopirita, molibdenita, carbonato, anhidrita y bornita en el nivel de hundimiento como (Figura 4.39).

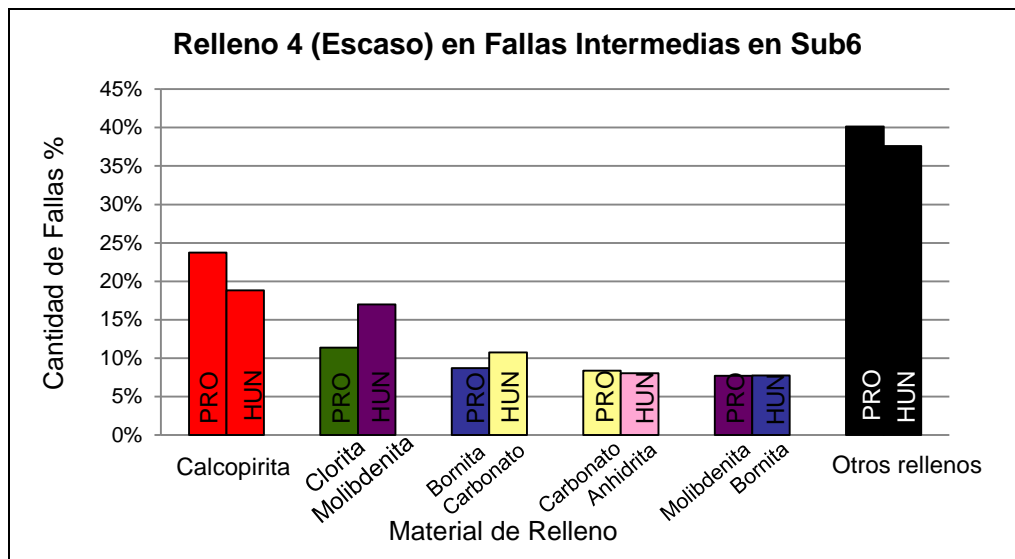


Figura 4.39: Histograma de los cinco rellenos más típicos como relleno 4 o "escaso" en el Sub6 (Producción y Hundimiento).

A partir de los resultados anteriores se infiere que el parámetro del material de relleno es similar en ambos niveles, tanto en minerales como en su respectiva abundancia. Los porcentajes de los gráficos exhibidos se resumen en la Tabla 4.17.

Ahora bien, analizando las 1.159 Fallas Intermedias del Total Sub6, los minerales descritos como relleno 1 (mayoritario) más típicos son: anhidrita (44,3%), carbonato (19,4%), yeso, cuarzo y salbanda (Figura 4.40). Otros rellenos que menos comúnmente se encuentran como mayoritarios son: calcopirita, turmalina, clorita y molibdenita.

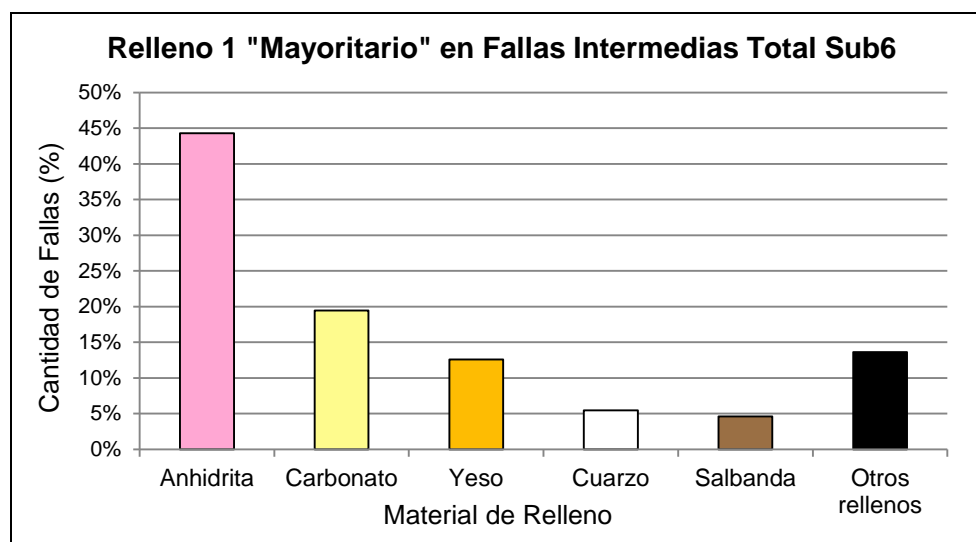


Figura 4.40: Histograma de los cinco rellenos más típicos como relleno 1 o "mayoritario" en Total Sub6.

Como relleno secundario o abundante, los minerales más típicos son: carbonato (22,1%), anhidrita (18,7%), yeso, calcopirita y clorita (Figura 4.41). Otros rellenos encontrados en menor cantidad son: turmalina, molibdenita, cuarzo, ankerita, bornita, salbanda y tennantita.

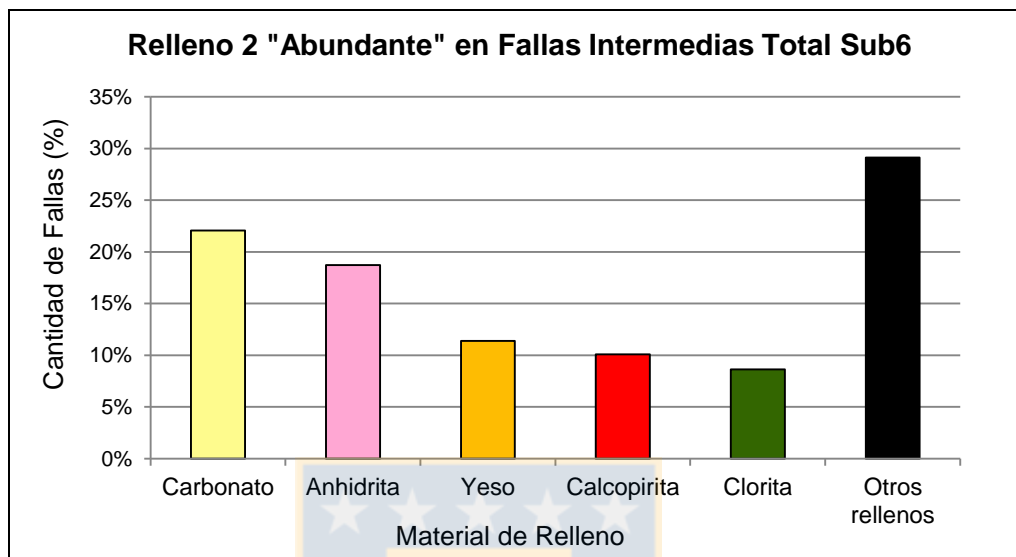


Figura 4.41: Histograma de los cinco rellenos más típicos como relleno 2 o "abundante" en Total Sub6.

Los minerales con presencia moderada son: calcopirita (20,6%), carbonato (15,6%), clorita, anhidrita y yeso (Figura 4.42). Otros minerales son: turmalina, bornita, molibdenita, cuarzo, tennantita, salbanda y ankerita.

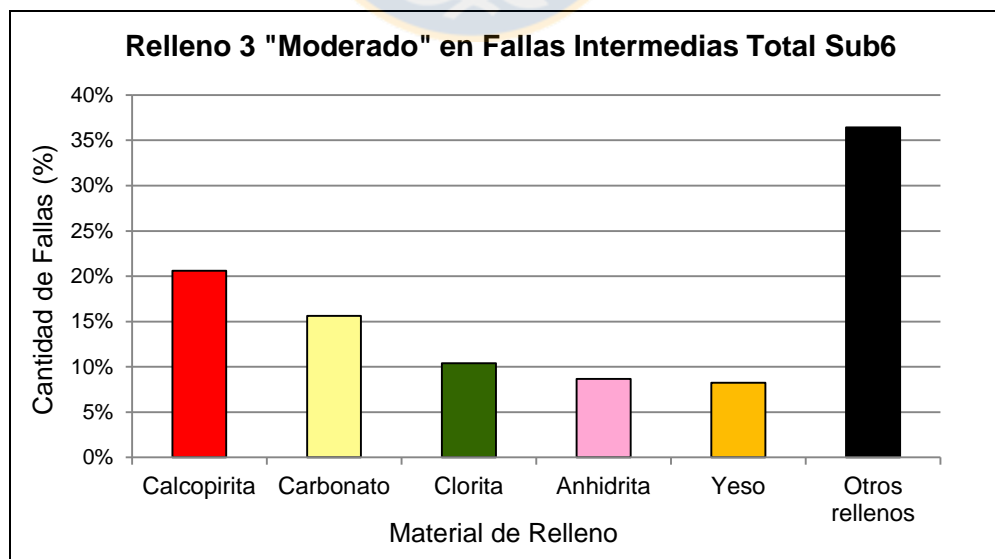


Figura 4.42: Histograma de los cinco rellenos más típicos como relleno 3 o "moderado" en Total Sub6.

El relleno escaso está representado por calcopirita (21,1%), molibdenita (12,6%), carbonato, clorita, bornita (Figura 4.43). Otros minerales son: turmalina, tennantita, yeso, ankerita, salbanda, cuarzo y ankerita.

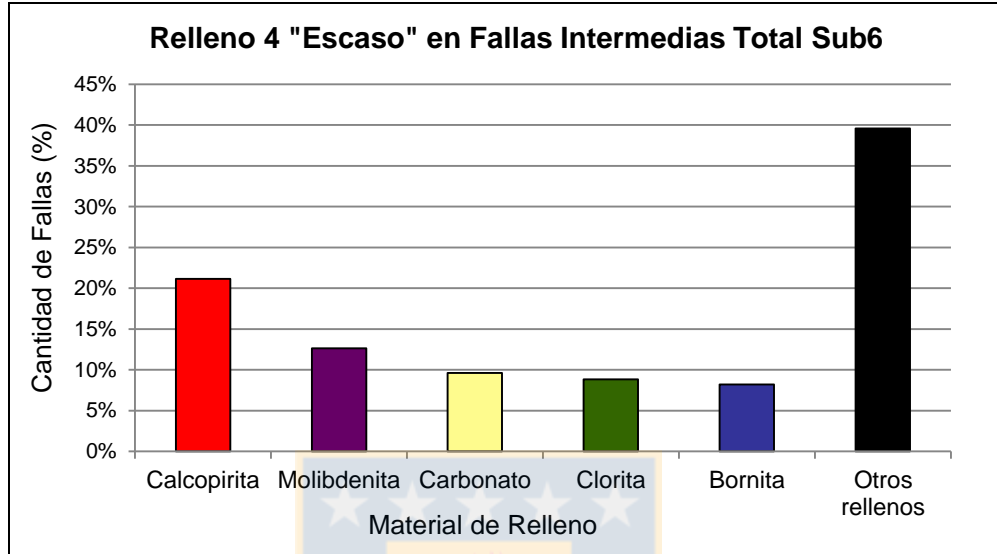


Figura 4.43: Histograma de los cinco rellenos más típicos como relleno 4 o "escaso" en Total Sub6.

La información de los histogramas anteriores se resume en la Tabla 4.18.

Tabla 4.18: Minerales más típicos como relleno 1 (mayoritario), 2 (abundante), 3 (moderado) y 4 (escaso) en Sub6 Total.

Relleno 1 Total Sub6	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Cuarzo	Salbanda	Otros rellenos	N° Datos
	44,3%	19,4%	12,6%	5,4%	4,6%	13,6%	1.065
Relleno 2 Total Sub6	Carbonato	Anhidrita	Yeso	Calcopirita	Clorita	Otros rellenos	N° Datos
	22,1%	18,7%	11,4%	10,1%	8,6%	29,1%	1.020
Relleno 3 Total Sub6	Calcopirita	Carbonato	Clorita	Anhidrita	Yeso	Otros rellenos	N° Datos
	20,6%	15,6%	10,4%	8,7%	8,2%	36,4%	922
Relleno 4 Total Sub6	Calcopirita	Molibdenita	Carbonato	Clorita	Bornita	Otros rellenos	N° Datos
	21,1%	12,6%	9,6%	8,8%	8,2%	39,6%	634

De forma general, entonces, se puede decir que los materiales de relleno más característicos de las Fallas Intermedias son: anhidrita, carbonato, yeso, subordinadamente calcopirita, clorita, cuarzo, salbanda y en menor proporción molibdenita, bornita y turmalina.

El estudio de este parámetro está limitado debido a la forma en que se describe, pues la abundancia de los minerales es sólo comparativa hasta cuatro niveles de abundancia de mayor a menor. Existen fallas que no tienen cuatro materiales de relleno, de ahí la que la cantidad de datos de rellenos

(Tabla 4.18) es menor que la cantidad de fallas de Total Sub6. Además, si bien el mineral descrito como relleno 1 es siempre el mayoritario, el relleno 2 no necesariamente es abundante, ya que pueden existir diferencias de proporciones importantes (ejemplo: el relleno 1 podría representar el 90% del material de relleno y el relleno 2 el 10%). Estas limitaciones están asociadas al método de mapeo, que generalmente es a distancia (por razones de seguridad en muchas ocasiones no se puede observar la falla muy de cerca) que aumenta la incertidumbre de las proporciones exactas y composición el material de relleno.

La Figura 4.44 muestra un plano de falla expuesto con material de relleno mayoritario el yeso (con estrías de falla), moderadamente clorita y escasamente molibdenita.

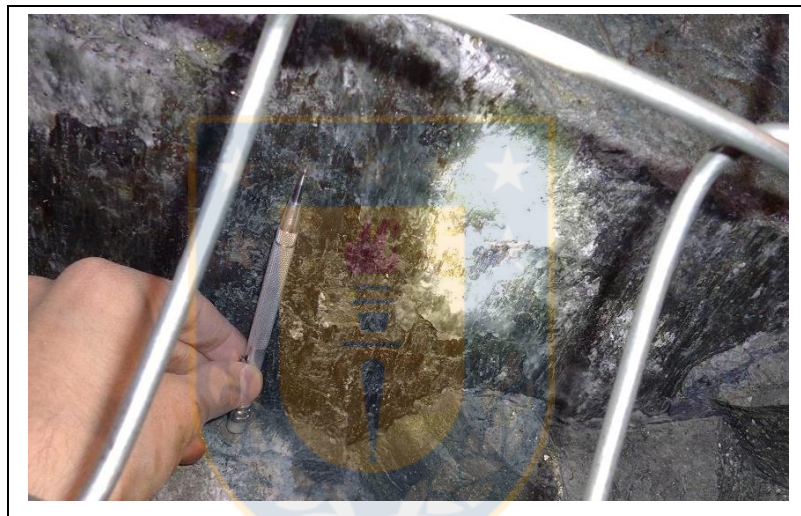


Figura 4.44: Plano de falla con materiales de relleno expuestos: yeso (mayoritario), también hay presencia de clorita y molibdenita.

#### 4.4.5. Ondulación de las Fallas

La base de datos no almacena información con el nombre de “Ondulación” asociada a la descripción de la irregularidad de la superficie de Fallas Intermedias. El concepto más relacionado es “planaridad”, catalogada como: recta, recta a ondulosa, ondulosa o escalonada, que sólo existe en los Mapa Base, por lo que se describe la planaridad de las “Fallas Intermedias MB”. No todas estas fallas tienen información con respecto a la planaridad, por eso en vez de 4.747 fallas en el Mapa "MB Sub6" hay sólo 3.375 (Tabla 4.19). Además se menciona que este parámetro no es abordado de igual forma que en las Fallas Principales, ya que en éstas últimas la ondulación viene dada por el ángulo de variación respecto al rumbo medio de la estructura y no netamente en términos cualitativos, sin embargo, planaridad y ondulación son conceptos similares.

Se describe la planaridad como recta a ondulosa como muy predominante (76%), seguida de fallas rectas, luego ondulosas y muy inusualmente escalonadas (Figura 4.45).

Tabla 4.19: Cantidad de "Fallas Intermedias MB" según planaridad por nivel y de forma total.

Planaridad	Sub6-Pro		Sub6- Hun		MB Sub6	
	N° Fallas	% Fallas	N° Fallas	% Fallas	N° Fallas	% Fallas
Recta	257	13,6%	298	20,1%	555	16,4%
Recta a Ondulosa	1.533	81,0%	1.048	70,7%	2.581	76,5%
Ondulosa	96	5,1%	124	8,4%	220	6,5%
Escalonada	7	0,4%	12	0,8%	19	0,6%
	1.893	100,0%	1.482	100,0%	3.375	100,0%

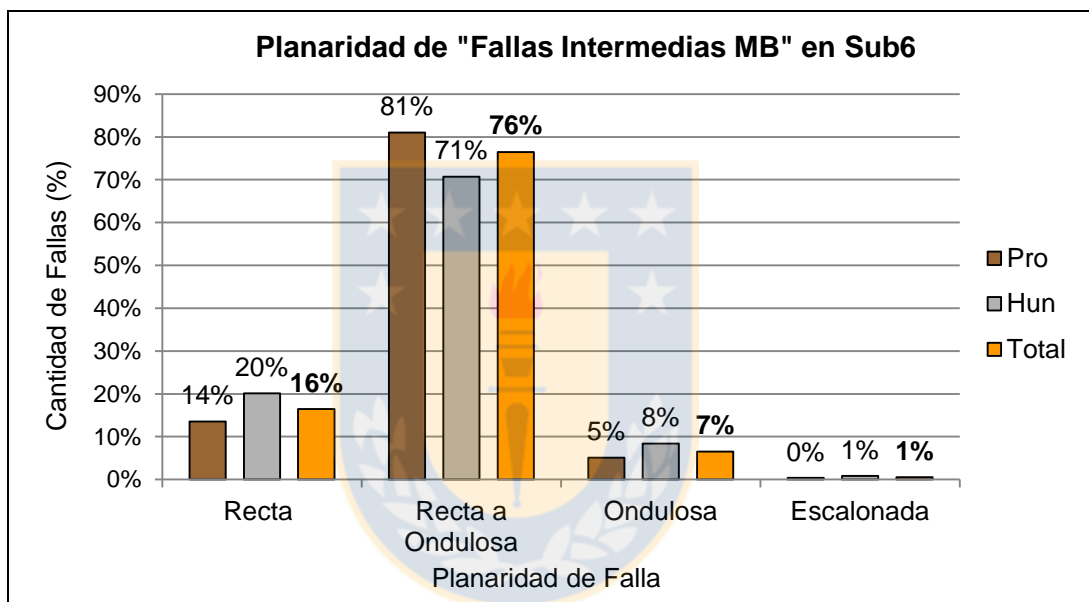


Figura 4.45: Histograma de la planaridad de "Fallas intermedias MB" en Sub6.

## 4.5. Correlación entre Parámetros Críticos

A partir del estudio de los parámetros críticos, es posible caracterizar la naturaleza de las fallas mediante la correlación entre dos variables. A partir de lo analizado anteriormente se examinan las siguientes correlaciones:

### 4.5.1. Espesor y Longitud de Traza

Se estudia la relación entre longitud de traza y espesor (mínimo y máximo) de las fallas interpretadas. A partir del gráfico Figura 4.46 se infiere que a medida que aumenta el largo de falla, el espesor máximo tiende a aumentar y el espesor mínimo tiende a disminuir, lo cual podría deberse

a que una falla con mayor longitud es más irregular en su espesor posee mayores máximos y menores mínimos; sin embargo, los factores de correlación de Pearson,  $r = -0,0541$  para el espesor mínimo y  $r = 0,0509$  para el espesor máximo, indican una correlación muy baja, por lo que la longitud de las fallas con traza de 10 a 100 m tienen una relación muy baja con su espesor de relleno (que varía en un rango de pocos centímetros), de los cuales sus dos cuartiles centrales tiene valores entre 0,5 a 1,2 cm para el espesor mínimo y entre 1,0 a 3,0 cm para el espesor máximo.

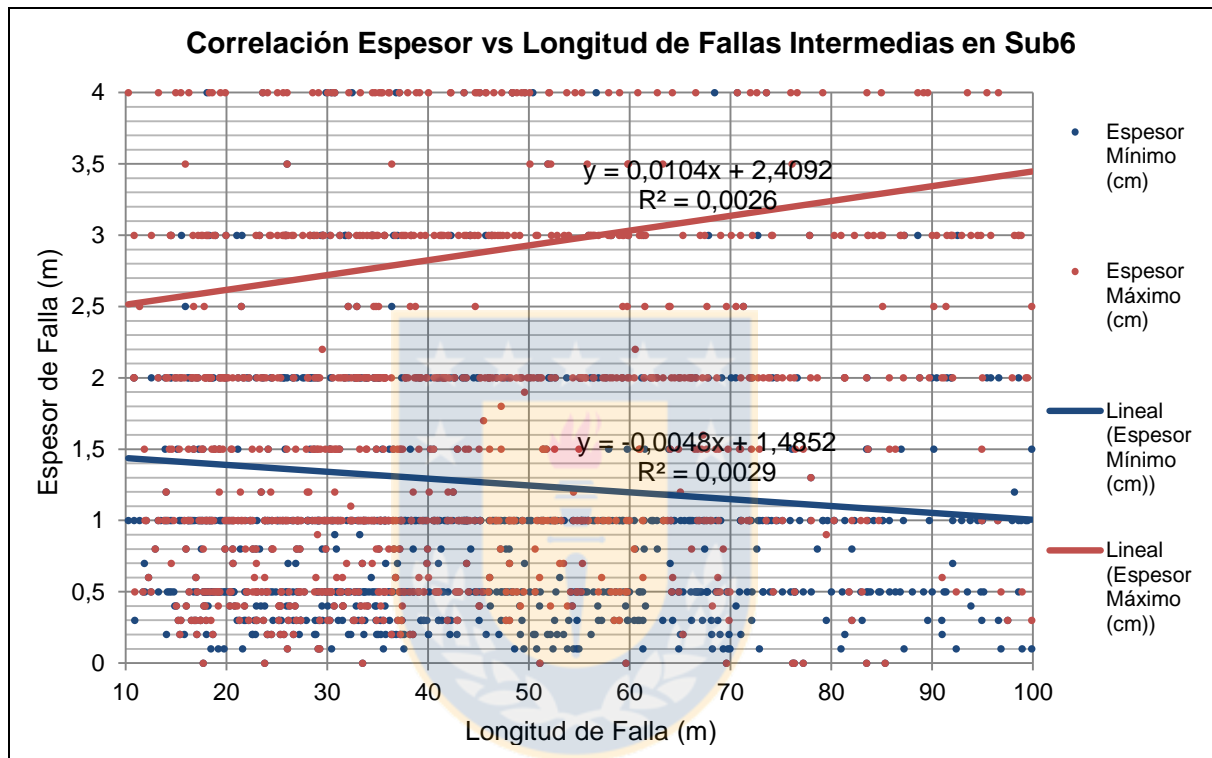


Figura 4.46: Gráfico de correlación entre espesor de relleno y longitud de falla.

Cabe mencionar que las Fallas Principales tienen una correlación positiva alta ( $r = 0,74$ ) (Seguel, 2013), esto determinado en base a un amplio rango de persistencia, donde se consideraron 10 fallas de longitud entre 100 m a 1 km; mientras que las 1.159 Fallas Intermedias tienen una correlación muy baja, relacionada a la desviación estándar de la gran cantidad de datos utilizados, pero el espesor casi siempre toma valores de milímetros o pocos centímetros.

#### 4.5.2. Persistencia Vertical vs. Persistencia Horizontal

Las Fallas Intermedias tienen dato de persistencia horizontal (traza), pero no sobre la persistencia vertical. No obstante, en el trabajo de Seguel (2013) se establece una correlación muy alta entre la persistencia vertical y horizontal de las Fallas Principales, con coeficiente  $R^2 = 0,941$  y una relación

lineal definida por la ecuación  $y=0,6284x$ . Esta relación se aplica a continuación con el fin de estimar el rango de persistencia vertical de las Fallas Intermedias, pero no hay certeza que esta relación sea válida para éstas, pues como se indicó anteriormente sólo existe el dato de una longitud horizontal.

A partir de la relación lineal de las Fallas Principales, aplicada a las Intermedias, se genera el gráfico de la Figura 4.47, en el cual cuatro valores de persistencia horizontal son asignados, de acuerdo a los cuatro grupos definidos en la sección de 4.4.1 de Persistencia de las Fallas, donde el grupo con mayor cantidad de fallas, que posee una persistencia horizontal entre 25 a 50 m, tendría una persistencia vertical entre 15,7 m a 31,4 m. El intervalo de persistencia vertical para Fallas Intermedias estaría entre 6,3 a 62,8 m, por lo que es muy probable que fallas estén presentes en el nivel de producción y en el de hundimiento que están separados 20 m de altitud.

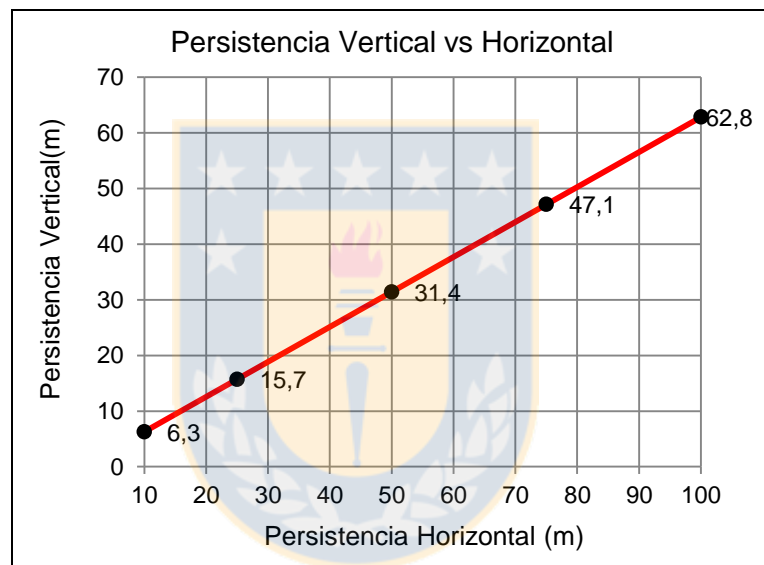


Figura 4.47: Gráfico de persistencia horizontal versus persistencia vertical de Fallas Intermedias calculada a partir de la relación lineal existente de Fallas Principales.

#### 4.6. Relación con Fallas Principales

A continuación se relaciona las características de las Fallas Intermedias analizadas en este trabajo y las Fallas Principales analizadas en trabajos anteriores.

Las Fallas Principales o de Primer Orden son analizadas de forma individual, a diferencia de las Intermedias o Segundo Orden que son analizadas en conjunto. En el trabajo de Seguel (2013) sólo tres Fallas Principales son analizadas en el mismo sector de estudio del presente trabajo, ellas son: Falla N1, Falla C y Falla G, pertenecientes a Reservas Norte (RENO); y en Guzmán (2015) son analizadas la Falla K y F (también la C y G), del sector Dacita.

#### 4.6.1. Relación de Persistencia

Por definición las Fallas Principales y las Intermedias están en rangos diferentes de persistencia, por lo que no se establecen comparaciones con respecto a este parámetro. Sólo se menciona que las Intermedias no tienen dato de persistencia vertical, a diferencia de las Principales.

#### 4.6.2. Relación de Actitud

Los diagramas de concentración de polos de las Fallas Principales de Reservas Norte (N1, C y G) (Figura 4.48) y de Dacita (K y F) (Figura 4.49) poseen una distribución similar a los diagramas de polo resultantes de todas las Fallas Intermedias estudiadas (Figura 4.25), con una predominancia de ellos cercana al Norte y al Sur, siendo fallas de muy alto ángulo y con orientación cercana al E-W, pero con una concentración de polos mayor en los máximos: 33,9% en Falla N1, 16,7% en Falla C, 26,6% en Falla G, 55,6% en Falla K y 33,7% en Falla F; esto pues cada diagrama sólo representa a una gran estructura y no a varias estructuras Intermedias como el diagrama de la Figura 4.25, aun así, las probabilidades de actitudes a gran escala y menor escala se asemejan.

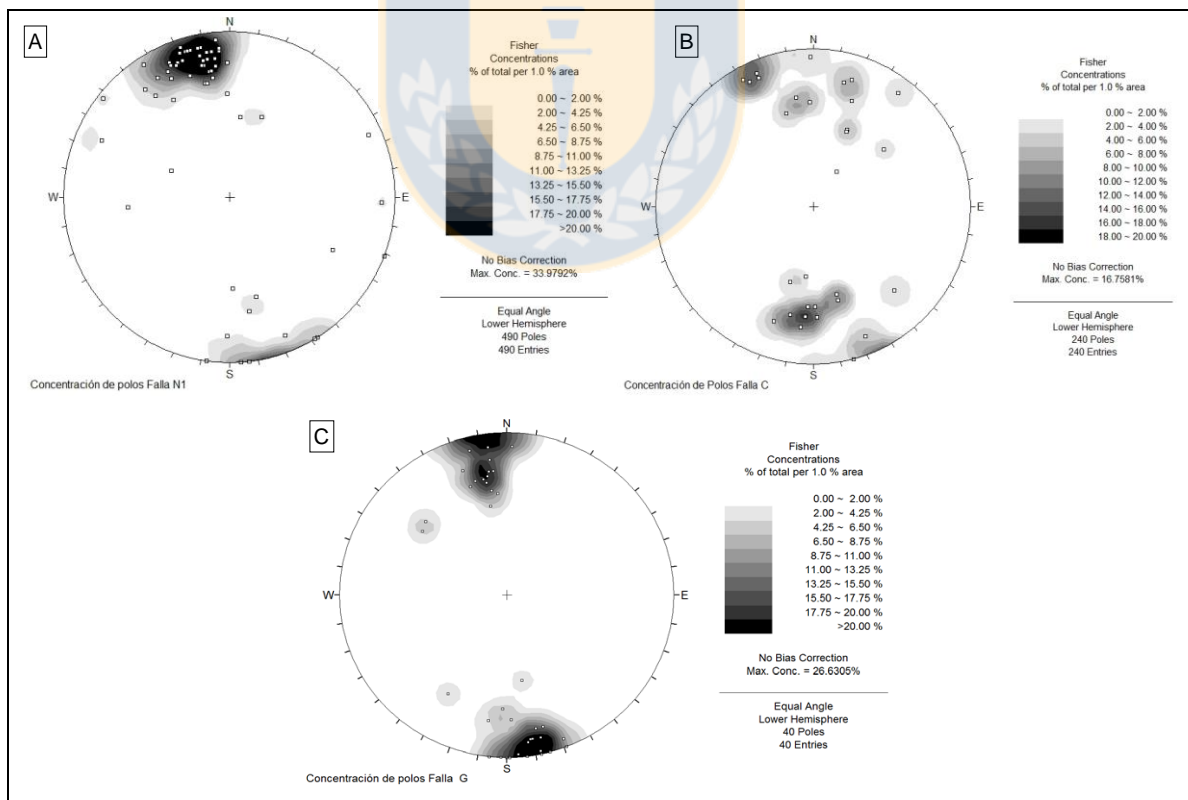


Figura 4.48: Diagramas de Concentración de Polos para Fallas Principales de Reservas Norte. A) Falla N1. B) Falla G. C) Falla C. Seguel (2013).

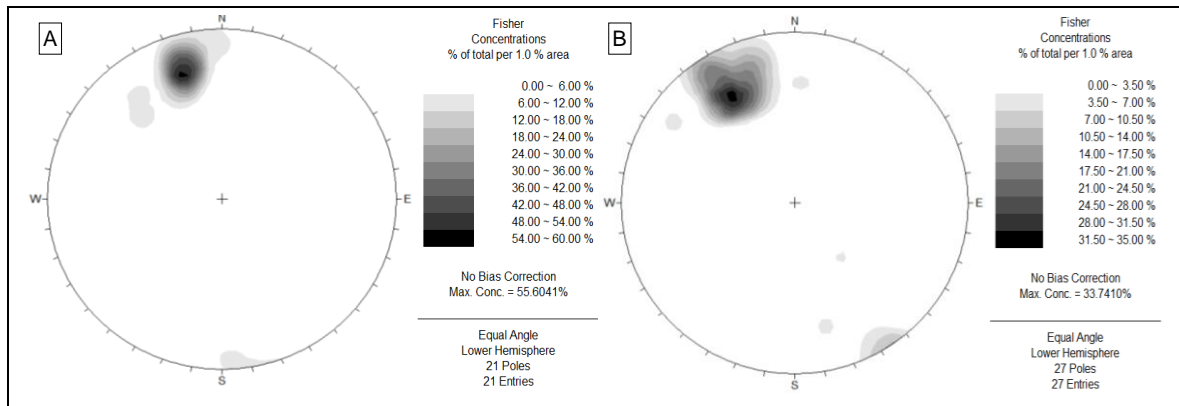


Figura 4.49: Diagramas de Concentración de Polos para Fallas Principales de Dacita. A) Falla K. B) Falla F. Guzmán (2015).

#### 4.6.3. Relación de Espesor de Relleno

El espesor de las Fallas Principales (Tabla 4.20) es notoriamente mayor que el espesor de las Fallas Intermedias (Tabla 4.14), sobretodo en cuanto a los rangos de espesor que alcanza, que está vinculado a la escala de la estructura y a una correlación entre persistencia y espesor, que es alta para las Fallas Principales y muy baja para las Intermedias.

Tabla 4.20: Espesor típico de las Fallas Principales del Sub6.

Falla	Espesor Típico (cm)	Rangos de Espesor (cm)
N1	6	De 1 a 50
C	2.5	De 1 a 20
G	2	De 1 a 15
K	2,1	De 0,1 a 15
F	2,5	De 0,1 a 20,0
Fallas Intermedias Total Sub6	*1,3 (Promedio Espesor Típico); 1,8**	De 1,3 a 2,9 (Promedio Esp. Mínimo a Promedio Esp. Máximo)

\*Determinado en base a las "Fallas Intermedias MB" (Mapa Base).

\*\*Estimado en base a relaciones del Mapa Int./Mapa Base

#### 4.6.4. Relación de Material de Relleno

Este parámetro tiene formas diferentes de abordarse según el orden de la falla: para las fallas Intermedias el material de relleno se categoriza como Relleno 1, 2, 3 o 4 de acuerdo a su abundancia, a diferencia de las Fallas Principales en las que para cada una se le asocia un porcentaje de mineral o proporción relativa, o sea, su descripción es más detallada. Sin embargo, de forma general los minerales mayoritarios o más abundantes en las Fallas Intermedias, también lo son en las Principales. Se expuso anteriormente que los minerales más comunes en las Intermedias

son: anhidrita, carbonato, yeso y subordinadamente de calcopirita, clorita, cuarzo y salbanda. Otros rellenos también comunes, pero con menor abundancia son molibdenita, bornita, turmalina. En el caso de las Fallas Principales, los minerales mayoritarios *grosso modo* son: anhidrita, carbonato, yeso, salbanda y en menor cantidad molibdenita, calcopirita, cuarzo, clorita y tenantita.



## 5. ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE DE FALLAS ANTE EL AVANCE DE LA MINERÍA

### 5.1. Introducción

El macizo rocoso es un medio heterogéneo y casi siempre discontinuo, debido a la presencia de discontinuidades o juntas, que indican un corte en este medio anisótropo, con resistencia a la tracción nula o muy baja, éstas pueden ser, por ejemplo: fracturas, diaclasas, fallas, planos de estratificación (débiles), etc. Estas discontinuidades geológicas constituyen planos de debilidad que gobiernan, en la mayoría de los casos, el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos, al condicionar la resistencia del conjunto y los mecanismos de deformación y rotura. Las discontinuidades objeto de este capítulo son las fallas geológicas concebidas como fracturas a lo largo de las cuales la roca se ha desplazado según una dirección que es generalmente paralela al plano de ruptura, como consecuencia de la aplicación de un stress de cizalle (Niemeyer, 2008).

En este capítulo se aborda el tema de la estimación de la resistencia al corte de las fallas, a partir de cuyos resultados se elabora un mapa. En un principio se exponen los aspectos teóricos relacionados con criterios de resistencia al cizalle, pues uno de ellos, el criterio de Barton y Choubey (1977) es base de la metodología aplicada, en la cual se determinan los parámetros influyentes fundamentados en la geometría y las condiciones geomecánicas de las fallas dentro de un área específica en el nivel de producción de minas Reservas Norte-Dacita. Se hace énfasis en el JRC (coeficiente de rugosidad), parámetro para el cual se confeccionan dos mapas: uno de las fallas y otro de sus segmentos.

### 5.2. Aspectos Teóricos sobre Resistencia al Corte en Discontinuidades de Roca

El tema de la estimación de la resistencia al corte de las discontinuidades ha sido desarrollado por diferentes autores, que han tratado de ajustar un criterio con el fin de ser lo más representativo y real posible.

Este estudio del comportamiento mecánico de las discontinuidades se basa en las relaciones entre los esfuerzos de corte aplicados y los desplazamientos tangenciales producidos, estableciendo la relación  $\sigma/\mu$ , definida como la rigidez de la discontinuidad, y tiene unidades de esfuerzo/longitud. Las curvas representativas del comportamiento de las discontinuidades son muy parecidas a las de

la matriz rocosa, con la particularidad de que aquellas siempre rompen a favor del plano preexistente (González de Vallejo *et al.*, 2002) (Figura 5.1).

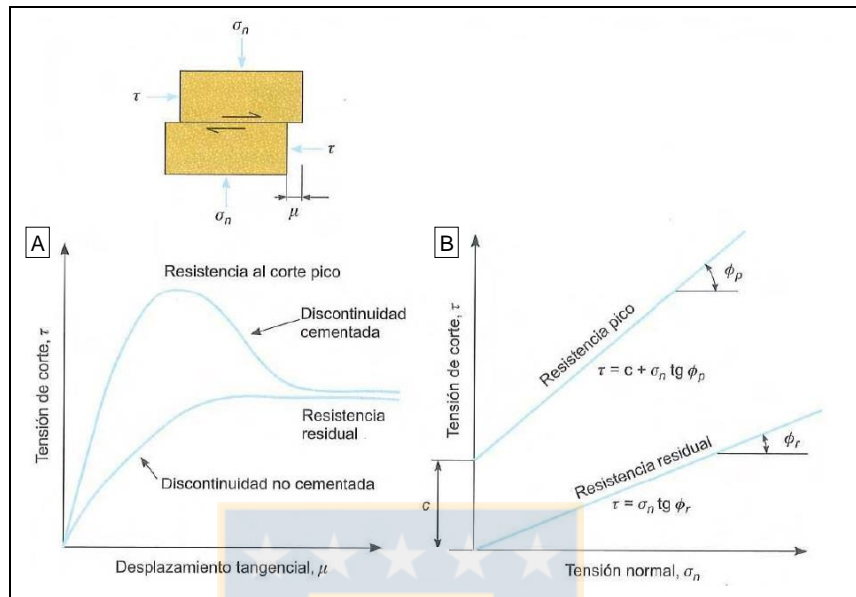


Figura 5.1: A) Curvas típicas tensión tangencial  $\tau$  - desplazamiento tangencial  $\mu$  para discontinuidades planas. B) Resistencia al corte teórica de una discontinuidad plana. González de Vallejo *et al.* (2002).

Antes de abordar los principales criterios de resistencia al corte de las discontinuidades se mencionan algunas consideraciones generales al respecto:

- Los planos de debilidad preexistentes (fallas) controlan los procesos de deformación y fallamiento en los macizos rocosos.
- Ensayos de laboratorio permiten cuantificar propiedades físicas y mecánicas de la matriz rocosa que definen su comportamiento mecánico.
- La resistencia al corte de las discontinuidades depende fundamentalmente de la fricción de los planos y, en menor cuantía, de la cohesión.
- La rugosidad o irregularidad de las paredes de la discontinuidad es uno de los factores que más influye en la resistencia friccional, sobre todo en discontinuidades sometidas a bajos esfuerzos normales.

### 5.2.1. Criterio de Mohr-Coulomb

Este criterio expresa la resistencia al corte a lo largo de un plano en un estado triaxial de tensiones, obteniéndose la relación entre los esfuerzos normal y tangencial actuantes en el momento de la rotura mediante la expresión matemática:

- $\tau = c + \sigma_n \tan(\phi_p)$ , donde:
  - $\tau$ : tensión tangencial (esfuerzo cortante) sobre el plano de rotura.
  - $c$ : cohesión para la condición de resistencia *peak*. Gráficamente es la intersección de la línea de fallo con el eje de  $\tau$  (Figura 5.1B).
  - $\sigma_n$ : valor medio del esfuerzo normal efectivo actuante sobre el plano de la estructura.
  - $\phi_p$ : ángulo de fricción de máximo (ángulo de fricción pico) de la matriz rocosa. Gráficamente es la pendiente del ángulo de la línea de fallo (Fig. 5.1B).

La expresión anterior contempla únicamente el esfuerzo normal y las propiedades resistentes del plano de debilidad, por lo que, a pesar de su aplicabilidad y uso extendido, no deja de ser una simplificación.

Como el criterio de Mohr-Coulomb ignora la no linealidad de la envolvente de resistencia al corte, la determinación de los parámetros que influyen en ella debe hacerse para un rango de presiones de confinamiento acorde a la situación que se tendrá en terreno (de lo contrario éstos podrían no ser válidos). Por esto, se debe ser especialmente cuidadoso al considerar valores “típicos” referenciados en literatura técnica, ya que si estos valores han sido determinados para un rango de presiones de confinamiento distinto al caso que interesa los mismos no serán aplicables (Karzulovic, 2003).

### 5.2.2. Criterio de Patton

Este modelo valida la ecuación de Mohr-Coulomb y tras haber realizado ensayos en discontinuidades artificiales comprueba que su expresión es válida sólo para una primera parte correspondiente a tensiones normales bajas. Para tensiones normales altas, las envolventes de rotura son no lineales y la pendiente de la recta se aproxima más al ángulo de rozamiento residual del material. Es por esto que el criterio de Patton (1966) se representa por una relación bilineal, donde se tiene fricción y dilatación en el primer tramo y sólo corte en el segundo, basado en la influencia de las rugosidades o irregularidades de la superficie.

La irregularidad de una superficie de discontinuidad puede ser definida por un ángulo de rugosidad  $i$ , que se suma al ángulo básico de fricción  $\phi_b$  para obtener el valor total del ángulo de fricción *peak*  $\phi_p$  de la superficie:  $\phi_p = \phi_b + i$ . El ángulo  $i$  es el que forma la irregularidad con respecto al plano de la discontinuidad y tiene gran influencia en el comportamiento geomecánico de las discontinuidades (Figura 5.2). El valor de  $\phi_p$  suele estar comprendido en el rango de 30° a 70°,  $\phi_b$  suele oscilar entre 20° a 40° y el ángulo  $i$  puede variar entre 0° y 40°.

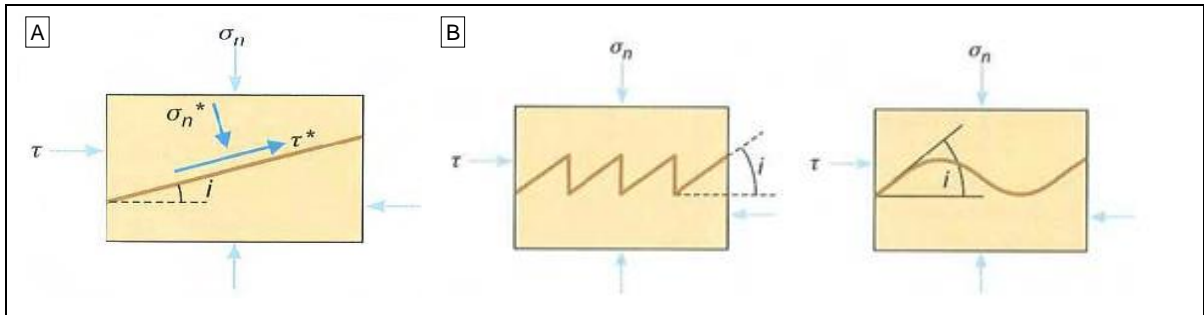


Figura 5.2: Influencia del ángulo de rugosidad ( $i$ ) en la resistencia al corte de la discontinuidad. A) Modelo Mohr-Coulomb. B) Modelo de Patton. González de Vallejo *et al.* (2002).

Cuando se produce un desplazamiento a favor del plano debido a un esfuerzo tangencial en una discontinuidad sometida a esfuerzos normales, tiene lugar una dilatación (separación) de sus paredes. Una vez superado el ángulo  $i$  para que haya desplazamiento, opera entonces la fricción efectiva  $\phi_b + i$  (Figura 5.3), y el valor de  $\tau_p$  será (considerando  $c = 0$ ):

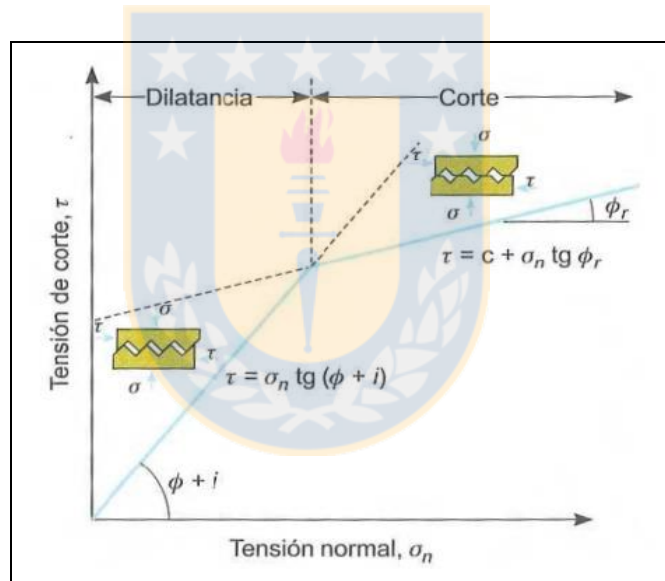


Figura 5.3: Criterio de rotura bilineal de Patton (1966).

- $\tau_p = \sigma_n \tan(\phi_b + i)$ , donde:
  - $\tau_p$ : tensión tangencial sobre el plano de rotura.
  - $\sigma_n$ : esfuerzo normal sobre el plano de rotura.
  - $\phi_b$ : ángulo básico de fricción (ángulo de rozamiento).
  - $i$ : rugosidad (ángulo de inclinación de las rugosidades).

Al progresar el desplazamiento tangencial, se pueden romper los bordes más angulosos, "suavizándose" las rugosidades, y las dos superficies se ponen en contacto, prevaleciendo entonces

el valor de  $\phi_r$ . Si se incrementa el esfuerzo normal sobre el plano, se alcanza un valor que impide la dilatación, y las irregularidades deben ser rotas para que haya desplazamiento, aproximándose entonces la pendiente de la recta  $\tau_p/\sigma_n$  al valor del ángulo de resistencia residual  $\phi_r$  para tensiones normales elevadas, donde la expresión apropiada será:

- $\tau_p = \sigma_n \tan(\phi_r)$ , donde:
  - $\tau_p$ : tensión tangencial sobre el plano de rotura.
  - $\sigma_n$ : esfuerzo normal sobre el plano de rotura.
  - $\phi_r$ : ángulo de resistencia residual.

El punto de inflexión del criterio bilineal de Patton corresponde a un determinado valor de  $\sigma_n$ .

A partir del criterio de Patton, diversos autores han desarrollado criterios empíricos para rotura a favor de planos de discontinuidad rugosos, en función de los esfuerzos normal y tangencial actuantes sobre el plano de discontinuidad, dentro de los cuales es más extendido es el de Barton y Choubey (1977) (González de Vallejo *et al.*, 2002).

### 5.2.3. Criterio de Barton y Choubey

Barton (1971, 1973) propuso un modelo no lineal empírico para la resistencia al corte de las estructuras, sugiriendo que ésta podría determinarse con una precisión razonable si se consideraba la resistencia en compresión uniaxial de la roca caja, JCS. Posteriormente, Barton y Choubey (1977) extendieron el criterio para incluir distintos grados de rugosidad en términos de un índice de rugosidad de la estructura, JRC. Así, el criterio de Barton y Choubey, que posteriormente fue integrado al criterio de Barton-Bandis, es un criterio empírico de fricción para predecir y extrapolar la resistencia al corte discontinuidades geológicas rugosas, deducido a partir del análisis del comportamiento de ellas en ensayos de laboratorio. Este criterio considera más variables y se acerca a un modelo más realista de la discontinuidad, considerando los parámetros de la siguiente expresión:

- $\tau_{max} = \sigma_n \tan(JRC \log\left(\frac{JCS}{\sigma_n}\right) + \phi_r)$ , donde:
  - $\tau_{max}$ : resistencia al corte o esfuerzo tangencial, sobre el plano de la discontinuidad.
  - $\sigma_n$ : esfuerzo normal efectivo sobre el plano de la discontinuidad.
  - $JRC$  (*Joint Roughness Coefficient*): coeficiente de rugosidad de la discontinuidad.

- *JCS (Joint Compressive Strength)*: resistencia a compresión simple de la pared de la discontinuidad.
- $\phi_r$ : ángulo de rozamiento residual.

Con esta relación, para tensiones de compresión muy bajas sobre la discontinuidad, se obtienen ángulos de rozamiento muy altos. Por esto, no debe usarse para tensiones  $\sigma_n$  tales que  $JCS/\sigma_n > 50$ , debiendo tomarse en estos casos un ángulo de rozamiento constante independiente de la carga, con un valor  $\phi_p = \phi_r + 1,7 JRC$ .

### 5.2.3.1. Descripción de las Variables del Criterio de Barton y Choubey

i) **Esfuerzo Normal  $\sigma_n$** : Se refiere a la tensión aplicada sobre el plano de la discontinuidad de forma perpendicular a él. La magnitud del esfuerzo normal efectivo es el factor externo más importante que influye en el esfuerzo de cizalle (Barton y Choubey, 1977).

ii) **JRC (*Joint Roughness Coefficient*)**: También llamado "Coeficiente de Rugosidad de la Junta". Este valor se puede calcular mediante retro-cálculo (back-analysis) de los resultados de los ensayos "tilt test". Para ello, se pueden emplear fragmentos de roca o bien testigos de sondeos. Se determina el ángulo  $\alpha$  a partir del cual se inicia el movimiento de uno de los fragmentos de roca con respecto a los otros (Figura 5.4) y se aplica la expresión:  $JRC = (\alpha - \phi_r) / (\log(JCS/\sigma_n))$ . Sin embargo, tener que realizar pruebas para determinar el valor apropiado del JRC dificulta la capacidad de predicción del criterio de corte.

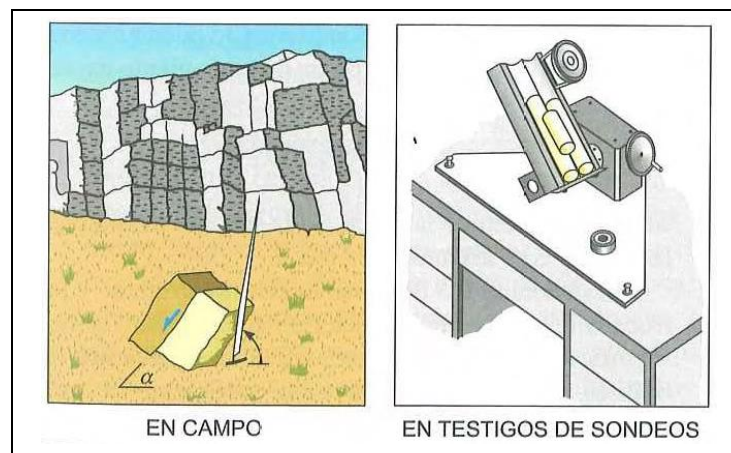


Figura 5.4: Ensayos de *tilt test* (Barton, 1982).

Para superar la necesidad de realizar ensayos, Barton y Choubey (1977) desarrollaron una serie de perfiles estándar que permiten evaluar una estimación del JRC a través de una comparación visual (Figura 5.5), en donde el JRC puede adquirir valores desde 0 a 20; entre menor es el valor, la superficie es "más suave", más regular o plana, en cambio entre más cerca de 20, la superficie es más rugosa, o sea, es una superficie más irregular.

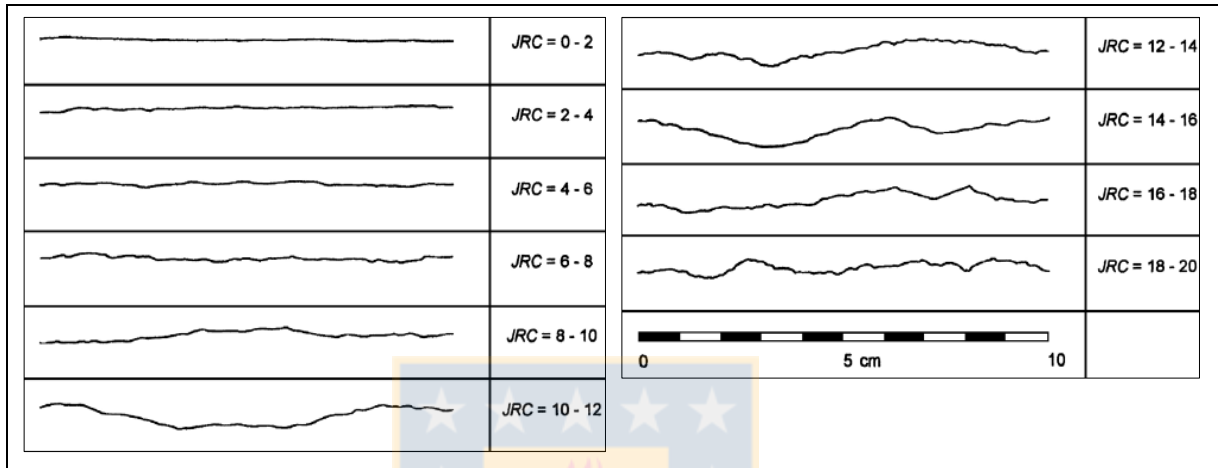


Figura 5.5: Tabla para la evaluación de JRC de Barton y Choubey (1977) según estimación visual.

El uso de perfiles estándar que permiten evaluar el JRC en base a una comparación visual es considerado subjetivo, ya que diferentes profesionales pueden llegar a diferentes estimaciones del JRC. Para resolver este problema, Barton y Bandis (1990) desarrollaron un método para estimar el JRC a partir de mediciones de amplitudes máximas de las asperidades y largos de perfiles (Figura 5.6).

**iii) JCS (Joint Compressive Strength):** Resistencia de la pared de la junta. Si las paredes de la junta no están alteradas o meteorizadas se toma el valor de la resistencia a compresión simple de la matriz rocosa,  $\sigma_c$ . Si la pared está alterada, como ocurre habitualmente, el valor de JCS puede obtener a partir de los resultados del esclerómetro sobre la pared de la junta, mediante la expresión:  $\log_{10} JCS = 0,00088 \gamma_{roca} r + 1,01$  (JCS en  $\text{MN/m}^2$ ;  $\gamma_{roca}$  en  $\text{kN/m}^3$ ).

**iv) Ángulo de Fricción Residual ( $\phi_r$ ):** En general, este ángulo de rozamiento residual resulta ser menor que el ángulo de rozamiento básico " $\phi_b$ ", el cual representa la resistencia de las discontinuidades sin meteorizar, es decir de la roca sana. Se suele obtener utilizando testigos cilíndricos y existen tablas para identificar el valor de cada tipo de roca. Para su determinación se utiliza la fórmula de Barton y Choubey (1977) a partir de la resistencia del martillo de Schmidt:  $\phi_r = (\phi_b - 20^\circ) + 20(r/R)$ . Donde R es el valor del rebote del esclerómetro o martillo de

Schmidt sobre una superficie de material sano y seco;  $r$  es el valor del rebote del esclerómetro sobre la superficie de la pared en estado natural, húmedo o seco;  $\phi_b$  es el ángulo de resistencia básico de la roca, y se obtiene de tablas bibliográficas.

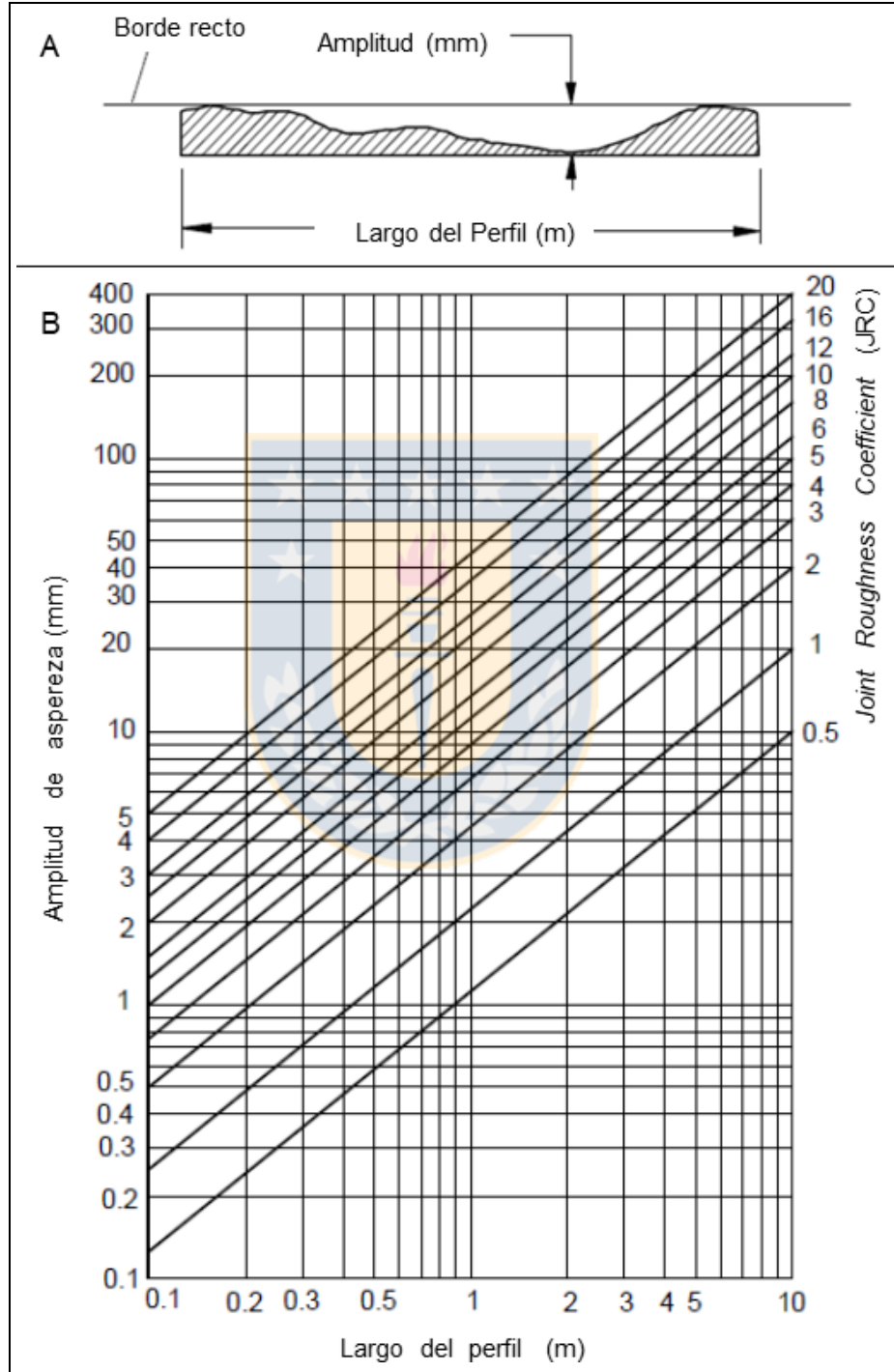


Figura 5.6: A) Amplitud y longitud del perfil de la discontinuidad. B) Tabla para la estimación JRC según parámetros largo del perfil de la discontinuidad y su amplitud. Barton y Bandis (1990).

Si las paredes de la discontinuidad están sanas,  $\phi_r = \phi_b$ . Los valores típicos de  $\phi_b$  en discontinuidades planas sin meteorizar son del orden de 25° a 37° para rocas sedimentarias, de 29° a 38° en rocas ígneas y de 21° a 30° en rocas metamórficas. Algunos valores del  $\phi_b$ , recopilados por Barton y Choubey (1977) se exponen en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1: Valores del ángulo de fricción básico recopilados por Barton y Choubey (1977).

Tipo de roca	$\phi_b(^{\circ})$	Tipo de roca	$\phi_b(^{\circ})$
Limolita	27-33	Granito	31-35
Conglomerado	35	Pórfido	31
Creta	30	Pizarra	27
Caliza	27-37	Gneis	23-29
Basalto	31-38	Esquisto	21-30

### 5.2.3.2. Efecto Escala

Aparte de estos parámetros, este criterio tiene cuenta el factor de escala, debido a que a medida que aumenta la longitud de la discontinuidad, se producen disminuciones en los valores JRC y JCS. Por lo que, en función de cálculos de laboratorio Barton y Bandis (1982) ofrecen las siguientes expresiones para el cálculo de los parámetros JRC y JCS "in situ" o en el campo:

- $JRC_n = JRC_0 (L_n/L_0)^{-0,02*JRC_0}$
- $JCS_n = JCS_0 (L_n/L_0)^{-0,03*JRC_0}$

Donde subíndices ...<sub>0</sub> representan los valores en laboratorio y los subíndices ...<sub>n</sub> representan los valores en el campo y  $L$  es la longitud ( $L_0 = 10$  cm).

La Figura 5.7 representa gráficamente cómo los parámetros JRC y JCS dependen de la escala que se considere, el primero es función de la magnitud y amplitud de las ondulaciones o irregularidades.

### 5.2.3.3. Comentarios Adicionales

Los experimentos realizados por Barton y Choubey (1977) sólo se aplicaron a discontinuidades de roca sin relleno. Agregan que existe una gran diferencia en la resistencia al corte de las juntas con o sin relleno; en el primer caso, dominan más bien las propiedades del material que se encuentran separando las juntas desde el punto de vista físico y mineralógico, mientras que en las sin relleno, la rugosidad y el esfuerzo a compresión prevalecen, de forma general.

Los autores expresan que las propiedades  $c$  y  $\phi$  del criterio Mohr-Coulomb son dependientes de las tensiones y de la escala, por lo que presentan a su entender un criterio más satisfactorio, donde el

ángulo total ( $\phi_r$ ) permitido es  $70^\circ$ , limitado debido a que se puede llegar a tener ángulos muy elevados a tensiones bajas.

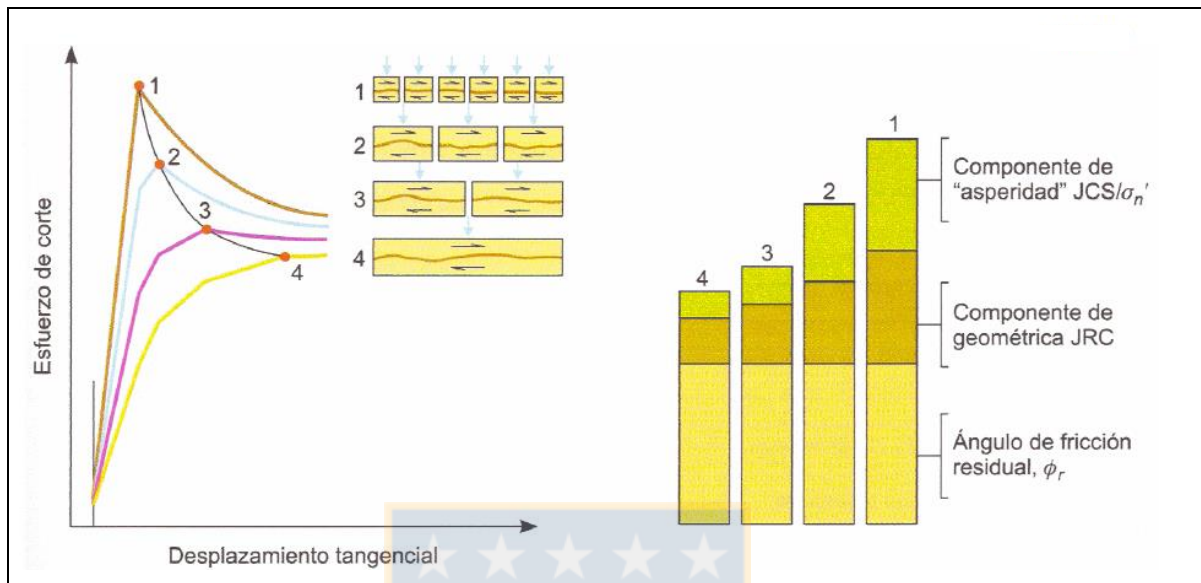


Figura 5.7: Componentes fundamentales que influyen en la resistencia al cizalle. Bandis *et al.* (1981).

Si se hacen pruebas sobre juntas de roca saturadas, los parámetros JCS y  $\phi$  se ven afectadas de tal forma que JCS puede disminuir entre un 5-20% de su valor y  $\phi$  puede llegar a ser muy bajo.

En el artículo expresan que las paredes de la discontinuidad ofrecen una resistencia al corte pequeña antes de producirse la dilatancia, pero que al momento en que la mayoría de las asperezas hacen contacto, las características de la discontinuidad empiezan a aparecer; aumenta la resistencia al corte y la dilatancia en función de la carga normal sobre las paredes de la discontinuidad.

#### 5.2.4. Comentarios sobre Criterios de Resistencia al Corte en Discontinuidades de Roca

Los criterios de resistencia al corte que involucran a discontinuidades de un macizo rocoso más utilizados hoy por la ingeniería son Patton (1966), Ladanyi y Archambault (1970), Barton y Choubey (1977) y Maksimovic (1996) (Hernández, 2014). De los mencionados se han descrito dos en la sección anterior. A continuación se describen brevemente los otros dos.

El criterio de Ladanyi y Archambault (1970) posee un número de parámetros desconocidos muy grande (Barton, 1971). Entre ellas el parámetro  $a_s$  que es la proporción del área de la junta sometida a corte a través de la roca intacta y  $V$  que corresponde a la dilatancia correspondiente a la

resistencia del corte pico,  $\tau_s$  que es la resistencia al corte del material intacto, que a su vez depende de otros factores como la resistencia a la compresión y a la tracción, entre otros.

El criterio de Maksimovic (1996) describe una envolvente no lineal de falla de tipo hiperbólico en término de funciones efectivas. El mismo está relacionado al criterio de Barton a través de su expresión que abarca tres parámetros simples: ángulo básico de fricción  $\phi_b$ , ángulo de rugosidad  $\Delta\phi$  y ángulo de presión media  $p_N$ .

Hernández (2014) en su trabajo señala que el criterio de Barton (Barton y Choubey, 1977) es el criterio que mejor reproduce el comportamiento de la resistencia al corte de las discontinuidades, ya que emplea ciertos parámetros que los demás criterios no consideran, siendo a la vez el que más factores emplea. Considera la resistencia que ofrecen las rugosidades tanto antes como después de la rotura de las mismas de manera continua, es decir, presentando una progresión suave; a medida que la curva (tensión normal- resistencia de corte) aumenta, va disminuyendo su pendiente o lo que es lo mismo que a medida que se solicita más a la junta, el aumento de la resistencia al corte pasa a crecer en menor proporción que al inicio. Este aspecto lo diferencia de los criterios de Patton (1966) y de Ladanyi y Archambault (1970), donde antes de la rotura de las rugosidades se tiene un ángulo de rozamiento constante y luego de producirse el corte tiene un ángulo residual que también permanece constante. Conviene resaltar que el criterio de Maksimovic (1996) aunque no considera los mismos parámetros que Barton, reproduce prácticamente de la misma manera que Barton la resistencia de la junta. También se debe considerar que presenta una dificultad adicional, ya que los parámetros no son muy fáciles de obtener. Además concluye que, en términos generales, el criterio de Patton subestima la resistencia al corte y el criterio de Ladanyi y Archambault lo sobreestima.

En fin, el criterio de Barton continúa ofreciendo resultados con una base más sólida y realista. Introduce un número elevado de factores que condicionan la respuesta. La formulación que utiliza puede ser entendida con más facilidad. A pesar de utilizar muchos parámetros, éstos pueden obtenerse de forma sencilla y práctica (Hernández, 2014).

En el Teniente la resistencia al corte de las Fallas Principales está gobernada fundamentalmente por la ondulación (rugosidad) (Seguel, 2013). Posteriormente Seguel *et al.* (2015) reafirman esto, sosteniendo que las fallas de la mina son estructuras sinuosas y que la resistencia al corte de ellas está fuertemente relacionada a su rugosidad, por lo que puede ser descrita por el criterio no lineal de Barton-Bandis, que es una acepción del criterio de Barton y Choubey.

En virtud de lo anteriormente expuesto y considerando que si es posible calcular, al menos de forma estimada o teórica, los parámetros que influyen en el criterio de Barton y Choubey para las fallas de Reservas Norte-Dacita, tomando en cuenta información interna de la Superintendencia de Geología y de la Superintendencia de Geomecánica, lo cual se expone en seguida, es que se escoge este criterio para estimar la resistencia al corte de las fallas.

### 5.3. Metodología

En esta sección se explica dónde y cómo se estima la resistencia al corte de cada falla según el criterio de Barton y Choubey (1977), utilizado para confeccionar el Mapa de Resistencia al Corte de Fallas ante el avance de la minería.

#### 5.3.1. Área de Estudio

El estudio se efectúa en un área específica del Nivel Sub6 Producción, que abarca parte de Reservas Norte (RENO) y Dacita, minas actualmente operativas y en pleno proceso de explotación. El nivel de producción es fundamental para la producción minera, ya que en él se ejecutan actividades de extracción de mineral y generalmente hay mayor flujo de personas y maquinarias en comparación a otros niveles.

Para definir y delimitar el área de estudio se toma en cuenta que en el proceso minero, la fuerza ejercida sobre el macizo rocoso genera un campo de esfuerzos donde se reconocen tres zonas: Zona de Relajación, Zona de Transición (ZT) y Zona de pre-minería (GPRO, 2013) (Figura 5.8):

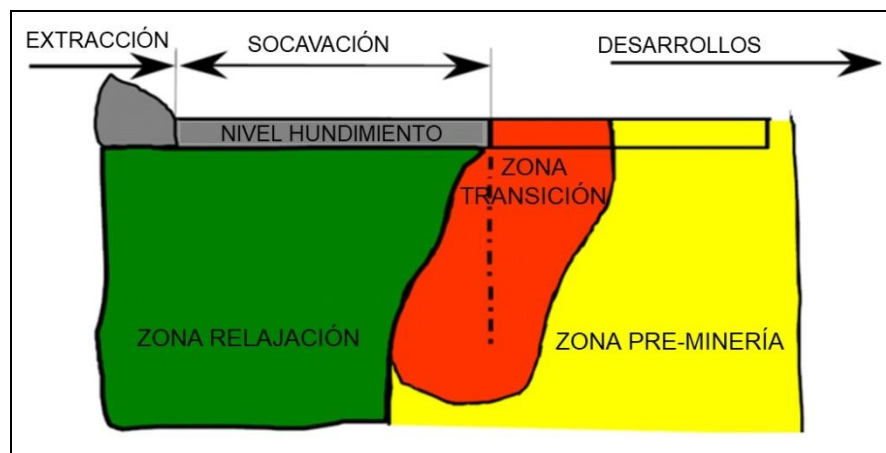


Figura 5.8: Estados del macizo rocoso respecto al campo de esfuerzos. GPRO (2013).

- **Zona de Relajación:** Es la zona que se genera después del paso del frente de socavación-extracción, por lo que los esfuerzos son más benignos. En esta zona el macizo rocoso se encuentra en una condición más favorable para la realización de operaciones mineras.
- **Zona de Transición (ZT):** zona afectada del macizo rocoso producto del avance de la actividad minera (socavación-extracción) localizada en las inmediaciones del frente de hundimiento. En esta zona el macizo rocoso "evidencia" el efecto de la concentración y rotación de esfuerzos. La extensión de esta zona se define respecto al frente de hundimiento para cada sector en explotación y depende tanto del método de explotación como de las condiciones geotécnicas y geomecánicas. Para el sector Reservas Norte- Corbata-Dacita se establece una distancia de 70 m delante del frente y 30 m detrás del frente de hundimiento.
- **Zona de Pre-minería:** En esta zona el macizo rocoso se encuentra alejado de la minería existente, por lo que no es afectado por la redistribución de esfuerzos que produce el frente de socavación, es decir, el estado tensional y la calidad geotécnica del macizo rocoso no son afectados por la perturbación que induce la minería en desarrollo.

Debido a que la Zona de Transición es la más riesgosa desde el punto de vista de exposición del personal y equipos a los daños asociados a la actividad sísmica, ya que en ella se localiza la mayor concentración de esfuerzos, que eventualmente podría desencadenar la activación de fallas, es decir, que el esfuerzo de corte supere a la resistencia al cizalle y un bloque de la falla se deslice con respecto al otro, es que se decide hacer el Mapa de Resistencia al Corte de Fallas para un área que abarque parte de esta zona y delante del frente de hundimiento, o sea, según el avance de la minería, que en Reservas Norte- Dacita es hacia el Norte, al Oeste y al Noroeste.

Entonces, el área de estudio del mapa es delimitada con una línea poligonal cerrada ubicada aproximadamente 100 metros delante del frente de hundimiento y 70 metros detrás de él (Figura 5.9), sin embargo esta distancia es variable y el polígono se delimita de acuerdo a calles y zanjas, con segmentos enumerados arbitrariamente mencionados en la Tabla 5.2.

Dentro del área del Mapa de Resistencia (polígono RENO-Dacita) se consideran todas las fallas (Principales e Intermedias), que en total suman 136. En la Figura 5.9 se muestra, además, la Zona de Transición (el área delimitada por las líneas naranjas) y el frente de hundimiento (línea de color café), los cuales están actualizados al 31 de diciembre de 2015. La velocidad de avance del frente

de hundimiento es de 40-50 m al año (dos bateas de producción) (Seguel, J., comunicación personal, 2017).

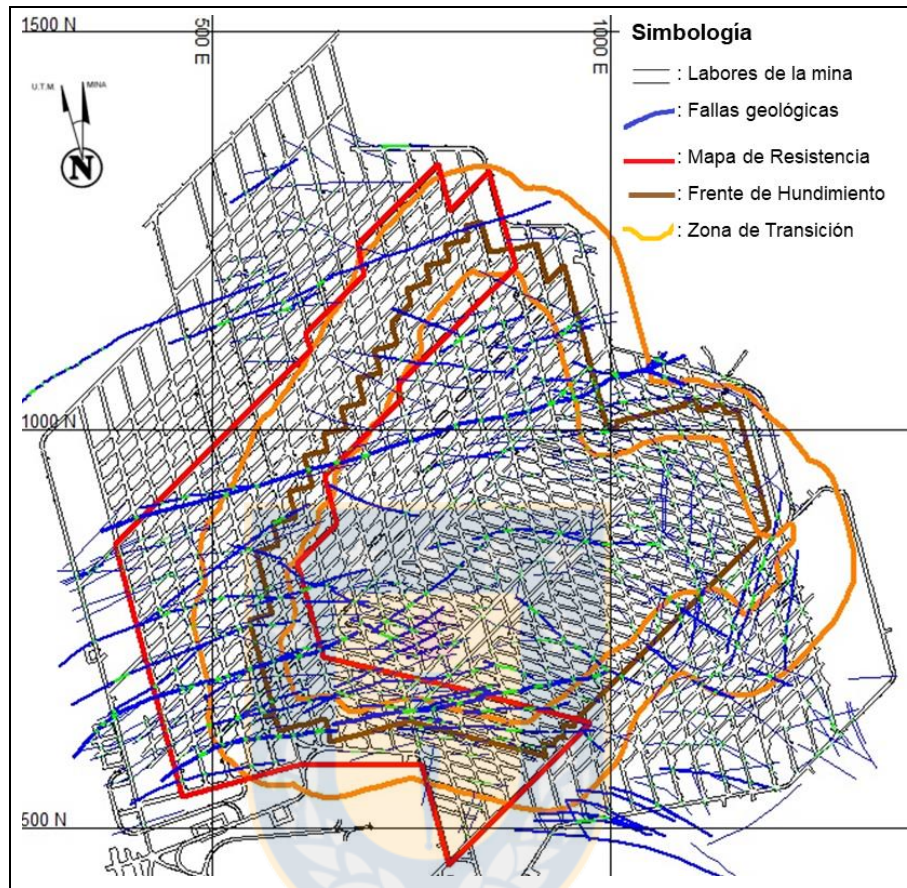


Figura 5.9: Polígono "RENO-Dacita" (utilizado para el Mapa de Resistencia) que define el área de estudio en parte de las minas Reservas Norte y Dacita en la Zona de Transición. Además se muestran los polígonos del frente de hundimiento y de la Zona de Transición.

Tabla 5.2: Segmentos que delimitan al polígono que define el área de estudio del Mapa de Resistencia al Corte de Fallas. C: Calle, Z: Zanja.

Segmento	Referencia	Segmento	Referencia
1	Al S de Z-24N	9	Al W de C-20
2	Al E de C-27	10	Al N de Z-13N
3	Al N de Acceso Calle 22/27	11	Al W de C-15
4	Al N de «Acceso-Sur»	12	Al N de Z-16N
5	Al NE de C-17	13	Al W de C-11
6	Al NW de Socavón Acceso	14	Al N de Z-18N
7	Al S de Z-12	15	Al W Acceso Fw
8	Al S de Z-11		

### 5.3.2. Determinación de los Parámetros Influyentes en la Resistencia al Corte de Fallas del El Teniente

A continuación se describe la forma de obtener los valores de los parámetros influyentes en el criterio al corte de Barton y Choubey para las fallas dentro de RENO-Dacita.

#### 5.3.2.1. Esfuerzo Normal ( $\sigma_n$ )

Es aquel que actúa sobre el plano de falla, perpendicular a él. Según Hoek y Brown (1985) si se supone que, antes de que se presente algún deslizamiento en la falla, la distribución de los esfuerzos en la roca alrededor del túnel es elástica, se puede calcular el esfuerzo normal sobre la falla considerando los esfuerzos principales (Figura 5.10), según la ecuación:

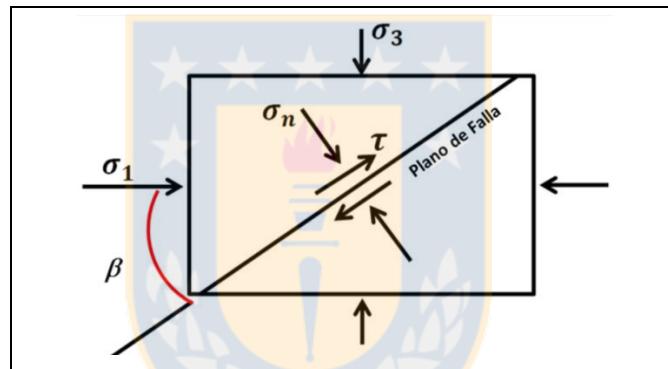


Figura 5.10: Relación entre los esfuerzos principales y los esfuerzos sobre el plano de falla. Modificado de Hoek y Brown (1985).

- $\sigma_n = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) - \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \cos 2\beta$ , donde:
  - $\sigma_n$ : esfuerzo normal sobre el plano de falla.
  - $\sigma_1$  y  $\sigma_3$ : esfuerzo principal mayor y esfuerzo principal menor.
  - $\beta$ : ángulo entre el plano de falla y la dirección del esfuerzo principal mayor  $\sigma_1$ .

La expresión recién citada necesita los esfuerzos principales y el ángulo  $\beta$  en las fallas, asunto resuelto enseguida.

- **Determinación de los esfuerzos principales:**

La Superintendencia de Geomecánica (SGM) de la mina estudia mediante modelamiento numérico la distribución de los esfuerzos principales ( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ) que cambian a medida que avanza la minería,

es decir con el avance del frente de hundimiento. Estos modelos son utilizados para estimar el esfuerzo normal sobre las fallas en esta sección.

Los modelos numéricos son representaciones físico-matemáticas simplificadas de la realidad, por lo que utiliza *inputs* aportados por el usuario para analizar la situación modelada y complementar conocimientos con los resultados que entrega (Bull, 2003 en Cárcamo, 2016). El software de modelamiento numérico usado en la mina es Abaqus, y considera los tensores de esfuerzos de la base de datos determinados por medio de diferentes técnicas de mediciones de esfuerzos, siendo la principal el método de Hollow Inclusion (CSIRO HI) que determina los esfuerzos *in situ* por medio de las deformaciones de las paredes en 12 *strain gauges* (galgas extensiométricas) ubicadas en una celda introducida en una perforación orientada en el macizo rocoso y la realización de un test biaxial.

Para tener una idea de las magnitudes de los esfuerzos que se hallan en minería subterránea, se muestra el gráfico de la Figura 5.11, donde se presentan los esfuerzos principales  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  pre-minería para diferentes sectores productivos de mina El Teniente, incluyendo Dacita y Reservas Norte. En ambos sectores productivos el esfuerzo principal mayor es de 50 MPa y el menor, alrededor de 22,5 MPa.

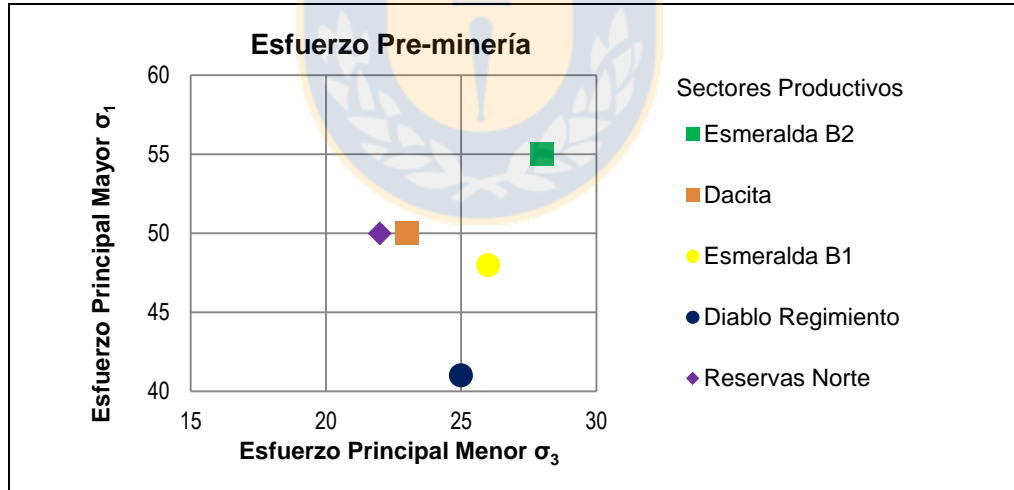


Figura 5.11: Gráfico que muestra las condiciones de esfuerzo inicial en diferentes sectores de la mina. Datos de SGM, Codelco- El Teniente.

La magnitud y dirección de los esfuerzos principales locales para RENO-Dacita Producción se muestran en los mapas producto del modelo de esfuerzos en las Figuras 5.12 a 5.15, actualizados a mayo de 2014, los cuales pueden tener una validez de uno a dos años, ya que están sujetos al cambio de geometría de la mina (Seguel, J., comunicación personal, 2017). Las leyendas de colores tienen unidades de esfuerzo en Pascales (Pa), asociadas la magnitud vinculada a un color en los

mapas, mientras que en los mapas de dirección del esfuerzo principal, éste se representa con una línea roja.

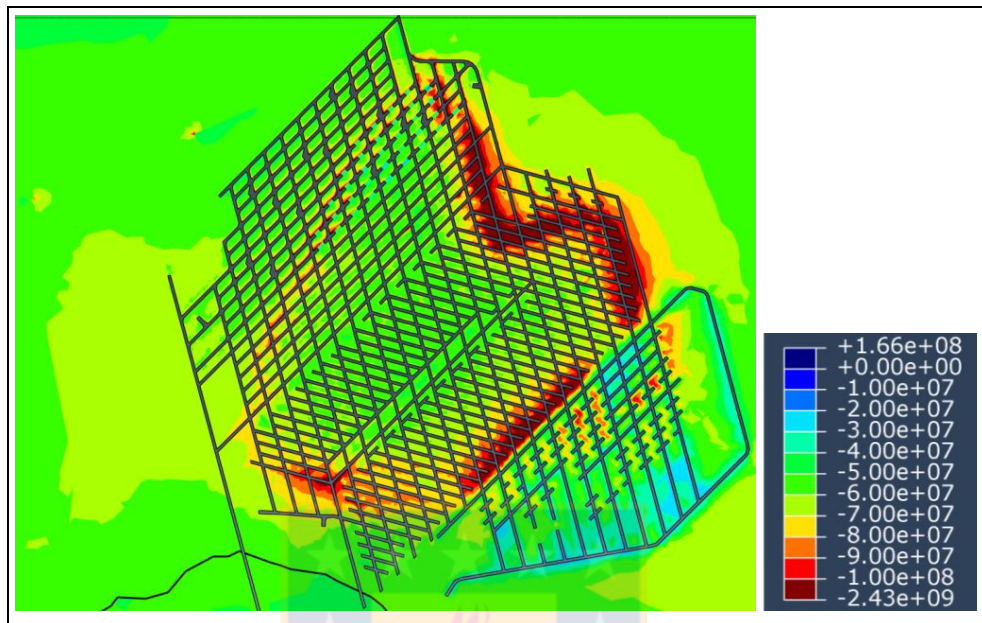


Figura 5.12: Magnitud del esfuerzo principal mayor  $\sigma_1$  (Pa) en RENO-Dacita en mayo de 2014. Datos de SGM, Codelco- El Teniente.

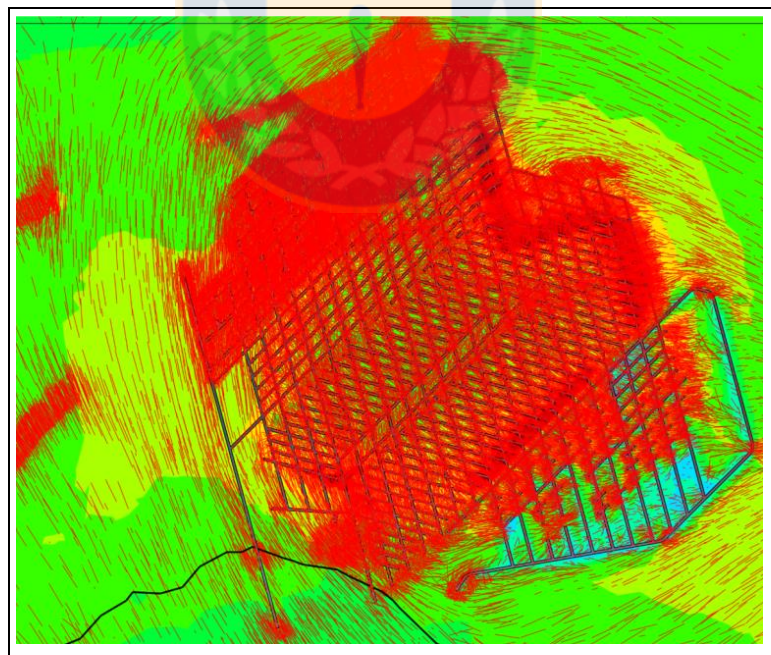


Figura 5.13: Dirección del esfuerzo principal mayor  $\sigma_1$  en RENO-Dacita en mayo de 2014. Datos de SGM, Codelco- El Teniente.

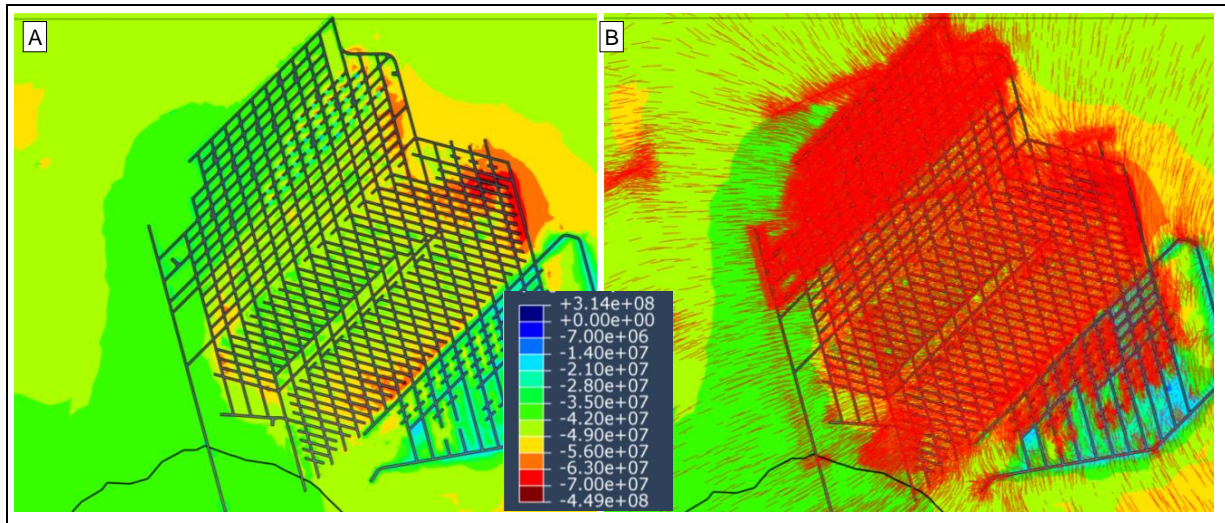


Figura 5.14: Magnitud (A) y dirección (B) de esfuerzo principal intermedio  $\sigma_2$  (Pa) en RENO-Dacita en mayo de 2014. Datos de SGM, Codelco- El Teniente.

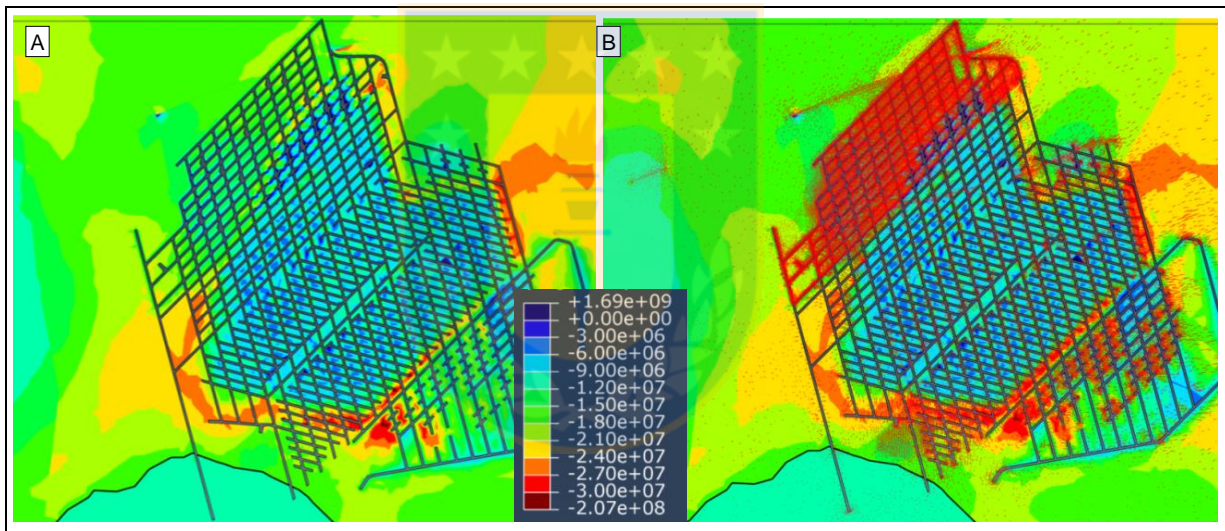


Figura 5.15: Magnitud (A) y dirección (B) de esfuerzo principal menor  $\sigma_3$  (Pa) en RENO-Dacita en mayo de 2014. Datos de SGM, Codelco- El Teniente.

En el área de estudio el esfuerzo principal mayor  $\sigma_1$ , se dispone de forma horizontal siempre, pero varía su ángulo con respecto al Norte geográfico, ya que es paralelo al frente de hundimiento; el esfuerzo principal intermedio  $\sigma_2$  está contenido en el mismo plano horizontal de  $\sigma_1$ , perpendicular a él; mientras que el esfuerzo principal menor  $\sigma_3$  se dispone vertical, perpendicular a los otros dos.

Debido a la variación de dirección y magnitud de los esfuerzos principales en el plano, se decide dividir el área del Mapa de Resistencia en tres sectores: sector Norte, sector Hw (Cabeza) y sector Sur (Figura 5.16A), con el objetivo de definir un tensor de esfuerzos principales para las fallas, según al sector que pertenezcan. La calle 20 de la mina es el límite interno entre los sectores que

limitan con el sector Hw (la tradición popular en El Teniente relaciona el Hw, proveniente de *Head Wall*, al oeste de la mina) o sector Cabeza.

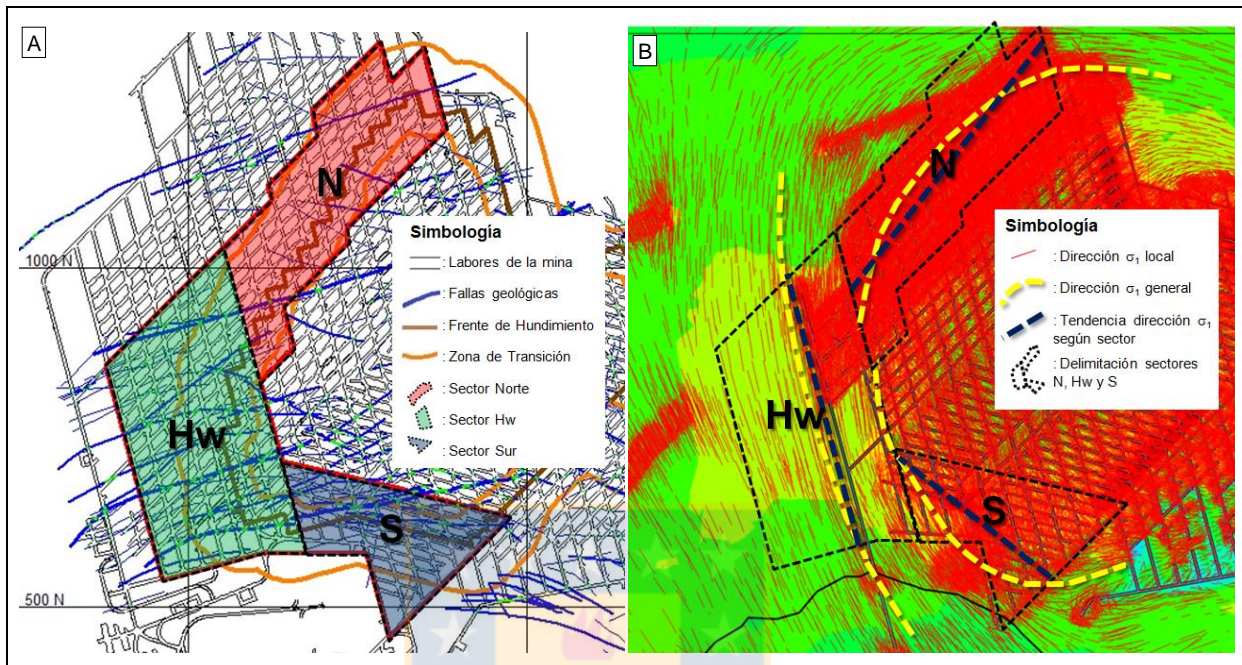


Figura 5.16: A) Sector Norte (N), sector Cabeza (Hw) y sector Sur (S) en los que se divide el área del Mapa de Resistencia. B) Direcciones del esfuerzo principal  $\sigma_1$  según los tres sectores definidos. La tendencia general de la dirección de acuerdo al sector se muestra en línea azul segmentada.

Dentro de cada sector, se estudia la dirección local de esfuerzos; también se analiza una dirección general de esfuerzo  $\sigma_1$  en cada sector (simbolizada con línea segmentada amarilla en la Figura 5.16B) y a partir de ella se define la tendencia de la dirección del  $\sigma_1$  en el sector (simbolizada como línea azul segmentada), la cual es apuntada como "acimut" en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3: Esfuerzos principales según sector dentro del área del Mapa de Resistencia.

Dato	Sector N	Sector Hw	Sector S
Nº de Fallas	17	61	58
Magnitud $\sigma_1$	58 MPa	63 MPa	72 MPa
Magnitud $\sigma_2$	40MPa	40 MPa	47 MPa
Magnitud $\sigma_3$	17 MPa	21 MPa	19 MPa
Acimut $\sigma_1$	38°	165°	128°
Acimut $\sigma_2$	128°	75°	38°
Acimut $\sigma_3$	0°	0°	0°
Plunge $\sigma_1$	0°	0°	0°
Plunge $\sigma_2$	0°	0°	0°
Plunge $\sigma_3$	90°	90°	90°

Las magnitudes se definen de acuerdo a los colores predominantes en la superficie dentro de cada sector, utilizando los mapas de magnitudes de los esfuerzos principales de las Figuras 5.12, 5.14A y 5.15A, cuyos los sectores se delimitan por los polígonos de la Figura 5.16. La asignación de estos valores es estimada de forma gráfica, y los valores obtenidos no necesariamente tiene una alta exactitud, sin embargo como el objetivo del trabajo más bien aplicar una metodología para estimar la resistencia al corte, el que los valores de esfuerzos principales no tengan una gran exactitud es sólo una de las limitaciones del presente estudio.

El sector Norte comprende 17 fallas sometidas un esfuerzo principal  $\sigma_1$  de acimut= $38^\circ$ , un *plunge*= $0^\circ$  y una magnitud de 55 MPa. El esfuerzo principal intermedio  $\sigma_2$  espacialmente está también horizontal, pero perpendicular a  $\sigma_1$ , por lo que su acimut y *plunge* es  $128^\circ$  y  $0^\circ$ , respectivamente, y una magnitud de 32 MPa. El  $\sigma_3$  se dispone vertical con una magnitud de 15 MPa. El detalle de los demás valores según sector está en la Tabla 5.3.

- **Determinación del ángulo  $\beta$ :**

El ángulo  $\beta$  es aquel que se encuentra entre la dirección del esfuerzo principal mayor  $\sigma_1$  y el plano de falla y está contenido en el mismo plano definido por los esfuerzos principales  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  (Figura 5.10). Su valor se determina a partir de relaciones trigonométricas similares a las utilizadas en la obtención del manteo aparente, cuyo desarrollo matemático se describe a continuación considerando el paralelepípedo recto de la Figura 5.17:

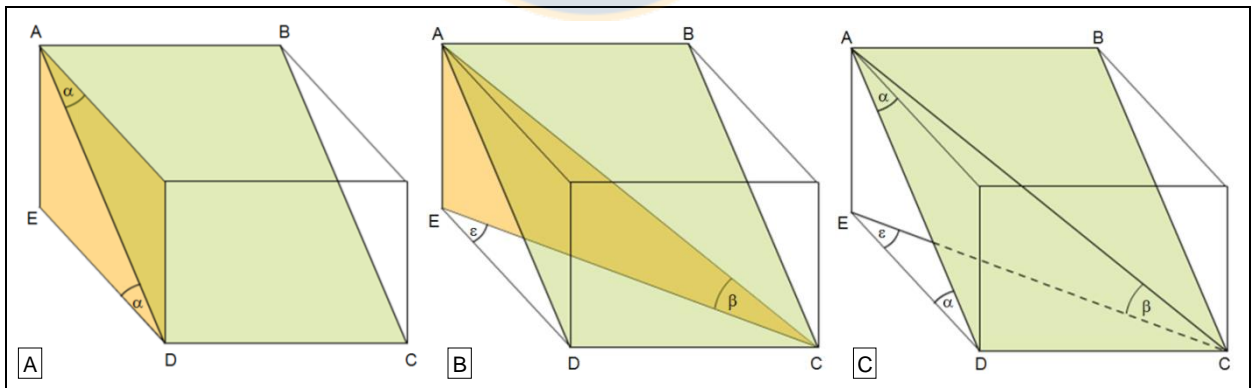


Figura 5.17: Esquemas para la determinación del ángulo beta. A)  $\alpha$  es equivalente al *Dip* de la falla. B)  $\epsilon$  es el ángulo entre el acimut de la falla y la orientación del esfuerzo principal mayor  $\sigma_1$ . C) El ángulo  $\beta$  puede ser determinado a partir de relaciones trigonométricas con los ángulos  $\alpha$  y  $\epsilon$ .

- El *Dip* de falla ("buzamiento real") es el ángulo  $\alpha$ , entre los segmentos AD y ED (Figura 5.17A).

- El ángulo  $\beta$  ("buzamiento aparente") se encuentra entre los segmentos AC y EC (Figura 5.17B).
- El ángulo  $\varepsilon$  es aquel entre la orientación de la máxima pendiente de la falla ED (equivalente al *DipDirection* de falla) y la orientación del esfuerzo principal EC ("Acimut" de  $\sigma_1$ ).
- Siguiendo la construcción geométrica de la Figura 5.17C:
  - $\tan \alpha = AE/ED$
  - $\tan \beta = AE/EC$
  - $\cos \varepsilon = ED/EC$
- Por tanto, el "buzamiento aparente" (ángulo  $\beta$ ) viene dado por:
  - $\frac{AE}{EC} = \frac{AE}{ED} * \frac{ED}{EC}$
  - A partir de las relaciones anteriores:  $\tan \beta = \tan \alpha \cos \varepsilon$
  - Despejando el "buzamiento aparente", es decir, el ángulo de interés:  $\beta = \tan^{-1}(\tan \alpha \cos \varepsilon)$

Una vez determinados los ángulos  $\beta$ , se utiliza la expresión  $\sigma_n = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) - \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \cos 2\beta$ , para calcular el esfuerzo normal.

- **Resultados esfuerzo normal:**

Una vez determinados los esfuerzos principales y los ángulos beta, el esfuerzo normal es calculado. Los resultados se resumen en la Tabla 5.4. El promedio del esfuerzo normal para las 136 fallas de toda el área de estudio es 60,2 MPa, con una desviación estándar de 9,0 MPa, valor máximo y mínimo de 72 y 20 MPa respectivamente. Las fallas con mayores esfuerzos normales se encuentran en el sector Sur, lo que se asocia en parte a los mayores valores de esfuerzo principal mayor. La desviación estándar en los sectores está relacionada con la diversidad de actitud de las fallas en los sectores, pues el ángulo  $\beta$  depende de este parámetro, el cual es el valor que hace que el esfuerzo normal sea diferente en las fallas de un mismo sector. Así es como en el gráfico de la Figura 5.18 las fallas del sector Hw poseen menor dispersión, asociado a la orientación más similar de las fallas del sector.

Tabla 5.4: Resumen de resultados de esfuerzos normales calculados según sector y para toda el área considerada.

Parámetro	Total	Sector N	Sector Hw	Sector S
Promedio $\sigma_n$ (MPa)	60,2	51,6	59,0	63,9
Desv. Estándar $\sigma_n$ (MPa)	9,0	9,5	6,6	9,2
Máximo $\sigma_n$ (MPa)	72,0	58,0	63,0	72,0
Mínimo $\sigma_n$ (MPa)	20,0	20,0	24,2	24,1

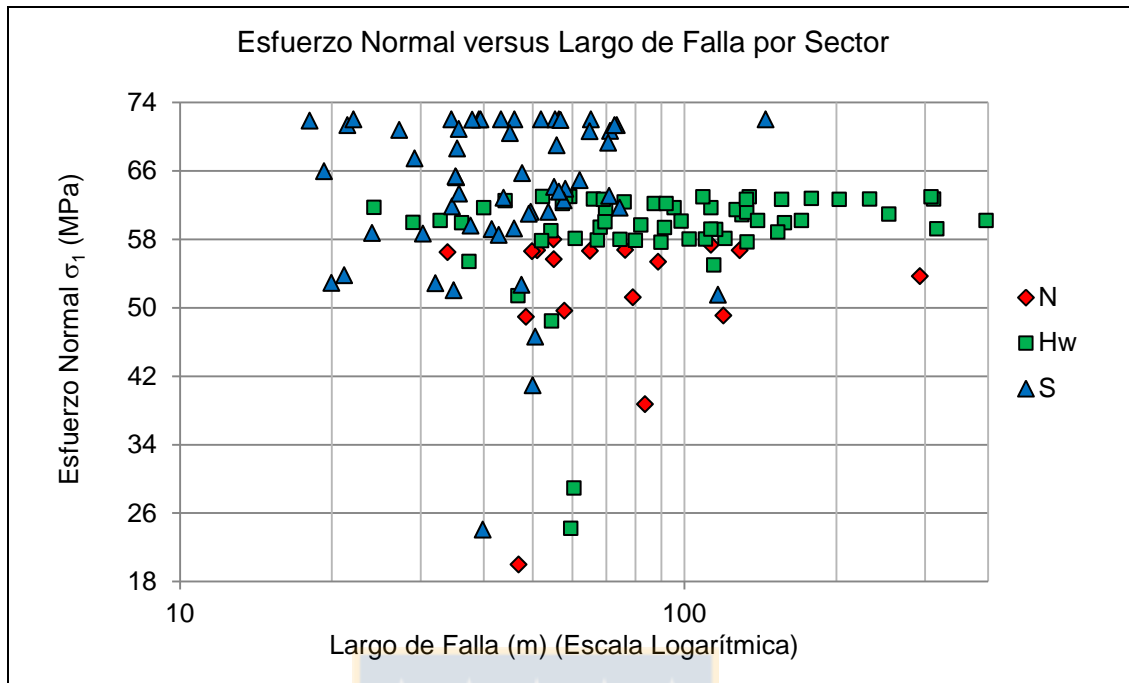


Figura 5.18: Gráfico de resultados de esfuerzo normal sobre las fallas, considerando su largo y al sector dentro del área de estudio al que pertenecen (N: sector Norte, Hw: sector Cabeza, S: sector Sur).

Los resultados son válidos para la fecha en que los esfuerzos principales fueron estimados, a saber, en mayo de 2014 y pueden tener una validez de uno a dos años, ya que los esfuerzos varían con la geometría de las excavaciones. Todos los valores de esfuerzo normal calculados se detallan en el Anexo D. En él, también aparecen las fallas enumeradas de 1 a 136, y se indica la identificación del soporte de la base de datos al que está asociada y al sector al que pertenecen.

La resistencia al corte es directamente proporcional al valor de esfuerzo normal, por lo que su cuantificación exacta es importante para tener un valor más cercano a la realidad, sin embargo en el presente estudio el valor del esfuerzo normal es una limitante, debido al método utilizado para calcularlo, y se sugiere determinar el esfuerzo normal para cada falla de forma individual y no utilizar el método por sectores, para tener resultados más exactos y precisos.

### 5.3.2.2. JRC (*Joint Roughness Coefficient*)

El coeficiente de rugosidad se estima en base a la determinación de la amplitud máxima de las asperidades y el largo del perfil de cada una de las fallas medidas en un plano 2D, proveniente del Mapa Interpretación Estructural Sub6 Producción. Para ello se exporta la geometría de cada una de las fallas desde la base de datos Xilab (Figura 5.19), a un archivo formato DXF (*Drawing Exchange Format*) (Figura 5.20), que es un dibujo de diseño asistido por computadora, que posibilita la

interoperabilidad entre archivos DWG (*DraWinG*), usados por el programa Rhinoceros y AutoCAD, utilizados en para la determinación del JRC y la confección del Mapa de Resistencia. Todo el procedimiento detallado de cómo obtener el valor del JRC por medio de los *softwares*, junto su respectiva descripción y resultados se encuentra en el Anexo E.

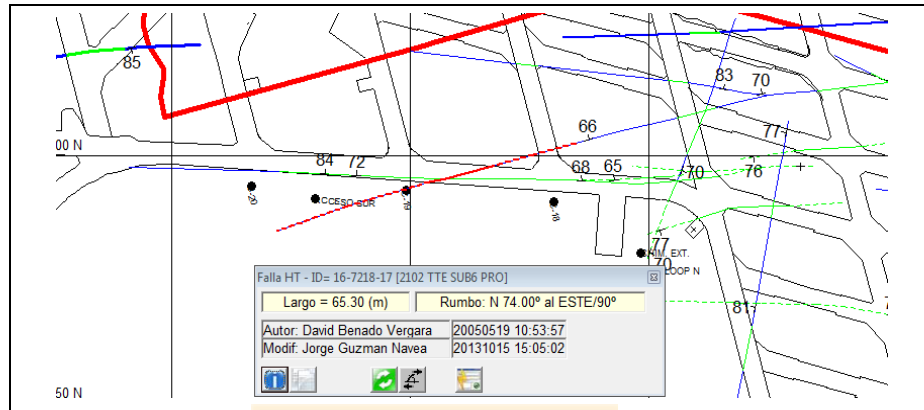


Figura 5.19: Falda geológica en Xilab con su respectiva información.

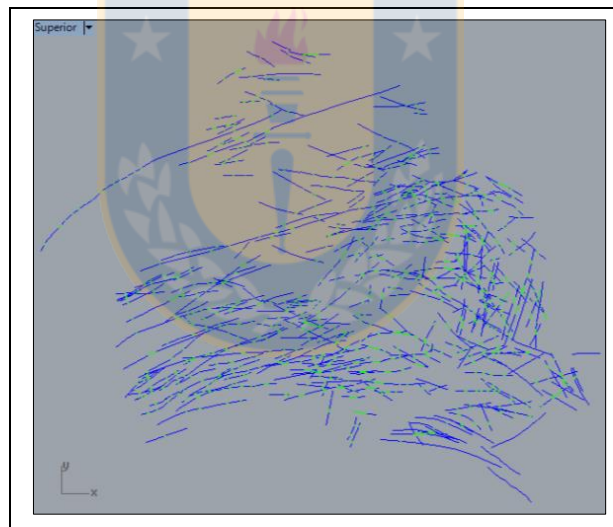


Figura 5.20: Archivo DXF de fallas del Nivel Sub6 Producción (Incluye RENO-Dacita).

Mediante el *software* Rhinoceros 5.0 cada una de las fallas del sector de estudio es tratada individualmente. De forma general, se determina la línea de mejor ajuste para una falla, y un extremo de ella, junto con la misma falla, son trasladadas en conjunto al origen del sistema de coordenadas, luego se rotan dejando la línea de mejor ajuste sobre el eje horizontal (Figura 5.21). A partir de esto se genera un archivo de texto simple (.txt) de la aplicación Bloc de notas, la que contiene las coordenadas de los puntos que conforman la traza de la falla. En base a este archivo se generan cálculos en Excel por medio de una macro y se obtiene la amplitud máxima y longitud del

perfil. Una vez obtenidos estos valores se grafican en diagramas extendidos de la Tabla de Barton (Figura 5.22), para los cuales se calcula gráficamente el JRC para cada falla, proyectando el punto a la derecha de la tabla de forma paralela a las líneas de JRC estándar establecidas, donde adquiere un valor entre 0 a 20.

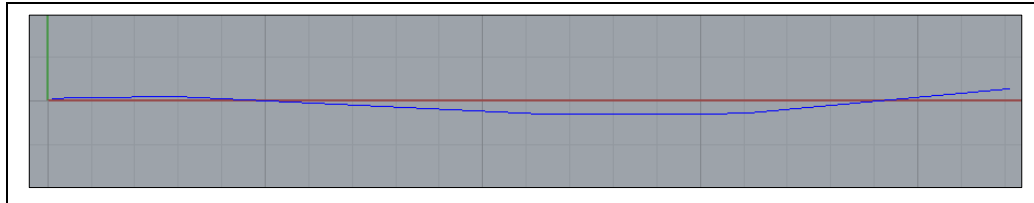


Figura 5.21: Falla geológica (línea azul) con línea de mejor ajuste (rojo oscuro) sobre el eje horizontal del sistema de coordenadas.

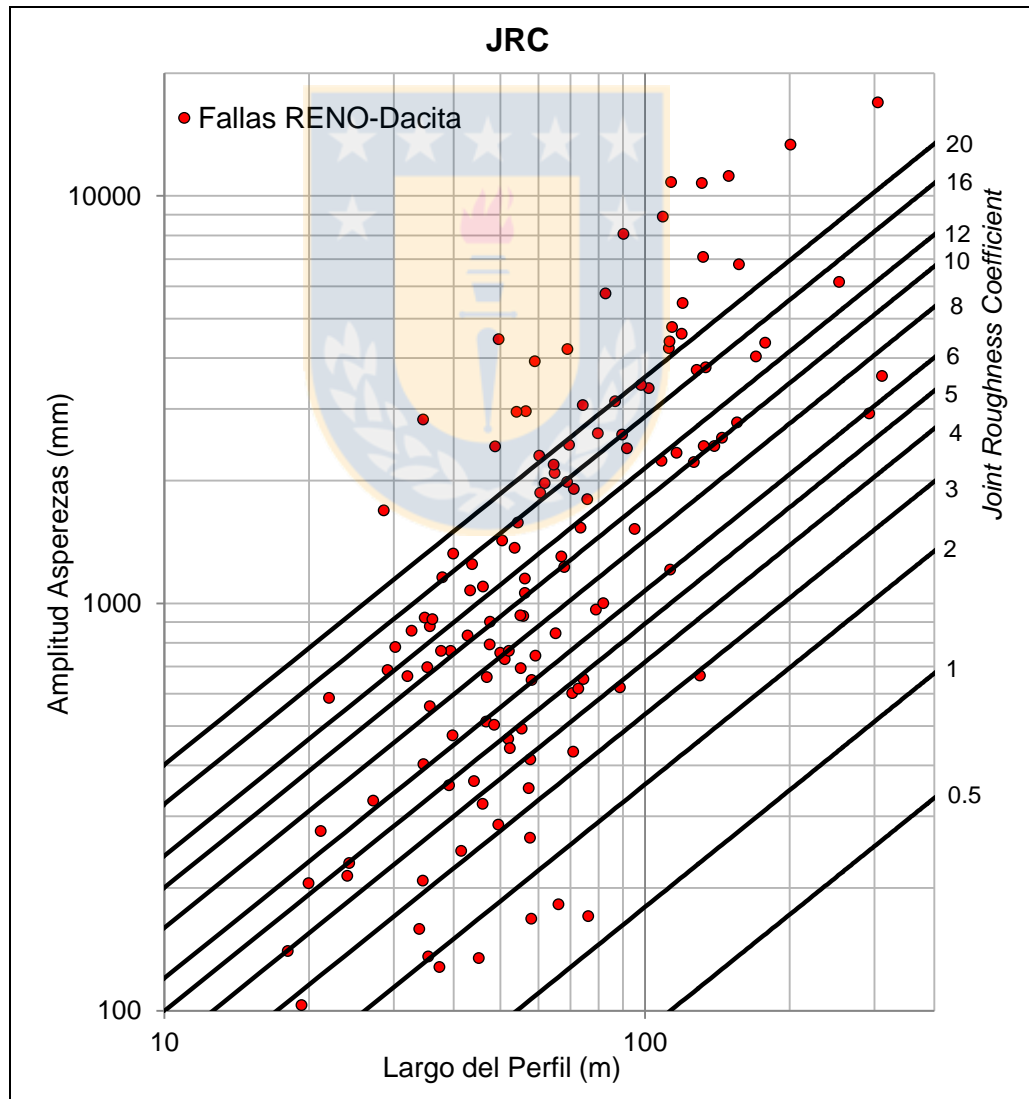


Figura 5.22: Tabla de Barton para evaluar la rugosidad de las fallas según su Amplitud de Asperezas (mm) versus el Largo del Perfil (m) de las fallas de RENO-Dacita.

Los resultados de JRC se agrupan en 5 grupos desde baja rugosidad (JRC desde 0 a 4) a alta rugosidad (JRC desde 16 a 20) (Tabla 5.5) para describir cualitativamente la rugosidad y aplicar aquello en el Mapa de JRC de Fallas RENO-Dacita. También a cada rango se asocia a un promedio del largo de perfil, que es un valor cercano a la traza de falla, pero no igual, pues se refiere específicamente a la longitud de la línea de mejor ajuste, utilizada para obtener el JRC. Estos resultados se muestran gráficamente en la Figura 5.23.

Tabla 5.5: Cantidad de fallas según rugosidad y su respectivo promedio de largo del perfil (m).

Rango JRC	Rugosidad	N° fallas	Porcentaje	Promedio largo perfil (m)
[16, 20]	Alta	42	30,9%	110,2
[12, 16[	Media alta	20	14,7%	71,1
[8, 12[	Media	25	18,4%	74,9
[4, 8[	Media baja	29	21,3%	68,3
[0, 4[	Baja	20	14,7%	54,1
	Total	136	100,0%	80,8

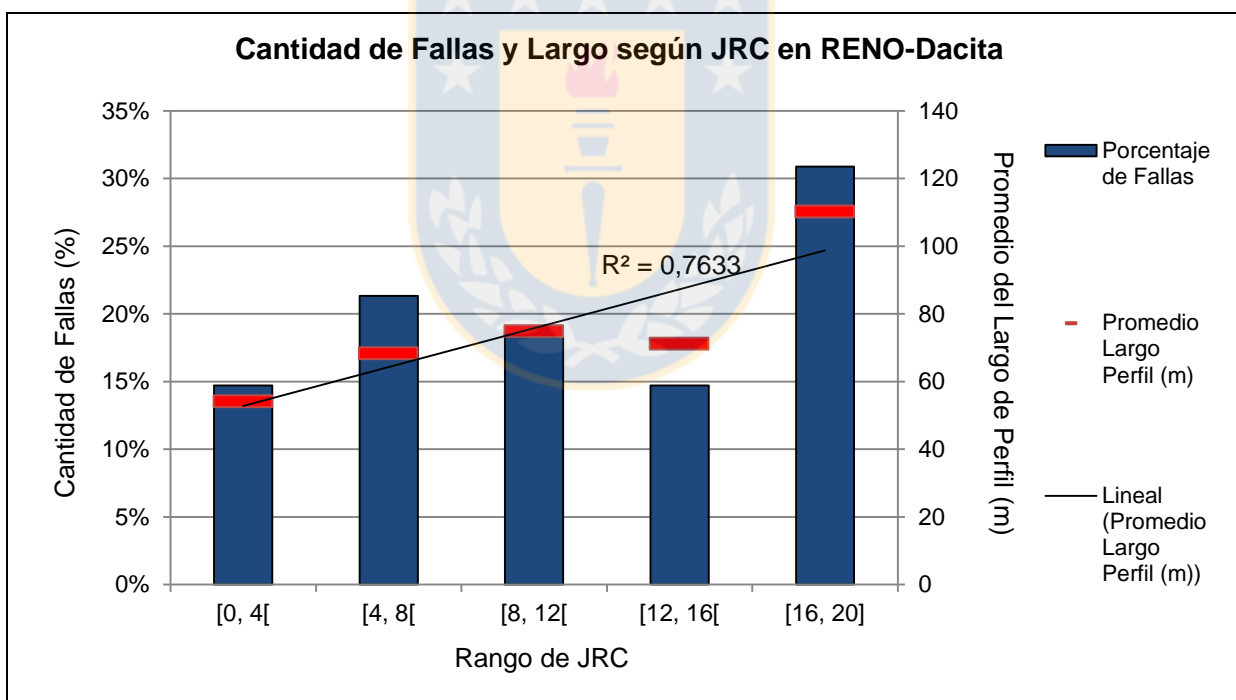


Figura 5.23: Porcentaje y largo de fallas según rango de JRC en RENO-Dacita. Cerca de un 15% de las fallas poseen un JRC bajo (<4) con un largo promedio de 54 m.

Los resultados de rugosidad indican que aproximadamente 1/3 de las fallas poseen alta rugosidad, por lo que se encuentran bien trabadas y un 36% de ellas poseen bajo a medio bajo JRC, por lo que son más propensas a activarse, considerando sólo este parámetro.

Existe un cierto grado de correlación positiva ( $R^2= 0,76$ ) (Figura 5.23) que indica, *grosso modo*, un aumento del valor del JRC con el aumento del promedio del largo del perfil, y por ende, con la persistencia de falla, por lo que fallas más largas tienden a tener mayor rugosidad.

- **Variación del JRC a lo largo de la traza de falla:**

Debido a que el JRC es un parámetro que depende de la escala en que se analice y que las fallas no son completamente rectas, se pretende estudiar el JRC en segmentos de falla, disminuyendo la escala y "estandarizando" en la medida de lo posible la longitud de falla. Para este estudio se establecen dos largos arbitrarios: 40 m y 80 m. Se aclara que el concepto de segmento utilizado en esta sección adquiere solamente una connotación geométrica, a saber, como un fragmento comprendido entre dos puntos, y no como la definición geológica clásica de segmento de falla relacionado al crecimiento de ella por la unión de varias trazas de pequeñas rupturas.

Para analizar la variación de la rugosidad a lo largo de la traza de falla, ésta se descompone en segmentos de igual longitud y se determina el JRC de éstos. Se muestra un ejemplo en la Figura 5.24 en la cual la falla completa posee un largo de perfil de 253,8 m con un JRC= 14,1. Cuando se considera la misma falla, pero en dos segmentos de igual longitud, uno tiene un JRC=5,4 y el otro un JRC=20. Se procede de la misma forma para tres y hasta cuatro segmentos de igual longitud. El promedio de JRC para dos, tres y cuatro segmentos de igual longitud es 12,7; 10,9 y 7,3 respectivamente. Los resultados muestran que mientras más pequeños son los segmentos de la falla, el promedio de JRC de ellos disminuye, es decir, una misma falla tiende a poseer menor rugosidad en tramos más reducidos de ella, aunque también existe la posibilidad de que el JRC de un segmento sea mayor, pero el promedio es siempre menor o igual.

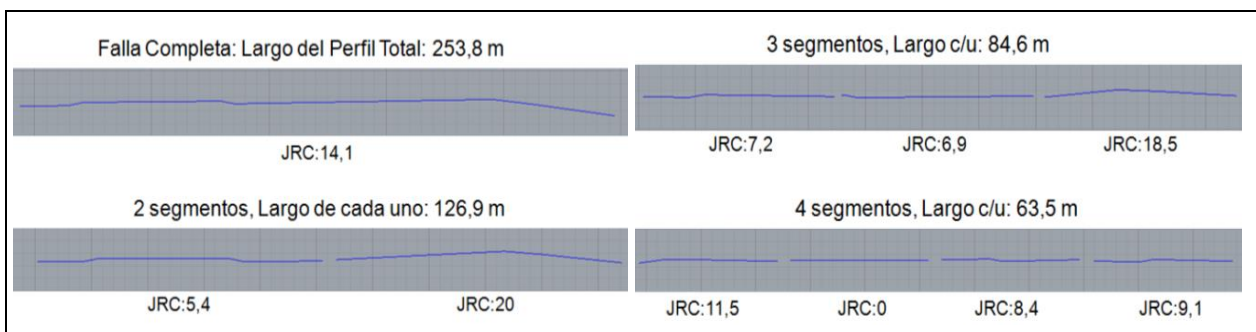


Figura 5.24: Ejemplo de la variación del JRC a lo largo de la traza, considerando segmentos de falla.

- **Procedimiento para la obtención del JRC de Fallas o Segmentos hasta 40 m y 80 m:**

1. Las fallas de largo mayor a 40 m se dividen en segmentos de igual longitud, los cuales no deben superar este valor. En caso de que el largo de la falla sea menor a 40 m, ésta no se divide en segmentos. Se realiza lo mismo tomando en cuenta un largo de 80 m.
2. Debido a la creación del concepto de Fallas o Segmentos (Fallas-Segmentos) hasta 40 m y 80 m, se puede hacer referencia al concepto de “Falla Total” que se refiere a la(s) falla(s) tomando en cuenta la totalidad de su longitud.
3. Para cada segmento de falla se calcula el JRC de la misma forma en que se realiza para la Falla Total. Los segmentos se nombran numéricamente creciente de W a E, con el fin de tener un orden para calcular el JRC y posteriormente confeccionar el mapa.
4. Estas dos longitudes son elegidas con el fin de estudiar la variación del JRC en segmentos de las fallas, considerando dimensiones no muy grandes ni tan pequeñas, dentro del rango de longitud de Fallas Intermedias, y que no sean longitudes muy similares.

Se ejemplifica el procedimiento aplicado para el análisis de Fallas o Segmentos hasta 40 m en la con Falla 011 de 102 m de largo, la que es dividida en 3 segmentos de 34 m cada uno (Figura 5.25). El JRC de la Falla Total es 18,2; el del segmento 1 (más al oeste) es 20, el segmento 2 tiene JRC= 13,3; y el segmento 3 (más al este) su JRC=0. En el caso para las Fallas o Segmentos hasta 80 m, la misma Falla 011 se divide en dos segmentos de 51 m cada uno; un segmento posee JRC= 19,2 y el otro 9,3.

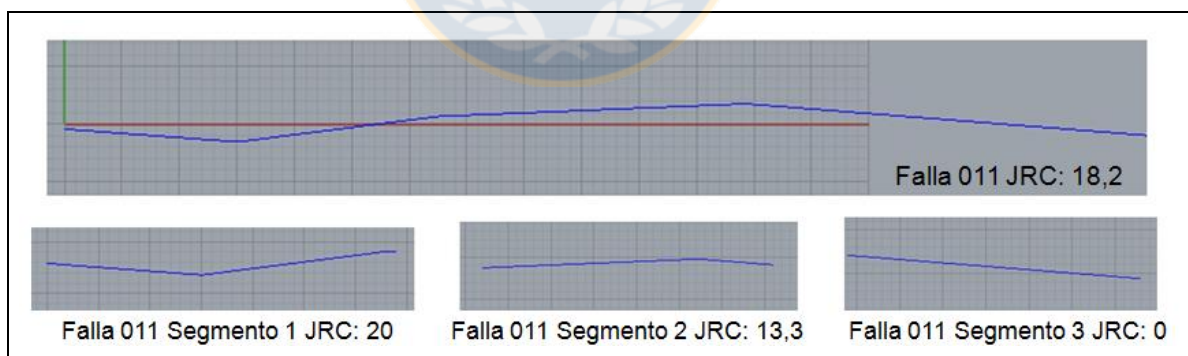


Figura 5.25: Falla completa dividida en 3 segmentos (menor a 40 m cada uno) con valores de JRC.

Los resultados de JRC para la Falla Total, Fallas y Segmentos hasta 40 m y 80 m se resumen en la Tabla 5.6 y se muestran en el gráfico de frecuencia acumulada de la Figura 5.26. Las curvas de frecuencia acumulada de Falla Total y de Fallas o Segmentos hasta 80 m son muy similares, pero existe una diferencia notoria con la curva de frecuencia acumulada de las Fallas o Segmentos hasta 40 m. Por esta razón se confeccionan dos mapas de rugosidad: uno para Falla Total y otro para las

Fallas o Segmentos hasta 40 m. Todos los resultados de rugosidad según segmento se detallan en el Anexo E.

Tabla 5.6: Resumen resultados JRC para los tres tipos de estructuras consideradas.

Estructura	N° Datos	JRC Promedio
Falla Total	136	11,4
Fallas o Segmentos hasta 80 m	195	10,8
Fallas o Segmentos hasta 40 m	336	8,5

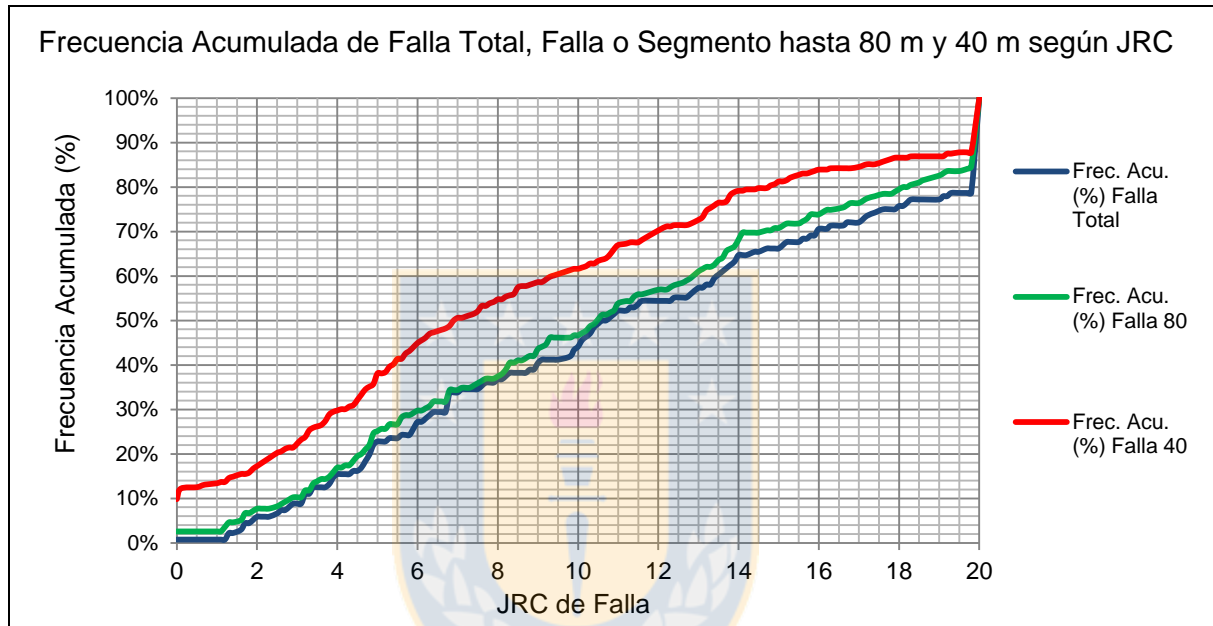


Figura 5.26: Frecuencia acumulada de Falla Total, Fallas o Segmentos hasta 40 m y 80 m según JRC. Las estructuras con un JRC bajo (<4) o medio bajo (4 a 8) corresponden a un 36% de las fallas (Falla Total), y a un 55% de las Fallas o Segmentos menor a 40 m.

A partir de los resultados de JRC se genera el Mapa de Rugosidad (JRC) de Fallas, de acuerdo al rango de JRC al cual pertenecen. Para cada uno de los cinco grupos se asigna un color que es rojo cuando posee baja rugosidad, naranja: rugosidad media baja, verde: rugosidad media, azul: rugosidad media alta, y negro: alta rugosidad (Figura 5.27 y en Anexo I).

El Mapa de JRC de Falla Total muestra gráficamente el rango de rugosidad de cada falla y su ubicación. Cada falla tiene indicado su nombre numérico en la parte oeste de ella, al cual está asociado un "IdSoporte" o identificación de la base de datos, con lo cual se puede buscar en el sistema (Xilab). El número de falla y su correspondiente IdSoporte están en el Anexo D. Por ejemplo, la Falla 1 es la falla 16-10055-1 de la base de datos. Algunas estructuras poseen nombre, como el Sistema de Fallas N1, Falla C, Falla K, entre otras.

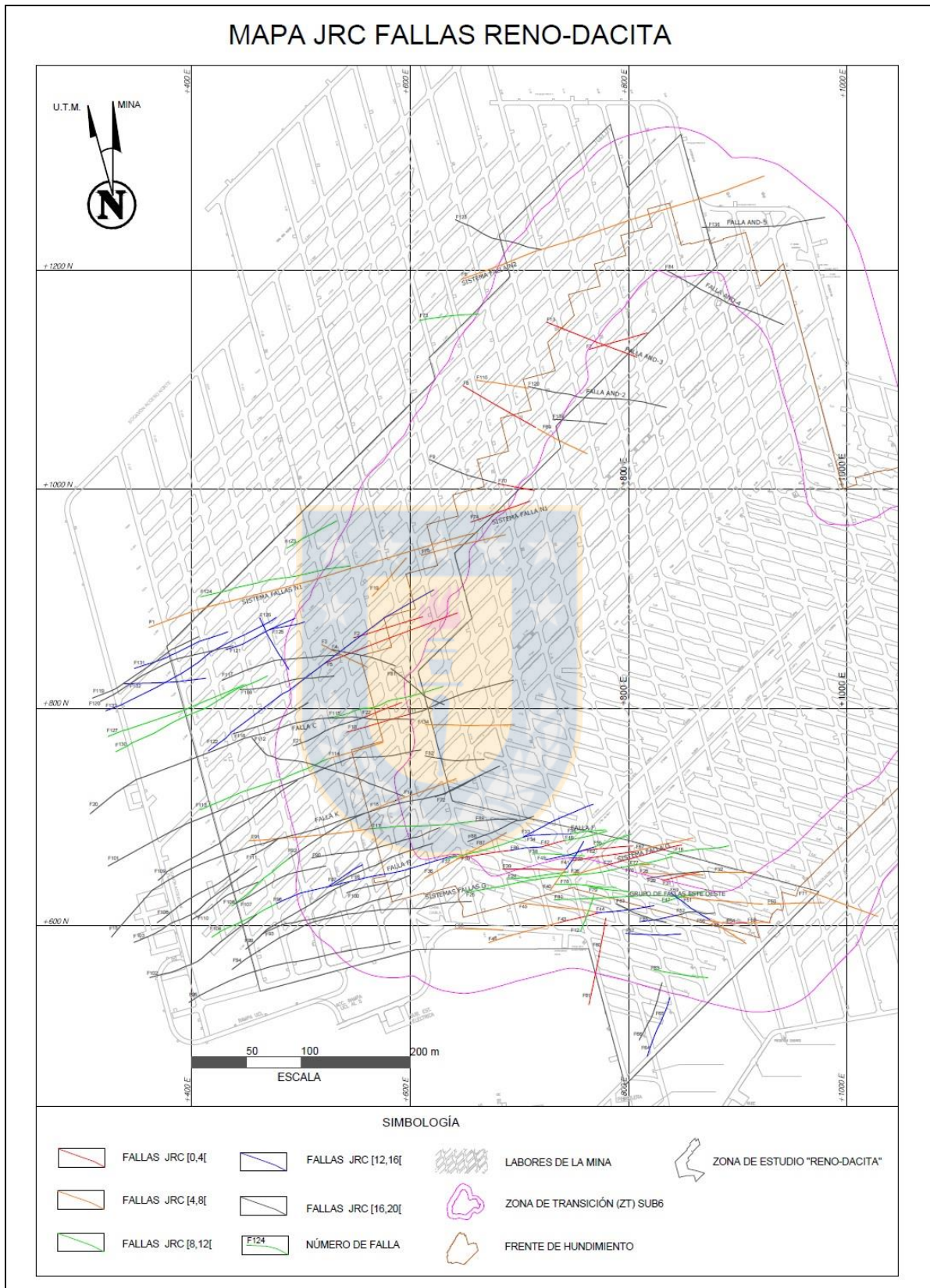


Figura 5.27: Mapa de JRC de Fallas RENO-Dacita (Falla Total). También está en Anexo I.

Las fallas coloreadas en rojo y naranja son menos trabadas, pues tienen menor rugosidad, y están localizadas más predominantemente al norte y al sur, distribuidas heterogéneamente, mientras que en el sector Hw dominan fallas con rugosidad mayor.

El Mapa de JRC de Fallas o Segmentos (Fallas-Segmentos) hasta 40 m (Figura 5.28 y en Anexo I) evidencia mayor abundancia de colores cálidos asociados a menores rugosidades. En él, se observan fallas que en el Mapa de Falla Total poseen un color oscuro (de alto JRC), por ejemplo la Falla C, que en el nuevo mapa (de Fallas-Segmentos) tienen ciertas partes de ella que poseen menor rugosidad, incluso con rugosidad baja. Esto confirma que una falla a lo largo de su traza posee partes con menor rugosidad, es decir, zonas en las que están menos trabadas, por lo que en estas partes serían más susceptibles a deslizamientos.

La limitación de este parámetro es que sólo se mide en un plano 2D, que es el plano horizontal a la cota 2.102 m s.n.m., sin embargo, esto es algo intrínseco vinculado a la medida del JRC medido en un perfil. Se sabe que el movimiento de corte puede ser dibujado en dos dimensiones, pero no se sabe con exactitud si es exactamente en el mismo perfil horizontal 2D donde ocurrirá este movimiento. Por esto, se recomienda estudiar la rugosidad de las fallas examinando más de un perfil, sobre todo aquellas que posean menor rugosidad en el perfil 2D ya analizado, pues implican menor trabazón y mayor riesgo de activación.

### 5.3.2.3. JCS (*Joint Compressive Strength*)

La resistencia a la compresión simple de las paredes de cada falla se obtiene en base a información interna de la Superintendencia de Geología. Para cada una se calcula un JCS ponderado, considerando las litologías que atraviesa en el modelo geológico, trabajando en el *software* Xilab. Se utilizan los datos de la resistencia en compresión uniaxial de la roca intacta (UCS). Esto se sustenta en el hecho que el material de relleno tiene influencia en la resistencia al corte cuando la razón  $\gamma = \text{espesor/amplitud}$  ( $e/a$ ) es mayor a 1 (De Los Santos, 2011), como se muestra en la Figura 5.29.

La relación entre amplitud y espesor de las fallas analizadas es muy baja con un promedio  $\gamma = 0,04$ . Los coeficientes  $\gamma$  más altos se muestran en la Figura 5.30, y ninguno de ellos supera el valor 1, por lo que en estas discontinuidades el material de relleno no tiene influencia en la resistencia al corte. Por esta razón se ignora el material de relleno para la estimación del JCS, y sólo se considera el JCS de la roca intacta, equivalente al UCS, pues es la misma roca intacta la que tendría que romperse para que la falla pueda deslizarse.

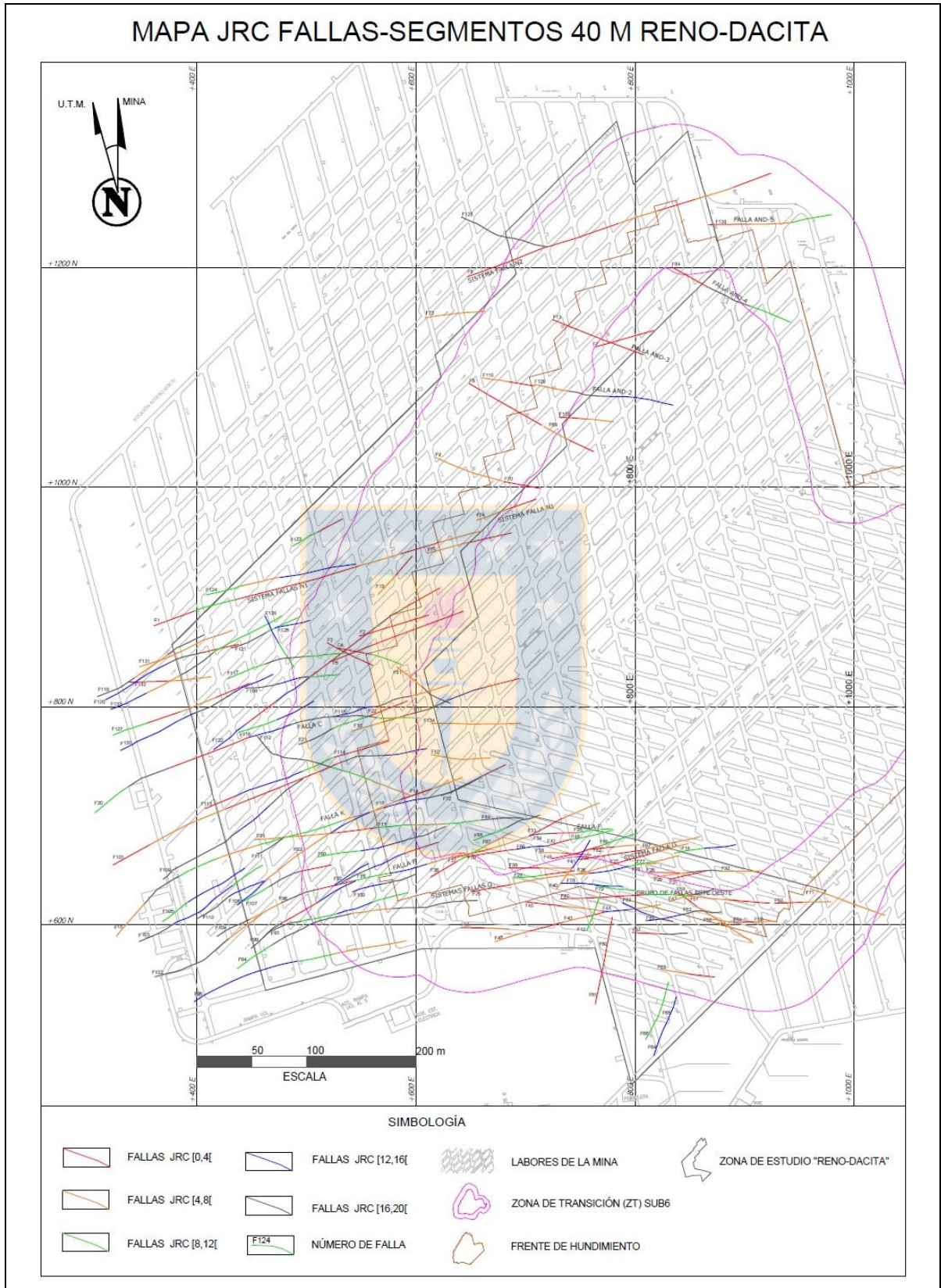


Figura 5.28: Mapa de JRC de Fallas o Segmentos hasta 40 m. También está en Anexo I.

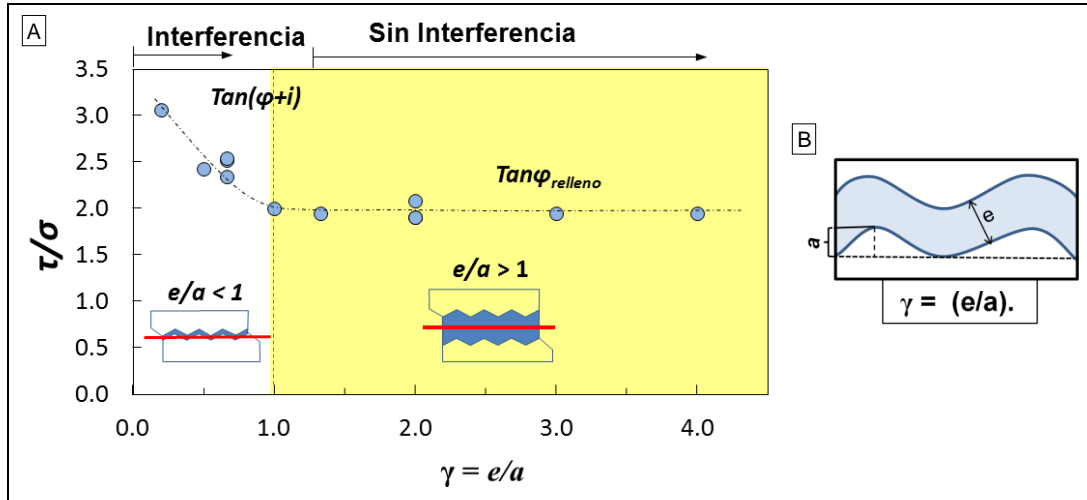


Figura 5.29: A) Valor  $\gamma=e/a$  (espesor/amplitud) relacionada a la razón de esfuerzo al que está sometida la discontinuidad en la ruptura. Cuando  $\gamma>1$  el material de relleno tiene influencia en la ruptura. B) Esquema discontinuidad indicando su espesor ( $e$ ) y la amplitud de la rugosidad ( $a$ ). De los Santos (2011).

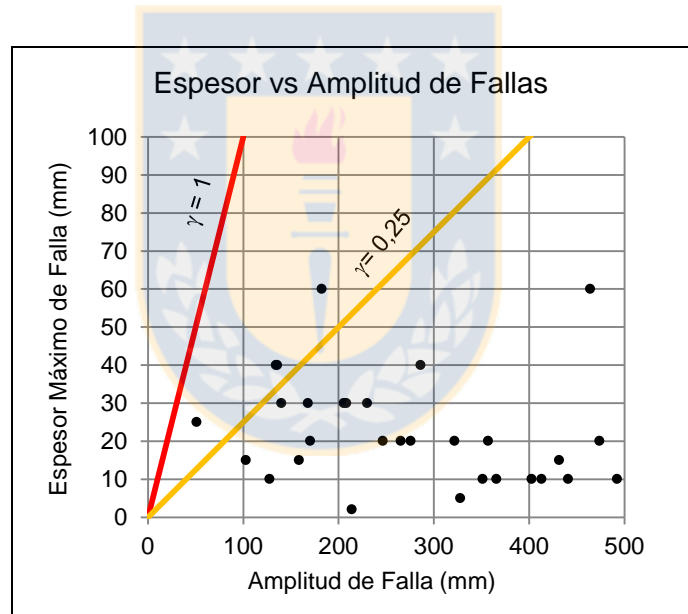


Figura 5.30: Relación espesor/amplitud de fallas RENO-Dacita (fallas con los mayores  $\gamma$ ). Las amplitudes son muy superiores a los espesores de relleno. Todas con  $e/a<1$ .

Los valores de UCS para las rocas de RENO-Dacita se muestran en la Tabla 5.7. Los colores de relleno de las celdas del valor del UCS se asimilan con el de la litología del Mapa de Interpretación Litológica de la mina (Figura 5.31). Considerando el Mapa de Interpretación Estructural superpuesto al Mapa Litológico, las fallas se analizan según segmentos de igual longitud con un largo de hasta 40 m y a éstos se les asigna una litología predominante, luego, a partir de ellos se determina un JCS

ponderado, que en promedio, para las fallas de RENO-Dacita es igual a 137,5 MPa. El cálculo y el detalle del JCS ponderado de cada falla están en el Anexo F.

Tabla 5.7: Valores de UCS de las principales litologías del área de estudio (Millán, 2014)

UCS (MPa)	Abreviatura	Litología
135	CMET	Complejo Máfico El Teniente Hw
151	PDA	Pórfido Dacítico
151	BXPDA	Brecha Ígnea de Pórfido Dacítico
108	BXANH	Brecha de Anhidrita
140	PDI	Pórfido Diorítico

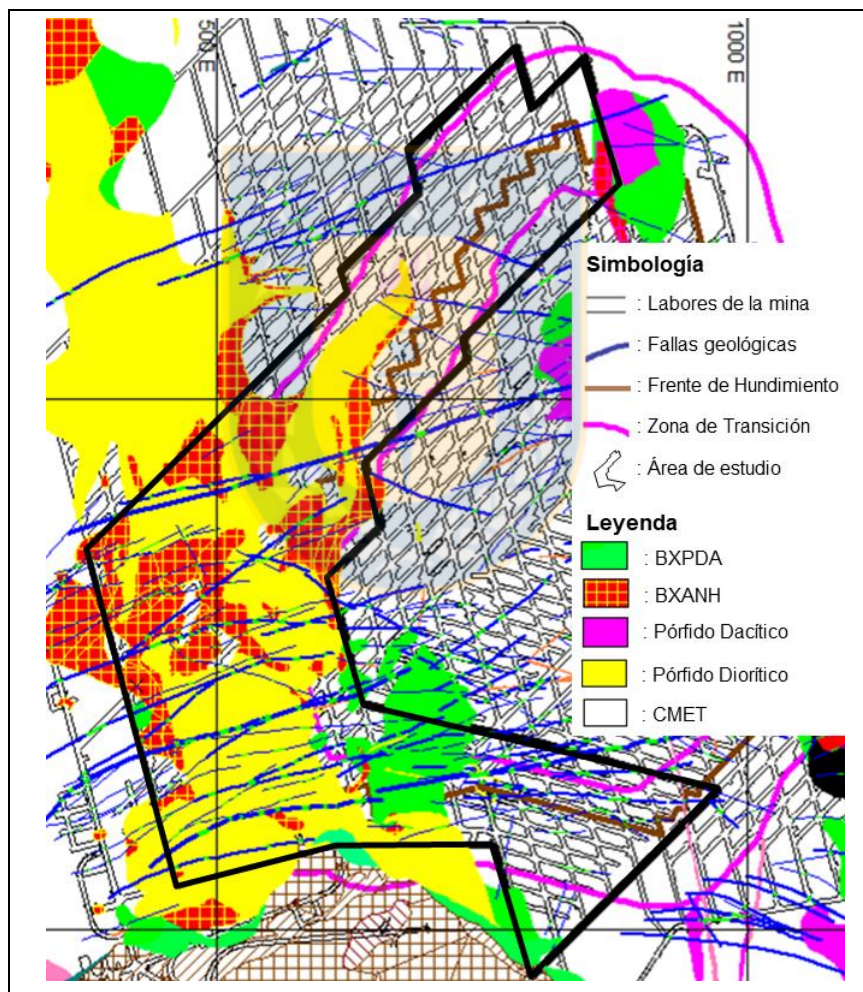


Figura 5.31: Mapa de Xilab con las litologías principales de RENO-Dacita.

Como ejemplo se expone la Falla 1 de 312 m de longitud (Figura 5.32), que se divide en ocho segmentos de 39 m (longitud < 40 m) y a cada uno de ellos se le asocia una litología predominante. En el primer segmento (más al oeste) predomina la litología CMET con un valor de JCS 135 MPa,

en los siguientes segmentos (2, 3 y 4) predomina el Pórfido Dacítico de color amarillo en el mapa, y así sucesivamente se va asignando una litología predominante de acuerdo a un segmento (Tabla 5.8). A partir de los valores de los JCS de los segmentos se determina el JCS ponderado de la falla, el cual es 145 MPa para la Falla 1.

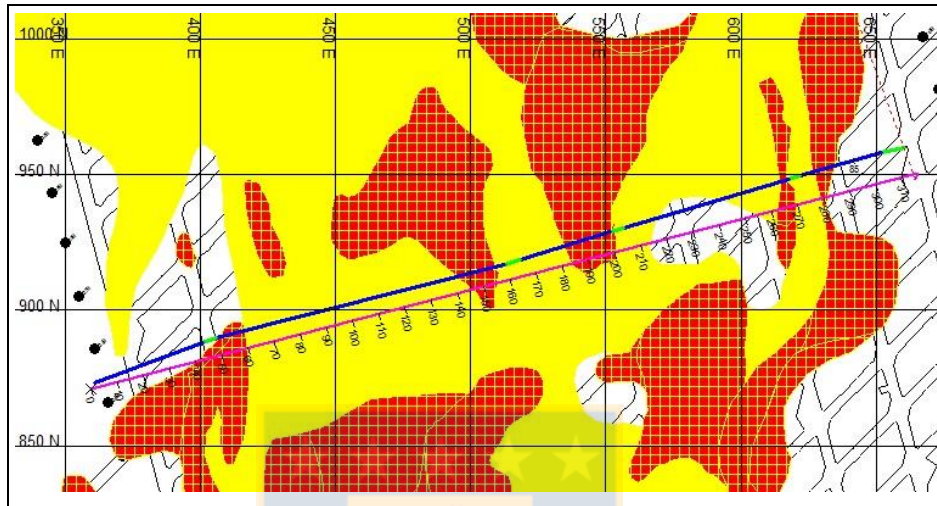


Figura 5.32: Esquema para la determinación del JCS ponderado para una falla (Ejemplo Falla 1).

Tabla 5.8: Ejemplo del cálculo del JCS estimado para la falla de la Figura 5.32.

ID Soporte: 16-10055-1		Falla 1
N° Segmento	Valor JCS (MPa)	Litología
Segmento 1	135	CMET
Segmento 2	151	PDA
Segmento 3	151	PDA
Segmento 4	151	PDA
Segmento 5	151	BXPDA
Segmento 6	135	CMET
Segmento 7	151	PDA
Segmento 8	135	CMET
JCS Ponderado Total Falla	145	

La limitación de este método de calcular el JCS ponderado es que el valor obtenido no necesariamente posee una alta exactitud, ya que es netamente visual y toma en cuenta sólo la litología predominante de acuerdo a segmentos, pero si es considerado una buena estimación. En todo caso las litologías de estudio no presentan grandes diferencias de JCS que pudieran modificar de notablemente los resultados.

### 5.3.2.4. Ángulo de Fricción Residual ( $\phi_r$ )

El ángulo de fricción es muy sensible a escala de estructuras de traza pequeña (Fallas Menores e Intermedias), donde la disminución de sus valores ocurre muy rápidamente a medida que aumenta la persistencia. Esta variación tiende a atenuarse y estabilizarse en las estructuras de mayor persistencia (Mayores, Maestras y Distritales) (Millán, 2014). En la mina las Fallas Intermedias poseen un ángulo de fricción residual estimado entre 25-30° y las mayores entre 22 a 25° (Tabla 5.9).

Tabla 5.9: Valores de ángulo de fricción para fallas El Teniente, de acuerdo a su persistencia. Millán (2014).

Tipo de falla	Persistencia (m)	Ángulo de fricción (°)	
		Máximo (Peak)	Residual
Distrital	>1000	20-25	15-20
Maestra	500- 1000	25-27	20-22
Mayor	100- 500	27-30	22-25
Intermedia	4-100	30-35	25-30
Menor	<4	35-40	30-35

Los valores del ángulo de fricción para las fallas de El Teniente pueden ajustarse en función de su persistencia, de acuerdo a una distribución logarítmica. Esto se explica en que se ha observado que la resistencia al corte de las estructuras depende fuertemente de la escala y por lo tanto la persistencia debe ser tomada en cuenta al momento de determinar el ángulo de fricción (Millán 2014). Por otro lado, se ha encontrado que, en la naturaleza, las relaciones geoméricamente dependientes se ajustan a distribución log-normal, exponencial o de Weibull (Pusch, 1995 en Millán, 2014). Sobre la base del mejor ajuste de los ángulos de fricción expuestos en informes técnicos desarrollados por consultores para la División, Millán (2014) determina la relación:

- $\phi_r = -2.0 \ln L + 35$  (°), donde:
  - $\phi_r$ : ángulo de fricción residual
  - $L$ : persistencia de la estructura,  $L > 0$

Esta última ecuación se utiliza para obtener el ángulo de fricción residual para las fallas de RENO-Dacita.

Las estadísticas muestran que las 136 fallas analizadas tienen en promedio un ángulo de fricción residual igual a 26,6°, con un valor máximo de 29,2° para la falla de menor traza (18 m) y con un

valor mínimo de 23,0° de la falla de mayor traza (397 m). El detalle de cálculos y resultados está en el Anexo G.

#### 5.4. Resultados de Resistencia al Corte y Mapa

En base a los parámetros calculados en las secciones anteriores, se determina el valor la resistencia al corte para cada falla. Los resultados indican que los valores varían entre un mínimo de 13,4 MPa, un máximo de 46,0 MPa, un promedio una resistencia al corte de 35,8 MPa y una desviación estándar de 5,1 MPa para las fallas dentro del área de estudio de RENO-Dacita. El detalle de cada estructura se encuentra en el Anexo H y el resumen de resistencias por sector se muestra en la Tabla 5.10.

Tabla 5.10: Resumen de resultados de la resistencia al corte

Parámetro Estadístico	Total RENO-Dacita	Sector N	Sector Hw	Sector Sur
Promedio (MPa)	35,8	30,4	36,1	37,1
Máximo (MPa)	46,0	39,2	44	46
Mínimo (MPa)	13,4	13,4	22	15,2
Desv. Estándar (MPa)	5,1	5,8	3,8	5,1

Las fallas del sector Norte tienen, en general, resistencias al corte más bajas (Figura 5.33), relacionado al menor esfuerzo normal actuante sobre ellas.

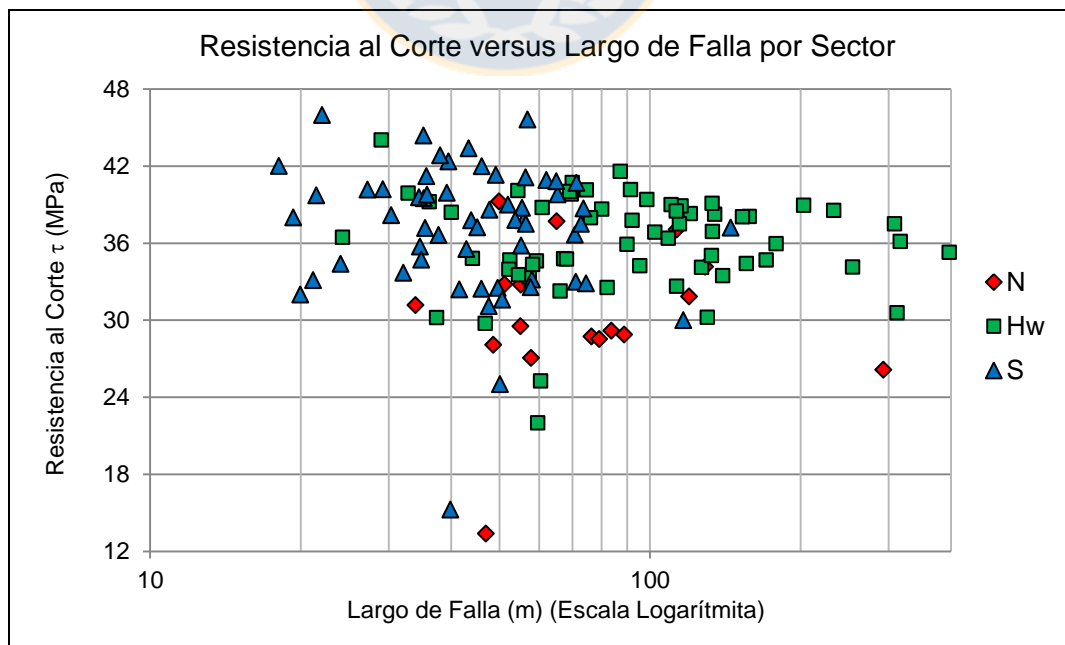


Figura 5.33: Gráfico de resistencia al corte versus largo de falla por sector (N: Norte, Hw: Cabeza, S: Sur).

Estos resultados son estimados y su validez está acotada a la fecha en que se estiman los esfuerzos normales (o principales), que en este estudio es mayo de 2014, hasta uno a dos años después de esa fecha. Los valores de resistencia al corte no necesariamente tienen una alta exactitud y precisión, pero son una aproximación a la realidad, ya que fueron calculados a partir de parámetros obtenidos de las mismas fallas de la mina.

Los resultados están limitados por la veracidad, exactitud y precisión de los datos de mapeo, de la interpretación geológica, de los valores obtenidos de UCS de las rocas y del ángulo de fricción residual calculado para las fallas en estudios anteriores, y por los valores de esfuerzo normal obtenidos por medio del método de los sectores en el modelo de esfuerzos. Con respecto a esto último, se aconseja recalcular los esfuerzos principales (o directamente el esfuerzo normal) de cada falla para aumentar la exactitud del valor de la resistencia al corte y actualizarlos a la fecha en que se realice el estudio, debido a que éstos varían a medida del avance del frente minero o la variación de a geometría de las excavaciones.

Finalmente se presenta el Mapa de Resistencia al Corte de Fallas ante el avance de la minería (Figura 5.34 y en Anexo I). Para confeccionarlo se establecen rangos de resistencia (Tabla 5.11). Cada estructura en su parte más al oeste tiene escrito su nombre y al lado el valor de su resistencia al corte en MPa, unidades no escritas para mayor ornato de la gráfica. Por ejemplo el Sistema de Falla N2 se identifica en este estudio como F6 (Falla 6) y el valor de su resistencia al corte es 26,1 MPa. La identificación numérica de las fallas de este estudio, relacionada con su identificación original de la base de datos Xilab está en el Anexo D.

Tabla 5.11: Rangos de resistencia al corte de las fallas en RENO-Dacita para el mapa.

Resistencia al corte (MPa)	Color en el mapa	N° Datos
[13,4 ; 25,0]	Rojo	4
]25,0 ; 32,0]	Naranja	19
]32,0 ; 39,0[	Verde	76
]39,0 ; 46,0]	Azul	37
		136

El mapa exhibe fallas coloreadas rojo y naranja con menor resistencia al corte, ubicadas al norte, de las cuales se pueden mencionar (de norte a sur): Sistema de Falla N2, Falla AND-4, Falla AND-3, Sistema de Fallas N1 y una falla del Grupo de Fallas Este-Oeste.

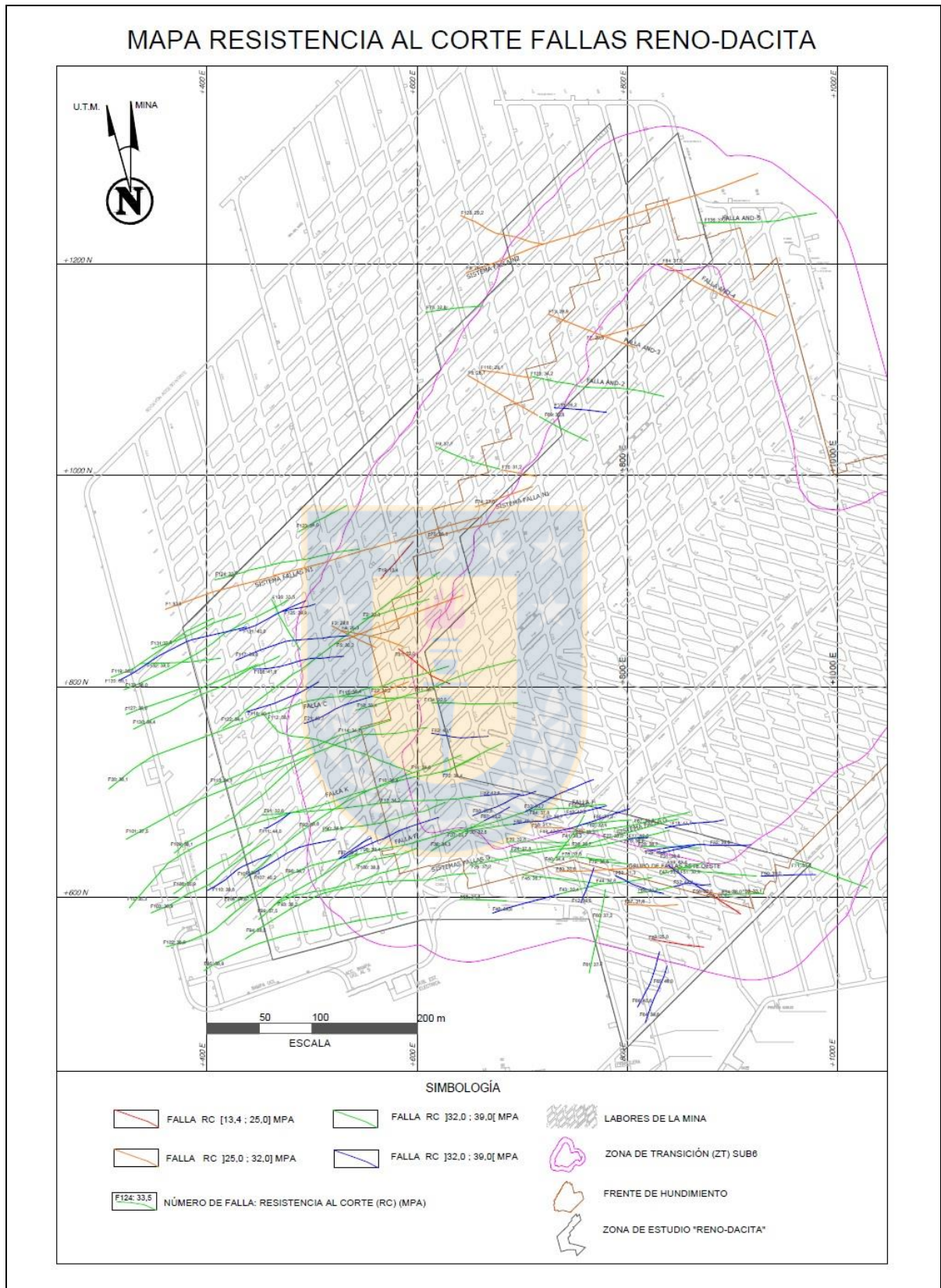


Figura 5.34: Mapa Resistencia al Corte de Fallas en RENO-Dacita (Anexo I).

Por último, se agrega que la relación entre la resistencia al corte máxima y el esfuerzo cortante sobre las fallas está ligada a su "Potencial de Activación", relacionado a la probabilidad que una falla se active. Slemmons y Depolo (1986) indican que ninguna definición de falla activa es aceptada universalmente, aunque en la mayoría de las definiciones hay dos elementos 1) el potencial o la probabilidad de desplazamientos futuros en el presente escenario tectónico y 2) el momento del desplazamiento más reciente (por ejemplo, el Holoceno histórico, Cuaternario, o " en el actual régimen seismotectónico). Dicho esto, el "Potencial de Activación" hace alusión a la primera acepción, vale decir, la probabilidad que haya desplazamiento futuro, en un escenario mesotectónico, tomando en cuenta estructuras a escala del metro al kilómetro.

Teóricamente, si el esfuerzo de corte (que puede obtenerse del modelo de esfuerzos) supera a la resistencia al corte máxima (calculada en esta investigación), una falla se activará, vale decir, ocurrirá deslizamiento de un bloque respecto al otro. En este estudio se propone que el Potencial de Activación está relacionado a la cercanía entre estos valores: entre más cerca esté el valor del esfuerzo de corte a la resistencia al corte máxima, existe mayor probabilidad que una falla se active.



## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

De acuerdo al presente estudio se presentan las siguientes conclusiones:

En lo que respecta a la caracterización geométrica de Fallas Intermedias (o de Segundo Orden Nivel Mina) del Nivel Sub6, que abarca las minas Reservas Norte, Dacita y Pilar Norte, efectuada principalmente por medio de análisis estadísticos de la base de datos Xilab de El Teniente se concluye que:

- La persistencia del total de la población fallas analizadas (1.350 datos), según los Mapas de Interpretación Estructural, gran parte de ellas (85,9%) son Fallas Intermedias (o de Segundo Orden), es decir, con una traza de entre 10 a 100 m, mientras que las Fallas Principales (o de Primer Orden), con una traza mayor a 100 m, comprenden el resto de la población (14,1%).
- La proporción de cantidad de fallas según el Orden de falla (Principal o Intermedia) en el nivel de producción (2.102 m s.n.m) y en el nivel de hundimiento (2.121 m s.n.m), analizándose por separado, es muy similar, diferenciándose en un 3,5%, lo que tiene relación con la diferencia de cota de aproximadamente 19 m entre ellos y la muy probable existencia de estructuras que tienen lugar en ambos niveles.
- Considerando cuatro rangos de persistencia en las Fallas Intermedias, grupo 1 de 10 a 25 m, grupo 2 de 25 a 50 m, grupo 3 de 50 a 75 m y grupo 4 de 75 a 100 m, el rango predominante de las 1.159 fallas del Sub6 Total (nivel producción y hundimiento juntos) es el de 25 m a 50 m, con un 46% de los datos, seguido del grupo 3 de 50 m a 75 m con el 23% de los datos, luego el grupo 1 con el 21% y el 10% del grupo 4. Las proporciones en los niveles por separado son similares, excepto en el grupo 1 diferenciándose en 13 puntos porcentuales.
- Las proyecciones estereográficas equiareales de polos del Total Sub6 exhiben mayor concentración de ellos cercano a los puntos cardinales Norte y Sur, y una consecuente menor concentración de ellos en una franja EW, con una distribución poco uniforme. Esto concuerda y se complementa con el diagrama de contornos que exhibe dos máximos, uno cercano al polo Norte con probabilidad de 12,6% y otro máximo cercano al polo Sur con probabilidad en el rango

de 9-10,5%. De acuerdo a estos diagramas se infiere que existe mayor probabilidad de encontrar fallas de alto ángulo y con orientación cercana al EW, o al más específicamente rumbo N75°E.

- En cuanto a la orientación asociado al rumbo de las fallas del Total Sub6 y considerando las orientaciones principales: N-S, E-W, NW-SE y NE-SW, el grupo mayoritario con el 57% de los datos son las que tienen una orientación E-W o cercana (en un rango de  $\pm 22,5^\circ$ ), seguido del NE-SW (20%), NW-SE (17%) y escasamente fallas orientadas N-S (6%). Las proporciones de acuerdo a los niveles son muy parecidas con diferencias no mayores a cuatro puntos porcentuales aproximadamente.
- Con los diagramas de rosetas se confirma y se especifica además que el rumbo más frecuentemente se encuentra entre las direcciones ENE-WSW y EW, y la mayor cantidad de fallas posee un rumbo entre N70°E a N80°E.
- Con respecto al manto, la mayoría de las Fallas Intermedias (63%) son fallas verticales a subverticales (ángulo de manto de  $75^\circ$  a  $90^\circ$ ), seguido de fallas de alto ángulo (de  $60^\circ$  a  $75^\circ$ ) representando aproximadamente 1/4 de los datos, y finalmente manteos inferiores a  $60^\circ$  representan alrededor del 11% de los datos. En los niveles, las proporciones se mantienen similares. La orientación del manto predominante es hacia el Sur y hacia el Norte, sumando un 57%.
- De forma general en el Sub6, el promedio del espesor mínimo y del máximo es 1,3 y 2,9 cm respectivamente conforme al Mapa Interpretación Estructural; y el espesor típico promedio es 1,3 cm (según Mapa Base) y 1,8 cm obtenido a partir de relaciones de proporcionalidad entre los mapas. El rango de espesores característicos podría asociarse a los rangos intercuartílicos que varían entre 0,5 a 1,2 cm para el espesor mínimo, entre 1,0 a 3,0 cm para el espesor máximo, y entre 0,5 a 1,5 cm para el espesor típico. En el estudio por niveles separados, los valores son muy cercanos, teniendo el nivel de hundimiento promedios de espesores unos pocos milímetros superiores.
- Los materiales de relleno más característicos de las Fallas Intermedias son: anhidrita, carbonato, yeso, subordinadamente calcopirita, clorita, cuarzo, salbanda, y en menor proporción, molibdenita, bornita y turmalina.

- No existe dato con el nombre de ondulación para las Fallas Intermedias, sin embargo, se describe la planaridad (concepto más relacionado al parámetro crítico) como recta a ondulosa como predominante (70-80%) para las "Fallas Intermedias MB", según los Mapa Base.
- La longitud de falla tiene una correlación positiva muy baja con el espesor máximo y una correlación negativa muy baja con el espesor mínimo.
- En relación a las Fallas Principales estudiadas anteriormente en el sector de estudio de acuerdo a referencias bibliográficas, las Fallas Intermedias poseen distribuciones de actitudes que se asemejan con la de las Principales, espesores de relleno inferiores, y los materiales de relleno mayoritarios o abundantes son los mismos en ambos tipos de estructuras.

En lo que concierne a la estimación de resistencia al corte según el Criterio de Barton y Choubey (1977), donde cada uno de los parámetros es estimado para cada una de las 136 fallas (Principales e Intermedias) en un área de estudio que abarca una parte de la Zona de Transición de las minas Reservas Norte y Dacita en el Nivel Sub6 Producción, las conclusiones son las siguientes:

- El esfuerzo normal sobre cada falla es posible calcularlo según la expresión de Hoek y Brown (1985), considerando los esfuerzos principales locales ( $\sigma_1$  y  $\sigma_3$ ) extraídos del modelo de esfuerzos producto de modelamiento numérico de mayo de 2014 de la Superintendencia de Geomecánica de la División, definidos de acuerdo a tres sectores dentro del área de estudio "RENO-Dacita", y el ángulo  $\beta$  relacionado con la orientación de la falla y de los esfuerzos. El esfuerzo normal tiene un promedio de 60,2 MPa, con un máximo de 72,0 MPa y un mínimo de 20,0 MPa.
- El coeficiente de rugosidad JRC se determinó en base a la geometría 2D de la vista de planta del Sub6 Producción del Mapa Interpretación de Xilab. Para cada falla se determinó una línea de mejor ajuste en el programa Rhinoceros, fijando un largo de perfil y una amplitud máxima que son graficados en la Tabla de Barton para estimar el JRC.
- Los resultados de rugosidad indican que aproximadamente 1/3 de las fallas poseen alta rugosidad (JRC de 16 a 20), por lo que se encuentran bien trabadas y un 36% de ellas poseen bajo a medio bajo coeficiente de rugosidad (JRC de 0 a 8), por lo que son más propensas a activarse, considerando sólo éste parámetro.

- Las fallas tienden a poseer menor rugosidad en tramos más reducidos de ella, no obstante, es probable que el JRC de alguno(s) de ellos sea mayor, pero el promedio de sus segmentos es siempre menor o igual.
- El JRC de las Fallas (Falla Total) y el de las Fallas o Segmentos hasta 80 m es similar, evidenciado en las curvas de frecuencia acumulada; y se diferencian notoriamente con los JRC de las Fallas o Segmentos hasta 40 m. Los promedios de JRC son 11,4; 10,8 y 8,5 respectivamente.
- Se confecciona un Mapa de JRC para Falla Total y para las Fallas o Segmentos hasta 40 m. En el primer mapa, el sector Norte tiene mayor cantidad de fallas con rugosidad baja, y el sector Cabeza tiene fallas con rugosidad más alta. En el mapa de Fallas-Segmentos 40 m exhibe mayor abundancia de JRC más bajos, que se debe a que las mismas fallas, en sectores más acotados de ella tienen menor rugosidad.
- El JCS de las fallas consideradas es igual la UCS de la roca intacta, pues el material de relleno no tiene influencia en cuanto a la resistencia al corte, ya que la relación  $\gamma = \text{espesor/amplitud (e/a)}$  es menor a 1 para todas las fallas. Es la misma roca intacta la que tendría que romperse para que la falla pueda deslizarse. Se calcula un JCS ponderado en base a las litologías que cada falla atraviesa, promediando un JCS= 137,5 MPa.
- El ángulo de fricción residual se calcula por medio de una relación logarítmica bibliográfica determinada para las fallas de El Teniente que toma en cuenta la persistencia. En promedio el ángulo de fricción residual es 26,6°.
- En base a los parámetros calculados en las secciones anteriores, se determina el valor la resistencia al corte para cada falla. Los resultados indican que los valores varían entre un mínimo de 13,4 MPa, un máximo de 46,0 MPa, un promedio una resistencia al corte de 35,8 MPa y una desviación estándar de 5,1 MPa para las fallas dentro del área de estudio de RENO-Dacita. Esto es válido para la fecha en que actúan los esfuerzos normales asociados (mayo de 2014), ya que éstos varían a medida que avanza el frente de hundimiento.
- Se confecciona un Mapa de Resistencia al Corte para cada Falla Total. Las que poseen menor resistencia al corte coloreadas en rojo y naranja están ubicadas al norte, de las cuales se pueden

mencionar (de norte a sur): Sistema de Falla N2, Falla AND-4, Falla AND-3, Sistema de Fallas N1 y una falla del Grupo de Fallas Este-Oeste.

- Los resultados están limitados por la veracidad, exactitud y precisión de los datos de mapeo, de la interpretación geológica, de los valores obtenidos de UCS de las rocas y del ángulo de fricción residual calculado para las fallas en estudios anteriores, y por los valores de esfuerzo normal obtenido por medio del método de los sectores.

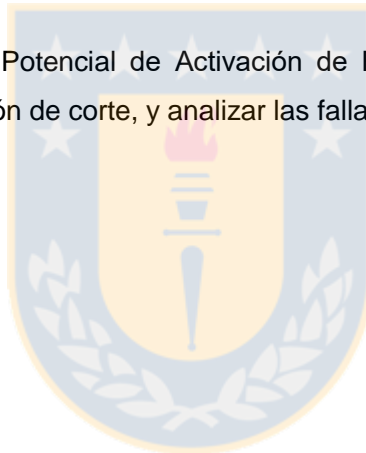
## 6.2. Recomendaciones

Con respecto a la caracterización de fallas según parámetros críticos:

- Aplicar el estudio estadístico para caracterizar a las fallas según sus parámetros críticos en otros sectores productivos de la mina para tener una visión más global de la geometría de las fallas a nivel del yacimiento, utilizando la base de datos Xilab, como fue realizado en esta memoria.
- Comparar la caracterización de Fallas Intermedias con la de Fallas Principales, o de mayor escala, y establecer posibles relaciones.
- En Xilab los Mapas Interpretación Estructural no consideran el espesor típico ni la ondulación-rugosidad de las fallas, por lo que se aconseja agregar estos parámetros a la base de datos.
- El dato de ondulación-rugosidad de las fallas puede determinarse como el JRC, estimando una línea de mejor ajuste en el software Rhinoceros, determinar el largo de perfil y amplitud máxima y así asignarle a cada falla un valor de JRC según la Tabla de Barton, tal como se efectuó en este estudio.
- Revisar la base de datos Xilab y rellenar las celdas vacías, según corresponda; modificar la identificación (nombre) de una estructura (soporte) en el caso que aparezca en el nivel de producción y en el nivel de hundimiento para que en ambos se identifique de la misma forma y no haya sobreestimación de alguna(s) estructura(s), si se da el caso.

Con respecto al tópico de la estimación de la resistencia al corte:

- Mejorar el cálculo del esfuerzo normal sobre el plano de falla. Para esto se propone establecer un criterio para escoger un punto sobre una falla sobre el cual se calcular el esfuerzo normal en base a los esfuerzos principales locales entregados por el modelo de esfuerzos de la mina, o si es posible, calcular directamente el esfuerzo normal sobre ella, actualizado a la fecha de interés.
- Aplicar el método de la estimación de la resistencia al corte de forma continua y actualizada tanto a Reservas Norte-Dacita, como a otros sectores productivos si es posible, y comprobar su efectividad: en caso de que alguna falla se active, comparar con los resultados de la estimación de la resistencia al corte y el esfuerzo cortante actuante sobre ella al momento del evento o cercano a él, y analizar relaciones entre estos valores e implicancias en la realidad.
- Comparar los resultados de la resistencia al corte máxima con la tensión de corte de las fallas de la mina y relacionarlos a su probabilidad de activación.
- Confeccionar un “Mapa de Potencial de Activación de Fallas” en base a la relación entre la resistencia al corte y la tensión de corte, y analizar las fallas y/o sectores con mayor peligrosidad.



## 7. REFERENCIAS

- AGUIRRE, L. 1960.** Geología de Los Andes de Chile Central. Provincia de Aconcagua. Instituto de Investigaciones Geológicas, Chile. Bol. N°9: 60 pp. Santiago.
- ARÉVALO, A. Y FLOODY, R. 1995.** Modelo global de alteración-mineralización. Estudio geometalúrgico del mineral a explotar a mediano y largo plazo. Codelco-Chile, División El Teniente, Superintendencia de Geología (Inédito): 158 pp. Rancagua.
- ARÉVALO, A.; FLOODY, R. Y OLIVARES, A. 1998.** Modelo geometalúrgico. Estudio geometalúrgico del mineral a explotar a mediano y largo plazo (GL-133/98). Codelco-Chile, División El Teniente, Superintendencia de Geología (Inédito): 76 pp. Rancagua.
- ARREDONDO, C. 1994.** Distribución, caracterización y génesis de los cuerpos de brecha en el sector central-este del yacimiento El Teniente. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 99 pp. Santiago.
- BANDIS, S.; LUMSDEN, A. C. Y BARTON, N. R. 1981.** Experimental studies of scale effects on the shear behaviour of rock joints. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*. Vol. 18: 1-21.
- BARTON, N. 1971.** A relationship between joint roughness and joint shear strength. Symposium Soc. Internat. Mécanique des Roches: 1-8. Nancy.
- BARTON, N. 1973.** Review of a new shear-strength criterion for rock joints. *Engineering Geology*. Vol. 7: 287-332. Amsterdam.
- BARTON, N. 1982.** Modelling rock joint behavior from in situ block tests: Implications for nuclear waste repository design. Office of Nuclear Waste Isolation. ONWI-308 (Inédito): 96 pp. Salt Lake City.
- BARTON, N. Y BANDIS, S. 1982.** Effects of block size on the shear behaviour of jointed rock. The 23rd U.S Symposium on Rock Mechanics (USRMS): 739-760. Berkeley, California.
- BARTON, N. Y BANDIS, S. 1990.** Review of predictive capabilities of JRC-JCS model in engineering practice. International Symposium on Rock Joints. Loen 1990. Proceedings: 603-610. Rotterdam.
- BARTON, N. Y CHOUBEY, V. 1977.** The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock Mechanics*. Vol. 10: 1-54.
- BRZOVIC, A. 2010.** Characterisation of primary copper ore for block caving at the El Teniente mine, Chile. PhD Thesis. Western Australia School of Mines (Inédito): 263 pp. Kalgoorlie.
- BRZOVIC, A. Y BENADO, D. 2003.** Sistema de clasificación geotécnico roca primaria mina El Teniente. SGL-I-05/2003. Codelco-Chile, División El Teniente, Superintendencia de Geología (Inédito): 119 pp. Rancagua.
- BULL, J. 2003.** Numerical analysis and modelling in geomechanics. Spon Press: 378 pp. London.

**BURGOS, L. 2002.** Petrografía y geoquímica de la diabasa y diques basálticos que constituyen las andesitas de la mina en el yacimiento El Teniente. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra (Inédito): 108 pp. Concepción.

**CAMUS, E. 1975.** Geology of the El Teniente ore body with emphasis on wall-rock alteration. *Economic Geology*. N°8. Vol. 70: 1.341-1.372.

**CAMUS, F. 1974.** Nuevos antecedentes sobre la geología del yacimiento El Teniente con énfasis en la alteración de las rocas. Codelco-Chile, División El Teniente, Departamento de Geología (Inédito): 85 pp. Rancagua.

**CANNELL, J. 2004.** El Teniente porphyry copper-molybdenum deposit, central Chile. PhD Thesis. University of Tasmania (Inédito): 317 pp. Hobart.

**CÁRCAMO, C. 2016.** Impacto de la geometría de la cavidad en el hundimiento de la columna. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil de Minas. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería de Minas (Inédito): 50 pp. Santiago.

**CHARRIER, R. 1973.** Geología regional de la provincia de O'Higgins y Colchagua. Instituto de Investigación de Recursos Naturales-CORFO. N°7 (Inédito): 1-69. Santiago.

**CHARRIER, R. 1981.** Mesozoic and Cenozoic stratigraphy of the central argentinean-chilean Andes (32°-35°S) and chronology of their tectonic evolution. *Zentralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*. Vol. 1(3-4): 344-355. Stuttgart.

**CHARRIER, R. 1983.** Carta geológica de Chile. Escala 1:250.000. Hoja El Teniente. Universidad de Chile-Sernageomin, Departamento de Geología (Inédito): 156 pp. Santiago.

**CHARRIER, R. Y MUNIZAGA, F. 1979.** Edades K-Ar de volcanitas cenozoicas del sector cordillerano del Río Cachapoal, Chile (34°15'S). *Revista Geológica de Chile*. N°17. Vol. 7: 41-51. Santiago.

**CHARRIER, R.; PINTO, L. Y RODRÍGUEZ, M.P. 2007.** Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. Chapter 3. *Geology of Chile*. Gibbons, W. y Moreno, T., editors. The Geological Society, Special Publication: 21-116. London.

**CHARRIER, R.; WYSS, A.; FLYNN, J.; SWISHER, C.; SPICHIGER, S. Y ZAPATTA, F. 1994.** Nuevos antecedentes estratigráficos y estructurales para las formaciones Coya-Machalí y Abanico, entre los 33°50' y 35° S, Cordillera Principal chilena. *Actas Congreso Geológico Chileno*, N°7, Vol. 2: 1.316-1.319. Concepción.

**CHARRIER, R.; WYSS, A.; FLYNN, J.; SWISHER III, C.; MARK, N.; ZAPATTA, F.; MCKENNA, M. Y NOVACEK, N. 1996.** New evidence for Late Mesozoic-Early Cenozoic evolution of the Chilean Andes in the upper Tinguiririca Valley (35°S) central Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 9 (5-6): 393-422.

**CHARRIER, R.; BAEZA, O.; ELGUETA, S.; FLYNN, J.; GANS, P.; KAY, S.; MUÑOZ, N.; WYSS, A. Y ZURITA, E. 2002.** Evidence for cenozoic extensional basin development and tectonic inversion south of the flat slab segment, Southern Central Andes, Chile (33°-36° L.S.). *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 15: 117-139.

**CODELCO. 2011.** El Teniente minería del futuro. Dirección de Comunicaciones, Gerencia de Sustentabilidad y Asuntos Externos (Inédito): 114 pp. Santiago.

**CUADRA, P. 1986.** Geocronología K-Ar del yacimiento El Teniente y áreas adyacentes. *Revista Geológica de Chile*, N°27: 3-26. Santiago.

**DAVIDSON, J. Y VICENTE, J. 1973.** Características paleogeográficas y estructurales del área fronteriza de las nacientes del Teno (Chile) y Santa Elena (Argentina) (Cordillera Principal, 35° a 35°15' latitud S). *Actas Congreso Geológico Argentino*, N°5, Vol. 5: 11-55. Buenos Aires.

**DE LOS SANTOS, C. 2011.** Efecto de la mineralogía, alteración y geometría en la resistencia mecánica de las vetillas, mina El Teniente, Región del Libertador Bernardo O'Higgins, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra (Inédito): 165 pp. Concepción.

**DÍAZ, D. 2013.** Morfología de las estructuras geológicas para la caracterización geotécnica en mina El Teniente. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 205 pp. Santiago.

**DRAKE, R.; CHARRIER, R.; THIELE, R.; MUNIZAGA, F.; PADILLA, H. Y VERGARA, M. 1982.** Distribución y edades K-Ar de volcánicas post neocomianas en la Cordillera Principal entre 32° y 36° latitud Sur. Implicaciones estratigráficas y tectónicas para el Meso-Cenozoico de Chile central. *Congreso Geológico Chileno*, N°3, Vol. 1: 42-78. Concepción.

**ENRIONE, A. 1972.** Estabilidad de los terrenos del área de Alto Colón. Sociedad Minera El Teniente, Departamento de Geología (Inédito): 10 pp.

**FALCÓN, M. Y RIVERA, O. 1998.** Estudio geológico distrital de la División El Teniente de Codelco-Chile, escala 1:25.000. Codelco-Chile, Vicepresidencia de exploraciones y asociaciones mineras (Inédito): 108 pp. Santiago.

**FLOODY, R. Y HUETE, C. 1998.** Potencial del distrito Teniente. Codelco-Chile, División El Teniente, Gerencia de Exploraciones (Inédito): 49 pp. Rancagua.

**FUENZALIDA, H. 1967.** Clima. Corporación de Fomento de la Producción, Geografía Económica de Chile: 99-151. Santiago.

**GANNA, P. Y WALL, R. 1997.** Evidencias geocronológicas  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  y K-Ar de un hiatus Cretácico Superior- Eoceno en Chile central (33-33°30'S). *Revista Geológica de Chile*. Vol. 24: 145-163. Santiago.

**GARRIDO, I. 1992.** Resumen nuevo modelo geológico-estructural y geotécnico yacimiento El Teniente. Codelco-Chile (Inédito): 99-151. Santiago.

**GARRIDO, I. 1995.** Geología estructural del distrito y la mina El Teniente y situación geodinámica regional. Proyecto Geodinámico Mina El Teniente, Proyecto API-1-1689. Reporte interno, Vol. 1. Codelco-Chile, División El Teniente, Superintendencia Geología (Inédito): 61 pp. Rancagua.

**GODOY, E. 1993.** Geología del área entre los ríos Claro del Maipo y Cachapoal. Informe Final Proyecto Codelco y Sernageomin. Texto y Mapas. Vol. 1: 67 pp. Santiago.

**GODOY, E. Y LARA, L. 1994.** Segmentación estructural andina a los 33°-34° S. Nuevos datos en la Cordillera Principal. Actas Congreso Geológico Chileno, N°7º, Vol. 2: 1.344-1.346. Concepción.

**GÓMEZ, R. 2001.** Geología de las unidades volcanogénicas cenozoicas del área industrial de la mina El Teniente, entre Colón y Coya, Cordillera Principal de Rancagua, VI Región. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 143 pp. Santiago.

**GONZÁLEZ, A. 2000.** Análisis estructural entre los valles del Río Tinguiririca y Teno, Cordillera Principal de Chile central: microsismicidad y geología de superficie. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 85 pp. Santiago.

**GONZÁLEZ, O. Y VERGARA, M. 1962.** Reconocimiento geológico de la Cordillera de los Andes entre los paralelos 35° y 38° latitud Sur. Universidad de Chile, Instituto de Geología, Publicación, N°24: 121 pp. Santiago.

**GONZÁLEZ, R. 2006.** Petrografía, geoquímica y microtermometría de los intrusivos félsicos del sector norte del yacimiento El Teniente. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra (Inédito): 149 pp. Concepción.

**GONZÁLEZ, R. Y BRZOVIC, A. 2015.** Características de las fallas con potencial de generar estallidos de rocas, en mina El Teniente. GEOMIN 2015. 4th International Seminar on Geology for the Mining Industry. Geotechnic and Geomechanic, Power Point (Inédito): 20 pp. Antofagasta.

**GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. I.; FERRER, M.; ORTUÑO, L. Y OTEO, C. 2002.** Ingeniería Geológica. Pearson Educación: 750 pp. Madrid.

**GPRO. 2013.** Explotación Dacita. Informe GPRO-INF-45178. Codelco-Chile, División El Teniente, Gerencia de Proyectos, Dirección Proyecto Dacita (Inédito): 268 pp. Rancagua.

**GPRO. 2006.** Proyecto explotación Dacita. Ingeniería de perfil. Informe Interno API T06E100. Codelco-Chile, División El Teniente, Gerencia de Proyectos, Dirección Proyecto Dacita (Inédito): 58 pp. Rancagua.

**GUDMUNDSSON, A. 2000.** Fracture dimensions, displacements and fluid transport. *Journal of Structural Geology*. Vol. 22: 1.221-1.231.

**GUZMÁN, C. 1991.** Alteración y mineralización de los Pórfidos Dioríticos del sector central, Yacimiento El Teniente. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 145 pp. Santiago.

**GUZMÁN, J. 2015.** Caracterización Cuantitativa de Fallas Geológicas Principales en Mina Dacita. Informe Final-003-2015 de Geologica Ltda. para División El Teniente de Codelco-Chile (Inédito): 17 pp. Rancagua.

**HARRISON, D. 2009.** Caracterización estructural bajo el nivel Teniente 8, mediante el análisis de sondajes ortogonales orientados, para el proyecto Nuevo Nivel Mina, yacimiento El Teniente, VI Región, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra (Inédito): 137 pp. Concepción.

- HERNÁNDEZ, K. 2014.** Criterios de resistencia al corte de las discontinuidades rocosas. Tesis de Master en Ingeniería de Estructuras, Cimentaciones y Materiales. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (Inédito): 109 pp. Madrid.
- HERRERA, O. 2015.** Caracterización geológica y geotécnica básica de la zona de emplazamiento de túnel Correa y stockpile, Proyecto Rajo Norte, Codelco-El Teniente, Región del Libertador Bernardo O'Higgins, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra (Inédito): 85 pp. Concepción.
- HERRERA, S. 2012.** Modelos estructurales estocásticos, su aplicación geotécnica en mina El Teniente. VI Región, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra (Inédito): 137 pp. Concepción.
- HOEK, E., Y BROWN, E. T. 1985.** Excavaciones subterráneas en rocas. Segunda edición, McGraw Hill, (Original: Underground Excavations in Rock, 1980): 633 pp. Ciudad de México.
- HOWELL, F. Y MOLLOY, J. 1960.** Geology of the Braden orebody, Chile, South America. *Economic Geology*, Vol. 55, N°5: 863-905.
- HUDSON, J. A. 1989.** Rock mechanics principles in engineering practice. Ciria Report, Butterworths: 72 pp. London.
- ISRM. 1981.** Rock characterization, testing and monitoring: International Society for Rock Mechanics ISRM suggested methods. E. T. Brown ed., Pergamon Press: 211 pp. Oxford.
- KARZULOVIC, A. 1998.** Evaluación geotécnica métodos de socavación previa y avanzada mina El Teniente. Estudio DT-CG-98-003. Codelco-Chile, División El Teniente (Inédito): 1-19 pp. Rancagua.
- KARZULOVIC, A. 2001.** Propiedades geomecánicas de estructuras en roca primaria. DT-CG-01-003. Codelco-Chile, División El Teniente (Inédito): 76 pp. Rancagua.
- KARZULOVIC, A. 2003.** Guías geotécnicas para una transición desde rajo abierto a minería subterránea. Proyecto ICS-II, Área 4. Technical Report. Codelco-Chile, Codelco Norte, (Inédito): 99 pp. Calama.
- KAY, S. Y KURTZ, A. 1995.** Magmatic and tectonic characterization of the El Teniente region. Codelco-Chile, División El Teniente, Superintendencia Geología (Inédito): 180 pp. Rancagua.
- KAY, S.; MPODOZIS, C. Y COIRA, B. 1999.** Neogene magmatism, tectonism, and mineral deposits of the Central Andes (22°-33°S latitude). *Geology and ore deposits of the Central Andes*. Skinner, B. J. ed., Society of Economic Geology Special Publication 7: 27-59.
- KAY, S.; MPODOZIS, C.; RAMOS, V. Y MUNIZAGA, F. 1991.** Magma source variations for mid-late tertiary magmatic rocks associated with a shallowing subduction zone and a thickening crust in the Central Andes (28-33°S). *Andean magmatism and its tectonic setting*. Harmon, R. y Rapela, C. W. eds. Geological Society of America Special Paper 265: 113-137. Boulder.
- KLÖHN, C. 1960.** Geología de la Cordillera de los Andes de Chile central, Prov. De Santiago, Colchagua y Curicó. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín N°8: 95 pp. Santiago.

**KURTZ, A.; KAY, S.; CHARRIER, R. Y FARRAR E. 1997.** Geochronology of Miocene plutons and exhumation history of the El Teniente region, central Chile (34°-35°). *Revista Geológica de Chile*, Vol. 16: 145-162. Santiago.

**LADANYI, B. Y ARCHAMBAULT, G. 1970.** Simulation of the shear behavior of a jointed rock mass. Proceedings of the 11th Symposium on Rock Mechanics (AIME): 105-125. New York.

**LEÓN, I. 2016.** Determinación del tamaño de las vetillas tipo stockwork mediante fotografía digital 3D y análisis estocástico, mina El Teniente. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 124 pp. Santiago.

**LEVI, B.; AGUIRRE, L.; NYSTROM, J.O.; PADILLA, H. Y VERGARA, M. 1989.** Low grade regional metamorphism in the Mesozoic-Cenozoic volcanic sequences of the Central Andes. *Journal of Metamorphic Geology*. Vol. 7: 487-495.

**MAKSAEV, V. Y ZENTILLI, M. 2002.** Chilean strata-bound Cu-(Ag) deposits: An Overview. Porter, T.M. ed. Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global perspective, PGC Publishing, Vol. 2: 185-205. Adelaide.

**MAKSAEV, V.; MUNIZAGA, F.; MCWILLIAMS, M.; FANNING, M.; MATHUR, R.; RUIZ, J. Y ZENTILLI, M. 2004.** New chronology for El Teniente, Chilean Andes, from U/Pb, <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar, Re-Os, and fission track dating: Implications for the evolution of a supergiant porphyry Cu-Mo deposit. Andean metallogeny: new discoveries, concepts and updates. Sillitoe, R. H., Perelló, J., and Vidal, C. E. eds. Society of Economic Geologists, SEG Special Publication 11: 15-54.

**MAKSIMOVIC, M. 1996.** The shear strength component of a rough rock joint. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, Vol. 33, N°8: 769-783.

**MILLÁN, J. 2014.** Revisión de propiedades físico-mecánicas para la roca intacta y fallas de El Teniente. Informe GRMD-SGL-INF-081-2014. Codelco-Chile, División El Teniente, Superintendencia de Geología (Inédito): 60 pp. Rancagua.

**MUNIZAGA, F.; MAKSAEV, V.; MATHUR, R.; RUIZ, J.; MCWILLIAMS, M. Y THIELE, K. 2002.** Understanding molybdenite Re-Os ages from the El Teniente porphyry copper deposit, Chile. GSA Annual Meeting, Denver 2002 Science at the Highest Level. Geological Society of America Abstracts with Programs, N°6, Vol. 34: 336.

**MUÑOZ, E. 2002.** Riesgos en la minería subterránea. Sernageomin (Inédito): 70 pp. Santiago.

**MUÑOZ, J. Y NIEMEYER, H. 1984.** Hoja Laguna del Maule, Regiones del Maule y Biobío. Sernageomin, Carta Geológica de Chile N°64 (1 mapa escala 1:250.000): 98 pp. Santiago.

**NIEMEYER, H. 2008.** Geología estructural. RIL Editores: 294 pp. Antofagasta.

**OJEDA, J.; HERNÁNDEZ, E.; OSSANDÓN, G.; ENRIONE, A. Y MESTRE, A. 1980.** El pórfido cuprífero El Teniente. Codelco-Chile, División El Teniente, Superintendencia de Geología (Inédito): 72 pp. Rancagua.

- OSSANDÓN, G. 1974.** Petrología y alteración del Pórfido Dacítico, yacimiento El Teniente. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 112 pp., Santiago.
- PATTON, F. D. 1966.** Multiple modes of shear failure in rock. Proceedings 1st International Congress on Rock Mechanics, Vol. 1: 509-513. Lisbon.
- PILGER, R. 1981.** Plate reconstruction, aseismic ridges, and low angle subduction beneath the Andes. *Geological Society of American Bulletin*, Vol. 92: 448-456.
- PUSCH, R. 1995.** Rock mechanics on a geological base. *Developments in Geotechnical Engineering*. Pusch, R. ed., Vol. 76: 1- 498.
- RABBIA, O.; REICH, M.; HERNÁNDEZ, L.; KING, R. Y LÓPEZ-ESCOBAR, L. 2000.** High-Al TTG-like suite at the El Teniente porphyry copper deposit, Chile. Actas Congreso Geológico Chileno, N°9, Vol. 1: 326-330. Puerto Varas.
- REICH, M. 2001.** Estudio petrográfico, mineraloquímico y geoquímico de los cuerpos intrusivos de Sewell y La Huifa, VI Región, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra (Inédito): 111 pp. Concepción.
- REYES, F. 1979.** Estudio geológico-estructural del yacimiento El Teniente. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 196 pp. Santiago.
- RIVERA, O. Y CEMBRANO, J. 2000.** Modelo de formación de cuencas volcanotectónicas en zonas de transferencia oblicuas a la cadena Andina: el caso de las cuencas oligo-miocenas de Chile central y su relación con estructuras NNW-NW (33° 00'-34° 30'S). Actas Congreso Geológico Chileno, N°9, Vol. 1: 631-636. Puerto Varas.
- RIVERA, O. Y FALCÓN, F. 2000.** Secuencias de relleno de cuencas volcano-tectónicas transversales Oligoceno-Miocenas en los alrededores del yacimiento El Teniente (33° 45'-34° 30' S). Actas Congreso Geológico Chileno, N°9, Vol.1: 819-823. Puerto Varas.
- RIVEROS, M. 1991.** Geología del Pórfido Latítico del sector sur del yacimiento El Teniente. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 166 pp. Santiago.
- ROJAS, A. 2003.** Petrografía y geoquímica del Pórfido Teniente, ubicado en el sector norte del yacimiento El Teniente, Provincia de Cachapoal, VI región, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra (Inédito): 133 pp. Concepción.
- ROJAS, E. MOLINA, R. Y CAVIERES, P. 2001.** Preundercut caving in El Teniente, Chile. *Underground mining methods: engineering fundamentals and international case studies*. W.A. Hustrulid and R.L. Bullock eds., Society for Mining, Metallurgy and Exploration: 417-423. Littleton, Colorado.
- ROJAS, E.; CAVIERES, P.; DUNLOP, R. Y GAETE, S. 2000.** Control of induced seismicity at El Teniente mine, Codelco-Chile. Proceeding Massmin 2000. G Chitombo ed., Australasian Institute of Mining and Metallurgy: 775-784. Brisbane.

**SEGUEL, J. 2013.** Caracterización cuantitativa de fallas geológicas principales en mina El Teniente: Parámetros críticos para un modelo de fallas 3D. Informe GRMD-SGL-INF-93-2013. Codelco-Chile, División el Teniente, Superintendencia de Geología (Inédito): 39 pp. Rancagua.

**SEGUEL, J.; BRZOVIC, A. Y MILLÁN, J. 2015.** A review of the geotechnical characterization of geological faults at El Teniente mine: geometry and geotechnical properties. GEOMIN 2015. 4th International Seminar on Geology for the Mining Industry. Geotechnic and Geomechanic, Power Point (Inédito): 24 pp. Antofagasta.

**SGL. 2003.** Estándares y metodologías de trabajo para geología de minas actualización año 2003. Informe SGL-I-123/03. Codelco-Chile, División El Teniente, Superintendencia de Geología (Inédito): 234 pp. Rancagua.

**SILLITOE, R. H. Y PERELLÓ, J. 2005.** Andean copper province: tectomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery. Hedenquist, J. W., Thompson, J. F. H., Goldfarb, R. J., and Richards, J. P., eds., *Economic Geology* 100<sup>th</sup> Anniversary Volume: 845-890.

**SKEWES, M. A. 1997.** Informe petrológico preliminar del sector oriental del perfil 124 en El Teniente. Codelco-Chile, División El Teniente, Superintendencia de Geología (Inédito): 49 pp. Rancagua.

**SKEWES, M. A. 1999.** Notas petrográficas sobre algunas brechas de El Teniente. Codelco-Chile, División El Teniente, Superintendencia de Geología (Inédito): 34 pp. Rancagua.

**SKEWES, M. A. 2000.** Rocas ígneas del depósito de cobre El Teniente, Chile. Codelco-Chile, División El Teniente, Superintendencia de Geología (Inédito): 94 pp. Rancagua.

**SKEWES, M. A. Y STERN, CH. 1994.** Tectonic trigger for the formation of the late Miocene Cu-rich breccia pipes in the Andes of central Chile. *Geology*, Vol. 22, N°6: 551-554.

**SKEWES, M.A.; ARÉVALO, A.; FLOODY, R.; ZUÑIGA, P. Y STERN, CH. 2002.** The giant El Teniente breccia deposit: hypogene copper distribution and emplacement. Goldfarb R, and Nielsen R. eds. Integrated methods for discovery: global exploration in the 21th century. Society of Economic Geologists, Special Publication 9: 299-332.

**SKEWES, M.A.; ARÉVALO, A.; FLOODY, R.; ZUÑIGA, P. Y STERN, CH. 2005.** The El Teniente megabreccia deposits, the worlds largest copper deposit. Porter, T.M. ed. Super Porphyry Copper & Gold Deposits- A Global Perspective. PGC Publishing, Vol.1: 83-113. Adelaide.

**SLEMMONS, D. B. Y DEPOLO, C. M. 1986.** Evaluation of active faulting and associated hazards. Active tectonics. Wallace, R. E. ed. National Academy Press: 45- 62. Washington, DC.

**SPROHNLE, C. 1990.** Exploración sector sur-este mina El Teniente. Informe GL-402/90. Codelco-Chile, División El Teniente, Superintendencia de Geología (Inédito): 8 pp. Rancagua.

**STERN, C. 1989.** Pliocene to present migration of the volcanic front, Andean Southern Volcanic Zone. *Revista Geológica de Chile*, Vol. 16, N°2: 145 - 162. Santiago.

**STERN, C. Y PUIG, A. 1991.** Geochemical evolution of magmatic rocks in the vicinity of El Teniente copper deposit (34°S), Central Chile Andes. Actas Congreso Geológico Chileno, N°6, Vol. 1: 265 - 267. Viña del Mar.

- STERN, C. Y SKEWES, M. 1994.** Early Miocene to present magmatic evolution at the northern end of the Andean Southern Volcanic Zone, central Chile. *Actas Congreso Geológico Chileno*, N°7, Vol. 2: 1.456-1.458. Concepción.
- STERN, C. Y SKEWES, M. 1995.** Miocene to present magmatic evolution at the northern end of the Andean Southern Volcanic Zone, Central Chile. *Revista Geológica de Chile*, Vol. 22, N°2: 261-272. Santiago.
- STERN, C. Y SKEWES, M. 1997.** Subduction of the Juan Fernández Ridge below central Chile: effects on subduction geometry, rates of subduction erosion, arc migration and magma chemistry, and genesis of copper deposits. *Actas Congreso Geológico Chileno*, N°8, Vol. 3: 1.724-1.728. Antofagasta.
- STERN, C.; SKEWES, M. A.; ARÉVALO, A. 2010.** Magmatic evolution of the giant El Teniente Cu-Mo deposit, Central Chile. *Journal of Petrology*, Vol. 52, N°7-8: 1.591-1.617.
- STEWART, J.; ARAYA, R.; CONN, H.; SUÁREZ, M.; PIMSTEIN, C. Y PAREDES, H. 1972.** Programa de exploración minera SOMEX-IIG en la alta Cordillera de los Andes entre los paralelos 34°10' y 35°10' S. Instituto de Investigaciones Geológicas (Inédito): 65 pp. Santiago.
- THIELE, R. 1980.** Geología de la hoja de Santiago. Región Metropolitana. Escala 1:250000. Carta Geológica de Chile N°39. Instituto de Investigaciones Geológicas Chile: 51 pp. Santiago.
- VALENZUELA, E. 1990.** Numerical ages of miocene unconformities along central Chile coastal zone. Simposio sobre el Terciario de Chile, N°2, Vol. 1: 325-334. Concepción.
- VILLALOBOS, J. 1975.** Alteración hidrotermal de las andesitas del yacimiento El Teniente, Chile. Tesis de Doctorado. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 125 pp. Santiago.
- ZÚÑIGA, P. 1982.** Alteración y mineralización hipógenas en el sector oeste del yacimiento El Teniente. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 104 pp. Santiago.

## Anexo A:

### Xilab

En este anexo se describen los procedimientos usados en el *software* Xilab para el presente estudio. Cada imagen corresponde a una parte de una captura de pantalla relacionada a un procedimiento.

**Procedimiento 1:** Exportar datos a un archivo Excel. Utilizados para la caracterización geométrica según parámetros críticos. Los pasos 6) y 7) son prescindibles.

1) Ingreso a Xilab: Hacer dos veces clic en el ícono de Xilab (Fig. A1a). Aparece la ventana de inicio para agregar el nombre de usuario (ej.: dsepu005) y clave de la cuenta (Fig. A1b). Ambos son personales y entregados por la empresa Codelco a los trabajadores que tengan acceso al *software*.

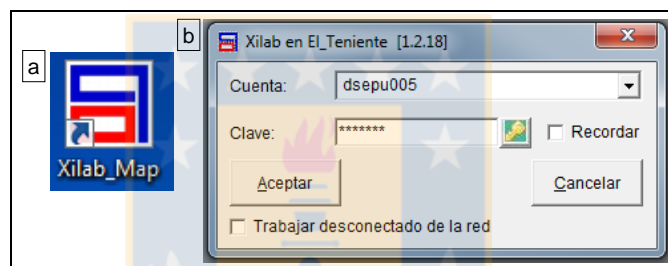


Figura A1: a) Ícono Xilab. b) Ingreso de cuenta y clave.

2) Elección de Cartilla: Se observan las cartillas cargadas (Consultar Procedimiento 3 para saber cómo descargar cartillas en el caso de que no estén cargadas). Se selecciona haciendo clic en el recuadro en blanco al lado izquierdo del nombre de la cartilla de interés (Nombre: 2102 TTE SUB6 PRO en Fig. A2), se hace clic en “Aceptar” y se cargará esta cartilla que corresponde al Mapa Interpretación del nivel de producción del Sub6 que comprende las minas Dacita, Reservas Norte y Pilar Norte. Cada cartilla posee “Temas”, en los cuales se agrupa la información.

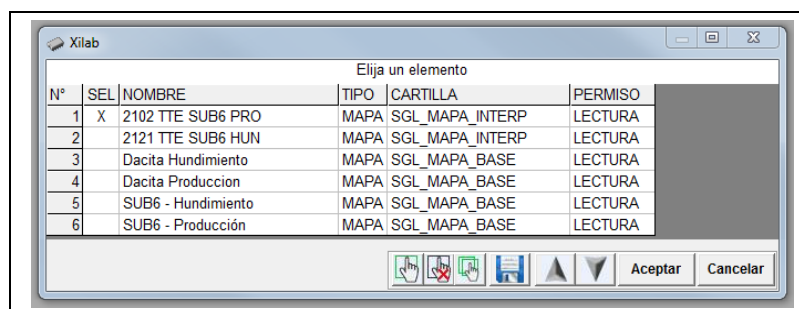


Figura A2: Selección de cartilla de trabajo.

3) Selección de Tema: Para elegir y visualizar el “Tema” de interés, se debe hacer clic en “T” (en la esquina superior derecha de la Fig. A3a), así aparece una ventana llamada “Temas” y en ella se selecciona “Interpretación Estructural”, y para que sea visible, hacer clic en “Play” (botón triangular azul en la parte inferior de “Temas”). También existe la opción de mostrar otra información de interpretación, por ejemplo: “Interpretación Litológica”, “Referencias”, “Sondajes” e “Interpretación Zonación Geotécnica” (Fig. A3a).

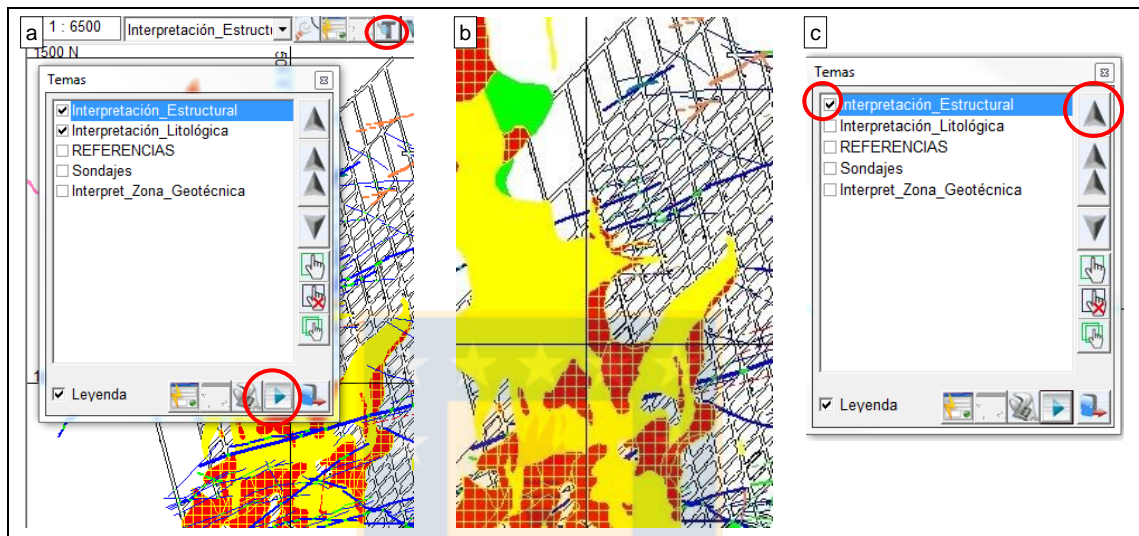


Figura A3: a) “Temas” de la cartilla. El “Tema” “Interpretación Estructural” está sobre el de “Interpretación Litológica”. b) El “Tema” “Interpretación Litológica” está sobre el de “Interpretación Estructural”. c) Subir a la primera posición de la fila el “Tema” de interés y deseleccionar los demás para no visualizarlos.

Puede darse el caso que la “Interpretación Litológica” esté sobre la “Interpretación Estructural”, y las estructuras no se vean completamente (Fig. A3b), en ese caso se debe hacer clic sobre el cuadro en blanco al lado izquierdo de “Interpretación Estructural” (Fig. A3c) y luego presionar la flecha gris oscuro apuntando hacia arriba para que ascienda a la primera posición de la lista, luego clic en “Play”. De este modo se verá la “Interpretación Estructural” sobre la “Int. Litológica”; si sólo desea que se muestre la “Int. Estructural”, entonces debe deseleccionar los otros temas y hacer clic en “Play”.

4) Selección de Filtro Temático: En el “Tema” “Interpretación Estructural” interesan solamente las “Fallas” y “Fallas HT” (de la etapa Hidrotermal Tardía). Para que únicamente se muestren este tipo de estructuras, se crea un filtro que se genera de la siguiente forma: primero, se abre una pestaña titulada “Crear filtro temático” haciendo clic en el ícono con un rayo (destacado con un círculo rojo) en la Fig. A4a. En esta nueva pestaña, en la primera barra desplegable se selecciona “Interpretación Estructural” (“Tema” actual). La segunda barra desplegable da opciones para filtrar los elementos

según: “Espesor Máximo (cm)”, “Espesor Mínimo (cm)”, “Relleno 1”, “Relleno 2”, “Relleno 3”, “Relleno 4” y “Tipo Estructura” (Fig. A4b); se escoge esta última opción. En operador se selecciona “=”.

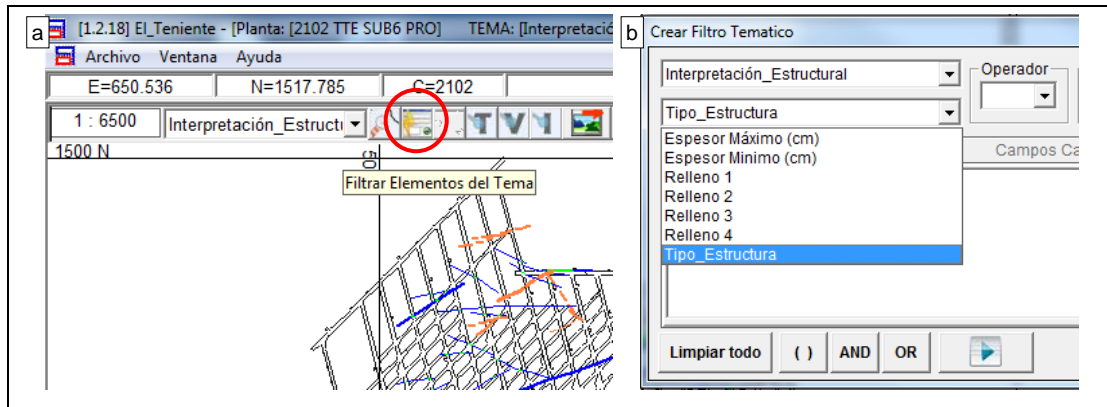


Figura A4: a) “Filtrar Elementos del Tema”. b) “Crear Filtro Temático” en la cartilla de “Interpretación Estructural”.

En “Valor” se eligen las “Fallas” y “Fallas HT” (Fig. A5a), pues de este tipo son las fallas encontradas en El Teniente. Para agregarlas se hace clic en la flecha hacia abajo azul (destacada con un círculo rojo), automáticamente se agrega un texto en el recuadro blanco que indica que seleccionará a tales fallas en el momento de filtrar. El texto que aparece es:  $\{Interpretación\_Estructural.Tipo\_Estructura\} = [Falla]$  (Fig. A5b). Luego se aprieta el botón “OR” (en la parte inferior) y se agregan las “Fallas HT”, que genera la unión los dos conjuntos de datos y aparecen ambos en el mapa (si se aprieta el botón “AND”, induce la intersección de los conjuntos de datos, es decir que sean “Fallas” y que también sean “Fallas HT”, pero eso no es posible, pues una estructura es “Falla” o es “Falla HT”, pero no ambas). Acto seguido: “Play” y “Aceptar”. Entonces se obtiene el Mapa Interpretación sólo con las fallas mencionadas (Fig. A6a).

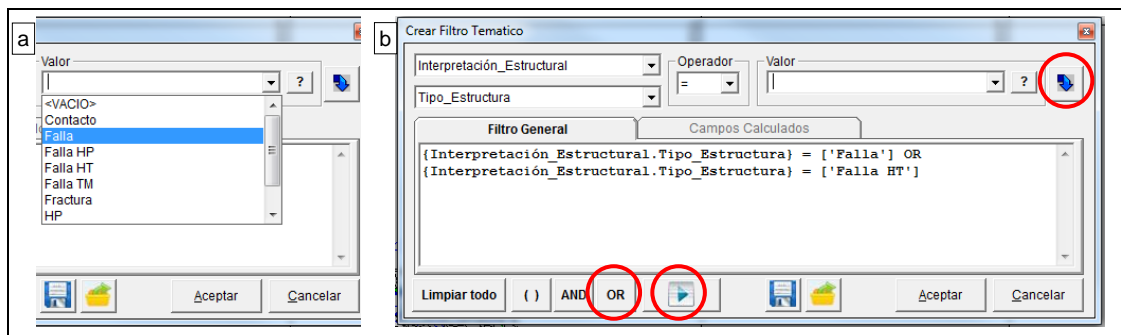


Figura A5: a) Selección de “Valor”. b) “Filtro General”.

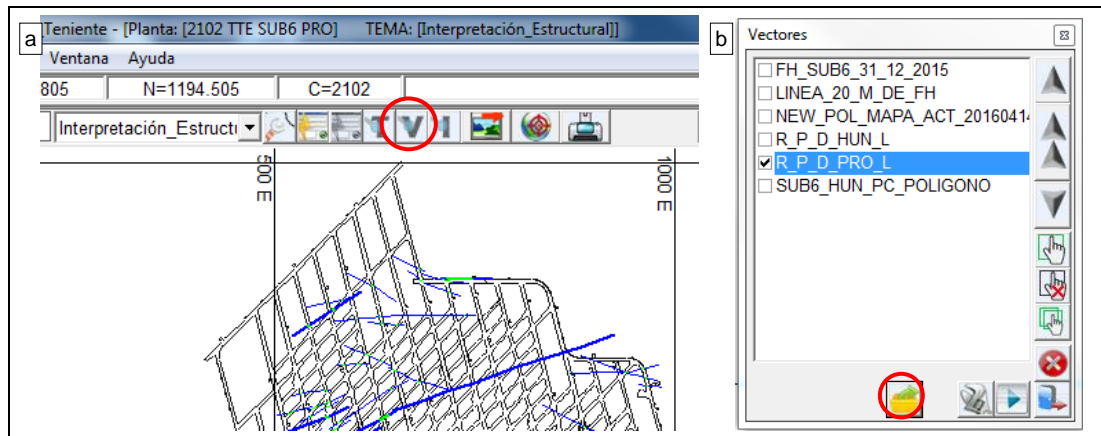


Figura A6: a) Cartilla 2102 TTE SUB6 PRO con “Tema” “Interpretación Estructural” con estructuras filtradas. La imagen completa del mapa está dentro del texto de la memoria en la Figura 4.16. b) Ventana de “Vectores”.

5) Importar Vector (Polígono): En este estudio se define un polígono a fin de seleccionar estructuras dentro de él. Lo primero es dibujar una polilínea en Autocad con la forma del polígono deseado, descomponerla con la función “Explode” o “Descomponer” y guardar el archivo con formato DXF 2000 para que sea observable.

Para cargar el polígono, hacer clic sobre el ícono “V” de la Fig. A6a. Se abrirá una ventana llamada “Vectores” (Fig. A6b). Aquellos vectores con *tick* están cargados y son visibles; en contraste, los que no lo tienen, están cargados, pero no son visibles. La Fig. A6b muestra la configuración de a Fig. A6a, en la cual sólo se ve el vector “R\_P\_D\_PRO\_L” (RENO, Pilar, Dacita, Producción, Labores), que alude a las galerías del nivel Sub6 Producción.

Para cargar un nuevo vector (ej.: polígono), en la ventana mencionada, se presiona el ícono de la carpeta amarilla que posee una flecha verde que sale de ella (Fig. A6b). Habrá un aviso que se requiere DFX VERSION 2000 o inferior, se acepta (Fig. A7a). Se abre una pestaña para poder buscar la ubicación del archivo DXF de interés, en este caso llamado SUB6 Pro PC Polígono. Se selecciona y se abre. Aparece la opción de “Importar DXF” (Fig. A7b), y da la opción de modificar el nombre, o asignarle el nombre, en este caso el nombre tendrá el mismo nombre del archivo, y por defecto del programa, se cambia a letras capitales y los espacios se rellenan con guión bajo (normas del programa), luego hacer clic en “Aceptar”. Luego da la opción de elegir una *layer* (capa) (Fig. A7c), y se elige la de interés (Fig. A7d).

Por defecto se hacen visibles todos los vectores cargados y con el mismo formato determinado automáticamente (líneas negras finas). Para ver sólo el vector de interés, se deseleccionan los demás, como se describió anteriormente.

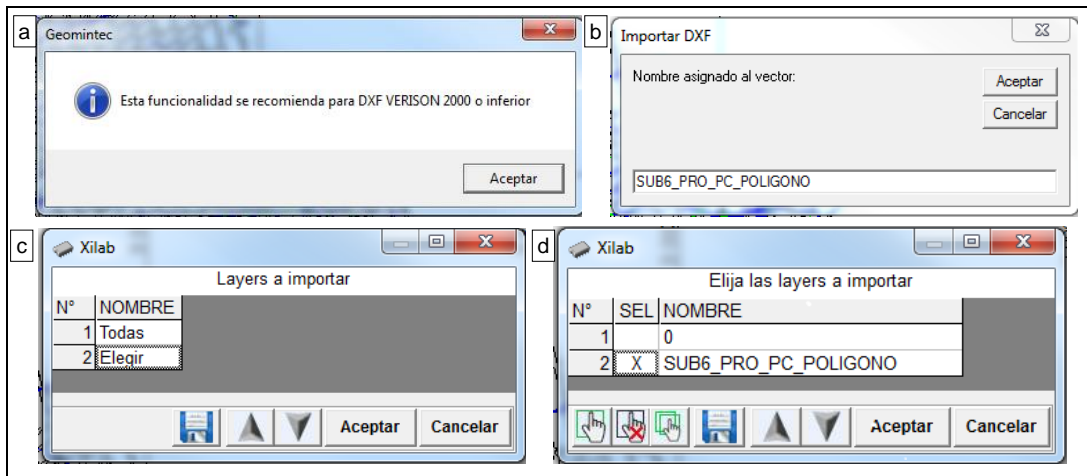


Figura A7: a) El programa requiere un archivo DXF 2000 o inferior. b) Asignar nombre al vector. c) “Layers a importar”. d) “Elegir la(s) layer(s) a importar”.

6) Cambiar formato al Vector: Ir a “Vectores” (Fig. A6a) y “Configurar tema seleccionado” (Fig. A8a) haciendo clic en un botón gris que tiene dibujada una llave francesa, en la parte inferior al medio, destacado con un círculo rojo. Una vez apretado se abre la pestaña “Configuración de Vector” (Fig. A8b). Esta ventana tiene opciones para modificar la apariencia del polígono. En “Líneas”, donde dice “Sólo un color” se selecciona el color que interesa, por ejemplo, verde oscuro, luego “Aceptar”; para modificar el grosor de la línea, donde dice G1, se aprieta G5 (que indicará un mayor grosor), luego refrescar imagen en “Play”, “Aceptar” y queda como la línea verde de la Fig. A9a.

7) Ver información de una estructura: Hacer clic en el ícono con el signo de interrogación y el cursor del ratón (queda presionado y activado) (Fig. A9b). Si se selecciona una estructura aparece una nueva pestaña con la información de ésta, llamada soporte (Fig. A9c). La estructura seleccionada queda en color rojo; en la parte superior de la nueva ventana está escrito el tipo de soporte que es, en este caso “Falla”, su número de soporte “16-17191-1” y entre corchetes a la cartilla al cual pertenece (2102 TTE SUB6 PRO). También aparece información: largo, rumbo y manteo, el autor, la fecha en que fue registrado el dato, quién modificó este dato y la respectiva fecha de modificación. Si uno hace clic en “i” (botón azul inferior) destacado en la Fig. A10a aparece más información tal como: espesor máximo, mínimo y rellenos, todo esto en la ventana de la Fig. A10b.

Existe la posibilidad de que estos datos sean entregados de forma tabulada: hacer clic en el ícono con un rayo y un punto verde “Analizar soportes seleccionados” (Fig. A10a). Así se muestra una pestaña llamada “Datos”, con referencias ordenadas en filas y columnas (Fig. A10c), que puede ser exportada a Excel. Para salir de esta pestaña apretar el ícono de la puerta azul.

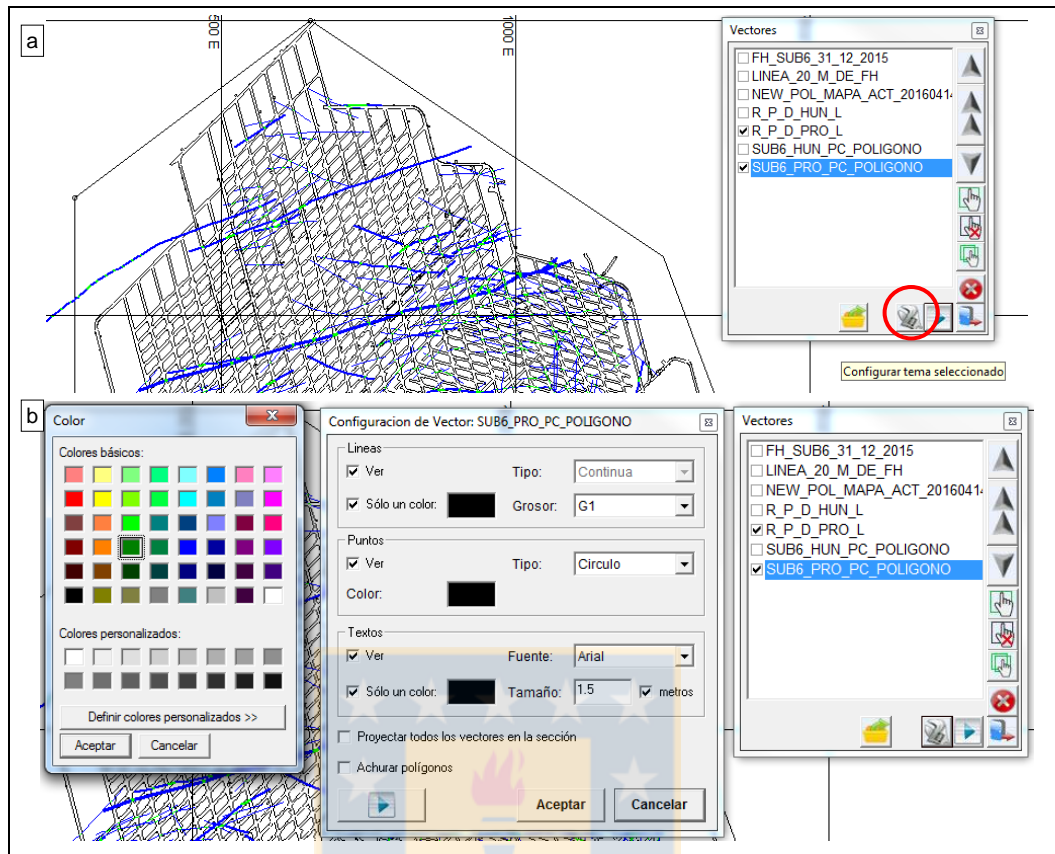


Figura A8: a) Mapa de "Interpretación Estructural" con estructuras filtradas y ventana para "Configurar tema seleccionado". b) "Configuración de Vector".

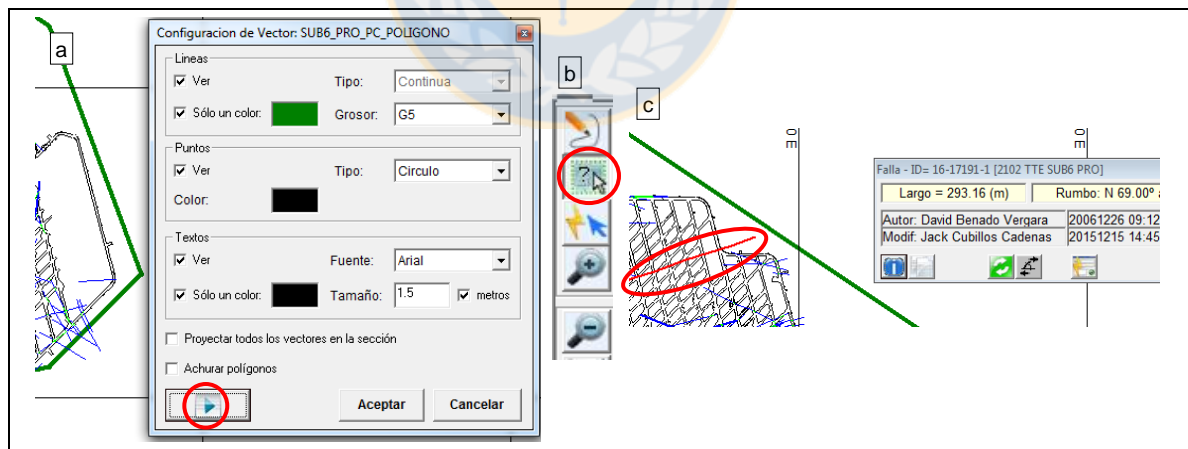


Figura A9: a) "Configuración del Vector". b) Seleccionar elemento para información. c) Falla seleccionada en rojo (destacada con una elipse roja) y ventana con su información.

8) Selección de soportes de la cartilla y exportar sus datos a Excel: Con el fin de seleccionar varias estructuras en Xilab se debe hacer clic en el ícono donde aparece un lápiz utilizado para dibujar (Fig. A11a) un polígono de líneas de color magenta, sobre el Vector polígono verde como referencia.

Luego hacer clic en “Cerrar polígono” (Fig. A11b), entonces aparece todo su interior achurado (Fig. A12).

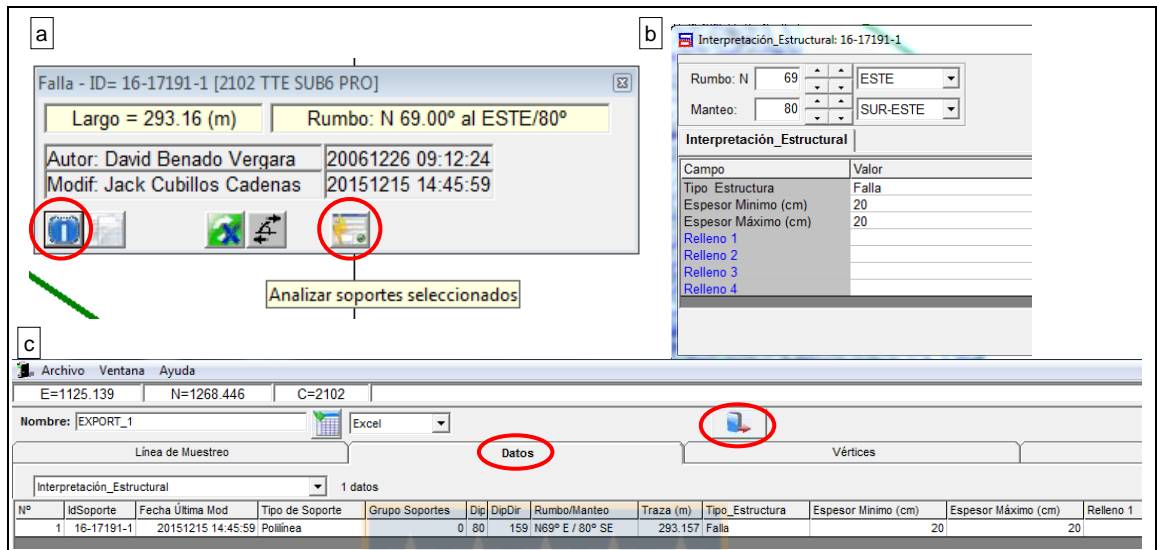


Figura A10: a) Ventana con información del soporte. b) Ventana con información detallada del soporte. c) Datos tabulados de los soportes.

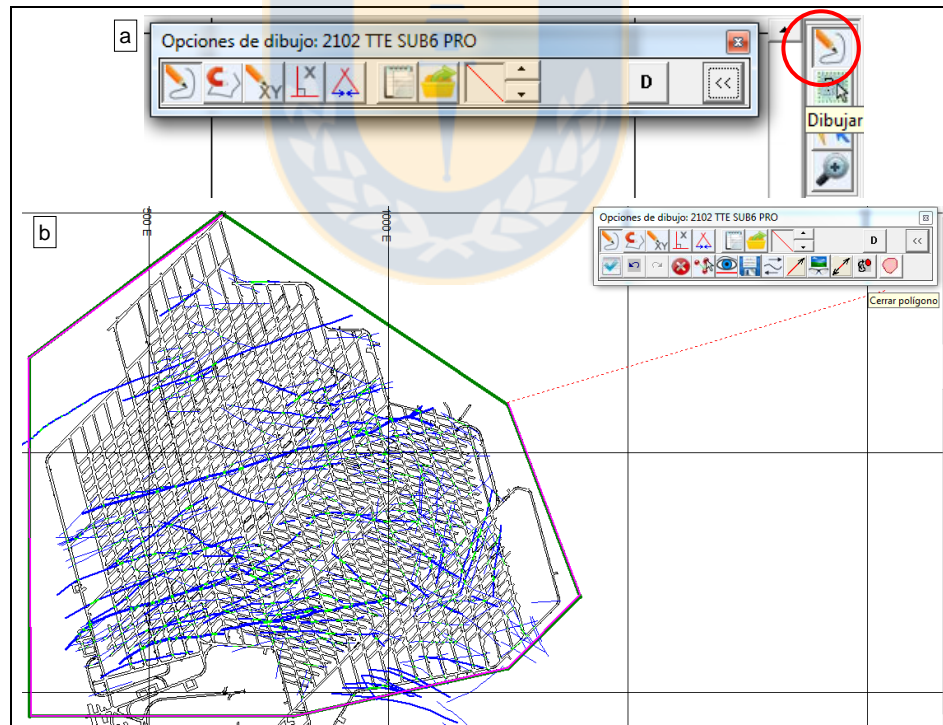


Figura A11: a) Opción “Dibujar”. b) “Cerrar polígono”.

Para seleccionar los soportes que están dentro del polígono ya cerrado, clic en “Selección poligonal” (botón con bolas rojas) (Fig. A12). Aparecen todas las estructuras en color rojo dentro del polígono

achurado y una nueva ventana con el N° de soportes seleccionados (Fig. A13) que pueden ser analizados haciendo clic en el botón con rayo. Esto genera una tabla en Xilab (Fig. A14a), la que puede ser exportada a Excel haciendo clic en el ícono de una tabla “Exportar datos” destacada con el círculo rojo en la Fig. A14b. Así, se debe guardar el archivo Excel generado (Fig. A15a) en la carpeta que se desee, y la exportación habrá finalizado con éxito (Fig. A15b).



Figura A12: “Interpretación Estructural” con estructuras filtradas, polígono cerrado (achurado) y opción selección poligonal destacada.

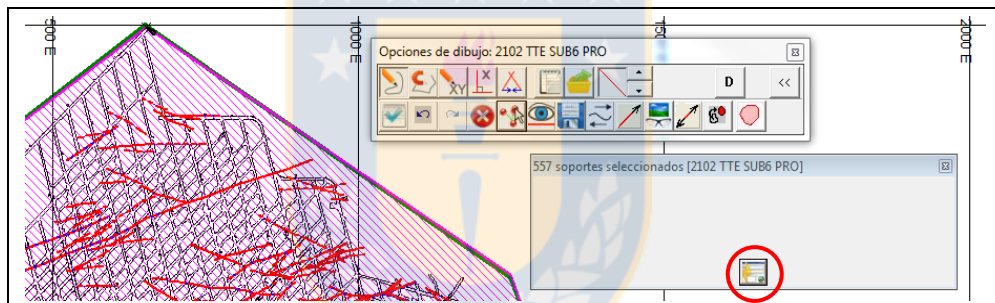


Figura A13: “Interpretación Estructural” con estructuras seleccionadas (en color rojo).

a

1.2.18] El\_Teniente - [Resultados del Filtro Gráfico

Archivo Ventana Ayuda

E=1656.774 N=1077.573 C=2102

Nombre: EXPORT\_1 Excel

Línea de Muestra Datos Vértices Grupos

Interpretación\_Estructural 557 datos

Nº	IdSoporte	Fecha Última Mod	Tipo de Soporte	Grupo Soportes	Dip	DipDir	Rumbo/Manteo	Traza (m)	Tipo_Estructura	Espesor Mínimo (cm)	Espesor Máximo (cm)	Releno 1	Releno 2	Relenc
1	1436234	20041112 10:27:02	Polilínea	G318-12967-32	85	141	N51° E / 85° SE	37.267	Falla HT	0.2	0.2	Yeso	Clorita	Calcop
2	1436235	20041112 10:26:34	Polilínea	G318-12967-32	84	134	N44° E / 84° SE	22.933	Falla HT	0.8	0.8	Anhidrita	Yeso	
3	1436236	20041112 10:26:10	Polilínea		0	73	N47° E / 73° SE	12.533	Falla HT					
4	1436237	20050406 10:53:25	Polilínea	G318-12967-32	80	18	N72° W / 80° NE	55.916	Falla HT					
5	1469965	20050823 14:45:54	Polilínea	G318-12967-32	85	341	N71° E / 85° NNW	72.285	Falla HT					
6	16-10055-1	20151215 15:33:37	Polilínea	G318-12967-32	85	165	N75° E / 85° S	312.139	Falla HT					
7	16-10409-2	20141208 11:59:49	Polilínea		0	343	N73° E / 85° NNW	66.113	Falla HT					
8	16-10409-4	20141208 11:59:49	Polilínea		0	26	N64° W / 65° NE	46.804	Falla HT					
9	16-10409-5	20141208 11:59:49	Polilínea	G318-16485-2	28	190	N80° W / 28° S	60.448	Falla HT					

b

Resultados del Filtro Gráfico

Nombre: EXPORT\_1 Excel

Línea de Muestra Datos

Exportar datos

Interpretación\_Estructural 557 datos

Nº	IdSoporte	Fecha Última Mod	Tipo de Soporte	Grupo Soportes	Dip	DipDir	Rumbo/Manteo
1	1436234	20041112 10:27:02	Polilínea	G318-12967-32	85	141	N51° E / 85° SE

Figura A14: a) Datos tabulados en Xilab. b) Opción de “Exportar datos”.

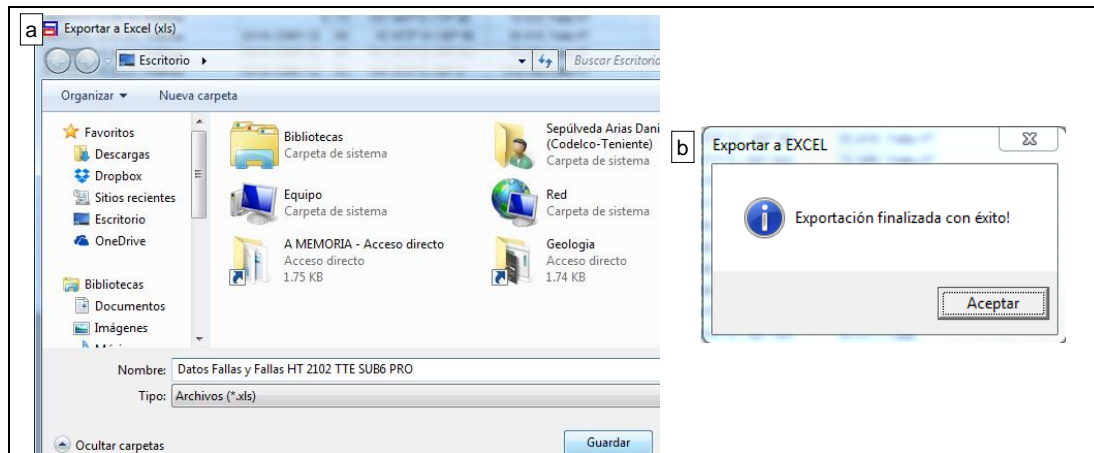


Figura A15: a) Selección de carpeta para guardar el archivo Excel. b) “Exportación finalizada con éxito”.

**Procedimiento 2:** Cómo medir con huincha y obtener información litológica. Utilizado en la determinación del JCS.

1) Medir con huincha: Para medir distancia hay que hacer clic sobre el ícono con una regla llamada “Huinchas de Mapeo” (Fig. A16a), aparece la ventana de la Fig. A16b, luego clic en el ícono con una carpeta amarilla y flecha verde saliendo desde su interior, se abre la ventana “Crear huincha” en 2102 TTE SUB6 PRO y se aprieta el lápiz para dibujar la huincha directamente sobre el mapa (Fig. A16c).

A partir de mediciones sobre esta cartilla se confirma que los pilares (de forma romboidal) tienen unas dimensiones de 30 m x 15 m y las galerías unos 4 m de ancho. Con la huincha se estiman las distancias en el Sub6 para definir el área de la zona del Mapa de Resistencia (RENO-Dacita), fijado unos 100 m o más delante del frente de hundimiento y aproximadamente 70 m detrás de él.

2) Consultar Información Litológica: Primero que todo, el “Tema” “Interpretación Litológica” debe estar superpuesto sobre el de “Interpretación Estructural” (Procedimiento 1, Paso 3). Clic sobre el signo de interrogación de la Fig. A9b, luego sobre una unidad litológica y de este modo se puede observar la información de ella (Fig. A17).

**Procedimiento 3:** Bajar elementos del sistema, utilizado en toda la Memoria; y exportar a archivo de dibujo, utilizado en la determinación del JRC.

1) Bajar elemento(s): Ir a “Archivo” y “Subir/Bajar elementos” (Fig. A18a). Aparecen pestañas de elementos: “Sondajes”, “Mapas”, “Vectores” e “Imágenes” (Fig. A18b); se elige una, por ejemplo:

“Mapas”, y se presiona la opción de ver elementos en el ícono donde aparece un signo positivo celeste y unos lentes, entonces, en la pestaña “Elija elementos”, se selecciona una cartilla, ej.: “2121 TTE SUB6 HUN”, marcándola en “SEL” (Selección), “Aceptar”, se muestra en la segunda fila de la Fig. A19, luego clic en “Enviar Solicitud” (Fig. A18b).

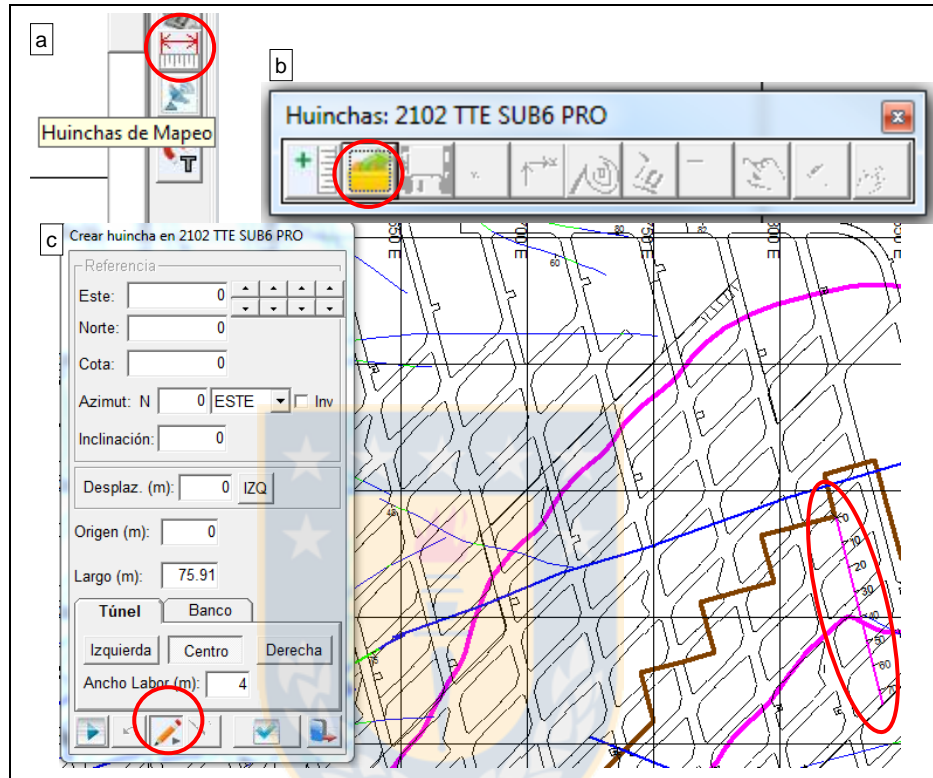


Figura A16: a) Elección de “Huinchas de Mapeo”. b) Elección de “Crear huincha”. c) Dibujar huincha en el mapa.

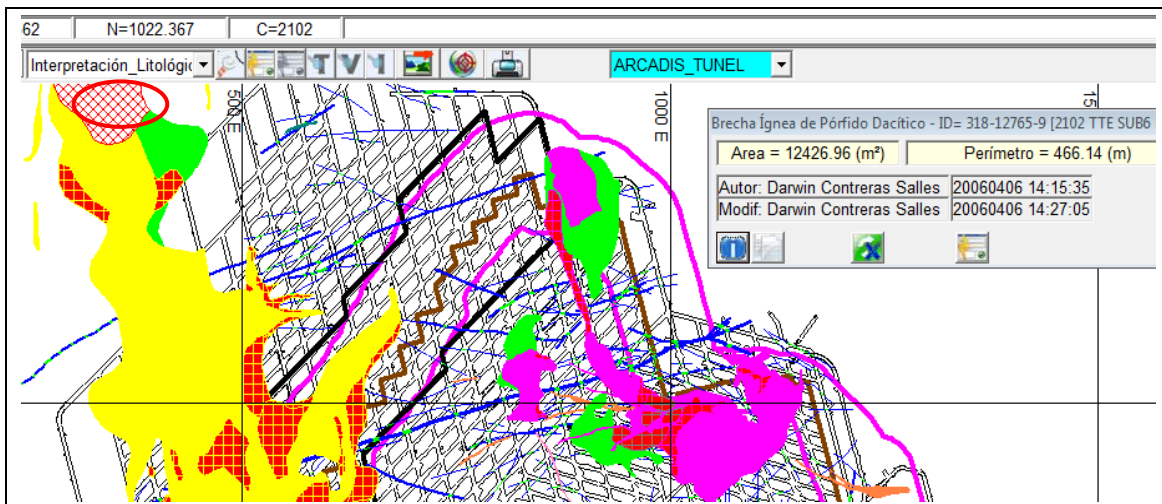
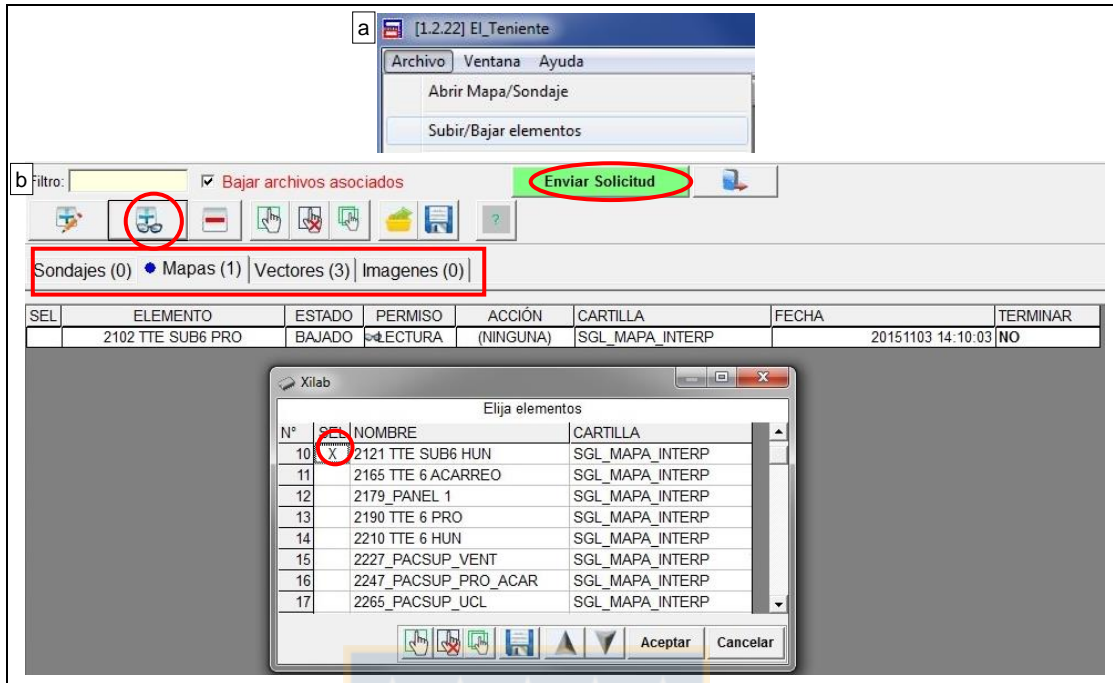


Figura A17: “Interpretación Litológica”. Brecha Ígnea de Pórfido Dacítico seleccionada en la parte superior izquierda.



SEL	ELEMENTO	ESTADO	PERMISO	ACCIÓN	CARTILLA	FECHA	TERMINAR
	2102 TTE SUB6 PRO	BAJADO	LECTURA	(NINGUNA)	SGL_MAPA_INTERP	20151103 14:10:03	NO
<input checked="" type="checkbox"/>	2121 TTE SUB6 HUN	POR BAJAR	LECTURA	BAJAR	SGL_MAPA_INTERP		NO

Figura A19: Elemento seleccionado para enviar solicitud de descarga.

La descarga es representada con un semáforo (Fig. A20a y A20b), el cual cuando está en verde indica que el elemento (cartilla) de interés ya puede ser abierto y visible, y que, si está cargado el vector correspondiente, se vería como en la Fig. A21.



Existe además la opción de exportar la información de la cartilla con formato de dibujo; para esto se debe hacer clic en el ícono del cuadro con una imagen similar a un paisaje (destacada con un

círculo rojo) (Fig. A21), elegir el formato del archivo de dibujo (ej.: .dwg o .dxf) y designar una ubicación para guardarlo.

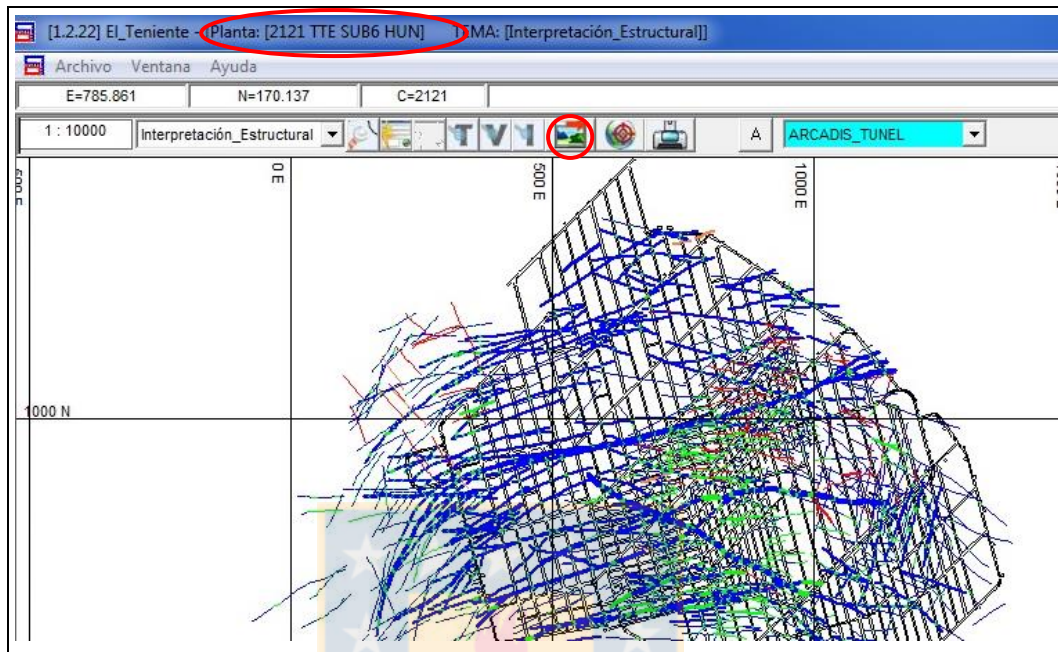


Figura A21: Elementos cargados y visibles (Cartilla). Hacer clic sobre ícono de paisaje para exportar a archivo de dibujo.

## Anexo B:

## Tablas de Datos de los Mapas Interpretación Estructural del Sub6

Tabla B1: Tabla de datos de TTE Sub6 Pro (Mapa Interpretación Estructural).

TTE Sub6 Pro											
Nº	IdSoporte	Dip	DipDir	Rumbo/Manteo	Traza (m)	Esp. Min. (cm)	Esp. Máx. (cm)	Relleno 1	Relleno 2	Relleno 3	Relleno 4
1	1436234	85	141	N51° E / 85° SE	37,3	0,2	0,2	Yeso	Clorita	Calcopirita	
2	1436235	84	134	N44° E / 84° SE	22,9	0,8	0,8	Anhidrita	Yeso		
3	1436236	73	137	N47° E / 73° SE	12,5	0,5	0,5	Anhidrita	Calcopirita	Clorita	Yeso
4	1436237	80	18	N72° W / 80° NE	55,9	3	3	Calcopirita	Carbonato	Salbanda	
5	1469965	85	341	N71° E / 85° NW	72,3	6	6	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita	Salbanda
6	16-10055-1	85	165	N75° E / 85° S	312,1	2	12	Salbanda	Yeso	Calcopirita	Anhidrita
7	16-10409-2	85	343	N73° E / 85° NW	66,1	2	6	Cuarzo	Turmalina	Anhidrita	Calcopirita
8	16-10409-4	65	26	N64° W / 65° NE	46,8	2	10	Anhidrita	Cuarzo	Carbonato	Turmalina
9	16-10409-5	28	190	N80° W / 28° S	60,4	0,3	0,8	Limonitas			
10	16-10409-6	77	159	N69° E / 77° SE	130,2	3	5	Carbonato	Anhidrita	Molibdenita	
11	16-17191-1	80	159	N69° E / 80° SE	293,2	20	20				
12	16-17191-10	89	165	N75° E / 89° S	39,3	0,3	2	Anhidrita	Salbanda	Cuarzo	Calcopirita
13	16-17191-11	90	344	N74° E / 90° NW	55,0	2	2				
14	16-17191-6	80	210	N60° W / 80° SW	76,3	0,5	2				
15	16-17191-7	80	199	N71° W / 80° SW	65,1	1	2				
16	16-18704-10	80	142	N52° E / 80° SE	42,3	0,3	1	Anhidrita	Carbonato	Clorita	Calcopirita
17	16-18704-11	80	145	N55° E / 80° SE	44,7	1	4	Anhidrita	Carbonato	Clorita	Calcopirita
18	16-18704-12	82	161	N71° E / 82° SE	57,4	0,5	1	Anhidrita	Clorita	Salbanda	Calcopirita
19	16-18704-13	70	159	N69° E / 70° SE	102,3	0,1	0,7	Anhidrita	Carbonato	Clorita	
20	16-18704-2	70	110	N20° E / 70° SE	35,3	1	1	Anhidrita	Ankerita	Bornita	
21	16-18704-7	40	193	N77° W / 40° S	47,3	0,5	4	Anhidrita	Carbonato	Clorita	Salbanda
22	16-18704-8	80	179	N89° E / 80° S	25,2	0,3	0,3	Clorita	Carbonato		
23	16-18704-9	90	355	N85° E / 90° N	6,8	0,3	0,3	Cuarzo	Clorita	Molibdenita	Anhidrita
24	16-18737-3	64	183	N87° W / 64° S	33,6	1	1	Salbanda	Clorita	Carbonato	Cuarzo
25	16-18737-4	63	202	N68° W / 63° SW	39,9	0,3	1	Cuarzo	Anhidrita	Yeso	Calcopirita
26	16-18737-5	63	215	N55° W / 63° SW	46,2	0,4	1	Anhidrita	Carbonato	Clorita	
27	16-18771-33	76	200	N70° W / 76° SW	88,8	2	2	Anhidrita	Carbonato		
28	16-18778-1	87	143	N53° E / 87° SE	540,0	0,5	30	Anhidrita	Turmalina	Carbonato	Salbanda
29	16-18778-15	74	147	N57° E / 74° SE	143,7	0,6	1,5	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	
30	16-19172-8	65	36	N54° W / 65° NE	83,5	0	0				
31	16-19172-9	85	213,4	N56,6° W / 85° SW	87,2	1	2	Anhidrita	Carbonato		
32	16-3594-1	80	169	N79° E / 80° S	29,9	0,8	0,8	Carbonato	Turmalina	Anhidrita	Calcopirita
33	16-4482-2	80	329	N59° E / 80° NW	27,0	1	6	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita	Yeso
34	16-4482-3	87	163	N73° E / 87° SE	31,8	3	15	Anhidrita	Salbanda	Clorita	Calcopirita
35	16-4482-5	84	163	N73° E / 84° SE	32,8	10	15	Anhidrita	Cuarzo	Turmalina	Yeso
36	16-4482-6	83	166	N76° E / 83° S	31,8	3	6	Salbanda	Carbonato	Clorita	
37	16-4502-10	83	169	N79° E / 83° S	32,4	1	2	Carbonato	Cuarzo	Turmalina	Calcopirita
38	16-4502-11	85	164	N74° E / 85° SE	20,6	0,5	1,5	Carbonato	Calcopirita	Turmalina	Clorita
39	16-4502-12	90	340	N70° E / 90° NW	20,3	0,4	0,4	Carbonato	Anhidrita	Yeso	
40	16-4502-4	87	160	N70° E / 87° SE	35,4	7	7	Salbanda	Clorita	Carbonato	Molibdenita
41	16-4502-5	84	170	N80° E / 84° S	25,6	1	1	Yeso	Calcopirita	Carbonato	Turmalina
42	16-4502-6	85	169	N79° E / 85° S	23,7	2	2	Carbonato	Salbanda	Calcopirita	Yeso
43	16-4510-10	85	202	N68° W / 85° SW	15,6	1	2	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita	Molibdenita
44	16-4510-11	77	186	N84° W / 77° S	16,8	0,5	2,5	Carbonato	Calcopirita	Yeso	Turmalina
45	16-4510-12	82	164	N74° E / 82° SE	37,4	0,3	0,3	Carbonato	Molibdenita	Calcopirita	
46	16-4510-14	80	338	N68° E / 80° NW	19,8	0,5	2	Turmalina	Clorita	Anhidrita	Calcopirita
47	16-4510-15	76	343	N73° E / 76° NW	23,0	1	2	Carbonato	Clorita	Anhidrita	Calcopirita
48	16-4510-16	80	348	N78° E / 80° N	27,3	0,5	1	Carbonato	Cuarzo	Turmalina	Clorita
49	16-4510-17	84	170	N80° E / 84° S	31,3	3	3	Yeso	Carbonato	Calcopirita	Turmalina
50	16-4510-18	90	356	N86° E / 90° N	28,0	1	1,2	Anhidrita	Calcopirita	Carbonato	Clorita
51	16-4510-2	70	204	N66° W / 70° SW	42,6	2	2	Carbonato	Anhidrita	Yeso	
52	16-4510-22	90	357	N87° E / 90° N	33,8	1	1	Carbonato	Calcopirita	Pirita	Molibdenita
53	16-4510-23	90	351	N81° E / 90° N	33,6	1	1	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	
54	16-4510-26	84	177	N87° E / 84° S	27,0	0,3	0,3	Anhidrita	Yeso	Calcopirita	
55	16-4510-29	85	97	N7° E / 85° E	15,0	0,4	0,4	Carbonato	Anhidrita	Turmalina	
56	16-4510-3	65	198	N72° W / 65° SW	36,5	1,5	1,5	Carbonato	Yeso	Calcopirita	
57	16-4510-30	75	104	N14° E / 75° E	14,5	0,5	0,7	Anhidrita	Clorita	Carbonato	Calcopirita
58	16-4510-34	90	355	N85° E / 90° N	58,4	0,3	0,3	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita	Clorita
59	16-4510-35	85	174	N84° E / 85° S	25,2	0,3	0,4	Anhidrita	Calcopirita	Clorita	Carbonato
60	16-4510-36	80	169	N79° E / 80° S	27,0	1	1	Carbonato	Yeso	Molibdenita	Turmalina
61	16-4510-38	90	350	N80° E / 90° N	28,7	2	3	Carbonato			
62	16-4510-40	90	353	N83° E / 90° N	35,8	0,7	2	Carbonato			

TTE Sub6 Pro											
Nº	IdSoporte	Dip	DipDir	Rumbo/Manteo	Traza (m)	Esp. Min. (cm)	Esp. Máx. (cm)	Relleno 1	Relleno 2	Relleno 3	Relleno 4
63	16-4510-41	83	175	N85° E / 83° S	31,8	2	2	Yeso	Calcopirita	Carbonato	Salbanda
64	16-4510-43	82	188	N82° W / 82° S	18,5	0,5	2	Cuarzo	Turmalina	Calcopirita	Carbonato
65	16-4510-44	90	355	N85° E / 90° N	29,9	4	50	Carbonato	Yeso	Molibdenita	Cuarzo
66	16-4510-46	82	353	N83° E / 82° N	17,7	1	3	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita	Yeso
67	16-4510-47	70	295	N25° E / 70° NW	15,0	2	4	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita	Yeso
68	16-4510-48	67	106	N16° E / 67° SE	27,3	0,3	6	Calcopirita	Yeso	Anhidrita	Carbonato
69	16-4510-5	85	200	N70° W / 85° SW	25,8	1,5	3	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Calcopirita
70	16-4510-6	80	190	N80° W / 80° S	18,6	0,5	1	Turmalina	Anhidrita	Clorita	Calcopirita
71	16-4510-8	82	26	N64° W / 82° NE	24,6	0,3	0,8	Carbonato	Calcopirita	Clorita	
72	16-6015-12	88	169	N79° E / 88° S	29,0	1	2	Anhidrita	Turmalina	Calcopirita	Tennantita
73	16-6015-4	85	170	N80° E / 85° S	31,5	0,4	0,4	Carbonato	Calcopirita	Turmalina	
74	16-6015-6	90	348	N78° E / 90° N	41,0	0,7	2	Carbonato			
75	16-6222-1	70	312	N42° E / 70° NW	24,1	1,5	1,5	Cuarzo	Carbonato	Yeso	Calcopirita
76	16-6222-17	80	344	N74° E / 80° NW	29,6	3	3	Cuarzo	Molibdenita	Bornita	
77	16-6222-2	65	314	N44° E / 65° NW	15,9	2,5	3,5	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Salbanda
78	16-6222-21	85	346	N76° E / 85° N	32,6	0,3	0,3	Anhidrita	Calcopirita	Bornita	
79	16-6222-22	68	306	N36° E / 68° NW	33,9	0,5	1,5	Carbonato	Yeso	Turmalina	Tennantita
80	16-6222-23	70	314	N44° E / 70° NW	38,9	1	2	Molibdenita	Carbonato	Yeso	Cuarzo
81	16-6222-24	85	324	N54° E / 85° NW	36,6	0,8	0,8	Cuarzo	Molibdenita	Clorita	
82	16-6222-25	82	325	N55° E / 82° NW	39,0	0,5	0,5	Cuarzo	Tennantita	Carbonato	Anhidrita
83	16-6222-26	74	316	N46° E / 74° NW	28,5	1	1,5	Cuarzo	Anhidrita	Molibdenita	Carbonato
84	16-6222-28	68	319	N49° E / 68° NW	17,0	2	10	Carbonato	Anhidrita	Salbanda	Clorita
85	16-6222-29	80	315	N45° E / 80° NW	19,9	2	4	Anhidrita	Calcopirita	Tennantita	Carbonato
86	16-6222-3	74	313	N43° E / 74° NW	18,8	1,5	1,5	Carbonato	Turmalina	Clorita	Yeso
87	16-6222-30	76	319	N49° E / 76° NW	31,0	0,5	1,5	Anhidrita	Carbonato	Clorita	Calcopirita
88	16-6222-33	60	348	N78° E / 60° N	33,5	7	10	Carbonato	Salbanda	Yeso	Anhidrita
89	16-6222-35	65	344	N74° E / 65° NW	32,5	4	7,5	Calcopirita	Ankerita	Yeso	Tennantita
90	16-6222-36	60	355	N85° E / 60° N	43,6	4	5	Ankerita	Anhidrita	Yeso	Tennantita
91	16-6222-37	78	188	N82° W / 78° S	34,1	1	2	Anhidrita	Ankerita	Turmalina	Calcopirita
92	16-6222-38	76	182	N88° W / 76° S	35,6	1	2	Anhidrita	Ankerita	Turmalina	Calcopirita
93	16-6222-39	90	351	N81° E / 90° N	18,0	1	3	Yeso	Anhidrita	Ankerita	Turmalina
94	16-6222-4	70	307	N37° E / 70° NW	19,6	1	1,5	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Salbanda
95	16-6222-40	85	173	N83° E / 85° S	16,4	1	1	Yeso	Anhidrita	Calcopirita	Turmalina
96	16-6222-41	90	352	N82° E / 90° N	23,0	0,5	0,5	Anhidrita	Calcopirita	Ankerita	
97	16-6222-45	70	341	N71° E / 70° NW	24,0	0,5	0,5	Anhidrita	Ankerita	Calcopirita	Bornita
98	16-6222-46	70	315	N45° E / 70° NW	35,3	1	1	Anhidrita	Ankerita	Tennantita	Yeso
99	16-6222-48	76	188	N82° W / 76° S	47,2	0,8	0,8	Turmalina	Anhidrita	Calcopirita	Cuarzo
100	16-6222-49	72	198	N72° W / 72° SW	21,4	0,8	1,2	Tennantita	Carbonato	Calcopirita	
101	16-6222-6	38	32	N58° W / 38° NE	13,3	0,5	1	Clorita	Anhidrita	Salbanda	Calcopirita
102	16-6222-8	40	34	N56° W / 40° NE	48,2	0,5	1	Anhidrita	Clorita	Óx. de Fe	
103	16-6275-1	90	349	N79° E / 90° N	37,2	4	20	Carbonato	Yeso	Turmalina	Calcopirita
104	16-6275-10	90	330	N60° E / 90° NW	29,3	0,1	0,1	Yeso			
105	16-6275-11	67	155	N65° E / 67° SE	18,3	2	2	Anhidrita	Calcopirita		
106	16-6275-2	83	174	N84° E / 83° S	19,9	1	1	Anhidrita	Turmalina	Ankerita	Calcopirita
107	16-6275-28	90	348	N78° E / 90° N	51,1	0,4	0,6	Carbonato	Cuarzo	Anhidrita	Clorita
108	16-6275-29	88	173	N83° E / 88° S	26,8	0,4	0,4	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita	Clorita
109	16-6275-3	88	168	N78° E / 88° S	16,9	1	2	Turmalina	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita
110	16-6275-30	85	166	N76° E / 85° S	17,4	0,3	0,3	Clorita	Calcita	Bornita	Calcopirita
111	16-6275-31	85	169	N79° E / 85° S	17,8	0,4	0,4	Calcita	Clorita	Molibdenita	Cuarzo
112	16-6275-32	74	357	N87° E / 74° N	82,0	0,3	0,3	Siderita	Molibdenita	Calcita	
113	16-6275-39	90	341	N71° E / 90° NW	59,3	2	2	Clorita	Calcopirita	Molibdenita	Tennantita
114	16-6275-4	86	160	N70° E / 86° SE	13,2	1	2	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Calcopirita
115	16-6275-40	75	161	N71° E / 75° SE	396,7	1	15	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Cuarzo
116	16-6275-42	80	158	N68° E / 80° SE	24,3	1	3	Anhidrita	Cuarzo	Turmalina	
117	16-6275-44	80	356	N86° E / 80° N	95,4	2	4	Anhidrita	Cuarzo	Bornita	Carbonato
118	16-6275-5	21	3	N87° W / 21° N	36,1	1	1	Anhidrita	Calcopirita	Yeso	
119	16-6275-6	23	353	N83° E / 23° N	30,7	0,4	0,4	Anhidrita	Calcopirita		
120	16-6275-7	20	346	N76° E / 20° N	30,3	0,3	0,3	Anhidrita	Calcopirita		
121	16-6275-8	34	6	N84° W / 34° N	51,7	1,5	1,5	Calcopirita	Anhidrita	Carbonato	Tennantita
122	16-6275-9	35	25	N65° W / 35° NE	29,9	0,5	0,5				
123	16-6636-10	87	202	N68° W / 87° SW	42,5	1,2	1,2	Anhidrita	Calcopirita	Ankerita	Calcopirita
124	16-6636-16	68	143	N53° E / 68° SE	29,6	0,3	1	Carbonato	Cuarzo	Calcopirita	
125	16-6636-17	69	161	N71° E / 69° SE	26,1	0,7	1	Calcopirita	Pirita	Ankerita	Clorita
126	16-6636-18	68	147	N57° E / 68° SE	20,3	0,5	0,5	Anhidrita	Ankerita	Calcopirita	Clorita
127	16-6636-19	45	61	N29° W / 45° NE	23,7	0,3	0,3	Anhidrita	Calcopirita		
128	16-6636-20	45	71	N19° W / 45° NE	23,0	0,3	0,3	Anhidrita	Yeso		
129	16-6636-21	85	196	N74° W / 85° SW	45,1	1	2	Ankerita	Anhidrita	Calcopirita	Clorita
130	16-6636-24	84	27	N63° W / 84° NE	51,4	1,5	1,5	Anhidrita	Salbanda	Calcopirita	Carbonato
131	16-6636-25	80	31	N59° W / 80° NE	34,0	2	2	Salbanda	Yeso	Carbonato	Anhidrita
132	16-6636-26	50	43	N47° W / 50° NE	45,1	0,3	0,4	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita	Clorita
133	16-6636-27	80	31	N59° W / 80° NE	55,2	2	2	Salbanda	Calcopirita	Clorita	Carbonato

TTE Sub6 Pro											
Nº	IdSoporte	Dip	DipDir	Rumbo/Manteo	Traza (m)	Esp. Min. (cm)	Esp. Máx. (cm)	Relleno 1	Relleno 2	Relleno 3	Relleno 4
134	16-6636-28	80	36	N54° W / 80° NE	53,1	0,6	0,7	Anhidrita	Ankerita	Calcopirita	
135	16-6636-29	85	222	N48° W / 85° SW	37,4	1	1	Anhidrita	Ankerita	Calcopirita	
136	16-6636-3	86	218	N52° W / 86° SW	54,4	1	1,2	Anhidrita	Ankerita	Calcopirita	
137	16-6636-32	90	8	N82° W / 90° N	26,7	0,2	0,2	Salbanda			
138	16-6636-33	85	210	N60° W / 85° SW	15,5	0,3	0,3	Salbanda			
139	16-6636-35	84	14	N76° W / 84° N	43,8	0,7	0,7	Anhidrita			
140	16-6636-36	88	190	N80° W / 88° S	33,1	1	1	Anhidrita	Turmalina	Calcopirita	Ankerita
141	16-6636-37	68	211	N59° W / 68° SW	32,5	1	1	Anhidrita	Calcopirita	Yeso	
142	16-6636-38	64	208	N62° W / 64° SW	37,8	2	2	Carbonato	Yeso	Turmalina	Calcopirita
143	16-6636-39	73	206	N64° W / 73° SW	33,4	0,3	0,3	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita	
144	16-6636-4	80	44	N46° W / 80° NE	30,5	1	1,5	Anhidrita	Calcopirita	Ankerita	Clorita
145	16-6636-5	83	51	N39° W / 83° NE	18,6	1	1,5	Anhidrita	Calcopirita	Ankerita	Clorita
146	16-6636-6	90	50	N40° W / 90° NE	24,5	2	2	Anhidrita	Yeso	Calcopirita	Anhidrita
147	16-6636-7	80	54	N36° W / 80° NE	33,3	2	2				
148	16-6636-8	82	61	N29° W / 82° NE	20,0	2	2				
149	16-6636-9	90	28	N62° W / 90° NE	27,0	0,8	0,8	Yeso	Calcopirita	Anhidrita	
150	16-6643-2	85	183	N87° W / 85° S	28,7	1,5	1,5	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Tennantita
151	16-6643-20	72	142	N52° E / 72° SE	47,0	0,2	1	Anhidrita	Yeso	Calcopirita	Pirita
152	16-6643-28	87	180	N90° E / 87° S	51,5	1	1	Anhidrita	Ankerita	Calcopirita	
153	16-6643-29	80	221	N49° W / 80° SW	68,6	0,5	0,5				
154	16-6643-3	60	173	N83° E / 60° S	35,1	0,8	0,8	Anhidrita	Ankerita	Calcopirita	
155	16-6643-32	81	135	N45° E / 81° SE	47,9	2	3	Anhidrita	Turmalina	Calcopirita	Yeso
156	16-6643-33	83	136	N46° E / 83° SE	34,5	3	4	Anhidrita	Calcopirita	Carbonato	
157	16-6643-34	76	138	N48° E / 76° SE	21,6	3	5	Cuarzo	Yeso	Anhidrita	Carbonato
158	16-6643-35	80	134	N44° E / 80° SE	26,6	2	5	Cuarzo	Yeso	Carbonato	Calcopirita
159	16-6643-39	65	218	N52° W / 65° SW	48,8	0,5	0,5				
160	16-6643-4	72	172	N82° E / 72° S	38,4	1	1	Anhidrita	Calcopirita	Ankerita	
161	16-6643-48	65	107	N17° E / 65° SE	228,3	0,5	3	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Pirita
162	16-6643-49	65	108	N18° E / 65° SE	127,9	0,6	0,6	Calcopirita	Anhidrita	Carbonato	Clorita
163	16-6643-5	80	56	N34° W / 80° NE	51,4	1	1	Anhidrita	Ankerita	Calcopirita	Salbanda
164	16-6643-6	90	359	N89° E / 90° N	48,1	0,8	1	Anhidrita	Carbonato	Turmalina	Calcopirita
165	16-6662-1	80	44	N46° W / 80° NE	42,7	0,5	0,5				
166	16-6662-2	81	51	N39° W / 81° NE	59,0	0,5	0,5				
167	16-6662-3	79	46	N44° W / 79° NE	54,8	0,3	0,5	Yeso	Anhidrita	Calcopirita	Turmalina
168	16-6662-8	80	44	N46° W / 80° NE	43,1	0,5	0,5	Yeso	Turmalina	Ankerita	Calcopirita
169	16-6667-1	50	293	N23° E / 50° NW	17,4	1	1	Anhidrita	Calcopirita	Molibdenita	
170	16-6667-10	50	103	N13° E / 50° E	79,5	0,3	0,9	Yeso	Anhidrita	Ankerita	Calcopirita
171	16-6667-13	90	102	N12° E / 90° E	59,7	0,5	1				
172	16-6667-15	85	184	N86° W / 85° S	44,0	0,5	0,5	Turmalina	Anhidrita	Ankerita	Calcopirita
173	16-6667-16	70	193	N77° W / 70° S	34,6	0,5	2,5	Anhidrita	Calcopirita	Yeso	Clorita
174	16-6667-2	60	295	N25° E / 60° NW	36,4	0,5	0,5				
175	16-6667-27	90	338	N68° E / 90° NW	43,8	2	3	Anhidrita	Calcopirita	Turmalina	Ankerita
176	16-6667-29	56	164	N74° E / 56° SE	21,8	0,5	1	Anhidrita	Yeso	Calcopirita	Pirita
177	16-6667-3	63	310	N40° E / 63° NW	31,9	0,5	0,7	Yeso	Ankerita	Calcopirita	
178	16-6667-30	23	2	N88° W / 23° N	46,8	1	1	Anhidrita	Carbonato		
179	16-6667-31	24	25	N65° W / 24° NE	27,0	0,5	1	Turmalina	Anhidrita	Calcopirita	Turmalina
180	16-6667-33	35	17	N73° W / 35° NE	41,0	0,5	0,5				
181	16-6667-34	28	59	N31° W / 28° NE	48,1	1	2	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Turmalina
182	16-6667-35	23	51	N39° W / 23° NE	44,8	0,5	0,5				
183	16-6667-36	27	35	N55° W / 27° NE	29,0	2	3	Salbanda	Yeso	Calcopirita	
184	16-6667-37	20	51	N39° W / 20° NE	26,6	2	3	Anhidrita	Cuarzo	Turmalina	Calcopirita
185	16-6667-39	23	23	N67° W / 23° NE	43,6	1	1	Calcopirita	Yeso	Cuarzo	Turmalina
186	16-6667-40	38	34	N56° W / 38° NE	52,6	2	2	Yeso	Calcopirita	Anhidrita	Tennantita
187	16-6667-41	40	44	N46° W / 40° NE	32,3	1	1	Molibdenita	Anhidrita	Calcopirita	Yeso
188	16-6667-42	78	39	N51° W / 78° NE	43,4	2	10	Salbanda	Turmalina	Calcopirita	Yeso
189	16-6667-5	85	277	N7° E / 85° W	94,9	1	1				
190	16-6667-7	75	276	N6° E / 75° W	47,8	0,5	0,5	Anhidrita	Yeso	Turmalina	Calcopirita
191	16-6667-8	85	94	N4° E / 85° E	83,5	0,5	1				
192	16-6680-1	50	292	N22° E / 50° NW	54,1	0,5	0,5				
193	16-6680-100	90	28	N62° W / 90° NE	39,9	0,7	0,7	Cuarzo	Anhidrita	Calcopirita	Molibdenita
194	16-6680-104	80	356	N86° E / 80° N	48,0	1	1	Anhidrita	Tennantita	Ankerita	
195	16-6680-105	82	348	N78° E / 82° N	38,5	0,5	0,5				
196	16-6680-109	71	356	N86° E / 71° N	45,2	1	1	Anhidrita	Yeso	Calcopirita	Bornita
197	16-6680-114	90	101	N11° E / 90° E	48,4	4	4	Ankerita	Anhidrita	Bornita	
198	16-6680-115	90	97	N7° E / 90° E	38,3	1	3	Anhidrita	Clorita	Calcopirita	Ankerita
199	16-6680-116	78	31	N59° W / 78° NE	32,7	0,5	0,5	Ankerita	Anhidrita		
200	16-6680-117	80	15	N75° W / 80° N	25,3	1	1	Yeso	Turmalina	Cuarzo	
201	16-6680-118	80	24	N66° W / 80° NE	30,4	0,5	0,5				
202	16-6680-119	80	13	N77° W / 80° N	51,2	1	1	Anhidrita	Tennantita	Ankerita	
203	16-6680-12	70	138	N48° E / 70° SE	77,9	3	3	Cuarzo	Anhidrita	Calcopirita	Turmalina
204	16-6680-125	90	294	N24° E / 90° NW	54,3	0,4	0,4	Anhidrita	Calcopirita	Ankerita	

TTE Sub6 Pro											
Nº	IdSoporte	Dip	DipDir	Rumbo/Manteo	Traza (m)	Esp. Min. (cm)	Esp. Máx. (cm)	Relleno 1	Relleno 2	Relleno 3	Relleno 4
205	16-6680-126	80	114	N24° E / 80° SE	18,3	0,5	0,5	Yeso			
206	16-6680-13	45	357	N87° E / 45° N	46,8	2	2	Yeso	Calcopirita		
207	16-6680-14	68	101	N11° E / 68° E	64,2	0,5	0,5				
208	16-6680-16	70	105	N15° E / 70° E	76,3	0,5	0,5	Anhidrita	Calcopirita		
209	16-6680-18	70	101	N11° E / 70° E	22,0	0,5	0,5	Anhidrita	Yeso	Calcopirita	
210	16-6680-19	75	113	N23° E / 75° SE	40,7	0,5	0,5	Yeso	Anhidrita	Calcopirita	
211	16-6680-2	69	275	N5° E / 69° W	104,2	1	1	Anhidrita	Calcopirita	Turmalina	
212	16-6680-20	75	107	N17° E / 75° SE	59,0	0,3	0,3	Yeso	Calcopirita	Bornita	
213	16-6680-22	70	102	N12° E / 70° E	64,9	2	2	Anhidrita	Ankerita	Calcopirita	Turmalina
214	16-6680-23	66	100	N10° E / 66° E	59,7	0,5	0,5				
215	16-6680-25	42	37	N53° W / 42° NE	80,3	1	1	Yeso	Anhidrita	Calcopirita	Bornita
216	16-6680-26	40	37	N53° W / 40° NE	34,5	1	1	Calcopirita	Bornita	Yeso	Cuarzo
217	16-6680-27	40	31	N59° W / 40° NE	42,3	3	4	Anhidrita	Yeso	Calcopirita	Tennantita
218	16-6680-28	45	45	N45° W / 45° NE	40,9	2	5	Anhidrita	Yeso	Ankerita	Calcopirita
219	16-6680-29	45	16	N74° W / 45° NE	38,3	1	1	Anhidrita	Yeso	Ankerita	Calcopirita
220	16-6680-30	85	173	N83° E / 85° S	50,2	1	2	Carbonato	Yeso	Tennantita	Calcopirita
221	16-6680-31	75	2	N88° W / 75° N	27,4	1	1	Ankerita	Calcopirita	Anhidrita	Yeso
222	16-6680-32	90	11	N79° W / 90° N	49,1	2	2	Anhidrita	Yeso	Ankerita	Calcopirita
223	16-6680-33	75	186	N84° W / 75° S	20,5	1	1				
224	16-6680-36	90	98	N8° E / 90° E	25,2	0,4	0,4	Salbanda	Yeso		
225	16-6680-37	78	96	N6° E / 78° E	20,5	0,5	0,5	Salbanda	Yeso		
226	16-6680-40	82	348	N78° E / 82° N	50,7	0,5	3	Anhidrita	Ankerita	Turmalina	
227	16-6680-43	72	1	N89° W / 72° N	29,4	3	5	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Tennantita
228	16-6680-46	80	156	N66° E / 80° SE	37,2	0,5	0,5	Calcopirita	Yeso		
229	16-6680-48	70	152	N62° E / 70° SE	23,4	5	5	Anhidrita	Calcopirita		
230	16-6680-58	77	147	N57° E / 77° SE	41,1	0,3	0,5	Yeso	Ankerita	Calcopirita	Turmalina
231	16-6680-6	80	212	N58° W / 80° SW	41,6	1	2	Ankerita	Anhidrita	Turmalina	Calcopirita
232	16-6680-63	90	340	N70° E / 90° NW	33,7	0,3	0,4	Anhidrita	Ankerita	Calcopirita	
233	16-6680-64	80	350	N80° E / 80° N	32,4	1	1	Anhidrita	Bornita		
234	16-6680-65	85	347	N77° E / 85° N	29,2	1	1	Anhidrita			
235	16-6680-66	85	181	N89° W / 85° S	45,7	3	4	Salbanda	Clorita	Anhidrita	Calcopirita
236	16-6680-67	82	358	N88° E / 82° N	16,6	1	2	Yeso	Anhidrita	Ankerita	Bornita
237	16-6680-68	90	356	N86° E / 90° N	56,4	2	2	Anhidrita	Ankerita	Yeso	Calcopirita
238	16-6680-69	38	52	N38° W / 38° NE	67,6	1	1	Anhidrita	Bornita	Tennantita	Calcopirita
239	16-6680-70	40	36	N54° W / 40° NE	46,1	0,6	0,6	Calcopirita	Carbonato	Bornita	
240	16-6680-73	84	203	N67° W / 84° SW	78,0	1,3	1,3	Anhidrita	Cuarzo	Calcopirita	Bornita
241	16-6680-74	85	202	N68° W / 85° SW	40,3	2	10	Turmalina	Clorita	Calcopirita	Ankerita
242	16-6680-84	90	100	N10° E / 90° E	18,1	4	5	Anhidrita	Cuarzo	Calcopirita	Tennantita
243	16-6680-90	63	209	N61° W / 63° SW	59,4	1	3	Calcopirita	Anhidrita	Yeso	Turmalina
244	16-6680-91	54	213	N57° W / 54° SW	23,5	0,5	0,5				
245	16-6680-92	87	196	N74° W / 87° SW	59,9	3	3	Ankerita	Anhidrita	Yeso	Calcopirita
246	16-6680-93	58	208	N62° W / 58° SW	53,2	1	1	Anhidrita	Yeso	Tennantita	Ankerita
247	16-6680-94	47	41	N49° W / 47° NE	58,7	1	2	Anhidrita	Calcopirita	Bornita	Cuarzo
248	16-6680-95	48	40	N50° W / 48° NE	29,7	5	7	Cuarzo	Anhidrita	Calcopirita	
249	16-6680-96	50	32	N58° W / 50° NE	26,1	5	7	Cuarzo	Anhidrita	Calcopirita	
250	16-6680-97	52	37	N53° W / 52° NE	17,8	1	2	Yeso	Bornita	Calcopirita	Ankerita
251	16-6680-98	50	32	N58° W / 50° NE	25,6	1	1	Yeso	Anhidrita	Tennantita	Calcopirita
252	16-6680-99	69	25	N65° W / 69° NE	34,4	3	3	Yeso	Bornita		
253	16-67637-1	76	132	N42° E / 76° SE	46,9	1	3	Anhidrita	Carbonato	Clorita	
254	16-70128-1	45	194	N76° W / 45° S	33,1	0,5	0,5	Anhidrita	Clorita	Carbonato	Yeso
255	16-7202-30	90	334	N64° E / 90° NW	40,0	0,8	0,8	Calcopirita	Carbonato	Turmalina	Anhidrita
256	16-7202-31	72	332	N62° E / 72° NW	37,0	0,3	0,3	Carbonato	Clorita	Anhidrita	
257	16-7202-32	84	336	N66° E / 84° NW	34,4	1	1	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita	Clorita
258	16-7202-33	80	159	N69° E / 80° SE	29,3	1	1,5	Salbanda	Anhidrita	Clorita	Calcopirita
259	16-7202-34	78	163	N73° E / 78° SE	35,2	0,3	0,5	Carbonato	Calcopirita	Anhidrita	Clorita
260	16-7202-35	87	336	N66° E / 87° NW	39,1	0,5	0,6	Carbonato	Anhidrita	Clorita	Molibdenita
261	16-7202-36	87	163	N73° E / 87° SE	34,1	0,5	1	Anhidrita	Clorita	Carbonato	Calcopirita
262	16-7202-39	69	189	N81° W / 69° S	16,5	0,3	0,3	Carbonato	Clorita	Calcopirita	
263	16-7202-40	70	181	N89° W / 70° S	33,3	0,4	0,4	Calcopirita	Anhidrita	Clorita	Turmalina
264	16-7202-41	84	187	N83° W / 84° S	30,9	0,5	0,6	Salbanda	Anhidrita	Clorita	
265	16-7202-55	85	159	N69° E / 85° SE	41,2	2	3	Anhidrita	Clorita	Carbonato	Salbanda
266	16-7202-57	90	341	N71° E / 90° NW	61,3	0,5	1	Anhidrita	Clorita	Carbonato	Calcopirita
267	16-7202-59	90	10	N80° W / 90° N	18,6	2	4	Cuarzo	Salbanda	Carbonato	Anhidrita
268	16-7202-60	90	6	N84° W / 90° N	33,7	0,5	5	Cuarzo	Turmalina	Anhidrita	Calcopirita
269	16-7202-63	82	166	N76° E / 82° S	106,6	5	7	Carbonato	Turmalina	Anhidrita	Salbanda
270	16-7202-64	73	359	N89° E / 73° N	316,8	3	6	Anhidrita	Carbonato	Turmalina	Salbanda
271	16-7202-65	79	163	N73° E / 79° SE	69,9	0,2	0,3	Anhidrita	Calcopirita	Clorita	Carbonato
272	16-7202-66	65	158	N68° E / 65° SE	37,4	0,3	1	Anhidrita	Cuarzo	Clorita	Sericita
273	16-7202-68	65	184	N86° W / 65° S	19,4	0,5	0,5	Yeso	Molibdenita	Clorita	Calcopirita
274	16-7202-70	75	181	N89° W / 75° S	81,3	2	2	Salbanda	Clorita	Anhidrita	Bornita
275	16-7202-72	85	24	N66° W / 85° NE	54,8	0,5	0,5	Clorita			

TTE Sub6 Pro											
Nº	IdSoporte	Dip	DipDir	Rumbo/Manteo	Traza (m)	Esp. Min. (cm)	Esp. Máx. (cm)	Relleno 1	Relleno 2	Relleno 3	Relleno 4
276	16-7202-73	82	21	N69° W / 82° NE	32,9	2	2	Anhidrita	Clorita	Tennantita	Carbonato
277	16-7213-10	73	172	N82° E / 73° S	58,1	3	3	Anhidrita	Ankerita	Bornita	Calcopirita
278	16-7213-11	80	352	N82° E / 80° N	55,9	1	1	Yeso	Anhidrita	Ankerita	Bornita
279	16-7213-14	90	355	N85° E / 90° N	145,0	0,4	0,4	Anhidrita	Clorita	Yeso	
280	16-7213-15	69	166	N76° E / 69° S	34,7	1	1	Anhidrita	Bornita	Calcopirita	
281	16-7213-16	70	164	N74° E / 70° SE	71,0	1	1,5	Anhidrita	Ankerita		
282	16-7213-18	90	2	N88° W / 90° N	55,5	1	1	Anhidrita	Bornita	Yeso	
283	16-7213-19	75	175	N85° E / 75° S	62,1	2	2	Anhidrita	Yeso	Salbanda	Bornita
284	16-7213-2	70	172	N82° E / 70° S	49,6	4	4	Anhidrita	Ankerita	Bornita	Clorita
285	16-7213-20	90	347	N77° E / 90° N	34,5	3	3	Anhidrita	Bornita		
286	16-7213-21	90	359	N89° E / 90° N	39,2	2	2	Ankerita	Tennantita		
287	16-7213-25	82	337	N67° E / 82° NW	71,3	2,5	2,5	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita	
288	16-7213-26	84	350	N80° E / 84° N	40,9	1	1	Anhidrita	Yeso		
289	16-7213-27	73	176	N86° E / 73° S	43,9	1	1	Salbanda	Clorita	Anhidrita	Calcopirita
290	16-7213-28	62	173	N83° E / 62° S	32,1	3	3	Anhidrita	Ankerita	Tennantita	
291	16-7213-29	65	170	N80° E / 65° S	38,6	10	10	Ankerita	Anhidrita	Bornita	Salbanda
292	16-7213-3	90	330	N60° E / 90° NW	58,2	3	3	Anhidrita	Sericita	Clorita	Bornita
293	16-7213-30	65	166	N76° E / 65° S	35,7	3	3	Anhidrita	Yeso	Ankerita	Tennantita
294	16-7213-4	85	166	N76° E / 85° S	73,6	4	4	Anhidrita	Ankerita	Bornita	Tennantita
295	16-7213-6	66	182	N88° W / 66° S	47,6	1	2	Anhidrita	Ankerita	Bornita	Yeso
296	16-7213-7	74	180	N90° E / 74° S	57,7	2	2	Anhidrita	Ankerita	Bornita	
297	16-7213-8	60	126	N36° E / 60° SE	24,1	0,2	0,2	Yeso			
298	16-7213-9	60	122	N32° E / 60° SE	30,3	2	3	Anhidrita	Ankerita	Bornita	
299	16-7218-1	85	346	N76° E / 85° N	21,5	2,5	2,5	Cuarzo	Turmalina	Molibdenita	Carbonato
300	16-7218-101	90	338	N68° E / 90° NW	46,3	3	3	Cuarzo	Calcopirita	Tennantita	Molibdenita
301	16-7218-14	66	346	N76° E / 66° N	41,5	2	2	Anhidrita	Ankerita	Bornita	
302	16-7218-15	70	352	N82° E / 70° N	53,8	2	4	Yeso	Anhidrita	Ankerita	Salbanda
303	16-7218-16	83	6	N84° W / 83° N	70,7	4	4	Ankerita	Calcopirita	Tennantita	
304	16-7218-17	90	344	N74° E / 90° NW	65,3	0,2	0,2	Molibdenita	Bornita		
305	16-7218-18	65	345	N75° E / 65° N	42,9	1,5	1,5	Anhidrita	Cuarzo	Calcopirita	
306	16-7218-2	90	347	N77° E / 90° N	39,5	1	1	Anhidrita	Clorita	Molibdenita	Calcopirita
307	16-7218-23	90	343	N73° E / 90° NW	31,4	1	2	Anhidrita	Bornita	Molibdenita	Calcopirita
308	16-7218-3	90	346	N76° E / 90° N	46,1	1	2	Anhidrita	Ankerita	Bornita	Yeso
309	16-7218-33	90	359	N89° E / 90° N	52,0	2	6	Calcopirita	Yeso	Sericita	Molibdenita
310	16-7218-36	75	185	N85° W / 75° S	74,5	1	1	Anhidrita	Molibdenita	Bornita	
311	16-7218-37	75	173	N83° E / 75° S	35,2	1	1	Anhidrita	Ankerita	Bornita	
312	16-7218-38	66	0	N90° E / 66° N	21,2	2	2	Anhidrita	Bornita		
313	16-7218-39	77	358	N88° E / 77° N	19,3	1	1,5	Anhidrita	Bornita		
314	16-7218-4	83	341	N71° E / 83° NW	35,7	2	3	Anhidrita	Bornita	Calcopirita	Molibdenita
315	16-7218-40	70	9	N81° W / 70° N	20,0	3	3	Anhidrita	Ankerita	Yeso	Tennantita
316	16-7218-42	60	1	N89° W / 60° N	50,6	0,5	0,5	Anhidrita	Yeso	Clorita	Salbanda
317	16-7218-43	75	213	N57° W / 75° SW	39,8	1	2	Bornita			
318	16-7218-44	90	34	N56° W / 90° NE	43,3	1	1	Anhidrita	Bornita		
319	16-7218-47	77	280	N10° E / 77° W	35,5	1,5	4	Clorita	Molibdenita	Anhidrita	
320	16-7218-49	81	282	N12° E / 81° W	45,1	4	4	Yeso	Anhidrita	Bornita	Calcopirita
321	16-7218-5	69	175	N85° E / 69° S	46,0	2	2	Anhidrita	Bornita	Calcopirita	
322	16-7218-52	60	9	N81° W / 60° N	50,1	2	4	Anhidrita	Turmalina	Bornita	Yeso
323	16-7218-57	67	292	N22° E / 67° NW	35,8	0,2	0,5	Yeso	Clorita	Bornita	
324	16-7218-58	90	290	N20° E / 90° NW	22,1	0,5	0,5				
325	16-7218-60	88	292	N22° E / 88° NW	56,9	0,3	0,5	Anhidrita	Clorita		
326	16-7218-66	74	199	N71° W / 74° SW	60,4	1	2	Cuarzo	Anhidrita	Calcopirita	Molibdenita
327	16-7218-69	77	212	N58° W / 77° SW	55,3	0,5	0,7	Anhidrita	Calcopirita	Bornita	
328	16-7218-70	80	210	N60° W / 80° SW	34,9	0,2	0,3	Clorita	Anhidrita	Calcopirita	Bornita
329	16-7218-72	37	198	N72° W / 37° SW	66,5	0,5	1,5	Yeso	Clorita		
330	16-7218-75	72	167	N77° E / 72° S	55,2	1	1	Tennantita	Molibdenita	Anhidrita	Sericita
331	16-7218-76	30	153	N63° E / 30° SE	64,0	1,5	1,5	Anhidrita	Bornita	Ankerita	Molibdenita
332	16-7218-77	43	140	N50° E / 43° SE	28,3	2	3	Anhidrita	Clorita	Molibdenita	
333	16-7218-79	40	205	N65° W / 40° SW	17,2	1	2				
334	16-7218-82	88	183	N87° W / 88° S	51,4	1	1,5	Anhidrita	Molibdenita	Calcopirita	Calcita
335	16-7218-83	88	159	N69° E / 88° SE	55,0	2	2	Yeso	Carbonato	Calcopirita	
336	16-7218-85	84	325	N55° E / 84° NW	30,9	0,5	1,5	Carbonato	Cuarzo	Molibdenita	Tennantita
337	16-7218-86	90	333	N63° E / 90° NW	26,0	0,1	0,1				
338	16-7218-9	84	2	N88° W / 84° N	44,1	0,5	1	Carbonato	Cuarzo	Turmalina	
339	16-7218-91	68	300	N30° E / 68° NW	64,8	0,5	1,5	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Molibdenita
340	16-7218-96	70	8	N82° W / 70° N	33,0	1	2	Anhidrita	Ankerita	Yeso	Calcopirita
341	16-7218-98	85	6	N84° W / 85° N	60,9	0,5	1,5	Anhidrita	Clorita	Calcopirita	Turmalina
342	16-7218-99	90	1	N89° W / 90° N	41,0	0,3	0,5	Carbonato	Cuarzo	Calcopirita	Clorita
343	16-7260-2	90	4	N86° W / 90° N	37,3	1	1	Yeso			
344	16-8077-1	80	207	N63° W / 80° SW	51,1	0,5	2	Anhidrita	Calcopirita	Clorita	Cuarzo
345	16-8077-3	83	204	N66° W / 83° SW	27,6	2	3	Anhidrita	Carbonato	Clorita	Cuarzo
346	16-8077-4	85	159	N69° E / 85° SE	80,3	1	3	Turmalina	Anhidrita	Clorita	Salbanda

TTE Sub6 Pro											
Nº	IdSoporte	Dip	DipDir	Rumbo/Manteo	Traza (m)	Esp. Min. (cm)	Esp. Máx. (cm)	Relleno 1	Relleno 2	Relleno 3	Relleno 4
347	16-9243-10	80	351	N81° E / 80° N	37,5	0,2	0,4	Anhidrita	Molibdenita	Carbonato	Calcopirita
348	16-9243-11	86	157	N67° E / 86° SE	43,5	1	2	Carbonato	Salbanda	Anhidrita	Cuarzo
349	16-9243-12	87	162	N72° E / 87° SE	69,0	1	3	Carbonato	Salbanda	Clorita	Anhidrita
350	16-9243-13	75	175	N85° E / 75° S	31,1	1	2	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita	Tennantita
351	16-9243-14	85	186	N84° W / 85° S	25,6	2	4	Carbonato	Anhidrita	Salbanda	Calcopirita
352	16-9243-15	85	186	N84° W / 85° S	41,7	2	2	Carbonato	Anhidrita	Salbanda	Calcopirita
353	16-9243-16	84	158	N68° E / 84° SE	61,3	0,3	1	Anhidrita	Calcopirita	Carbonato	Clorita
354	16-9243-17	85	340	N70° E / 85° NW	73,9	0,5	2	Carbonato	Anhidrita	Salbanda	Clorita
355	16-9243-23	76	194	N76° W / 76° S	45,2	1	2	Anhidrita	Salbanda	Cuarzo	Carbonato
356	16-9243-24	89	347	N77° E / 89° N	41,1	1	10	Salbanda	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita
357	16-9243-27	83	146	N56° E / 83° SE	30,4	1	1	Anhidrita	Calcopirita	Clorita	Carbonato
358	16-9243-29	83	149	N59° E / 83° SE	39,1	1	2	Carbonato	Anhidrita	Salbanda	Cuarzo
359	16-9243-30	86	165	N75° E / 86° S	50,8	15	25	Salbanda	Carbonato	Turmalina	Anhidrita
360	16-9243-31	87	138	N48° E / 87° SE	38,2	1,5	2,5	Anhidrita	Carbonato	Salbanda	Turmalina
361	16-9243-32	80	164	N74° E / 80° SE	26,5	1	3	Turmalina	Anhidrita	Carbonato	Salbanda
362	16-9243-36	80	192	N78° W / 80° S	33,9	1	1,5	Anhidrita	Salbanda	Cuarzo	Carbonato
363	16-9243-37	81	185	N85° W / 81° S	49,9	1	2	Anhidrita	Salbanda	Clorita	Carbonato
364	16-9243-44	84	166	N76° E / 84° S	72,6	0,8	4	Anhidrita	Carbonato	Clorita	Calcopirita
365	16-9243-45	75	167	N77° E / 75° S	61,0	0,5	1,5	Anhidrita	Molibdenita	Clorita	Carbonato
366	16-9243-9	90	336	N66° E / 90° NW	43,7	1	1,5	Carbonato	Salbanda	Anhidrita	Clorita
367	287-70027-17	62	10	N80° W / 62° N	45,7	0,5	2	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Calcopirita
368	287-71825-32	78	30	N60° W / 78° NE	145,2	1	5	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Tennantita
369	287-72375-1	80	14	N76° W / 80° N	143,3	2	5	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Turmalina
370	287-72880-1	75	27	N63° W / 75° NE	136,5	1	5	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Molibdenita
371	287-72880-2	75	209	N61° W / 75° SW	131,2	1	3	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita	Salbanda
372	287-72880-3	80	187	N83° W / 80° S	152,2	1	3	Molibdenita	Anhidrita	Calcopirita	
373	287-72893-5	80	247	N23° W / 80° SW	94,5	1	3	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Clorita
374	287-72893-6	80	249	N21° W / 80° SW	57,3	1	2	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Calcopirita
375	287-73018-8	65	192	N78° W / 65° S	273,7	2	4	Anhidrita	Yeso	Molibdenita	Bornita
376	287-76002-7	70	3	N87° W / 70° N	105,1	0,5	2	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita	Calcopirita
377	287-83975-1	60	23	N67° W / 60° NE	57,5	1	2	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Turmalina
378	287-83975-2	88	29	N61° W / 88° NE	85,1	1	3	Anhidrita	Molibdenita	Carbonato	Yeso
379	287-83975-3	70	94	N4° E / 70° E	150,8	1	5	Anhidrita	Salbanda	Carbonato	Yeso
380	287-83975-4	56	116	N26° E / 56° SE	53,5	1	3	Anhidrita	Salbanda	Carbonato	Yeso
381	287-83975-5	66	44	N46° W / 66° NE	36,6	3	8	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Tennantita
382	287-83975-8	65	22	N68° W / 65° NE	59,0	1	3	Anhidrita	Carbonato	Turmalina	
383	287-83975-9	80	341	N71° E / 80° NW	40,6	1	2	Anhidrita	Carbonato	Bornita	Tennantita
384	287-84260-1	80	153	N63° E / 80° SE	9,1	0,2	4	Anhidrita	Bornita	Carbonato	Clorita
385	287-84260-11	88	200	N70° W / 88° SW	72,7	1	2	Anhidrita	Carbonato		
386	287-84260-12	75	122	N32° E / 75° SE	58,3	1	2	Anhidrita	Carbonato		
387	287-84260-13	76	217	N53° W / 76° SW	137,9	1	2	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	
388	287-84260-14	70	9	N81° W / 70° N	137,8	2	5	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Molibdenita
389	287-84260-15	73	107	N17° E / 73° SE	146,7	1	3	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	
390	287-84260-16	72	20	N70° W / 72° NE	82,3	1	3	Anhidrita	Calcopirita	Carbonato	
391	287-84260-17	85	329	N59° E / 85° NW	92,1	1	3	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	
392	287-84260-2	80	153	N63° E / 80° SE	40,0	0,2	4	Anhidrita	Bornita	Carbonato	Clorita
393	287-87991-3	85	331	N61° E / 85° NW	67,8	3	7	Anhidrita	Carbonato	Turmalina	Yeso
394	287-87991-4	82	180	N90° E / 82° S	65,9	1	5	Anhidrita	Carbonato	Turmalina	Molibdenita
395	287-87991-5	80	12	N78° W / 80° N	59,0	1	4	Anhidrita	Carbonato		
396	287-87991-6	68	180	N90° E / 68° S	67,1	0,5	1,5	Anhidrita	Clorita	Yeso	
397	287-87991-7	82	346	N76° E / 82° N	49,3	1	6	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Turmalina
398	287-87991-8	80	334	N64° E / 80° NW	48,8	1	4	Anhidrita	Carbonato	Yeso	
399	287-87991-9	80	354	N84° E / 80° N	55,1	0,5	1	Anhidrita	Carbonato	Yeso	
400	287-89752-31	68	358	N88° E / 68° N	61,2	2	3	Anhidrita	Calcopirita	Clorita	Turmalina
401	287-89752-34	60	223	N47° W / 60° SW	66,7	0,5	1	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Clorita
402	287-89752-35	85	324	N54° E / 85° NW	73,8	1	2	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Tennantita
403	287-89752-36	85	211	N59° W / 85° SW	109,4	1	2	Carbonato	Yeso	Anhidrita	Calcopirita
404	287-89752-37	48	36	N54° W / 48° NE	91,5	2	3	Carbonato	Yeso	Anhidrita	Bornita
405	287-89752-38	75	13	N77° W / 75° N	90,4	2	3	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Molibdenita
406	287-89806-10	75	210	N60° W / 75° SW	59,9	1	2	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Bornita
407	287-89806-11	75	28	N62° W / 75° NE	61,5	1,5	2,5	Anhidrita	Clorita	Bornita	Molibdenita
408	287-89806-12	65	6	N84° W / 65° N	62,3	1	2	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Molibdenita
409	287-89806-13	25	58	N32° W / 25° NE	56,9	2	3	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Turmalina
410	287-89806-14	80	359	N89° E / 80° N	101,0	2	3				
411	287-89806-17	40	155	N65° E / 40° SE	103,8	0,5	0,8	Anhidrita	Molibdenita	Calcopirita	Yeso
412	287-89806-18	64	358	N88° E / 64° N	98,9	0,1	0,5	Turmalina	Anhidrita	Calcopirita	Yeso
413	287-89806-19	54	341	N71° E / 54° NW	99,9	0,1	0,3	Cuarzo	Carbonato		
414	287-89806-2	65	242	N28° W / 65° SW	104,8	0,5	1	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Calcopirita
415	287-89806-20	73	337	N67° E / 73° NW	103,5	1	2	Turmalina	Calcopirita	Anhidrita	Carbonato
416	287-89806-21	56	214	N56° W / 56° SW	103,8	0,5	1,5	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Clorita
417	287-89806-22	70	55	N35° W / 70° NE	100,7	0,1	0,3	Anhidrita	Turmalina	Clorita	Calcopirita

TTE Sub6 Pro											
Nº	IdSoporte	Dip	DipDir	Rumbo/Manteo	Traza (m)	Esp. Min. (cm)	Esp. Máx. (cm)	Relleno 1	Relleno 2	Relleno 3	Relleno 4
418	287-89806-23	58	206	N64° W / 58° SW	57,9	0,5	1	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	
419	287-89806-24	63	127	N37° E / 63° SE	101,5	0,1	0,4	Anhidrita	Carbonato		
420	287-89806-25	53	46	N44° W / 53° NE	71,7	0,5	1				
421	287-89806-26	45	230	N40° W / 45° SW	105,2	0,1	0,5	Anhidrita	Ankerita	Calcopirita	Yeso
422	287-89806-28	40	47	N43° W / 40° NE	99,5	1	2	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Yeso
423	287-89806-29	25	66	N24° W / 25° NE	100,4	0,5	1,5	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Calcopirita
424	287-89806-3	60	60	N30° W / 60° NE	96,8	0,1	0,5	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Clorita
425	287-89806-30	88	112	N22° E / 88° SE	92,4	0,1	0,5	Anhidrita	Clorita	Carbonato	
426	287-89806-4	88	165	N75° E / 88° S	107,3	0,5	1,2	Anhidrita	Clorita	Molibdenita	Yeso
427	287-89806-5	83	171	N81° E / 83° S	69,8	0,1	0,5	Molibdenita	Tennantita	Yeso	Calcopirita
428	287-89806-6	83	173	N83° E / 83° S	30,4	0,1	0,5	Molibdenita	Tennantita	Yeso	Calcopirita
429	287-89806-7	45	207	N63° W / 45° SW	67,6	0,5	1,5	Anhidrita	Molibdenita	Carbonato	Yeso
430	287-89806-8	70	248	N22° W / 70° SW	64,9	0,1	0,5	Anhidrita	Molibdenita	Cuarzo	
431	287-89806-9	85	349	N79° E / 85° N	103,1	1	2	Anhidrita	Yeso	Bornita	Molibdenita
432	318-12930-1	90	14	N76° W / 90° N	99,9	1,5	2,5	Carbonato	Salbanda	Clorita	Anhidrita
433	318-12930-11	65	182	N88° W / 65° S	35,7	0,4	2	Calcopirita	Anhidrita	Carbonato	
434	318-12930-13	77	134	N44° E / 77° SE	41,9	1	3	Salbanda	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita
435	318-12930-14	69	287	N17° E / 69° NW	24,6	0,5	2	Salbanda	Carbonato	Cuarzo	Anhidrita
436	318-12930-15	88	171	N81° E / 88° S	82,0	0,8	1	Carbonato	Anhidrita	Cuarzo	Calcopirita
437	318-12930-16	75	160	N70° E / 75° SE	57,8	0,5	1	Anhidrita	Carbonato	Cuarzo	Calcopirita
438	318-12930-17	75	165	N75° E / 75° S	79,1	1	4	Anhidrita	Calcopirita	Clorita	Carbonato
439	318-12930-19	80	172	N82° E / 80° S	17,0	0,5	2	Anhidrita	Clorita	Bornita	
440	318-12930-20	82	179	N89° E / 82° S	30,0	0,4	4	Anhidrita	Clorita	Calcopirita	Bornita
441	318-12930-21	83	173	N83° E / 83° S	38,2	0,2	0,2	Molibdenita	Bornita	Anhidrita	Carbonato
442	318-12930-26	77	326	N56° E / 77° NW	41,3	0,8	3	Anhidrita	Carbonato	Cuarzo	Molibdenita
443	318-12930-27	82	172	N82° E / 82° S	54,3	0,5	6	Anhidrita	Carbonato	Clorita	Bornita
444	318-12930-29	0	0	Sin información	39,7	1	3	Anhidrita	Clorita	Óx. de Fe	
445	318-12930-30	83	335	N65° E / 83° NW	45,8	0,2	4	Anhidrita	Clorita	Carbonato	Molibdenita
446	318-12930-4	90	349	N79° E / 90° N	38,5	0,8	1,2	Anhidrita	Turmalina	Cuarzo	Carbonato
447	318-12930-7	90	331	N61° E / 90° NW	48,2	1	2	Anhidrita	Calcopirita	Clorita	Carbonato
448	318-12930-8	80	330	N60° E / 80° NW	36,5	0,2	1	Anhidrita	Carbonato	Clorita	
449	318-12967-10	84	338	N68° E / 84° NW	74,1	1	3	Anhidrita	Carbonato	Clorita	
450	318-12967-8	86	24	N66° W / 86° NE	40,5	1	10	Anhidrita	Carbonato	Clorita	Salbanda
451	318-12967-9	87	331	N61° E / 87° NW	94,8	0,5	3	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Bornita
452	318-12972-1	77	184	N86° W / 77° S	28,8	1	2	Carbonato	Salbanda	Anhidrita	Clorita
453	318-14726-1	80	162	N72° E / 80° SE	66,6	0,5	2	Anhidrita	Calcopirita	Carbonato	Salbanda
454	318-14726-3	86	159	N69° E / 86° SE	25,1	1	4	Anhidrita	Clorita	Cuarzo	Calcopirita
455	318-14754-1	75	351	N81° E / 75° N	47,7	0,8	7	Anhidrita	Salbanda	Clorita	Carbonato
456	318-14754-2	88	357	N87° E / 88° N	18,1	1	3	Anhidrita	Cuarzo	Carbonato	Bornita
457	318-14754-4	76	183	N87° W / 76° S	56,4	0,5	3	Anhidrita	Clorita	Ankerita	Bornita
458	318-14754-5	75	189	N81° W / 75° S	37,7	1	2	Anhidrita	Clorita	Carbonato	Calcopirita
459	318-14761-2	86	165	N75° E / 86° S	47,6	0,5	5	Anhidrita	Calcopirita	Turmalina	
460	318-14761-3	88	145	N55° E / 88° SE	60,0	0,5	1	Anhidrita	Clorita	Carbonato	
461	318-14877-1	65	182	N88° W / 65° S	116,7	0,5	1	Anhidrita	Bornita	Carbonato	Clorita
462	318-15169-2	65	340	N70° E / 65° NW	41,8	1	2	Bornita	Ankerita		
463	318-15169-4	88	199	N71° W / 88° SW	73,2	1	5	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita	Turmalina
464	318-15346-1	88	313	N43° E / 88° NW	25,6	0,5	3	Anhidrita	Clorita	Carbonato	Calcopirita
465	318-15346-2	90	342	N72° E / 90° NW	29,3	1	2	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita	Bornita
466	318-16485-1	25	217	N53° W / 25° SW	59,6	0,4	0,5	Anhidrita	Óx. de Fe	Carbonato	
467	318-16799-22	73	5	N85° W / 73° N	54,4	0,1	1	Anhidrita	Turmalina	Carbonato	Cuarzo
468	318-16799-23	80	357	N87° E / 80° N	52,1	0,2	0,4	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita	Bornita
469	318-16807-10	81	20	N70° W / 81° NE	49,2	0,2	0,4	Anhidrita	Bornita	Clorita	Carbonato
470	318-16807-4	63	203	N67° W / 63° SW	119,7	0,2	0,8	Anhidrita	Carbonato	Clorita	Calcopirita
471	318-16807-5	85	172	N82° E / 85° S	113,0	0,3	2	Anhidrita	Turmalina	Carbonato	Clorita
472	318-16807-9	60	170	N80° E / 60° S	34,9	0,4	0,8	Anhidrita	Carbonato	Clorita	Bornita
473	318-20106-12	70	191	N79° W / 70° S	46,8	0,5	1	Anhidrita	Calcopirita	Carbonato	Clorita
474	318-20106-13	80	187	N83° W / 80° S	67,0	0,5	3	Carbonato	Anhidrita	Ankerita	Clorita
475	318-20106-15	88	165	N75° E / 88° S	26,0	0,4	1,5	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita	Ankerita
476	318-20109-1	80	150	N60° E / 80° SE	28,8	0,2	0,5	Anhidrita	Carbonato	Ankerita	Clorita
477	318-20109-10	83	204	N66° W / 83° SW	33,3	0,5	4	Anhidrita	Ankerita	Bornita	Molibdenita
478	318-20109-11	78	354	N84° E / 78° N	29,2	0,5	1	Anhidrita	Ankerita	Clorita	
479	318-20109-12	82	152	N62° E / 82° SE	27,2	0,2	0,5	Anhidrita	Carbonato	Clorita	Ankerita
480	318-20109-14	82	159	N69° E / 82° SE	64,9	0,5	5	Anhidrita	Carbonato	Bornita	Clorita
481	318-20109-17	89	178	N88° E / 89° S	38,0	0,5	4	Anhidrita	Carbonato	Bornita	
482	318-20109-5	80	193	N77° W / 80° S	47,3	0,3	1,5	Anhidrita	Ankerita	Calcopirita	Tennantita
483	318-20109-6	25	198	N72° W / 25° SW	53,8	0,1	0,4	Óx. de Fe	Anhidrita	Arcillas	Carbonato
484	318-20109-7	84	160	N70° E / 84° SE	68,2	0,2	1	Carbonato	Molibdenita	Anhidrita	Bornita
485	318-20109-9	89	155	N65° E / 89° SE	35,6	0,1	0,3	Anhidrita	Molibdenita	Carbonato	
486	387-87938-11	70	167	N77° E / 70° S	120,5	0,4	3	Anhidrita	Yeso	Molibdenita	Clorita
487	387-87938-13	80	174	N84° E / 80° S	113,0	0,1	1,5	Anhidrita	Yeso	Molibdenita	Carbonato
488	387-87938-15	70	152	N62° E / 70° SE	80,0	0,5	10	Anhidrita	Molibdenita	Calcopirita	Tennantita

TTE Sub6 Pro											
Nº	IdSoporte	Dip	DipDir	Rumbo/Manteo	Traza (m)	Esp. Min. (cm)	Esp. Máx. (cm)	Relleno 1	Relleno 2	Relleno 3	Relleno 4
489	387-87938-16	88	342	N72° E / 88° NW	134,7	0,5	3	Anhidrita	Yeso	Turmalina	Carbonato
490	387-87938-2	85	166	N76° E / 85° S	233,0	0,3	15	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Molibdenita
491	387-87938-3	85	170	N80° E / 85° S	203,0	0,5	10	Yeso	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita
492	387-87938-4	75	166	N76° E / 75° S	170,8	1	10	Yeso	Anhidrita	Molibdenita	Carbonato
493	387-87938-6	75	147	N57° E / 75° SE	36,2	0,3	5	Anhidrita	Molibdenita	Bornita	
494	387-87938-7	75	157	N67° E / 75° SE	98,6	0,5	10	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Bornita
495	387-87938-8	65	149	N59° E / 65° SE	114,5	0,3	3	Anhidrita	Yeso	Molibdenita	
496	387-87938-9	70	164	N74° E / 70° SE	60,8	0,3	4	Anhidrita	Yeso	Carbonato	
497	387-88319-6	88	173	N83° E / 88° S	308,6	0,1	10	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Calcopirita
498	387-95366-11	80	156	N66° E / 80° SE	41,4	0,3	3	Yeso	Anhidrita		
499	387-95366-12	73	149	N59° E / 73° SE	115,5	0,3	3	Yeso	Anhidrita	Molibdenita	Carbonato
500	387-95366-13	70	148	N58° E / 70° SE	133,2	0,5	3	Yeso	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita
501	387-95366-14	70	147	N57° E / 70° SE	57,2	1	10	Yeso	Carbonato	Molibdenita	
502	387-95366-15	78	324	N54° E / 78° NW	95,1	0,5	5,5	Carbonato	Yeso	Anhidrita	Molibdenita
503	387-95366-16	77	165	N75° E / 77° S	81,1	0,5	5	Yeso	Anhidrita	Carbonato	Tennantita
504	387-95366-9	70	153	N63° E / 70° SE	67,2	0,3	2	Anhidrita	Yeso	Molibdenita	Bornita
505	387-95371-1	80	340	N70° E / 80° NW	96,6	0,3	4	Yeso	Anhidrita	Molibdenita	Bornita
506	387-95371-2	70	147	N57° E / 70° SE	90,0	0,5	3	Yeso	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita
507	387-95371-3	75	136	N46° E / 75° SE	68,1	0,3	5	Yeso	Anhidrita	Molibdenita	Clorita
508	387-95371-4	73	158	N68° E / 73° SE	91,4	0,5	2,5	Yeso	Anhidrita	Bornita	Clorita
509	387-95430-10	82	170	N80° E / 82° S	87,2	0,1	3	Yeso	Anhidrita	Molibdenita	Bornita
510	387-95430-11	75	148	N58° E / 75° SE	158,0	1	26	Yeso	Salbanda	Molibdenita	Calcopirita
511	387-95430-3	75	151	N61° E / 75° SE	69,6	0,5	2,5	Yeso	Anhidrita	Molibdenita	Bornita
512	387-95430-4	85	158	N68° E / 85° SE	49,6	0,7	1,9	Yeso	Molibdenita		
513	387-95430-5	75	149	N59° E / 75° SE	29,0	0,5	6	Anhidrita	Yeso	Molibdenita	Carbonato
514	387-95430-6	75	21	N69° W / 75° NE	153,2	0,1	3	Yeso	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita
515	387-95430-7	79	161	N71° E / 79° SE	126,7	0,1	10	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Molibdenita
516	387-95430-8	89	344	N74° E / 89° NW	52,4	0,1	1	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Clorita
517	387-95430-9	88	345	N75° E / 88° N	108,8	0,1	4	Anhidrita	Yeso	Molibdenita	Tennantita
518	409-100614-1	60	26	N64° W / 60° NE	44,9	2	4	Carbonato	Yeso	Anhidrita	Molibdenita
519	409-100614-10	65	332	N62° E / 65° NW	56,3	1	3	Yeso	Carbonato	Molibdenita	Clorita
520	409-100614-11	75	158	N68° E / 75° SE	224,6	1,5	5	Yeso	Anhidrita	Molibdenita	Tennantita
521	409-100614-12	65	189	N81° W / 65° S	48,6	1	3	Yeso	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita
522	409-100614-14	70	172	N82° E / 70° S	110,3	1	4	Yeso	Anhidrita	Molibdenita	Carbonato
523	409-100614-15	70	157	N67° E / 70° SE	74,6	2	5	Yeso	Carbonato	Molibdenita	Anhidrita
524	409-100614-7	85	30	N60° W / 85° NE	72,0	2	4	Yeso	Carbonato	Molibdenita	
525	409-103927-3	73	150	N60° E / 73° SE	112,9	1	6	Yeso	Anhidrita	Molibdenita	Calcopirita
526	409-103927-5	80	332	N62° E / 80° NW	33,9	2	20	Yeso	Anhidrita	Calcopirita	
527	409-103927-6	80	331	N61° E / 80° NW	30,4	4	16	Anhidrita	Yeso		
528	409-103927-7	78	157	N67° E / 78° SE	133,1	1	4	Yeso	Anhidrita	Molibdenita	Carbonato
529	409-103927-8	85	156	N66° E / 85° SE	69,1	2	6	Yeso	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita
530	409-103927-9	78	144	N54° E / 78° SE	254,4	3	10	Anhidrita	Carbonato	Salbanda	Calcopirita
531	409-114287-38	75	327	N57° E / 75° NW	101,6	5	50	Yeso	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita
532	409-114287-39	65	169	N79° E / 65° S	54,4	1	2	Yeso	Calcopirita	Clorita	
533	409-114287-40	80	329	N59° E / 80° NW	116,4	1	4	Yeso	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita
534	409-114287-41	70	151	N61° E / 70° SE	52,2	1	3,5	Yeso	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita
535	409-114287-42	75	168	N78° E / 75° S	139,9	2	15	Yeso	Carbonato	Anhidrita	Molibdenita
536	409-114287-43	75	168	N78° E / 75° S	32,8	0,5	2	Anhidrita	Yeso		
537	409-114287-44	80	61	N29° W / 80° NE	54,6	0,5	4	Yeso	Molibdenita	Anhidrita	Calcopirita
538	409-114287-46	45	134	N44° E / 45° SE	114,6	1	2,5	Yeso	Molibdenita		
539	409-114287-47	85	339	N69° E / 85° NW	132,8	2	5	Yeso	Molibdenita	Carbonato	
540	409-92767-1	57	207	N63° W / 57° SW	63,9	1,5	2,5	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Yeso
541	409-92767-2	48	201	N69° W / 48° SW	83,7	1,5	3	Anhidrita	Yeso	Bornita	
542	409-96269-40	60	205	N65° W / 60° SW	73,7	1	6	Anhidrita	Yeso	Molibdenita	Cuarzo
543	409-96269-41	75	175	N85° E / 75° S	177,4	1	3,5	Yeso	Molibdenita		
544	409-96269-42	74	151	N61° E / 74° SE	60,6	0,8	2,2	Carbonato	Yeso	Pirita	
545	409-96458-1	81	190	N80° W / 81° S	128,8	2	6	Yeso	Carbonato	Anhidrita	
546	466-110239-53	85	333	N63° E / 85° NW	155,9	1	3,5	Yeso	Molibdenita	Carbonato	
547	466-110239-54	82	159	N69° E / 82° SE	92,0	0,7	2	Yeso	Molibdenita	Carbonato	Tennantita
548	466-110239-55	83	357	N87° E / 83° N	36,1	0,5	4	Yeso	Anhidrita	Calcopirita	
549	466-110239-56	83	356	N86° E / 83° N	76,0	0,5	4	Yeso	Anhidrita	Calcopirita	
550	466-110239-57	86	151	N61° E / 86° SE	178,7	0,2	3	Yeso	Calcopirita	Molibdenita	
551	466-110370-13	76	170	N80° E / 76° S	64,0	0,7	2,5	Yeso	Carbonato	Anhidrita	
552	466-110370-14	77	335	N65° E / 77° NW	62,7	0,8	4	Yeso	Anhidrita	Calcopirita	
553	466-110370-15	85	172	N82° E / 85° S	47,9	0,5	6	Yeso	Calcopirita	Anhidrita	
554	466-110370-16	77	177	N87° E / 77° S	44,2	0,8	3	Yeso	Carbonato		
555	466-110370-17	80	348	N78° E / 80° N	44,5	2	5	Yeso	Carbonato	Calcopirita	
556	466-110370-19	75	337	N67° E / 75° NW	50,1	0,5	3,5	Yeso	Anhidrita	Carbonato	
557	466-110370-22	80	5	N85° W / 80° N	46,4	1	3	Yeso	Molibdenita	Anhidrita	

Tabla B2: Tabla de datos de TTE Sub6 Hun (Mapa Interpretación Estructural).

TTE Sub6 Hun											
Nº	IdSoporte	Dip	DipDir	Rumbo/Manteo	Traza (m)	Esp. Min. (cm)	Esp. Máx. (cm)	Relleno 1	Relleno 2	Relleno 3	Relleno 4
1	1465707	75	171	N81° E / 75° S	36,518	10	30	Yeso	Anhidrita		
2	1465711	83	166	N76° E / 83° S	32,072	2,5	2,5	Turmalina	Carbonato	Clorita	
3	1465803	80	354	N84° E / 80° N	51,881	3,5	3,5	Yeso	Clorita	Anhidrita	
4	1465805	74	162	N72° E / 74° SE	30,287	1,5	1,5	Calcita	Clorita		
5	1465806	57	19	N71° W / 57° NE	48,076	0,7	0,7	Carbonato			
6	1465807	83	343	N73° E / 83° NW	112,38	0,5	2	Molibdenita	Anhidrita	Carbonato	
7	1465809	85	161	N71° E / 85° SE	76,604	2	4	Yeso	Anhidrita	Carbonato	
8	1465811	81	166	N76° E / 81° S	42,596	2	2	Turmalina	Carbonato	Cuarzo	
9	1465826	87	338	N68° E / 87° NW	18,504	2	2	Carbonato	Molibdenita		
10	1465827	75	166	N76° E / 75° S	17,684	1,5	1,5	Carbonato			
11	1465841	73	175	N85° E / 73° S	15,825	1	2	Cuarzo	Anhidrita	Carbonato	
12	1465842	89	175	N85° E / 89° S	15,421	1	2	Anhidrita	Bornita	Calcopirita	
13	1465848	80	154	N64° E / 80° SE	35,032	2	3	Carbonato	Tennantita	Anhidrita	
14	1465851	90	161	N71° E / 90° SE	28,873	0,2	0,6	Clorita	Carbonato	Molibdenita	
15	1465853	70	170	N80° E / 70° S	32,14	2	4	Carbonato	Yeso		
16	1465857	77	175	N85° E / 77° S	16,561	2	2	Anhidrita	Yeso	Tennantita	
17	1465858	70	176	N86° E / 70° S	13,825	1	1	Carbonato	Molibdenita	Anhidrita	
18	1465859	72	174	N84° E / 72° S	16,681	1	3	Carbonato	Tennantita		
19	1465860	70	169	N79° E / 70° S	18,721	2	3	Carbonato	Yeso	Bornita	
20	1465861	75	184	N86° W / 75° S	39,623	1	8	Carbonato	Anhidrita	Clorita	
21	1465862	90	9	N81° W / 90° N	35,052	1	2	Bornita	Turmalina	Anhidrita	
22	1465864	60	206	N64° W / 60° SW	31,665	2	2	Carbonato	Bornita	Tennantita	
23	1465868	30	212	N58° W / 30° SW	75,16	1	1	Limonita			
24	1466398	82	327	N57° E / 82° NW	26,647	0,3	2	Cuarzo	Anhidrita	Carbonato	Tennantita
25	1466427	90	342	N72° E / 90° NW	31,051	1	1	Cuarzo	Tennantita	Carbonato	
26	1466428	90	342	N72° E / 90° NW	25,373	2	2	Anhidrita	Clorita	Bornita	
27	1466429	86	338	N68° E / 86° NW	28,3	1,5	3	Carbonato	Anhidrita	Molibdenita	
28	1466430	25	210	N60° W / 25° SW	22,233	2	2	Cuarzo	Calcopirita	Anhidrita	
29	1466481	72	274	N4° E / 72° W	48,502	1	1				
30	1466497	26	208	N62° W / 26° SW	30,286	0,3	0,5	Carbonato	Molibdenita		
31	1466498	42	216	N54° W / 42° SW	41,927	0,3	0,3	Yeso	Molibdenita	Tennantita	
32	1466499	32	221	N49° W / 32° SW	25,435	0,5	0,5	Cuarzo	Anhidrita	Molibdenita	
33	1466500	30	214	N56° W / 30° SW	18,033	0,5	0,5	Yeso	Molibdenita		
34	1466501	90	12	N78° W / 90° N	36,77	0,6	0,6	Calcopirita	Anhidrita		
35	1466503	90	11	N79° W / 90° N	37,18	0,8	0,8	Carbonato			
36	1466504	80	197	N73° W / 80° SW	32,715	0,3	0,3	Yeso	Calcopirita		
37	1466505	90	14	N76° W / 90° N	55,889	1	1				
38	1466506	75	16	N74° W / 75° NE	28,411	2	5				
39	1466508	80	192	N78° W / 80° S	35,704	1	1	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Turmalina
40	1466509	80	197	N73° W / 80° SW	42,047	1	3	Turmalina	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita
41	1466510	76	194	N76° W / 76° S	35,36	1	4	Carbonato	Clorita	Calcopirita	Anhidrita
42	1466511	72	200	N70° W / 72° SW	31,574	0,4	0,4	Cuarzo	Tennantita	Calcopirita	Carbonato
43	1466512	75	191	N79° W / 75° S	19,859	0,5	2	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	
44	1466516	75	105	N15° E / 75° E	96,503	1	1				
45	1466517	75	106	N16° E / 75° SE	43,799	1	1				
46	1466518	82	102	N12° E / 82° E	35,776	1	1				
47	1466524	65	101	N11° E / 65° E	67,395	1	1				
48	1466537	37	204	N66° W / 37° SW	23,846	1	1	Carbonato	Cuarzo	Yeso	
49	1466538	40	205	N65° W / 40° SW	23,442	1,2	1,2				
50	1466540	46	206	N64° W / 46° SW	21,79	0,4	0,4	Carbonato	Anhidrita	Molibdenita	
51	1466542	34	210	N60° W / 34° SW	24,085	1	1	Anhidrita	Calcopirita	Clorita	Yeso
52	1466543	73	315	N45° E / 73° NW	25,262	7	10	Anhidrita	Carbonato	Tennantita	Calcopirita
53	1466550	83	168	N78° E / 83° S	28,187	1	1,2	Cuarzo	Turmalina	Calcopirita	Molibdenita
54	1466551	85	167	N77° E / 85° S	32,953	2,5	2,5	Carbonato	Anhidrita	Turmalina	Salbanda
55	1466553	78	186	N84° W / 78° S	14,777	0,5	1	Carbonato	Yeso	Turmalina	Tennantita
56	1466557	82	25	N65° W / 82° NE	34,622	2	2	Calcopirita	Cuarzo	Carbonato	Turmalina
57	1466558	85	180	N90° E / 85° S	34,036	0,4	0,4	Calcopirita	Turmalina	Clorita	Anhidrita
58	1466559	81	176	N86° E / 81° S	27,384	0,3	0,3	Carbonato	Clorita	Anhidrita	
59	1466560	80	170	N80° E / 80° S	25,391	0,4	0,4	Carbonato	Turmalina	Anhidrita	
60	1466562	70	357	N87° E / 70° N	17,617	1	1				
61	1466564	80	173	N83° E / 80° S	23,598	4	4	Calcopirita	Carbonato	Turmalina	Molibdenita
62	1466565	80	163	N73° E / 80° SE	28,558	2	4	Calcopirita	Anhidrita	Carbonato	
63	1466566	82	159	N69° E / 82° SE	34,296	1	15	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Yeso
64	1466567	65	183	N87° W / 65° S	24,395	2	3	Salbanda	Clorita	Bornita	Anhidrita
65	1466568	80	323	N53° E / 80° NW	38,75	1	2,5	Anhidrita	Molibdenita	Carbonato	Bornita
66	1466569	74	322	N52° E / 74° NW	25,445	0,3	0,5	Cuarzo	Turmalina	Clorita	Molibdenita
67	1466570	80	319	N49° E / 80° NW	34,91	1	3	Cuarzo	Carbonato	Calcopirita	
68	1466579	77	189	N81° W / 77° S	44,627	0,5	1	Anhidrita	Carbonato	Turmalina	Calcopirita
69	1466580	89	201	N69° W / 89° SW	16,147	2	5	Carbonato	Anhidrita	Turmalina	Cuarzo

TTE Sub6 Hun											
Nº	IdSoporte	Dip	DipDir	Rumbo/Manteo	Traza (m)	Esp. Min. (cm)	Esp. Máx. (cm)	Relleno 1	Relleno 2	Relleno 3	Relleno 4
70	1466581	80	15	N75° W / 80° N	26,699	1	2	Carbonato	Calcopirita	Anhidrita	
71	1466584	90	350	N80° E / 90° N	30,223	0,5	0,5				
72	1466585	90	358	N88° E / 90° N	34,672	1	1	Carbonato	Yeso	Cuarzo	Anhidrita
73	1466586	90	0	N90° E / 90° N	35,33	1	1	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita	
74	1466588	77	193	N77° W / 77° S	33,765	1	1	Bornita	Calcopirita	Clorita	
75	1466589	87	7	N83° W / 87° N	24,926	0,5	1	Cuarzo	Carbonato	Calcopirita	
76	1466590	77	195	N75° W / 77° S	18,9	3	3	Carbonato	Yeso	Salbanda	Calcopirita
77	1466591	80	318	N48° E / 80° NW	42,938	0,5	0,5	Anhidrita	Cuarzo		
78	1466592	78	131	N41° E / 78° SE	34,357	0,6	3	Cuarzo	Carbonato	Clorita	
79	1466594	84	158	N68° E / 84° SE	39,071	0,5	0,5	Cuarzo	Carbonato	Calcopirita	
80	1466595	87	154	N64° E / 87° SE	31,281	1	1	Carbonato	Calcopirita	Clorita	Cuarzo
81	1466597	70	99	N9° E / 70° E	64,079	1	1	Yeso	Cuarzo	Bornita	Calcopirita
82	1466598	75	99	N9° E / 75° E	52,577	1	1				
83	1466605	85	43	N47° W / 85° NE	49,383	1	1				
84	1466606	75	43	N47° W / 75° NE	52,42	1	1				
85	1466607	73	54	N36° W / 73° NE	68,026	1	1				
86	1466608	82	52	N38° W / 82° NE	63,77	1	1	Sericita	Molibdenita	Calcita	
87	1466609	80	50	N40° W / 80° NE	56,455	1	2	Calcopirita	Tennantita	Anhidrita	Yeso
88	1466611	76	214	N56° W / 76° SW	22,347	1	1				
89	1466614	76	216	N54° W / 76° SW	43,091	1	1				
90	1466615	90	355	N85° E / 90° N	29,139	1	1				
91	1466616	80	176	N86° E / 80° S	36,052	1	1				
92	1466617	85	172	N82° E / 85° S	30,577	1	1				
93	1466619	75	25	N65° W / 75° NE	24,517	1	1				
94	1466620	75	35	N55° W / 75° NE	43,909	1	1	Calcopirita	Bornita	Carbonato	Sericita
95	1469890	83	152	N62° E / 83° SE	59,387	0,5	5	Carbonato	Tennantita	Yeso	
96	1469891	35	199	N71° W / 35° SW	31,517	0,3	0,6	Limonita			
97	1469894	76	153	N63° E / 76° SE	44,974	2	3	Carbonato	Turmalina	Cuarzo	
98	1469897	83	190	N80° W / 83° S	54,811	1	1	Carbonato			
99	1469898	78	170	N80° E / 78° S	18,7	0,5	0,5	Carbonato	Calcopirita	Anhidrita	Turmalina
100	1469899	40	199	N71° W / 40° SW	11,923	0,5	1				
101	1469901	84	133	N43° E / 84° SE	31,23	0,5	0,5	Cuarzo	Carbonato	Calcopirita	
102	1469903	42	26	N64° W / 42° NE	114,06	1	6	Anhidrita	Clorita	Carbonato	
103	1469906	74	13	N77° W / 74° N	58,58	0,5	0,5	Salbanda	Yeso	Pirita	Calcopirita
104	1469907	73	14	N76° W / 73° N	27,283	0,8	0,8	Carbonato	Anhidrita		
105	1469908	70	213	N57° W / 70° SW	23,087	0,5	0,5	Yeso	Calcopirita	Pirita	
106	1469909	60	206	N64° W / 60° SW	26,21	0,5	0,5	Anhidrita	Carbonato		
107	1469910	53	155	N65° E / 53° SE	32,068	0,5	0,5	Carbonato	Cuarzo	Turmalina	Calcopirita
108	1469911	65	195	N75° W / 65° S	28,054	1	1	Calcopirita	Anhidrita	Yeso	
109	1469912	80	187	N83° W / 80° S	29,759	1	1				
110	1469913	75	195	N75° W / 75° S	18,195	0,4	3	Carbonato	Turmalina	Calcopirita	Anhidrita
111	1469914	90	13	N77° W / 90° N	23,291	3	3	Yeso	Carbonato	Tennantita	Calcopirita
112	1469915	72	195	N75° W / 72° S	24,41	0,5	1,2	Carbonato	Calcopirita	Anhidrita	Clorita
113	1469916	70	179	N89° E / 70° S	20,653	0,5	1	Carbonato	Turmalina	Clorita	
114	1469917	90	357	N87° E / 90° N	29,688	1	3	Carbonato	Tennantita	Cuarzo	Calcopirita
115	1469918	84	193	N77° W / 84° S	33,55	1	3	Anhidrita	Tennantita	Carbonato	Calcopirita
116	1469919	76	196	N74° W / 76° SW	42,47	1	10	Salbanda	Carbonato	Yeso	Calcopirita
117	1469920	40	20	N70° W / 40° NE	20,299	1	1	Clorita	Anhidrita	Yeso	
118	1469921	45	23	N67° W / 45° NE	35,32	0,3	0,4	Yeso			
119	1469922	42	25	N65° W / 42° NE	29,099	0,1	0,1	Clorita	Yeso		
120	1469931	64	124	N34° E / 64° SE	26,887	0,7	1,5				
121	1469933	68	118	N28° E / 68° SE	12,052	1	1	Yeso	Cuarzo	Carbonato	Molibdenita
122	1469934	61	133	N43° E / 61° SE	23,79	0,4	0,6	Yeso	Carbonato	Calcopirita	Molibdenita
123	1469935	73	309	N39° E / 73° NW	32,109	0,2	0,5	Cuarzo	Calcosina	Calcopirita	Salbanda
124	1469937	85	148	N58° E / 85° SE	35,063	0,2	0,5	Carbonato	Cuarzo		
125	1469938	87	143	N53° E / 87° SE	35,154	2	4	Carbonato	Anhidrita	Molibdenita	
126	1469939	75	315	N45° E / 75° NW	35,106	0,5	2,5	Molibdenita	Clorita	Carbonato	Yeso
127	1469942	90	23	N67° W / 90° NE	49,329	0,3	2	Carbonato	Anhidrita	Tennantita	Molibdenita
128	1469943	68	148	N58° E / 68° SE	64,409	1	10	Salbanda	Calcopirita	Tennantita	Cuarzo
129	1469946	87	322	N52° E / 87° NW	36,367	0,2	0,2	Anhidrita	Molibdenita	Carbonato	
130	1469947	88	328	N58° E / 88° NW	32,335	0,2	1,1	Anhidrita	Carbonato	Bornita	
131	1469948	82	323	N53° E / 82° NW	25,367	0,2	0,2	Cuarzo	Anhidrita	Clorita	Molibdenita
132	1469949	80	322	N52° E / 80° NW	34,451	0,5	0,7	Calcopirita	Bornita	Anhidrita	Turmalina
133	1469950	87	330	N60° E / 87° NW	29,93	0,5	0,5	Cuarzo	Bornita		
134	1469951	87	151	N61° E / 87° SE	41,175	1	5	Anhidrita	Cuarzo	Turmalina	Carbonato
135	1469952	80	334	N64° E / 80° NW	56,175	0,2	3	Anhidrita	Carbonato	Bornita	Tennantita
136	1469956	74	310	N40° E / 74° NW	20,198	1	2	Anhidrita	Tennantita	Carbonato	Calcopirita
137	1469957	75	317	N47° E / 75° NW	14,036	1,2	1,2	Carbonato	Anhidrita	Turmalina	Clorita
138	1469959	90	351	N81° E / 90° N	16,759	1,5	1,5				
139	1469961	64	184	N86° W / 64° S	17,411	0,3	0,3	Yeso	Clorita	Bornita	Calcopirita
140	1469963	73	173	N83° E / 73° S	12,941	0,8	0,8	Yeso	Clorita	Calcopirita	Bornita

TTE Sub6 Hun											
Nº	IdSoporte	Dip	DipDir	Rumbo/Manteo	Traza (m)	Esp. Min. (cm)	Esp. Máx. (cm)	Relleno 1	Relleno 2	Relleno 3	Relleno 4
141	1470980	70	168	N78° E / 70° S	55,609	0,5	2	Carbonato	Yeso	Anhidrita	
142	1470982	62	167	N77° E / 62° S	32,909	2	3	Anhidrita	Carbonato	Cuarzo	
143	1470997	36	212	N58° W / 36° SW	17,734	0,5	0,5	Carbonato	Anhidrita	Yeso	
144	1470998	84	180	N90° E / 84° S	32,709	6	12	Carbonato	Anhidrita		
145	1471000	80	190	N80° W / 80° S	22,39	1	1	Carbonato	Anhidrita	Bornita	
146	1471001	78	174	N84° E / 78° S	48,409	0,5	0,5				
147	1471004	80	43	N47° W / 80° NE	34,652	2	3	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Tennantita
148	1471007	85	151	N61° E / 85° SE	26,018	2	4	Cuarzo	Turmalina	Calcita	
149	1471008	67	122	N32° E / 67° SE	34,877	1,5	1,5	Carbonato	Anhidrita	Yeso	Clorita
150	1471013	69	189	N81° W / 69° S	20,643	0,8	0,8	Cuarzo	Bornita		
151	1471014	73	180	N90° E / 73° S	18,008	0,3	0,3	Carbonato	Anhidrita	Cuarzo	Molibdenita
152	1471017	73	9	N81° W / 73° N	30,292	3	5	Bornita	Yeso	Clorita	
153	1471019	76	352	N82° E / 76° N	17,924	0,5	1	Anhidrita	Yeso	Bornita	
154	1471020	83	340	N70° E / 83° NW	14,065	0,2	2	Carbonato	Molibdenita	Bornita	
155	1471021	73	171	N81° E / 73° S	18,094	0,5	1	Carbonato	Yeso	Baritina	Tennantita
156	1471022	65	163	N73° E / 65° SE	17,991	1	2	Calcopirita	Bornita		
157	1471023	67	158	N68° E / 67° SE	15,127	1,5	2	Anhidrita	Carbonato	Bornita	Molibdenita
158	1471024	54	149	N59° E / 54° SE	10,912	0,3	0,5	Anhidrita	Calcita	Molibdenita	
159	1471025	64	178	N88° E / 64° S	39,245	2	3	Anhidrita	Bornita	Salbanda	
160	1471028	90	10	N80° W / 90° N	50,885	2	3				
161	1471029	56	36	N54° W / 56° NE	44,176	3	5				
162	1471031	58	352	N82° E / 58° N	31,099	0,3	1	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Tennantita
163	1471032	71	0	N90° E / 71° N	29,526	0,8	2,2	Bornita	Yeso	Carbonato	
164	1471034	80	186	N84° W / 80° S	30,045	1	1	Anhidrita	Cuarzo	Bornita	
165	1471035	73	182	N88° W / 73° S	31,236	1,5	1,5	Yeso	Bornita		
166	1471036	90	3	N87° W / 90° N	30,914	0,8	1				
167	1471041	72	170	N80° E / 72° S	27,093	1	1	Anhidrita	Bornita	Cuarzo	
168	1471044	50	46	N44° W / 50° NE	50,383	4	10				
169	1471056	50	196	N74° W / 50° SW	33,946	2	3				
170	1471059	72	306	N36° E / 72° NW	15,394	0,2	0,2	Yeso	Clorita		
171	1471060	70	308	N38° E / 70° NW	22,627	0,8	0,8				
172	1471061	65	309	N39° E / 65° NW	17,713	0,5	0,8	Carbonato	Yeso	Molibdenita	
173	1471062	68	307	N37° E / 68° NW	23,551	2	6	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Clorita
174	1471063	65	312	N42° E / 65° NW	20,657	0,7	0,7	Yeso	Carbonato	Turmalina	Molibdenita
175	1471064	77	144	N54° E / 77° SE	17,293	1	1	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita	Clorita
176	1471065	77	136	N46° E / 77° SE	17,899	0,4	0,4	Carbonato	Cuarzo		
177	1471068	80	9	N81° W / 80° N	120,44	2	10	Salbanda	Anhidrita	Carbonato	Yeso
178	1471071	75	186	N84° W / 75° S	35,096	2	6	Carbonato	Tennantita		
179	1471072	70	190	N80° W / 70° S	38,174	0,5	0,5	Bornita	Calcopirita	Anhidrita	
180	1471077	72	164	N74° E / 72° SE	28,117	1	2	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita	Bornita
181	1471080	35	204	N66° W / 35° SW	23,051	0,3	0,3	Yeso	Molibdenita		
182	1471081	40	218	N52° W / 40° SW	27,1	0,5	0,5	Yeso	Carbonato		
183	1471082	34	202	N68° W / 34° SW	23,807	1	1	Anhidrita	Yeso	Molibdenita	
184	1471083	76	0	N90° E / 76° N	17,21	2	3	Carbonato	Anhidrita	Turmalina	
185	1471084	75	9	N81° W / 75° N	21,032	3	8	Salbanda			
186	1471085	71	331	N61° E / 71° NW	18,314	2	4	Carbonato	Anhidrita	Cuarzo	Molibdenita
187	1471101	55	193	N77° W / 55° S	14,455	2	3	Yeso			
188	1471108	90	337	N67° E / 90° NW	9,703	0,3	0,3				
189	1471109	45	198	N72° W / 45° SW	33,65	0,2	1	Calcopirita	Yeso	Cuarzo	Clorita
190	1471110	85	171	N81° E / 85° S	19,317	2	2	Carbonato	Tennantita	Anhidrita	
191	1471111	85	165	N75° E / 85° S	16,98	0,3	0,3	Anhidrita	Calcita	Calcopirita	Clorita
192	1471112	90	351	N81° E / 90° N	9,597	2	5	Carbonato	Anhidrita		
193	1471113	80	352	N82° E / 80° N	10,84	2	2	Salbanda	Carbonato	Cuarzo	Molibdenita
194	1471114	86	165	N75° E / 86° S	10,815	2	2	Carbonato	Turmalina	Molibdenita	Cuarzo
195	1471117	90	100	N10° E / 90° E	38,329	3	3	Cuarzo	Calcopirita	Bornita	
196	1471119	90	104	N14° E / 90° E	24,458	0,2	0,2	Carbonato	Anhidrita	Clorita	Calcopirita
197	1471127	38	219	N51° W / 38° SW	39,592	0,3	0,5	Yeso			
198	1471133	27	204	N66° W / 27° SW	18,929	0,5	0,5	Yeso	Anhidrita	Calcopirita	Clorita
199	1471134	33	206	N64° W / 33° SW	19,122	0,5	0,5	Yeso	Clorita		
200	1471135	84	213	N57° W / 84° SW	20,093	0,5	1	Anhidrita	Carbonato	Clorita	
201	1471138	86	18	N72° W / 86° NE	14,53	3	3	Carbonato	Calcopirita	Clorita	
202	1471140	86	5	N85° W / 86° N	19,53	0,5	2	Cuarzo	Carbonato	Tennantita	Calcopirita
203	1471143	82	282	N12° E / 82° W	33,484	0,7	0,7	Yeso			
204	1471146	78	163	N73° E / 78° SE	21,308	0,3	0,3				
205	1471147	78	166	N76° E / 78° S	33,773	2	2				
206	1471162	63	202	N68° W / 63° SW	19,244	0,5	0,5				
207	1471163	64	201	N69° W / 64° SW	36,968	0,7	1,5	Turmalina	Carbonato	Anhidrita	Tennantita
208	1471165	85	175	N85° E / 85° S	22,619	0,2	0,5	Clorita	Yeso		
209	1471168	74	349	N79° E / 74° N	18,649	0,2	0,2	Cuarzo	Calcopirita	Sericita	Anhidrita
210	1471169	66	347	N77° E / 66° N	18,456	0,1	0,3	Carbonato	Calcopirita	Clorita	
211	1471172	90	347	N77° E / 90° N	19,873	0,8	0,8	Calcosina	Tennantita		

TTE Sub6 Hun											
Nº	IdSoporte	Dip	DipDir	Rumbo/Manteo	Traza (m)	Esp. Min. (cm)	Esp. Máx. (cm)	Relleno 1	Relleno 2	Relleno 3	Relleno 4
212	1471181	85	173	N83° E / 85° S	25,695	0,2	0,2	Carbonato	Turmalina	Calcopirita	
213	1471182	62	198	N72° W / 62° SW	21,174	1	1				
214	1471183	65	211	N59° W / 65° SW	18,53	1	1	Calcopirita	Carbonato	Cuarzo	
215	1471184	75	165	N75° E / 75° S	16,826	0,3	0,3	Calcopirita	Anhidrita	Carbonato	
216	1471185	80	155	N65° E / 80° SE	11,733	0,5	0,5				
217	1471200	85	126	N36° E / 85° SE	42,946	0,3	0,3	Yeso			
218	1471201	80	116	N26° E / 80° SE	45,111	0,4	0,4	Carbonato	Anhidrita	Yeso	Calcopirita
219	1471203	76	11	N79° W / 76° N	34,843	0,3	2,5	Calcopirita	Anhidrita	Carbonato	Salbanda
220	1471204	80	15	N75° W / 80° N	38,84	2	4	Tennantita	Cuarzo	Anhidrita	Yeso
221	1471205	88	190	N80° W / 88° S	33,221	0,9	1,5	Calcopirita	Anhidrita	Cuarzo	
222	1471208	63	206	N64° W / 63° SW	22,2	0,3	0,3				
223	1471209	24	16	N74° W / 24° NE	40,895	0,5	1	Anhidrita	Calcopirita		
224	1471210	33	31	N59° W / 33° NE	33,608	0,5	1	Anhidrita	Calcopirita	Turmalina	
225	1471213	90	298	N28° E / 90° NW	26,039	3,5	3,5	Yeso	Cuarzo	Calcopirita	Carbonato
226	1471214	87	201	N69° W / 87° SW	33,105	0,3	1	Calcopirita	Anhidrita	Yeso	Tennantita
227	1471215	83	205	N65° W / 83° SW	31,496	0,5	1				
228	1471216	68	193	N77° W / 68° S	25,935	0,5	1				
229	1471217	79	180	N90° E / 79° S	64,248	0,5	4				
230	1471218	65	16	N74° W / 65° NE	29,121	0,3	0,5	Yeso			
231	1471224	60	187	N83° W / 60° S	62,674	2	2	Anhidrita	Carbonato	Tennantita	Calcopirita
232	1471225	52	203	N67° W / 52° SW	40,566	1,5	1,5	Carbonato	Anhidrita	Yeso	Calcopirita
233	1471230	80	175	N85° E / 80° S	28,806	0,3	1	Calcopirita	Turmalina	Yeso	Carbonato
234	1471231	75	196	N74° W / 75° SW	27,731	0,5	0,5				
235	1471232	72	222	N48° W / 72° SW	16,296	0,5	0,5				
236	1471233	57	204	N66° W / 57° SW	26,144	0,3	0,3	Carbonato	Clorita		
237	1471234	57	201	N69° W / 57° SW	29,252	0,3	0,3	Yeso	Clorita		
238	1471235	65	168	N78° E / 65° S	21,063	0,3	0,4	Molibdenita	Turmalina		
239	1471236	79	153	N63° E / 79° SE	17,085	0,2	0,2	Turmalina	Cuarzo	Carbonato	Anhidrita
240	1471237	76	164	N74° E / 76° SE	12,268	0,6	0,6				
241	1471238	82	169	N79° E / 82° S	18,501	2	2	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita	Turmalina
242	1471239	72	355	N85° E / 72° N	19,413	1	4	Yeso	Carbonato	Cuarzo	Calcopirita
243	1471240	71	356	N86° E / 71° N	16,976	0,6	0,6	Yeso	Carbonato	Salbanda	Clorita
244	1471242	70	291	N21° E / 70° NW	29,955	1	1	Yeso			
245	1471243	62	291	N21° E / 62° NW	20,827	0,4	0,4	Yeso	Carbonato	Calcopirita	
246	1471245	85	172	N82° E / 85° S	16,04	0,4	0,4	Carbonato	Turmalina	Anhidrita	Calcopirita
247	1471246	85	187	N83° W / 85° S	15,223	0,3	0,3	Carbonato	Turmalina	Calcopirita	
248	1471251	90	0	N90° E / 90° N	25,945	0,5	1				
249	1471255	75	94	N4° E / 75° E	55,184	0,5	0,5	Yeso	Calcopirita	Carbonato	
250	1471261	66	195	N75° W / 66° S	37,222	1	1,5	Anhidrita	Turmalina	Carbonato	Calcopirita
251	1471263	70	34	N56° W / 70° NE	41,928	1	1	Turmalina	Anhidrita	Bornita	Carbonato
252	1471265	75	13	N77° W / 75° N	31,387	0,5	0,5				
253	1471266	74	4	N86° W / 74° N	81,745	0,5	0,5				
254	1471267	75	203	N67° W / 75° SW	37,175	0,5	0,5				
255	1471269	73	107	N17° E / 73° SE	237,31	1	2	Calcopirita	Pirita	Anhidrita	Yeso
256	1471275	87	142	N52° E / 87° SE	32,761	2	2	Cuarzo	Calcopirita	Tennantita	Carbonato
257	1471276	75	134	N44° E / 75° SE	35,198	2	2	Anhidrita	Calcopirita	Turmalina	
258	1471279	55	204	N66° W / 55° SW	45,37	0,5	0,5	Carbonato	Anhidrita		
259	1471282	65	109	N19° E / 65° SE	35,641	0,5	0,5				
260	1471284	84	28	N62° W / 84° NE	144,17	0,5	1	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Calcopirita
261	1471293	71	132	N42° E / 71° SE	34,809	2	2	Anhidrita	Turmalina	Clorita	
262	1471294	80	198	N72° W / 80° SW	40,253	1,5	1,5	Turmalina	Carbonato	Calcopirita	
263	1471296	80	107	N17° E / 80° SE	163,19	0,5	0,5				
264	1472536	85	160	N70° E / 85° SE	30,513	2	4	Cuarzo	Turmalina	Carbonato	
265	1472540	87	163	N73° E / 87° SE	33,947	20	20	Salbanda	Carbonato	Turmalina	Anhidrita
266	1472542	90	317	N47° E / 90° NW	22,498	5	5	Salbanda			
267	1472543	80	157	N67° E / 80° SE	90,631	10	20	Anhidrita	Yeso	Carbonato	
268	1472547	58	354	N84° E / 58° N	26,7	5	20	Salbanda			
269	1472559	79	11	N79° W / 79° N	47,414	2	3	Salbanda			
270	1472561	66	176	N86° E / 66° S	41,535	0,5	3	Carbonato	Anhidrita	Cuarzo	
271	1472574	82	160	N70° E / 82° SE	16,932	20	20	Salbanda	Carbonato	Calcopirita	Turmalina
272	1472575	83	169	N79° E / 83° S	16,444	10	20	Carbonato	Turmalina	Salbanda	
273	1472577	78	195	N75° W / 78° S	29,752	1	1	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita	Molibdenita
274	1472607	64	354	N84° E / 64° N	28,283	2	3	Salbanda	Carbonato		
275	1472608	70	351	N81° E / 70° N	47,563	10	20	Salbanda	Anhidrita	Yeso	
276	1472609	65	358	N88° E / 65° N	20,795	5	5	Carbonato	Yeso	Anhidrita	Turmalina
277	1472610	75	0	N90° E / 75° N	22,063	2	8	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Tennantita
278	1472612	78	17	N73° W / 78° NE	25,778	2	3	Salbanda			
279	1472613	85	352	N82° E / 85° N	16,564	2	12	Anhidrita	Carbonato	Clorita	Molibdenita
280	1472614	85	172	N82° E / 85° S	15,561	3	5	Carbonato	Yeso	Anhidrita	
281	1472615	69	169	N79° E / 69° S	14,159	0,5	1	Carbonato	Anhidrita	Clorita	Bornita
282	1472616	55	180	N90° E / 55° S	24,521	0,8	0,8	Bornita	Cuarzo	Carbonato	

TTE Sub6 Hun											
Nº	IdSoporte	Dip	DipDir	Rumbo/Manteo	Traza (m)	Esp. Min. (cm)	Esp. Máx. (cm)	Relleno 1	Relleno 2	Relleno 3	Relleno 4
283	1472755	85	169	N79° E / 85° S	20,5	10	15	Carbonato			
284	1472756	80	174	N84° E / 80° S	45,981	0,5	0,5	Cuarzo	Carbonato	Calcopirita	
285	1472757	85	169	N79° E / 85° S	22,596	1	1	Carbonato	Anhidrita		
286	1472758	84	174	N84° E / 84° S	39,903	2	2	Carbonato	Yeso		
287	1472760	73	178	N88° E / 73° S	29,501	0,5	0,5	Carbonato	Anhidrita	Yeso	Cuarzo
288	1472762	56	197	N73° W / 56° SW	18,221	0,5	1				
289	1472767	85	163	N73° E / 85° SE	43,615	2	5	Turmalina	Cuarzo	Carbonato	
290	1472768	74	349	N79° E / 74° N	33,386	10	20	Salbanda			
291	1472774	90	327	N57° E / 90° NW	53,457	30	50	Salbanda			
292	1472775	90	349	N79° E / 90° N	17,955	2	2	Carbonato			
293	1472776	80	348	N78° E / 80° N	16,278	2	4	Molibdenita	Carbonato	Anhidrita	Cuarzo
294	1472777	83	161	N71° E / 83° SE	17,906	15	20	Salbanda			
295	1472778	90	329	N59° E / 90° NW	21,676	2	2	Salbanda	Carbonato	Cuarzo	Calcopirita
296	1472782	90	326	N56° E / 90° NW	54,175	10	50	Salbanda			
297	1472785	80	350	N80° E / 80° N	15,501	2	4	Anhidrita	Carbonato	Bornita	Molibdenita
298	1472786	70	171	N81° E / 70° S	14,53	2	6	Carbonato	Anhidrita	Molibdenita	
299	1472883	84	351	N81° E / 84° N	19,296	1,5	1,5	Anhidrita	Carbonato		
300	1472884	75	169	N79° E / 75° S	29,147	2	4	Carbonato	Anhidrita		
301	1472885	70	171	N81° E / 70° S	28,664	3	7	Carbonato	Anhidrita		
302	1472887	34	210	N60° W / 34° SW	21,494	1	1	Yeso			
303	1472888	60	346	N76° E / 60° N	36,967	3	10	Anhidrita	Calcopirita	Tennantita	
304	1472889	73	333	N63° E / 73° NW	22,567	0,2	1,5	Carbonato	Anhidrita		
305	1472890	70	309	N39° E / 70° NW	27,746	2	6	Carbonato	Anhidrita	Tennantita	Calcopirita
306	1472892	63	354	N84° E / 63° N	18,322	3	10	Anhidrita	Carbonato	Tennantita	Calcopirita
307	1472893	53	12	N78° W / 53° N	25,935	3	3	Yeso	Carbonato	Tennantita	
308	1472895	70	6	N84° W / 70° N	29,562	3	3	Yeso	Carbonato	Tennantita	
309	1472896	80	351	N81° E / 80° N	282,42	0,5	16	Yeso	Anhidrita	Carbonato	Tennantita
310	1472897	67	183	N87° W / 67° S	56,122	2	3	Carbonato	Yeso	Turmalina	Calcopirita
311	1472898	90	352	N82° E / 90° N	36,181	1,5	4	Carbonato	Anhidrita	Yeso	Bornita
312	1472900	65	5	N85° W / 65° N	33,345	1	1	Yeso	Carbonato		
313	1472901	84	350	N80° E / 84° N	25,662	2	3	Turmalina	Carbonato	Tennantita	
314	1472903	90	350	N80° E / 90° N	14,024	1	5	Carbonato	Molibdenita	Clorita	Yeso
315	1472904	90	355	N85° E / 90° N	13,925	2	5	Anhidrita	Yeso	Molibdenita	Turmalina
316	1472905	90	341	N71° E / 90° NW	23,86	1	15	Carbonato	Molibdenita	Anhidrita	
317	1472906	90	359	N89° E / 90° N	22,933	2	3	Carbonato	Molibdenita	Anhidrita	
318	1472909	75	173	N83° E / 75° S	15,985	0,8	0,8	Carbonato	Molibdenita	Calcopirita	Anhidrita
319	1472910	85	176	N86° E / 85° S	14,437	1	3	Salbanda	Carbonato	Yeso	
320	16-13952-1	80	173	N83° E / 80° S	117	1	2	Anhidrita	Carbonato	Bornita	
321	16-16446-1	85	186	N84° W / 85° S	37,651	0,2	0,5	Anhidrita	Clorita	Carbonato	Bornita
322	16-16446-10	82	326	N56° E / 82° NW	43,584	1	4	Cuarzo	Turmalina	Anhidrita	Molibdenita
323	16-16446-11	70	3	N87° W / 70° N	52,036	1	4	Anhidrita	Clorita	Carbonato	Yeso
324	16-16446-12	86	357	N87° E / 86° N	41,983	0,5	1,2	Anhidrita	Clorita	Bornita	Carbonato
325	16-16446-13	82	171	N81° E / 82° S	30,745	0,9	1,2	Carbonato	Anhidrita	Clorita	Yeso
326	16-16446-26	75	195	N75° W / 75° S	55,251	1	4	Anhidrita	Clorita	Carbonato	Yeso
327	16-16446-3	88	182	N88° W / 88° S	70,566	0,4	2,5	Salbanda	Anhidrita	Clorita	Bornita
328	16-16446-4	86	169	N79° E / 86° S	36,85	0,2	1	Carbonato	Yeso	Clorita	
329	16-16446-5	55	23	N67° W / 55° NE	46,129	0,5	1,5	Anhidrita	Carbonato	Clorita	Molibdenita
330	16-16446-7	85	328	N58° E / 85° NW	22,972	0,4	0,7	Anhidrita	Molibdenita	Clorita	Bornita
331	16-17185-4	90	353	N83° E / 90° N	137,77	20	20				
332	16-18689-1	85	18	N72° W / 85° NE	19,783	0,1	2	Anhidrita	Calcopirita	Clorita	Carbonato
333	16-18689-10	78	26	N64° W / 78° NE	29,056	1	1,5	Anhidrita	Clorita	Carbonato	Calcopirita
334	16-18689-11	90	326	N56° E / 90° NW	25,056	1	3	Anhidrita	Clorita	Carbonato	Calcopirita
335	16-18689-12	82	135	N45° E / 82° SE	36,101	0,5	0,8	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	
336	16-18689-13	80	140	N50° E / 80° SE	36,521	0,5	1	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	
337	16-18689-14	85	148	N58° E / 85° SE	25,112	1	2	Calcopirita	Cuarzo		
338	16-18689-15	70	179	N89° E / 70° S	23,289	0,8	1,5	Carbonato	Turmalina	Salbanda	Anhidrita
339	16-18689-16	82	179	N89° E / 82° S	29,939	0,5	1	Calcopirita	Carbonato	Clorita	
340	16-18689-17	78	90	N0° E / 78° E	76,419	0,5	1,5	Cuarzo	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita
341	16-18689-18	70	91	N1° E / 70° E	20,741	0,5	1	Cuarzo	Anhidrita	Clorita	Salbanda
342	16-18689-2	85	27	N63° W / 85° NE	29,843	0,5	1,5	Calcopirita	Molibdenita	Turmalina	Carbonato
343	16-18689-3	89	194	N76° W / 89° S	43,611	1	3	Carbonato	Anhidrita	Turmalina	
344	16-18689-4	80	174	N84° E / 80° S	27,386	0,3	0,5	Clorita	Yeso	Salbanda	
345	16-18689-44	70	205	N65° W / 70° SW	35,74	1	2	Carbonato	Calcopirita	Salbanda	
346	16-18689-45	54	190	N80° W / 54° S	20,642	1	2	Salbanda	Calcopirita	Anhidrita	Bornita
347	16-18689-5	80	178	N88° E / 80° S	44,026	1	1,5	Anhidrita	Carbonato	Turmalina	
348	16-18689-6	74	181	N89° W / 74° S	19,194	0,1	0,4	Carbonato	Clorita		
349	16-18689-7	70	180	N90° E / 70° S	22,799	0,3	0,6	Anhidrita	Carbonato	Clorita	
350	16-18689-8	70	183	N87° W / 70° S	42,881	0,2	0,3	Anhidrita	Clorita	Carbonato	Calcopirita
351	16-18689-9	65	188	N82° W / 65° S	55,219	1	2	Anhidrita	Calcopirita	Cuarzo	Carbonato
352	16-19172-13	70	98	N8° E / 70° E	156,4	0	0				
353	16-19172-17	60	219	N51° W / 60° SW	139,68	0	0				

TTE Sub6 Hun											
Nº	IdSoporte	Dip	DipDir	Rumbo/Manteo	Traza (m)	Esp. Min. (cm)	Esp. Máx. (cm)	Relleno 1	Relleno 2	Relleno 3	Relleno 4
354	16-19172-19	70	146	N56° E / 70° SE	76,338	0	0				
355	16-71149-11	78	160	N70° E / 78° SE	46,628	1	3	Yeso	Carbonato	Anhidrita	Salbanda
356	16-74168-1	90	353	N83° E / 90° N	85,764	1	2	Carbonato	Cuarzo	Calcopirita	Anhidrita
357	16-74168-2	80	348	N78° E / 80° N	26,984	2	5	Carbonato	Molibdenita	Calcopirita	Turmalina
358	16-74168-3	85	164	N74° E / 85° SE	33,228	1	3	Carbonato	Calcopirita	Anhidrita	Molibdenita
359	16-74168-4	78	358	N88° E / 78° N	57,898	1	3	Anhidrita	Calcopirita	Carbonato	Tennantita
360	16-74168-6	75	191	N79° W / 75° S	104,74	1	2	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita	
361	16-74168-7	60	344	N74° E / 60° NW	71,01	1	3	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Clorita
362	16-74168-8	65	347	N77° E / 65° N	98,829	1	3	Carbonato	Anhidrita	Cuarzo	
363	16-74502-1	77	16	N74° W / 77° NE	44,636	1	3	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita	Calcopirita
364	16-74502-10	75	211	N59° W / 75° SW	46,53	1	4	Anhidrita	Cuarzo	Yeso	Calcopirita
365	16-74502-11	15	27	N63° W / 15° NE	48,596	0,1	1	Anhidrita	Carbonato	Clorita	Calcita
366	16-74502-12	79	17	N73° W / 79° NE	33,426	2	5	Anhidrita	Yeso	Calcopirita	Carbonato
367	16-74502-13	80	26	N64° W / 80° NE	40,678	1	1	Anhidrita	Cuarzo	Turmalina	Carbonato
368	16-74502-14	72	197	N73° W / 72° SW	37,6	0,1	0,5	Anhidrita	Clorita	Calcopirita	Carbonato
369	16-74502-15	84	322	N52° E / 84° NW	33,23	2	5	Carbonato	Turmalina	Anhidrita	Calcopirita
370	16-74502-16	80	323	N53° E / 80° NW	56,569	1	3	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Turmalina
371	16-74502-17	80	162	N72° E / 80° SE	119,5	2	3	Carbonato	Yeso	Anhidrita	Molibdenita
372	16-74502-18	90	350	N80° E / 90° N	74,244	0,5	0,5	Anhidrita	Yeso		
373	16-74502-19	70	180	N90° E / 70° S	113,24	0,5	2	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Calcopirita
374	16-74502-2	85	20	N70° W / 85° NE	42,94	0,5	1	Anhidrita	Clorita	Carbonato	Calcopirita
375	16-74502-20	72	333	N63° E / 72° NW	68,554	0,5	1,5	Carbonato	Yeso	Calcopirita	
376	16-74502-3	80	190	N80° W / 80° S	38,009	1	2	Calcopirita	Anhidrita	Cuarzo	Molibdenita
377	16-74502-4	71	188	N82° W / 71° S	72,085	1	1,5	Anhidrita	Clorita	Carbonato	
378	16-74502-5	82	199	N71° W / 82° SW	120,45	2	3	Anhidrita	Carbonato	Cuarzo	Calcita
379	16-74502-6	82	196	N74° W / 82° SW	109,99	1	3	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Molibdenita
380	16-74502-7	78	342	N72° E / 78° NW	50,911	1	2	Cuarzo	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita
381	16-74502-8	75	339	N69° E / 75° NW	36,514	1	5	Carbonato	Calcopirita	Anhidrita	Molibdenita
382	16-74502-9	71	199	N71° W / 71° SW	37,799	1	2	Anhidrita	Calcopirita	Yeso	Cuarzo
383	16-74591-1	25	195	N75° W / 25° S	30,549	1	2	Anhidrita	Óx. de Fe	Sulfatos de Cu	
384	16-74591-10	83	168	N78° E / 83° S	35,627	0,5	2	Carbonato	Anhidrita	Molibdenita	
385	16-74591-11	85	161	N71° E / 85° SE	34,752	0,4	4	Anhidrita	Carbonato	Bornita	
386	16-74591-2	25	196	N74° W / 25° SW	32,71	2	5	Anhidrita	Óx. de Fe	Sulfatos de Cu	
387	16-74591-3	28	208	N62° W / 28° SW	36,364	0,5	2	Óx. de Fe	Sulfatos de Cu		
388	16-74591-5	68	13	N77° W / 68° N	33,667	0,5	2	Cuarzo	Anhidrita	Carbonato	Bornita
389	16-74591-6	65	12	N78° W / 65° N	103,02	1	2	Carbonato	Anhidrita	Yeso	Molibdenita
390	16-74591-7	75	16	N74° W / 75° NE	26,619	1	10	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Calcopirita
391	16-74591-8	70	8	N82° W / 70° N	24,999	5	15	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Molibdenita
392	16-74591-9	76	165	N75° E / 76° S	37,161	1	4	Anhidrita	Cuarzo	Molibdenita	Carbonato
393	16-7994-10	90	32	N58° W / 90° NE	17,8	0,5	2,5	Anhidrita	Clorita	Turmalina	Molibdenita
394	16-7994-11	88	35	N55° W / 88° NE	45,073	0,5	1,5	Cuarzo	Bornita	Carbonato	Clorita
395	16-7994-9	90	33	N57° W / 90° NE	17,505	1	3	Carbonato	Cuarzo	Molibdenita	Bornita
396	16-8695-1	78	197	N73° W / 78° SW	22,892	0,2	0,5	Anhidrita	Molibdenita	Salbanda	Clorita
397	16-8695-29	83	169	N79° E / 83° S	14,503	10	40	Salbanda	Carbonato	Yeso	Anhidrita
398	16-8695-3	66	208	N62° W / 66° SW	19,507	1	2	Carbonato	Salbanda	Anhidrita	Calcopirita
399	16-8695-30	90	351	N81° E / 90° N	10,603	10	30	Carbonato	Turmalina	Salbanda	Anhidrita
400	16-8695-32	79	167	N77° E / 79° S	17,119	0,5	0,5	Carbonato	Clorita	Cuarzo	
401	16-8695-33	86	174	N84° E / 86° S	14,592	1	1,5	Anhidrita	Turmalina	Calcita	Salbanda
402	16-8695-34	86	172	N82° E / 86° S	12,574	2	3	Carbonato	Cuarzo	Salbanda	Anhidrita
403	16-8695-35	88	169	N79° E / 88° S	13,984	1	2	Carbonato	Turmalina	Calcopirita	Anhidrita
404	16-8695-4	80	187	N83° W / 80° S	15,313	1	1,5	Carbonato	Anhidrita	Turmalina	Salbanda
405	16-8695-40	77	161	N71° E / 77° SE	25,865	1	1	Carbonato	Turmalina	Calcopirita	
406	16-8695-41	90	347	N77° E / 90° N	29,017	1	1,5	Anhidrita	Turmalina	Calcopirita	Carbonato
407	16-8695-42	90	357	N87° E / 90° N	18,369	1	2	Carbonato	Salbanda	Turmalina	Cuarzo
408	16-8695-43	85	170	N80° E / 85° S	14,89	0,4	2	Carbonato	Calcopirita	Turmalina	
409	16-8695-44	84	167	N77° E / 84° S	17,925	0,5	2	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Molibdenita
410	16-8695-45	84	188	N82° W / 84° S	17,506	0,8	1,5	Salbanda	Turmalina	Anhidrita	Calcopirita
411	16-8695-47	70	195	N75° W / 70° S	19,294	0,5	1,2	Calcopirita	Carbonato		
412	16-8695-50	88	140	N50° E / 88° SE	32,872	0,4	2	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita	
413	16-8695-51	87	334	N64° E / 87° NW	35,589	0,3	1,5	Carbonato	Cuarzo	Molibdenita	Anhidrita
414	16-8695-52	85	149	N59° E / 85° SE	29,029	0,5	0,9	Carbonato	Turmalina	Anhidrita	
415	16-8695-53	73	203	N67° W / 73° SW	18,361	1	1	Calcopirita	Cuarzo	Carbonato	
416	16-8695-54	85	196	N74° W / 85° SW	20,739	0,5	1	Anhidrita	Sericita	Clorita	Molibdenita
417	16-8695-55	82	188	N82° W / 82° S	18,308	1	2	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Molibdenita
418	16-8695-56	85	201	N69° W / 85° SW	21,14	1,5	6	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Tennantita
419	16-8695-57	87	205	N65° W / 87° SW	16,248	1	1,5	Carbonato	Anhidrita	Cuarzo	Turmalina
420	16-8695-58	90	25	N65° W / 90° NE	63,314	1	2	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita	Turmalina
421	16-8695-8	75	174	N84° E / 75° S	18,895	1	1,5	Anhidrita	Clorita	Salbanda	Carbonato
422	16-8782-10	85	18	N72° W / 85° NE	76,098	1,5	3,5	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Molibdenita

TTE Sub6 Hun											
Nº	IdSoporte	Dip	DipDir	Rumbo/Manteo	Traza (m)	Esp. Min. (cm)	Esp. Máx. (cm)	Relleno 1	Relleno 2	Relleno 3	Relleno 4
423	16-8782-11	71	302	N32º E / 71º NW	31,947	1	2	Cuarzo	Carbonato	Anhidrita	Calcita
424	16-8782-12	80	298	N28º E / 80º NW	57,214	0,3	0,6	Anhidrita	Calcita	Clorita	Calcopirita
425	16-8782-13	82	161	N71º E / 82º SE	47,628	1	5	Carbonato	Anhidrita	Molibdenita	Salbanda
426	16-8782-15	30	212	N58º W / 30º SW	66,148	0,3	0,8	Anhidrita	Biotita	Carbonato	Sulfatos de Cu
427	16-8782-18	84	343	N73º E / 84º NW	41,332	5	10	Anhidrita	Yeso	Salbanda	
428	16-8782-7	82	8	N82º W / 82º N	16,186	1	1	Carbonato	Turmalina	Calcopirita	
429	16-8782-8	83	17	N73º W / 83º NE	28,058	1	2	Calcita	Anhidrita	Salbanda	
430	16-8782-9	90	14	N76º W / 90º N	17,253	1,5	5	Carbonato	Turmalina	Clorita	Calcopirita
431	16-8849-1	78	181	N89º W / 78º S	39,294	0,3	1	Anhidrita	Sericita	Clorita	Molibdenita
432	16-8849-14	90	357	N87º E / 90º N	214,9	0,2	1,5	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita	Bornita
433	16-8849-15	80	178	N88º E / 80º S	38,505	0,2	0,2	Yeso	Clorita	Calcopirita	
434	16-8849-16	75	172	N82º E / 75º S	24,105	0,2	0,5	Anhidrita	Molibdenita	Clorita	Calcopirita
435	16-8849-18	80	166	N76º E / 80º S	41,387	0,5	2	Anhidrita	Clorita	Calcopirita	Molibdenita
436	16-8849-19	75	160	N70º E / 75º SE	39,552	0,3	0,5	Anhidrita	Calcopirita	Clorita	Sericita
437	16-8849-2	66	183	N87º W / 66º S	37,484	0,5	1,5	Carbonato	Salbanda	Calcopirita	Anhidrita
438	16-8849-20	85	175	N85º E / 85º S	195,11	2	5	Salbanda	Anhidrita	Clorita	Carbonato
439	16-8849-21	41	55	N35º W / 41º NE	83,051	0,3	0,5	Anhidrita	Clorita	Calcopirita	Salbanda
440	16-8849-22	34	69	N21º W / 34º NE	39,09	0,5	1,5	Clorita	Calcita	Calcopirita	Anhidrita
441	16-8849-23	75	4	N86º W / 75º N	45,51	0,5	1,7	Cuarzo	Molibdenita	Calcita	Calcopirita
442	16-8849-24	70	1	N89º W / 70º N	46,079	2	2	Cuarzo	Molibdenita	Calcopirita	Carbonato
443	16-8849-26	85	165	N75º E / 85º S	58,13	0,5	0,5	Molibdenita	Clorita	Cuarzo	
444	16-8849-27	90	343	N73º E / 90º NW	47,735	0,3	0,3	Molibdenita	Cuarzo	Clorita	
445	16-8849-28	36	192	N78º W / 36º S	28,537	1	1	Cuarzo	Molibdenita	Anhidrita	Bornita
446	16-8849-29	37	211	N59º W / 37º SW	52,608	1	1	Calcopirita	Cuarzo	Bornita	Calcita
447	16-8849-3	50	188	N82º W / 50º S	46,394	1	2	Anhidrita	Calcopirita	Bornita	Cuarzo
448	16-8849-30	82	175	N85º E / 82º S	36,411	2,5	3,5	Cuarzo	Molibdenita	Carbonato	
449	16-8849-4	77	156	N66º E / 77º SE	43,046	1	3	Anhidrita	Salbanda	Clorita	Carbonato
450	16-8849-8	80	13	N77º W / 80º N	68,751	0,3	0,6	Molibdenita	Carbonato	Tennantita	Bornita
451	16-9319-19	85	174	N84º E / 85º S	159,28	2	17	Yeso	Anhidrita	Carbonato	Turmalina
452	19-6331-10	85	131	N41º E / 85º SE	101,17	0,5	6	Anhidrita	Turmalina	Carbonato	Baritina
453	19-6331-100	90	348	N78º E / 90º N	77,202	0	0				
454	19-6331-103	74	162	N72º E / 74º SE	30,287	1,5	1,5	Calcita	Clorita		
455	19-6331-106	90	329	N59º E / 90º NW	32,945	5	10	Salbanda	Anhidrita	Yeso	Carbonato
456	19-6331-11	86	343	N73º E / 86º NW	89,563	0,3	4	Baritina	Limonita	Calcosina	Salbanda
457	19-6331-114	90	340	N70º E / 90º NW	87,25	3	20	Turmalina	Calcosina	Calcopirita	
458	19-6331-121	78	137	N47º E / 78º SE	133,22	0,7	3	Turmalina	Limonita	Baritina	Calcosina
459	19-6331-123	90	324	N54º E / 90º NW	115,52	0,5	3	Baritina	Anhidrita	Turmalina	Salbanda
460	19-6331-13	85	350	N80º E / 85º N	241,88	1	4	Anhidrita	Carbonato	Turmalina	Molibdenita
461	19-6331-135	85	148	N58º E / 85º SE	113,78	1	5	Turmalina	Limonita	Calcosina	Anhidrita
462	19-6331-137	80	121	N31º E / 80º SE	228,04	1	45	Turmalina	Limonita	Salbanda	Tennantita
463	19-6331-139	82	142	N52º E / 82º SE	197,57	1	20	Yeso	Salbanda	Carbonato	Tennantita
464	19-6331-14	88	158	N68º E / 88º SE	177,15	0,5	3	Anhidrita	Turmalina	Carbonato	Baritina
465	19-6331-20	88	358	N88º E / 88º N	105,28	1	4	Turmalina	Baritina	Limonita	Calcosina
466	19-6331-22	85	335	N65º E / 85º NW	91,872	2	3	Carbonato	Yeso	Anhidrita	Tennantita
467	19-6331-24	86	127	N37º E / 86º SE	309,37	1	7,5	Turmalina	Limonita	Salbanda	Cuarzo
468	19-6331-25	90	2	N88º W / 90º N	93,492	0,5	4	Turmalina	Salbanda	Baritina	Limonita
469	19-6331-26	90	0	N90º E / 90º N	37,715	1	20	Turmalina	Cuarzo		
470	19-6331-286	90	318	N48º E / 90º NW	82,916	0,5	1	Baritina	Turmalina	Calcopirita	Limonita
471	19-6331-288	82	1	N89º W / 82º N	84,859	0,5	3	Calcopirita	Anhidrita	Carbonato	Turmalina
472	19-6331-295	90	308	N38º E / 90º NW	79,174	1	20	Baritina	Turmalina	Limonita	Calcosina
473	19-6331-309	78	161	N71º E / 78º SE	140,3	1	15	Anhidrita	Salbanda	Yeso	Carbonato
474	19-6331-312	84	129	N39º E / 84º SE	106,14	4	10	Salbanda	Yeso		
475	19-6331-313	72	143	N53º E / 72º SE	193,75	1	4	Baritina	Salbanda	Limonita	Calcosina
476	19-6331-329	90	172	N82º E / 90º S	16,305	1	6	Anhidrita	Bornita		
477	19-6331-330	71	165	N75º E / 71º S	71,86	1	15	Anhidrita	Molibdenita	Bornita	
478	19-6331-332	85	172	N82º E / 85º S	19,919	12	12	Anhidrita	Carbonato		
479	19-6331-340	85	168	N78º E / 85º S	30,042	0,3	0,3	Anhidrita			
480	19-6331-348	82	317	N47º E / 82º NW	13,493	1	5	Anhidrita	Molibdenita		
481	19-6331-362	65	129	N39º E / 65º SE	18,714	0,5	1	Anhidrita			
482	19-6331-380	82	159	N69º E / 82º SE	23,792	0	0				
483	19-6331-392	72	343	N73º E / 72º NW	17,707	0	0				
484	19-6331-393	86	350	N80º E / 86º N	9,762	0	0				
485	19-6331-395	78	170	N80º E / 78º S	51,084	0	0				
486	19-6331-399	80	140	N50º E / 80º SE	57,911	1,5	4	Baritina			
487	19-6331-40	83	117	N27º E / 83º SE	104,41	0,5	5	Anhidrita	Yeso	Bornita	Turmalina
488	19-6331-400	85	142	N52º E / 85º SE	89,982	2	5	Yeso	Carbonato	Anhidrita	
489	19-6331-406	68	157	N67º E / 68º SE	106,8	1	3	Yeso	Cuarzo		
490	19-6331-410	78	139	N49º E / 78º SE	62,154	1	7	Turmalina	Calcopirita	Baritina	Salbanda
491	19-6331-43	88	178	N88º E / 88º S	211,21	0,5	20	Turmalina	Baritina	Limonita	Salbanda
492	19-6331-45	90	8	N82º W / 90º N	70,507	2	5	Salbanda	Baritina	Turmalina	Limonita
493	19-6331-49	86	155	N65º E / 86º SE	105,3	1,5	5	Baritina	Turmalina	Limonita	Calcosina

TTE Sub6 Hun											
Nº	IdSoporte	Dip	DipDir	Rumbo/Manteo	Traza (m)	Esp. Min. (cm)	Esp. Máx. (cm)	Relleno 1	Relleno 2	Relleno 3	Relleno 4
494	19-6331-50	83	140	N50° E / 83° SE	103,3	0,5	10	Turmalina	Limonita	Tennantita	Salbanda
495	19-6331-52	84	179	N89° E / 84° S	181,07	0,8	8	Turmalina	Calcosina	Baritina	Limonita
496	19-6331-54	82	4	N86° W / 82° N	283,85	0,5	9	Baritina	Calcosina	Turmalina	Limonita
497	19-6331-55	87	140	N50° E / 87° SE	173,56	1	8	Baritina	Limonita	Turmalina	Calcosina
498	19-6331-56	80	142	N52° E / 80° SE	83,619	0,5	3	Baritina	Limonita	Turmalina	Salbanda
499	19-6331-68	83	127	N37° E / 83° SE	106,21	1	1,5	Baritina	Turmalina	Salbanda	Limonita
500	19-6331-72	87	143	N53° E / 87° SE	664,07	0,5	30	Anhidrita	Turmalina	Carbonato	Salbanda
501	19-6331-74	90	340	N70° E / 90° NW	59,625	0	0				
502	19-6331-75	88	331	N61° E / 88° NW	101,36	0,5	8	Anhidrita	Turmalina	Carbonato	Calcopirita
503	19-6331-77	90	340	N70° E / 90° NW	138,86	0	0				
504	19-6331-78	85	340	N70° E / 85° NW	73,211	0,5	10	Anhidrita	Yeso	Molibdenita	Turmalina
505	19-6331-80	87	331	N61° E / 87° NW	157,21	0,5	1,5	Anhidrita	Baritina	Turmalina	Carbonato
506	19-6331-81	90	333	N63° E / 90° NW	160,54	0	0				
507	19-6331-84	78	159	N69° E / 78° SE	72,107	0,3	20	Anhidrita	Turmalina	Calcopirita	Carbonato
508	19-6331-85	90	332	N62° E / 90° NW	151,63	0	0				
509	19-6331-87	90	345	N75° E / 90° N	43,837	1	8	Anhidrita	Turmalina	Carbonato	
510	19-6331-88	90	341	N71° E / 90° NW	112,52	0	0				
511	19-6331-9	83	142	N52° E / 83° SE	148,16	0,5	20	Baritina	Limonita	Turmalina	Calcosina
512	19-6331-94	86	158	N68° E / 86° SE	108,26	1	4	Anhidrita	Turmalina	Carbonato	Calcopirita
513	19-6331-96	84	160	N70° E / 84° SE	68,575	1	7	Anhidrita	Turmalina	Yeso	Carbonato
514	19-6371-1	71	153	N63° E / 71° SE	192,79	0,5	5	Turmalina	Anhidrita	Baritina	Salbanda
515	19-6371-11	66	180	N90° E / 66° S	229,83	0,8	3	Turmalina	Salbanda	Baritina	Limonita
516	19-6371-3	90	349	N79° E / 90° N	179,85	0	0				
517	19-6371-5	72	157	N67° E / 72° SE	75,169	0,5	2	Anhidrita	Turmalina	Calcopirita	Carbonato
518	19-6371-6	76	141	N51° E / 76° SE	90,944	0,3	2	Baritina	Calcosina	Turmalina	Calcopirita
519	19-6371-7	77	161	N71° E / 77° SE	33,527	0	0				
520	19-6425-1	76	142	N52° E / 76° SE	88,045	0,5	8	Salbanda	Turmalina	Baritina	Limonita
521	19-6425-10	90	339	N69° E / 90° NW	149,89	0	0				
522	19-6425-2	73	121	N31° E / 73° SE	88,578	3	4	Calcosina	Calcopirita	Turmalina	Baritina
523	19-6425-22	80	160	N70° E / 80° SE	15,763	10	10	Anhidrita			
524	19-6425-23	75	159	N69° E / 75° SE	21,892	1	10	Anhidrita	Bornita		
525	19-6425-28	75	158	N68° E / 75° SE	30,739	4	4	Anhidrita			
526	19-6425-34	60	121	N31° E / 60° SE	27,125	1	1	Anhidrita	Bornita		
527	19-6425-36	65	120	N30° E / 65° SE	32,291	0,5	1	Anhidrita	Molibdenita	Carbonato	
528	19-6425-56	75	154	N64° E / 75° SE	110,87	0,8	1	Anhidrita	Turmalina	Carbonato	Baritina
529	19-6425-57	90	358	N88° E / 90° N	76,16	0	0				
530	19-6425-58	52	347	N77° E / 52° N	292,54	0,5	50	Baritina	Anhidrita	Salbanda	Carbonato
531	19-6425-8	77	343	N73° E / 77° NW	179,91	0,3	5	Anhidrita	Carbonato	Turmalina	Yeso
532	19-6425-9	70	149	N59° E / 70° SE	129,03	0,5	3	Anhidrita	Turmalina	Carbonato	Baritina
533	19-6441-11	65	141	N51° E / 65° SE	76,859	1	5	Turmalina	Limonita	Salbanda	Baritina
534	19-6441-119	80	325	N55° E / 80° NW	89,732	1	2	Calcopirita	Anhidrita	Molibdenita	
535	19-6441-121	69	124	N34° E / 69° SE	78,626	0,8	2	Anhidrita	Carbonato	Clorita	
536	19-6441-18	66	134	N44° E / 66° SE	13,264	2	4	Anhidrita	Carbonato		
537	19-6441-23	75	142	N52° E / 75° SE	10,855	1	3	Carbonato	Yeso	Anhidrita	
538	19-6441-76	74	147	N57° E / 74° SE	143,69	0,6	1,5	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	
539	19-6441-81	75	212	N58° W / 75° SW	177,69	1	3	Anhidrita	Molibdenita	Carbonato	
540	19-6441-82	79	32	N58° W / 79° NE	117,78	0,6	3	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita	Bornita
541	19-6441-83	74	36	N54° W / 74° NE	105,74	0,8	2	Molibdenita	Carbonato	Anhidrita	
542	19-8470-1	75	120	N30° E / 75° SE	97,487	0,3	0,3				
543	19-8470-10	87	336	N66° E / 87° NW	79,028	5	5				
544	19-8470-11	85	338	N68° E / 85° NW	42,163	0,2	15				
545	19-8470-19	82	203	N67° W / 82° SW	48,366	4	4	Yeso	Calcopirita	Carbonato	Anhidrita
546	19-8470-2	87	124	N34° E / 87° SE	85,352	0	0				
547	19-8470-20	75	197	N73° W / 75° SW	36,844	4	5	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Bornita
548	19-8470-21	68	345	N75° E / 68° N	33,08	0,5	2	Anhidrita	Calcopirita	Turmalina	Carbonato
549	19-8470-22	81	165	N75° E / 81° S	32,542	6	6	Turmalina	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita
550	19-8470-23	85	170	N80° E / 85° S	40,518	5	1	Turmalina	Carbonato	Yeso	Anhidrita
551	19-8470-3	80	169	N79° E / 80° S	101,01	0,2	5	Cuarzo	Salbanda	Carbonato	
552	19-8470-5	85	0	N90° E / 85° N	99,298	1	2				
553	19-8488-1	80	201	N69° W / 80° SW	52,562	0,3	1,5	Yeso	Calcopirita	Anhidrita	Clorita
554	19-8488-10	70	181	N89° W / 70° S	54,972	0,1	1,5	Anhidrita	Carbonato	Bornita	Molibdenita
555	19-8488-13	82	195	N75° W / 82° S	40,05	0,2	0,6	Anhidrita	Carbonato	Bornita	Molibdenita
556	19-8488-2	85	162	N72° E / 85° SE	30,362	0,5	0,5	Calcopirita	Anhidrita	Cuarzo	Carbonato
557	19-8488-3	79	183	N87° W / 79° S	68,643	0,5	2	Calcopirita	Carbonato	Anhidrita	Tennantita
558	19-8488-4	72	196	N74° W / 72° SW	172	1	1,5	Anhidrita	Carbonato	Turmalina	Calcopirita
559	19-8488-6	90	350	N80° E / 90° N	44,692	1	2,5	Anhidrita	Molibdenita	Carbonato	Bornita
560	19-8488-8	64	126	N36° E / 64° SE	50,472	0,2	2	Carbonato	Anhidrita	Molibdenita	Yeso
561	19-8488-9	65	125	N35° E / 65° SE	35,313	0,2	2	Anhidrita	Carbonato	Turmalina	Bornita
562	19-8513-10	87	205	N65° W / 87° SW	47,249	0,5	1,8	Anhidrita	Carbonato	Bornita	Molibdenita
563	19-8513-15	73	345	N75° E / 73° N	48,093	0,3	0,3	Carbonato	Clorita		
564	19-8513-5	85	326	N56° E / 85° NW	40,638	1	3	Cuarzo	Carbonato	Clorita	Molibdenita

TTE Sub6 Hun											
Nº	IdSoporte	Dip	DipDir	Rumbo/Manteo	Traza (m)	Esp. Min. (cm)	Esp. Máx. (cm)	Relleno 1	Relleno 2	Relleno 3	Relleno 4
565	19-8513-7	85	359	N89° E / 85° N	141,26	0,5	3	Carbonato	Anhidrita	Molibdenita	Tennantita
566	19-8513-9	88	23	N67° W / 88° NE	53,957	0,3	3	Anhidrita	Yeso	Bornita	Tennantita
567	19-8600-3	53	23	N67° W / 53° NE	69,605	0	0	Carbonato	Cuarzo	Calcopirita	
568	19-8600-4	43	24	N66° W / 43° NE	49,517	0,1	0,5	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Salbanda
569	19-8600-5	85	172	N82° E / 85° S	35,57	1	2	Carbonato	Anhidrita	Turmalina	Salbanda
570	19-8600-6	84	192	N78° W / 84° S	42,038	0,3	2	Anhidrita	Salbanda	Carbonato	Calcopirita
571	19-8600-7	81	161	N71° E / 81° SE	52,796	0,2	3	Anhidrita	Carbonato	Turmalina	Tennantita
572	19-8600-8	74	344	N74° E / 74° NW	37,774	0,5	3	Carbonato	Anhidrita	Turmalina	Salbanda
573	287-71825-18	73	109	N19° E / 73° SE	159,76	0,5	2	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Calcopirita
574	287-72857-12	78	219	N51° W / 78° SW	233,42	0,5	2	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Yeso
575	287-72893-1	72	29	N61° W / 72° NE	130,5	1	3	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Calcopirita
576	287-72893-3	72	46	N44° W / 72° NE	130,24	0,5	1	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	
577	287-72893-4	24	62	N28° W / 24° NE	134,24	1	2	Yeso	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita
578	287-76002-1	75	18	N72° W / 75° NE	108,13	1	2	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Calcopirita
579	287-76002-2	70	20	N70° W / 70° NE	160,48	1	3	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Pirita
580	287-76002-4	76	214	N56° W / 76° SW	164,14	1	3	Anhidrita	Turmalina	Salbanda	Cuarzo
581	287-76002-5	80	39	N51° W / 80° NE	109,36	1	2	Anhidrita	Carbonato	Turmalina	Salbanda
582	287-76002-6	45	47	N43° W / 45° NE	131,03	0,5	1	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Calcopirita
583	287-76090-1	85	333	N63° E / 85° NW	71,105	1	1	Anhidrita	Carbonato	Turmalina	Calcopirita
584	287-76090-17	35	33	N57° W / 35° NE	59,212	1	2	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Turmalina
585	287-79608-1	82	168	N78° E / 82° S	331,46	5	30	Salbanda	Anhidrita	Carbonato	Yeso
586	287-79608-10	85	194	N76° W / 85° S	93,777	1	6	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita	Bornita
587	287-79608-15	78	158	N68° E / 78° SE	334,05	0,5	10	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Tennantita
588	287-79608-2	80	171	N81° E / 80° S	69,158	10	35	Salbanda	Anhidrita	Sericita	Clorita
589	287-79608-4	75	167	N77° E / 75° S	240,94	4	10	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Turmalina
590	287-79608-6	78	29	N61° W / 78° NE	109,22	4	8	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita	
591	287-79608-7	75	9	N81° W / 75° N	95,825	2	3	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Yeso
592	287-79608-8	75	15	N75° W / 75° N	177,54	2	3	Anhidrita	Carbonato	Turmalina	Calcopirita
593	287-79608-9	80	30	N60° W / 80° NE	174,46	1	2	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita	Bornita
594	287-83658-1	75	122	N32° E / 75° SE	59,328	1	3	Anhidrita	Carbonato	Clorita	Yeso
595	287-83658-2	84	235	N35° W / 84° SW	58,035	1	2	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Tennantita
596	287-83658-3	66	103	N13° E / 66° E	95,002	1	2	Anhidrita	Carbonato	Yeso	
597	287-84260-10	30	207	N63° W / 30° SW	112,42	1	2	Anhidrita	Óx. de Fe		
598	287-84260-3	80	20	N70° W / 80° NE	148,52	2	4	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita	
599	287-84260-4	80	200	N70° W / 80° SW	154,4	2	4	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita	
600	287-84260-5	45	31	N59° W / 45° NE	59,886	1	3	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Calcopirita
601	287-84260-6	70	36	N54° W / 70° NE	65,851	1	2	Anhidrita	Carbonato		
602	287-84260-7	85	215	N55° W / 85° SW	63,336	1	1	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	
603	287-84260-8	65	20	N70° W / 65° NE	64,471	1	2	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	
604	287-84260-9	64	235	N35° W / 64° SW	37,567	1	3	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	
605	287-89621-1	65	227	N43° W / 65° SW	74,652	1	2	Anhidrita	Turmalina	Carbonato	Yeso
606	287-89621-2	70	104	N14° E / 70° E	66,914	1	1	Anhidrita	Carbonato	Yeso	
607	287-89621-3	50	103	N13° E / 50° E	73,522	1	1				
608	287-89621-4	60	286	N16° E / 60° NW	71,869	1	2	Anhidrita	Carbonato	Yeso	
609	287-89621-5	78	109	N19° E / 78° SE	75,921	1	2	Anhidrita	Carbonato	Turmalina	
610	287-89621-6	74	103	N13° E / 74° E	71,895	1	1	Carbonato			
611	287-89621-7	70	111	N21° E / 70° SE	35,795	1	1				
612	287-89752-1	82	4	N86° W / 82° N	52,211	1	2	Anhidrita	Carbonato	Turmalina	Calcopirita
613	287-89752-10	80	209	N61° W / 80° SW	78	0,5	1	Anhidrita	Yeso	Calcopirita	Turmalina
614	287-89752-11	75	196	N74° W / 75° SW	91,907	2	3	Carbonato	Molibdenita	Turmalina	Anhidrita
615	287-89752-12	70	129	N39° E / 70° SE	55,324	1	2				
616	287-89752-13	74	33	N57° W / 74° NE	72,158	2	3	Óx. de Fe	Óx. de Cu	Anhidrita	Carbonato
617	287-89752-14	65	56	N34° W / 65° NE	83,634	1	1,5	Turmalina	Anhidrita	Carbonato	Bornita
618	287-89752-15	70	160	N70° E / 70° SE	74,158	2	3	Molibdenita	Calcopirita	Anhidrita	Tennantita
619	287-89752-16	68	34	N56° W / 68° NE	52,244	2	3	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Molibdenita
620	287-89752-17	70	192	N78° W / 70° S	105,89	1	2	Carbonato	Anhidrita	Yeso	Calcopirita
621	287-89752-18	80	195	N75° W / 80° S	46,005	2	3	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Molibdenita
622	287-89752-19	75	223	N47° W / 75° SW	103,91	1	2	Carbonato	Anhidrita	Yeso	Calcopirita
623	287-89752-20	85	214	N56° W / 85° SW	37,277	0,5	1,5	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Calcopirita
624	287-89752-21	80	209	N61° W / 80° SW	47,271	1	2	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Bornita
625	287-89752-22	80	228	N42° W / 80° SW	77,226	0,5	1,5	Carbonato	Yeso	Bornita	Anhidrita
626	287-89752-23	80	224	N46° W / 80° SW	81,352	1	2	Carbonato	Yeso	Anhidrita	Bornita
627	287-89752-24	61	356	N86° E / 61° N	62,699	1	2	Anhidrita	Turmalina	Yeso	Bornita
628	287-89752-25	75	285	N15° E / 75° W	77,961	1	2	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Calcopirita
629	287-89752-26	80	125	N35° E / 80° SE	48,395	0,5	1	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	
630	287-89752-27	85	311	N41° E / 85° NW	26,581	0,5	1	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita	Turmalina
631	287-89752-28	78	231	N39° W / 78° SW	65,446	1	2	Anhidrita	Calcopirita	Turmalina	
632	287-89752-3	84	206	N64° W / 84° SW	72,133	0,5	2	Turmalina	Anhidrita	Yeso	Calcopirita
633	287-89752-30	70	110	N20° E / 70° SE	52,697	0,5	1				
634	287-89752-4	70	323	N53° E / 70° NW	66,245	1	2	Anhidrita	Carbonato		
635	287-89752-8	70	323	N53° E / 70° NW	66,073	1	2	Limonitas	Óx. de Fe	Óx. de Cu	Anhidrita

TTE Sub6 Hun											
Nº	IdSoporte	Dip	DipDir	Rumbo/Manteo	Traza (m)	Esp. Min. (cm)	Esp. Máx. (cm)	Relleno 1	Relleno 2	Relleno 3	Relleno 4
636	287-89777-1	88	197	N73° W / 88° SW	61,436	1	2	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Turmalina
637	287-89777-10	62	206	N64° W / 62° SW	68,979	0,2	0,5	Cuarzo	Turmalina	Calcopirita	Salbanda
638	287-89777-11	71	4	N86° W / 71° N	139,2	2	3	Calcopirita	Anhidrita	Calcopirita	Tennantita
639	287-89777-12	73	159	N69° E / 73° SE	64,151	1	2	Turmalina	Calcopirita	Anhidrita	Carbonato
640	287-89777-13	65	27	N63° W / 65° NE	90,159	1,5	2,5	Anhidrita	Carbonato	Turmalina	
641	287-89777-14	56	213	N57° W / 56° SW	68,21	0,1	0,4	Yeso	Anhidrita	Carbonato	Clorita
642	287-89777-15	65	94	N4° E / 65° E	61,309	0,1	0,6	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Clorita
643	287-89777-16	75	100	N10° E / 75° E	48,789	1	2	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Clorita
644	287-89777-17	25	63	N27° W / 25° NE	68,84	0,5	1,5	Anhidrita	Yeso	Calcopirita	
645	287-89777-18	40	47	N43° W / 40° NE	51,247	1	2	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Yeso
646	287-89777-19	88	107	N17° E / 88° SE	114,38	0,5	1,5	Anhidrita	Clorita	Carbonato	
647	287-89777-2	78	26	N64° W / 78° NE	98,565	2	3	Yeso	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita
648	287-89777-20	65	106	N16° E / 65° SE	69,753	0,5	1,5	Anhidrita	Carbonato		
649	287-89777-21	70	107	N17° E / 70° SE	55,67	1	2	Anhidrita	Carbonato		
650	287-89777-22	60	107	N17° E / 60° SE	54,746	0,1	0,5	Anhidrita	Carbonato	Yeso	
651	287-89777-23	66	110	N20° E / 66° SE	104,29	0,5	1	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Calcopirita
652	287-89777-24	70	95	N5° E / 70° E	69,952	0,1	0,5	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	
653	287-89777-3	80	205	N65° W / 80° SW	84,706	0,5	1	Carbonato	Anhidrita	Yeso	Molibdenita
654	287-89777-4	80	184	N86° W / 80° S	97,927	1	2	Molibdenita	Anhidrita	Calcopirita	
655	287-89777-5	25	55	N35° W / 25° NE	70,088	2	3	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Turmalina
656	287-89777-6	66	43	N47° W / 66° NE	119,71	4	5	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita	Tennantita
657	287-89777-7	80	159	N69° E / 80° SE	67,287	1	1,6	Anhidrita	Yeso	Calcopirita	Bornita
658	287-89777-8	85	198	N72° W / 85° SW	84,949	3	4	Turmalina	Carbonato	Calcopirita	Anhidrita
659	287-89777-9	84	208	N62° W / 84° SW	66,753	0,5	1,5	Anhidrita	Cuarzo	Turmalina	Calcopirita
660	318-12715-1	70	3	N87° W / 70° N	26,09	1	3	Anhidrita	Clorita	Carbonato	Yeso
661	318-12715-13	62	336	N66° E / 62° NW	56,828	0,4	1	Carbonato	Anhidrita	Cuarzo	Calcopirita
662	318-12715-14	60	329	N59° E / 60° NW	26,273	0,4	0,4	Carbonato	Calcopirita	Yeso	Turmalina
663	318-12715-16	83	162	N72° E / 83° SE	67,657	0,5	2,5	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Turmalina
664	318-12715-17	87	147	N57° E / 87° SE	47,153	1	3	Carbonato	Calcopirita	Clorita	Cuarzo
665	318-12715-18	85	153	N63° E / 85° SE	86,349	0,5	1,5	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Clorita
666	318-12715-19	85	184	N86° W / 85° S	38,589	0,5	3	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	
667	318-12715-2	85	15	N75° W / 85° N	72,908	1	7	Anhidrita	Clorita	Carbonato	Salbanda
668	318-12715-20	80	161	N71° E / 80° SE	20,463	0,5	1,5	Cuarzo	Calcopirita	Carbonato	Turmalina
669	318-12715-23	72	146	N56° E / 72° SE	27,92	0,3	1,5	Carbonato	Cuarzo	Anhidrita	
670	318-12715-24	78	153	N63° E / 78° SE	30,745	1	1,5	Clorita	Anhidrita	Calcopirita	Cuarzo
671	318-12715-26	75	173	N83° E / 75° S	40,112	0,5	1,2	Anhidrita	Clorita	Carbonato	Calcopirita
672	318-12715-27	88	171	N81° E / 88° S	47,743	0,5	8	Anhidrita	Carbonato	Clorita	
673	318-12715-29	80	154	N64° E / 80° SE	21,89	0,3	0,8	Anhidrita	Clorita	Carbonato	
674	318-12715-3	77	186	N84° W / 77° S	52,834	1	10	Anhidrita	Carbonato	Clorita	Cuarzo
675	318-12715-30	70	11	N79° W / 70° N	49,273	0,5	4	Anhidrita	Carbonato	Clorita	
676	318-12715-34	85	161	N71° E / 85° SE	50,79	0,1	1	Clorita	Turmalina	Carbonato	Molibdenita
677	318-12715-36	85	183	N87° W / 85° S	18,027	0,2	1	Anhidrita	Calcopirita	Carbonato	Molibdenita
678	318-12715-38	84	180	N90° E / 84° S	69,295	0,1	0,8	Anhidrita	Clorita	Carbonato	
679	318-12715-39	88	157	N67° E / 88° SE	42,228	2	4	Anhidrita	Cuarzo	Calcopirita	Carbonato
680	318-12715-40	85	159	N69° E / 85° SE	21,783	0,3	2	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	
681	318-12715-41	84	12	N78° W / 84° N	10,272	1	4	Anhidrita	Carbonato	Yeso	
682	318-12715-43	87	171	N81° E / 87° S	40,881	0,5	2	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Clorita
683	318-12715-45	30	35	N55° W / 30° NE	15,851	0,2	1	Anhidrita	Calcopirita	Turmalina	Salbanda
684	318-12715-48	77	184	N86° W / 77° S	23,928	0,5	2	Anhidrita	Clorita	Carbonato	
685	318-12715-5	70	2	N88° W / 70° N	98,568	1	3	Anhidrita	Carbonato	Clorita	Calcopirita
686	318-12715-53	60	193	N77° W / 60° S	24,545	1	5	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Yeso
687	318-12715-55	83	155	N65° E / 83° SE	70,897	0,5	1,5	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Clorita
688	318-12715-56	79	190	N80° W / 79° S	13,929	1,5	6	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita	Tennantita
689	318-12715-57	77	175	N85° E / 77° S	14,211	1	2	Carbonato	Anhidrita	Salbanda	Calcopirita
690	318-12715-60	30	216	N54° W / 30° SW	23,418	0,4	2	Anhidrita	Calcopirita	Calcita	Carbonato
691	318-12749-1	85	17	N73° W / 85° NE	58,635	0,5	1	Anhidrita	Clorita	Calcopirita	
692	318-12749-10	75	173	N83° E / 75° S	56,68	4	10	Anhidrita	Carbonato	Salbanda	
693	318-12749-18	84	348	N78° E / 84° N	37,392	2	3	Anhidrita	Carbonato	Bornita	Molibdenita
694	318-12749-19	90	359	N89° E / 90° N	21,617	0,1	1	Anhidrita	Clorita	Carbonato	
695	318-12749-2	90	19	N71° W / 90° NE	65,035	0,2	1,2	Anhidrita	Calcita	Clorita	Calcopirita
696	318-12749-20	70	128	N38° E / 70° SE	24,094	1	4	Anhidrita	Clorita	Carbonato	
697	318-12749-21	75	105	N15° E / 75° E	7,64	1	6	Anhidrita	Cuarzo	Carbonato	Clorita
698	318-12749-28	90	342	N72° E / 90° NW	27,126	0,5	7	Anhidrita	Carbonato	Clorita	
699	318-12749-29	85	164	N74° E / 85° SE	59,312	1	2,5	Anhidrita	Bornita	Yeso	
700	318-12749-3	78	328	N58° E / 78° NW	38,651	1	2	Anhidrita	Carbonato	Turmalina	Molibdenita
701	318-12749-30	85	336	N66° E / 85° NW	66,079	0,5	2	Turmalina	Carbonato	Clorita	Anhidrita
702	318-12749-4	85	157	N67° E / 85° SE	36,75	1	3	Clorita	Calcita	Turmalina	Molibdenita
703	318-12749-5	70	175	N85° E / 70° S	11,869	0,7	1,5	Anhidrita	Clorita	Bornita	Carbonato
704	318-12749-6	70	187	N83° W / 70° S	14,339	0,5	1,5	Carbonato	Cuarzo	Anhidrita	Tennantita
705	318-12749-7	85	330	N60° E / 85° NW	50,253	1	10	Anhidrita	Carbonato	Cuarzo	
706	318-12749-8	76	186	N84° W / 76° S	55,606	1	5	Anhidrita	Carbonato	Bornita	Molibdenita

TTE Sub6 Hun											
Nº	IdSoporte	Dip	DipDir	Rumbo/Manteo	Traza (m)	Esp. Min. (cm)	Esp. Máx. (cm)	Relleno 1	Relleno 2	Relleno 3	Relleno 4
707	318-14334-1	83	21	N69° W / 83° NE	136,59	0,2	0,5	Anhidrita	Carbonato	Clorita	Molibdenita
708	318-14334-4	72	173	N83° E / 72° S	64,281	0,3	0,6	Anhidrita	Clorita	Carbonato	
709	318-14334-5	64	175	N85° E / 64° S	91,001	0,2	0,6	Anhidrita	Clorita	Carbonato	
710	318-14744-9	85	181	N89° W / 85° S	51,867	0,2	1	Anhidrita	Clorita	Carbonato	Bornita
711	318-14806-2	88	177	N87° E / 88° S	106,27	0,8	2,6	Anhidrita	Salbanda	Yeso	Carbonato
712	318-15335-1	65	3	N87° W / 65° N	61,44	0,8	2	Anhidrita	Carbonato	Turmalina	Calcopirita
713	318-16135-11	72	120	N30° E / 72° SE	29,496	0,4	0,5	Anhidrita	Clorita	Carbonato	
714	318-16135-14	81	108	N18° E / 81° SE	50,631	0,2	0,8	Anhidrita	Clorita	Salbanda	
715	318-16135-17	90	2	N88° W / 90° N	108,96	0,5	0,5	Anhidrita	Calcopirita	Tennantita	
716	318-16135-18	90	4	N86° W / 90° N	68,79	0,5	1	Salbanda	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita
717	318-16135-4	80	173	N83° E / 80° S	53,435	0,2	0,7	Anhidrita	Clorita	Carbonato	
718	318-16135-5	60	23	N67° W / 60° NE	25,894	3	7	Anhidrita	Carbonato	Salbanda	Clorita
719	318-19534-1	54	25	N65° W / 54° NE	34,858	0,5	2	Anhidrita	Carbonato	Ankerita	Bornita
720	318-27970-15	88	208	N62° W / 88° SW	110,39	0,2	2	Anhidrita	Ankerita	Carbonato	Bornita
721	318-27970-16	45	27	N63° W / 45° NE	63,335	1	5	Anhidrita	Carbonato	Clorita	Bornita
722	318-27970-17	80	13	N77° W / 80° N	93,858	0,4	3	Anhidrita	Molibdenita	Calcopirita	Carbonato
723	318-27970-18	78	147	N57° E / 78° SE	61,573	0,4	3	Anhidrita	Carbonato	Clorita	Ankerita
724	318-27970-19	84	152	N62° E / 84° SE	60,964	0,3	3	Anhidrita	Carbonato	Bornita	Molibdenita
725	387-87938-17	85	172	N82° E / 85° S	247,53	0,5	10	Yeso	Anhidrita	Tennantita	Carbonato
726	387-87938-19	73	170	N80° E / 73° S	89,164	0,5	4	Anhidrita	Yeso	Turmalina	Molibdenita
727	387-87938-20	88	164	N74° E / 88° SE	158,96	0,5	5	Carbonato	Anhidrita	Tennantita	Molibdenita
728	387-87938-22	80	153	N63° E / 80° SE	200,17	0,5	5	Anhidrita	Yeso	Molibdenita	Tennantita
729	387-88206-1	75	167	N77° E / 75° S	55,804	0,5	3,5	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Molibdenita
730	387-88206-2	90	334	N64° E / 90° NW	126,54	0,3	2	Anhidrita	Molibdenita	Carbonato	Bornita
731	387-88206-3	70	356	N86° E / 70° N	63,27	0,3	3,5	Anhidrita	Yeso	Molibdenita	Carbonato
732	387-88206-4	85	166	N76° E / 85° S	71,012	0,2	2	Anhidrita	Yeso	Molibdenita	Turmalina
733	387-88206-5	90	357	N87° E / 90° N	59,859	0,5	3,5	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Molibdenita
734	387-88206-7	90	350	N80° E / 90° N	132,69	1	10	Yeso	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita
735	387-88319-1	68	148	N58° E / 68° SE	150,45	0,3	1,5	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Clorita
736	387-88319-2	75	131	N41° E / 75° SE	91,195	0,5	2	Yeso	Anhidrita	Tennantita	Calcopirita
737	387-88319-3	70	135	N45° E / 70° SE	80,965	0,1	3	Yeso	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita
738	387-88319-4	79	134	N44° E / 79° SE	83,869	0,5	9	Yeso	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita
739	387-88319-5	79	150	N60° E / 79° SE	49,426	0,5	5	Yeso	Calcopirita	Carbonato	Anhidrita
740	387-95067-1	85	336	N66° E / 85° NW	120,34	0,5	3	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Tennantita
741	387-95067-2	75	150	N60° E / 75° SE	101,47	0,1	8	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Calcopirita
742	387-95123-1	85	340	N70° E / 85° NW	72,87	0,1	1,5	Yeso	Anhidrita	Tennantita	Molibdenita
743	387-95123-3	70	163	N73° E / 70° SE	73,256	0,5	2	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Bornita
744	387-95366-7	80	162	N72° E / 80° SE	59,806	0,3	2	Yeso	Anhidrita	Molibdenita	
745	387-95366-8	82	168	N78° E / 82° S	94,924	0,3	1,5	Anhidrita	Yeso	Molibdenita	Turmalina
746	387-95456-1	75	18	N72° W / 75° NE	144	0,1	3	Yeso	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita
747	387-95456-2	61	144	N54° E / 61° SE	59,831	0,3	3,5	Anhidrita	Yeso	Molibdenita	Carbonato
748	409-100466-1	75	159	N69° E / 75° SE	149,18	1	2				
749	409-100466-2	85	157	N67° E / 85° SE	11,39	1	2,5	Anhidrita	Yeso	Carbonato	
750	409-100479-1	80	149	N59° E / 80° SE	218,74	3	10	Anhidrita	Yeso	Calcopirita	Clorita
751	409-100479-2	80	323	N53° E / 80° NW	39,147	2	4	Yeso	Anhidrita	Molibdenita	Clorita
752	409-100482-1	75	332	N62° E / 75° NW	144,41	1	3	Yeso	Anhidrita	Carbonato	
753	409-100482-2	50	205	N65° W / 50° SW	62,263	1	2	Carbonato	Yeso	Molibdenita	
754	409-100482-3	35	195	N75° W / 35° S	51,973	2	4	Yeso	Carbonato	Calcopirita	Molibdenita
755	409-100537-1	85	344	N74° E / 85° NW	68,417	4	10	Anhidrita	Carbonato	Yeso	Cuarzo
756	409-100537-2	87	340	N70° E / 87° NW	44,162	3	5	Anhidrita	Carbonato	Turmalina	Tennantita
757	409-100537-3	85	140	N50° E / 85° SE	129,84	2	4	Yeso	Molibdenita	Anhidrita	Carbonato
758	409-100537-4	73	154	N64° E / 73° SE	113,65	1	5	Yeso	Calcopirita	Molibdenita	
759	409-100537-5	80	154	N64° E / 80° SE	126,45	2	10	Yeso	Carbonato	Calcopirita	Anhidrita
760	409-100537-6	74	154	N64° E / 74° SE	111,26	0,9	2	Yeso	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita
761	409-100537-7	77	135	N45° E / 77° SE	92,927	1	3	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Molibdenita
762	409-100537-8	75	250	N20° W / 75° SW	59,775	1,5	2,5	Yeso	Anhidrita	Calcopirita	Carbonato
763	409-100537-9	80	144	N54° E / 80° SE	61,383	3	7	Yeso	Molibdenita	Bornita	Anhidrita
764	409-103914-1	82	7	N83° W / 82° N	111,82	2	6	Yeso	Anhidrita	Carbonato	Bornita
765	409-110058-1	85	170	N80° E / 85° S	81,356	0,2	2	Yeso	Anhidrita	Bornita	Calcopirita
766	409-110058-12	60	201	N69° W / 60° SW	101,07	1	3	Yeso	Anhidrita	Calcopirita	Bornita
767	409-110058-14	50	201	N69° W / 50° SW	65,292	0,5	3	Anhidrita	Yeso	Calcopirita	
768	409-110058-15	55	312	N42° E / 55° NW	49,09	0,4	3	Yeso	Anhidrita	Tennantita	
769	409-110058-16	35	19	N71° W / 35° NE	101,84	0,5	2,5	Yeso	Calcopirita	Molibdenita	Cuarzo
770	409-110058-17	50	193	N77° W / 50° S	85,782	0,5	1,5	Yeso	Molibdenita	Anhidrita	Calcopirita
771	409-110058-2	80	167	N77° E / 80° S	86,824	0,5	3	Yeso	Carbonato	Calcopirita	Molibdenita
772	409-110058-3	70	320	N50° E / 70° NW	67,72	0,5	2	Yeso	Carbonato	Calcopirita	
773	409-110058-4	85	158	N68° E / 85° SE	79,644	1	7	Yeso	Anhidrita	Calcopirita	
774	409-110058-5	80	164	N74° E / 80° SE	66,622	1	8	Yeso	Anhidrita	Calcopirita	Carbonato
775	409-110228-2	70	325	N55° E / 70° NW	85,636	5	15	Yeso	Anhidrita	Calcopirita	
776	409-110228-3	75	174	N84° E / 75° S	85,1	1	2,5	Yeso	Anhidrita	Molibdenita	
777	409-114272-1	80	144	N54° E / 80° SE	67,777	2	7	Yeso	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita

TTE Sub6 Hun											
Nº	IdSoporte	Dip	DipDir	Rumbo/Manteo	Traza (m)	Esp. Min. (cm)	Esp. Máx. (cm)	Relleno 1	Relleno 2	Relleno 3	Relleno 4
778	409-114272-11	85	167	N77° E / 85° S	68,607	5	10	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Molibdenita
779	409-114272-3	35	203	N67° W / 35° SW	43,793	1	2	Yeso	Anhidrita		
780	409-114272-4	45	194	N76° W / 45° S	142,98	0,5	2,5	Yeso	Anhidrita	Calcopirita	
781	409-114272-5	85	147	N57° E / 85° SE	83,494	1,5	2	Yeso	Anhidrita	Calcopirita	Molibdenita
782	409-114272-6	80	161	N71° E / 80° SE	92,504	3	15	Yeso	Anhidrita	Molibdenita	
783	409-114272-7	85	344	N74° E / 85° NW	96,61	2	7	Yeso	Molibdenita	Anhidrita	
784	409-114272-8	85	162	N72° E / 85° SE	83,53	2	4	Yeso	Anhidrita	Molibdenita	Calcopirita
785	409-114272-9	75	141	N51° E / 75° SE	72,696	3	5	Yeso	Anhidrita	Carbonato	Molibdenita
786	409-114287-1	83	160	N70° E / 83° SE	152,27	1	4	Yeso	Anhidrita	Calcopirita	
787	409-114287-2	75	146	N56° E / 75° SE	159,58	2	6	Yeso	Anhidrita	Molibdenita	
788	409-114287-3	70	340	N70° E / 70° NW	108,27	1	3	Yeso	Anhidrita	Calcopirita	
789	409-92760-11	72	180	N90° E / 72° S	98,165	1,2	3	Yeso	Carbonato	Anhidrita	Calcopirita
790	409-92760-8	70	340	N70° E / 70° NW	86,931	1,5	3	Yeso	Anhidrita	Carbonato	
791	409-92760-9	69	163	N73° E / 69° SE	100,79	1	3	Carbonato	Anhidrita	Yeso	Calcopirita
792	409-96269-1	85	174	N84° E / 85° S	84,191	1	3	Anhidrita	Yeso	Calcopirita	Carbonato
793	409-96269-2	72	14	N76° W / 72° N	66,544	2	4	Anhidrita	Bornita	Yeso	Carbonato
794	409-96269-3	73	185	N85° W / 73° S	120,73	1	4	Yeso	Anhidrita	Carbonato	Calcopirita
795	409-96269-4	40	193	N77° W / 40° S	35,794	1	6	Anhidrita	Calcopirita	Molibdenita	
796	409-96269-5	58	200	N70° W / 58° SW	118,1	1	3	Yeso	Anhidrita	Calcopirita	Carbonato
797	409-96269-6	84	174	N84° E / 84° S	102,27	0,8	3,5	Yeso	Anhidrita	Bornita	Molibdenita
798	409-96269-7	80	163	N73° E / 80° SE	103,87	1	4	Yeso	Carbonato	Calcopirita	Anhidrita
799	409-96269-8	83	333	N63° E / 83° NW	67,427	0,8	3	Anhidrita	Yeso	Carbonato	Molibdenita



## Anexo C: Datos de Espesores de las Fallas del Sub6

Tabla C1: Frecuencias acumuladas y absolutas de las fallas del Sub6.

E. Min. (cm)	Frec. Abs. E. Min. (N°)	Frec. Abs. E. Min. (%)	Frec. Ac. E. Min. (N°)	Frec. Ac. E. Min. (%)	E. Máx. (cm)	Frec. Abs. E. Max. (N°)	Frec. Abs. E. Max. (%)	Frec. Ac. E. Max. (N°)	Frec. Ac. E. Max. (%)	E. Tip. (cm)	Frec. Abs. E. Tip. (N°)	Frec. Abs. E. Tip. (%)	Frec. Ac. E. Tip. (N°)	Frec. Ac. E. Tip. (%)
0	11	0,9%	11	0,9%	0	11	0,9%	11	0,9%	0	209	4,4%	209	4,4%
0,1	31	2,7%	42	3,6%	0,1	3	0,3%	14	1,2%	0,1	35	0,7%	244	5,2%
0,2	55	4,7%	97	8,4%	0,2	13	1,1%	27	2,3%	0,12	1	0,0%	245	5,2%
0,3	96	8,3%	193	16,7%	0,3	39	3,4%	66	5,7%	0,15	1	0,0%	246	5,2%
0,4	38	3,3%	231	19,9%	0,4	29	2,5%	95	8,2%	0,2	149	3,2%	395	8,4%
0,5	239	20,6%	470	40,6%	0,5	103	8,9%	198	17,1%	0,3	333	7,0%	728	15,4%
0,6	6	0,5%	476	41,1%	0,6	17	1,5%	215	18,6%	0,4	234	4,9%	962	20,3%
0,7	14	1,2%	490	42,3%	0,7	12	1,0%	227	19,6%	0,5	538	11,4%	1500	31,7%
0,8	32	2,8%	522	45,0%	0,8	24	2,1%	251	21,7%	0,6	140	3,0%	1640	34,7%
0,9	2	0,2%	524	45,2%	0,9	2	0,2%	253	21,8%	0,7	222	4,7%	1862	39,4%
1	341	29,4%	865	74,6%	1	188	16,2%	441	38,1%	0,8	221	4,7%	2083	44,0%
1,2	4	0,3%	869	75,0%	1,1	1	0,1%	442	38,1%	0,9	33	0,7%	2116	44,7%
1,3	1	0,1%	870	75,1%	1,2	14	1,2%	456	39,3%	1	1000	21,1%	3116	65,9%
1,5	36	3,1%	906	78,2%	1,3	1	0,1%	457	39,4%	1,1	11	0,2%	3127	66,1%
2	146	12,6%	1052	90,8%	1,5	80	6,9%	537	46,3%	1,2	49	1,0%	3176	67,2%
2,5	6	0,5%	1058	91,3%	1,6	1	0,1%	538	46,4%	1,25	1	0,0%	3177	67,2%
3	43	3,7%	1101	95,0%	1,7	1	0,1%	539	46,5%	1,3	37	0,8%	3214	68,0%
3,5	2	0,2%	1103	95,2%	1,8	1	0,1%	540	46,6%	1,4	16	0,3%	3230	68,3%
4	18	1,6%	1121	96,7%	1,9	1	0,1%	541	46,7%	1,41	1	0,0%	3231	68,3%
5	13	1,1%	1134	97,8%	2	202	17,4%	743	64,1%	1,5	345	7,3%	3576	75,6%
6	3	0,3%	1137	98,1%	2,2	2	0,2%	745	64,3%	1,6	11	0,2%	3587	75,9%
7	3	0,3%	1140	98,4%	2,5	25	2,2%	770	66,4%	1,7	16	0,3%	3603	76,2%
10	13	1,1%	1153	99,5%	3	144	12,4%	914	78,9%	1,75	1	0,0%	3604	76,2%
12	1	0,1%	1154	99,6%	3,5	11	0,9%	925	79,8%	1,8	27	0,6%	3631	76,8%
15	2	0,2%	1156	99,7%	4	75	6,5%	1000	86,3%	1,9	4	0,1%	3635	76,9%
20	2	0,2%	1158	99,9%	5	48	4,1%	1048	90,4%	2	580	12,3%	4215	89,1%
30	1	0,1%	1159	100,0%	5,5	1	0,1%	1049	90,5%	2,1	5	0,1%	4220	89,2%
	1159				6	22	1,9%	1071	92,4%	2,2	5	0,1%	4225	89,3%
					7	15	1,3%	1086	93,7%	2,3	8	0,2%	4233	89,5%
					7,5	1	0,1%	1087	93,8%	2,4	4	0,1%	4237	89,6%
					8	8	0,7%	1095	94,5%	2,5	70	1,5%	4307	91,1%
					9	1	0,1%	1096	94,6%	2,7	2	0,0%	4309	91,1%
					10	28	2,4%	1124	97,0%	2,8	1	0,0%	4310	91,1%
					12	3	0,3%	1127	97,2%	2,9	1	0,0%	4311	91,2%
					15	9	0,8%	1136	98,0%	3	206	4,4%	4517	95,5%
					16	1	0,1%	1137	98,1%	3,5	16	0,3%	4533	95,9%
					20	14	1,2%	1151	99,3%	4	67	1,4%	4600	97,3%
					25	1	0,1%	1152	99,4%	4,5	2	0,0%	4602	97,3%
					30	2	0,2%	1154	99,6%	5	49	1,0%	4651	98,4%
					35	1	0,1%	1155	99,7%	6	18	0,4%	4669	98,7%
					40	1	0,1%	1156	99,7%	7	12	0,3%	4681	99,0%
					50	3	0,3%	1159	100,0%	8	8	0,2%	4689	99,2%
						1159				10	21	0,4%	4710	99,6%
										12	4	0,1%	4714	99,7%
										15	7	0,1%	4721	99,8%
										20	5	0,1%	4726	99,9%
										25	1	0,0%	4727	100,0%
										30	1	0,0%	4728	100,0%
										50	1	0,0%	4729	100,0%
											4729	100,0%		

Abreviaturas:

E. Mín.: Espesor mínimo (cm)

E. Máx.: Espesor máximo (cm)

E. Típ.: Espesor típico (cm)

Frec. Abs.: Frecuencia absoluta (N° de Fallas o % de Fallas)

Frec. Ac.: Frecuencia acumulada (N° de Fallas o % de Fallas)

## Anexo D: Cálculo del Esfuerzo Normal de las Fallas de RENO-Dacita

Tabla D1: Esfuerzo normal de las fallas de RENO-Dacita.

NºFalla	Sector	IdSoporte	Dip	DipDir	$\beta$	$\sigma_1$	$\sigma_3$	$\cos(2\beta)$	$\sigma_n$ (MPa)
1	Hw	16-10055-1	85	165	85,0	63	21	-0,985	62,7
2	Hw	16-10409-2	85	343	85,0	63	21	-0,985	62,7
3	Hw	16-10409-4	65	26	58,3	63	21	-0,447	51,4
4	Hw	16-10409-5	28	190	25,7	63	21	0,623	28,9
5	Hw	16-10409-6	77	159	76,9	63	21	-0,898	60,9
6	N	16-17191-1	80	159	71,1	58	17	-0,790	53,7
7	N	16-17191-11	90	344	90,0	58	17	-1,000	58,0
8	N	16-17191-6	80	210	79,9	58	17	-0,939	56,7
9	N	16-17191-7	80	199	79,4	58	17	-0,933	56,6
10	Hw	16-18704-12	82	161	82,0	63	21	-0,961	62,2
11	Hw	16-18704-13	70	159	69,9	63	21	-0,764	58,0
12	S	16-18704-2	70	110	69,1	72	19	-0,745	65,2
13	N	16-18771-33	76	200	75,3	58	17	-0,871	55,4
14	Hw	16-6275-39	90	341	90,0	63	21	-1,000	63,0
15	Hw	16-6275-40	75	161	75,0	63	21	-0,865	60,2
16	Hw	16-6275-42	80	158	79,9	63	21	-0,939	61,7
17	Hw	16-6275-44	80	356	79,8	63	21	-0,937	61,7
18	S	16-6680-68	90	356	90,0	72	19	-1,000	72,0
19	N	16-67637-1	76	132	15,6	58	17	0,855	20,0
20	Hw	16-7202-64	73	359	72,5	63	21	-0,819	59,2
21	Hw	16-7202-65	79	163	79,0	63	21	-0,927	61,5
22	Hw	16-7202-66	65	158	64,8	63	21	-0,638	55,4
23	S	16-7213-10	73	172	67,0	72	19	-0,694	63,9
24	S	16-7213-11	80	352	76,2	72	19	-0,887	69,0
25	S	16-7213-14	90	355	90,0	72	19	-1,000	72,0
26	S	16-7213-15	69	166	64,0	72	19	-0,616	61,8
27	S	16-7213-16	70	164	65,8	72	19	-0,663	63,1
28	S	16-7213-18	90	2	90,0	72	19	-1,000	72,0
29	S	16-7213-19	75	175	68,6	72	19	-0,733	64,9
30	S	16-7213-2	70	172	63,2	72	19	-0,592	61,2
31	S	16-7213-20	90	347	90,0	72	19	-1,000	72,0
32	S	16-7213-21	90	359	90,0	72	19	-1,000	72,0
33	S	16-7213-25	82	337	80,9	72	19	-0,950	70,7
34	S	16-7213-27	73	176	65,4	72	19	-0,655	62,8
35	S	16-7213-28	62	173	53,1	72	19	-0,278	52,9
36	Hw	16-7213-3	90	330	90,0	63	21	-1,000	63,0
37	S	16-7213-4	85	166	83,7	72	19	-0,976	71,4
38	S	16-7213-6	66	182	52,9	72	19	-0,271	52,7
39	S	16-7213-7	74	180	65,0	72	19	-0,643	62,6
40	S	16-7213-8	60	126	60,0	72	19	-0,500	58,7
41	S	16-7213-9	60	122	59,9	72	19	-0,496	58,6
42	S	16-7218-1	85	346	83,7	72	19	-0,976	71,4
43	S	16-7218-14	66	346	60,5	72	19	-0,516	59,2
44	S	16-7218-15	70	352	63,2	72	19	-0,592	61,2
45	S	16-7218-16	83	6	77,0	72	19	-0,898	69,3
46	S	16-7218-17	90	344	90,0	72	19	-1,000	72,0
47	S	16-7218-18	65	345	59,7	72	19	-0,492	58,5
48	S	16-7218-2	90	347	90,0	72	19	-1,000	72,0
49	S	16-7218-3	90	346	90,0	72	19	-1,000	72,0
50	S	16-7218-33	90	359	90,0	72	19	-1,000	72,0
51	S	16-7218-36	75	185	63,8	72	19	-0,610	61,7
52	S	16-7218-37	75	173	69,2	72	19	-0,749	65,3
53	S	16-7218-38	66	0	54,1	72	19	-0,313	53,8
54	S	16-7218-39	77	358	70,2	72	19	-0,771	65,9
55	S	16-7218-4	83	341	81,7	72	19	-0,958	70,9
56	S	16-7218-40	70	9	53,1	72	19	-0,279	52,9
57	S	16-7218-42	60	1	46,2	72	19	-0,041	46,6
58	S	16-7218-43	75	213	18,0	72	19	0,809	24,1
59	S	16-7218-44	90	34	90,0	72	19	-1,000	72,0
60	S	16-7218-47	77	280	75,3	72	19	-0,872	68,6
61	S	16-7218-49	81	282	80,0	72	19	-0,940	70,4
62	S	16-7218-5	69	175	60,6	72	19	-0,519	59,2
63	S	16-7218-52	60	9	40,0	72	19	0,173	40,9
64	S	16-7218-57	67	292	66,2	72	19	-0,674	63,4
65	S	16-7218-58	90	290	90,0	72	19	-1,000	72,0

NºFalla	Sector	IdSoporte	Dip	DipDir	$\beta$	$\sigma_1$	$\sigma_3$	$\cos(2\beta)$	$\sigma_n$ (MPa)
66	S	16-7218-60	88	292	87,9	72	19	-0,997	71,9
67	S	16-7218-75	72	167	67,3	72	19	-0,702	64,1
68	Hw	16-7218-9	84	2	83,7	63	21	-0,976	62,5
69	N	16-8077-1	80	207	79,8	58	17	-0,937	56,7
70	N	16-9243-36	80	192	78,9	58	17	-0,926	56,5
71	S	287-84260-11	88	200	83,6	72	19	-0,975	71,3
72	Hw	287-84260-2	80	153	79,8	63	21	-0,937	61,7
73	N	287-87991-9	80	354	76,2	58	17	-0,887	55,7
74	N	318-12930-16	75	160	63,2	58	17	-0,593	49,7
75	N	318-12930-17	75	165	66,0	58	17	-0,669	51,2
76	S	318-14754-1	75	351	69,9	72	19	-0,763	65,7
77	S	318-14754-2	88	357	87,0	72	19	-0,994	71,9
78	S	318-14754-4	76	183	66,5	72	19	-0,682	63,6
79	S	318-14754-5	75	189	61,1	72	19	-0,532	59,6
80	S	318-14877-1	65	182	51,6	72	19	-0,227	51,5
81	Hw	318-16485-1	25	217	16,0	63	21	0,848	24,2
82	Hw	318-16799-22	73	5	72,0	63	21	-0,809	59,0
83	S	318-16807-10	81	20	62,9	72	19	-0,584	61,0
84	N	318-16807-4	63	203	62,2	58	17	-0,565	49,1
85	S	318-16807-9	60	170	52,2	72	19	-0,247	52,1
86	S	318-20109-11	78	354	73,0	72	19	-0,829	67,5
87	S	318-20109-12	82	152	81,3	72	19	-0,954	70,8
88	S	318-20109-14	82	159	80,7	72	19	-0,948	70,6
89	S	318-20109-17	89	178	88,4	72	19	-0,999	72,0
90	Hw	387-87938-11	70	167	70,0	63	21	-0,766	58,1
91	Hw	387-87938-13	80	174	79,9	63	21	-0,938	61,7
92	Hw	387-87938-15	70	152	69,5	63	21	-0,755	57,9
93	Hw	387-87938-16	88	342	88,0	63	21	-0,998	62,9
94	Hw	387-87938-2	85	166	85,0	63	21	-0,985	62,7
95	Hw	387-87938-3	85	170	85,0	63	21	-0,985	62,7
96	Hw	387-87938-4	75	166	75,0	63	21	-0,866	60,2
97	Hw	387-87938-6	75	147	74,3	63	21	-0,853	59,9
98	Hw	387-87938-7	75	157	74,9	63	21	-0,864	60,1
99	Hw	387-87938-8	65	149	64,1	63	21	-0,619	55,0
100	Hw	387-87938-9	70	164	70,0	63	21	-0,766	58,1
101	Hw	387-88319-6	88	173	88,0	63	21	-0,998	62,9
102	Hw	387-95366-12	73	149	72,4	63	21	-0,816	59,1
103	Hw	387-95366-13	70	148	69,2	63	21	-0,747	57,7
104	Hw	387-95366-9	70	153	69,6	63	21	-0,757	57,9
105	Hw	387-95371-2	70	147	69,1	63	21	-0,745	57,6
106	Hw	387-95371-3	75	136	73,0	63	21	-0,828	59,4
107	Hw	387-95371-4	73	158	72,9	63	21	-0,827	59,4
108	Hw	387-95430-10	82	170	82,0	63	21	-0,961	62,2
109	Hw	387-95430-11	75	148	74,3	63	21	-0,854	59,9
110	Hw	387-95430-3	75	151	74,6	63	21	-0,858	60,0
111	Hw	387-95430-5	75	149	74,4	63	21	-0,856	60,0
112	Hw	387-95430-6	75	21	71,7	63	21	-0,802	58,8
113	Hw	387-95430-7	79	161	79,0	63	21	-0,927	61,5
114	Hw	387-95430-8	89	344	89,0	63	21	-0,999	63,0
115	Hw	387-95430-9	88	345	88,0	63	21	-0,998	62,9
116	N	409-100614-12	65	189	61,9	58	17	-0,557	48,9
117	Hw	409-100614-14	70	172	69,9	63	21	-0,763	58,0
118	Hw	409-100614-15	70	157	69,8	63	21	-0,762	58,0
119	Hw	409-103927-3	73	150	72,4	63	21	-0,818	59,2
120	Hw	409-103927-7	78	157	77,9	63	21	-0,912	61,2
121	Hw	409-103927-8	85	156	84,9	63	21	-0,984	62,7
122	Hw	409-103927-9	78	144	77,2	63	21	-0,901	60,9
123	Hw	409-114287-41	70	151	69,4	63	21	-0,753	57,8
124	Hw	409-114287-42	75	168	75,0	63	21	-0,866	60,2
125	Hw	409-114287-43	75	168	75,0	63	21	-0,866	60,2
126	Hw	409-114287-44	80	61	53,9	63	21	-0,306	48,4
127	Hw	409-114287-47	85	339	85,0	63	21	-0,985	62,7
128	N	409-92767-2	48	201	46,7	58	17	-0,060	38,7
129	N	409-96458-1	81	190	79,8	58	17	-0,938	56,7
130	Hw	466-110239-53	85	333	84,9	63	21	-0,984	62,7
131	Hw	466-110239-54	82	159	82,0	63	21	-0,961	62,2
132	Hw	466-110239-56	83	356	82,9	63	21	-0,969	62,4
133	Hw	466-110239-57	86	151	85,9	63	21	-0,990	62,8
134	Hw	16-6275-32	74	357	73,7	63	21	-0,842	59,7
135	N	16-9243-37	81	185	79,3	58	17	-0,931	56,6
136	N	318-16807-5	85	172	82,8	58	17	-0,969	57,4

## Anexo E: Cálculo del JRC de las Fallas de RENO-Dacita

A continuación se exhiben los principales procedimientos para calcular el JRC de las fallas del Mapa de Resistencia al Corte.

**Procedimiento 1:** Primero que todo se debe tener información de las fallas que existen dentro del polígono de estudio RENO-Dacita. Para ello se selecciona un polígono en Xilab y se exporta a un archivo Excel la información de las fallas de RENO-Dacita (Anexo A: Xilab, Procedimiento 1). Además se debe tener la morfología de cada una de las 136 fallas, por lo cual, se exporta una por una desde Xilab hacia un archivo de dibujo (.dwg o .dxf) (Anexo A: Xilab, Procedimiento 3).

**Procedimiento 2:** Trabajo con la morfología de las fallas en Rhinoceros.

Rhinoceros 3D es un *software* de diseño asistido por computadora, originalmente como un agregado para AutoCAD de Autodesk. El programa es comúnmente usado para el diseño industrial, la arquitectura, el diseño naval, el diseño de joyas, el diseño automotriz, ingeniería, así como en la industria del diseño gráfico y multimedia.

Los pasos a seguir en Rhinoceros con el archivo .dxf en donde aparece una falla son:

Primero se hace clic en "Zoom Extensión" para observar de cerca toda la falla (Fig. E1a). Luego se hace clic en la novena pestaña de izquierda a derecha llamada "Curvas", y en el octavo ícono "Puntos Activados" (Fig. E1b), se selecciona todo (Fig. E2a) y "Enter". De esta manera se verán unos puntos en la curva (Fig. E2b), luego se escribe en comando "LíneaATravesDePt" para que aparezca la línea de mejor ajuste de la falla (Fig. E2b), y "Enter". Luego se selecciona toda la curva y nuevamente "Enter", en ese momento aparece la línea de mejor ajuste (Fig. E3a).

La opción "Superior" (Fig. E3a) sirve para que esta vista ocupe toda la pantalla y se vea más grande la estructura, seleccionar todo nuevamente, opción "Transformar" y entonces "Mover" (Fig. E3b). Se selecciona el extremo inferior izquierdo de la línea (Fin de la nueva línea creada) y se digita "0" (Fig. E4a), para que la línea se traslade al origen y se aprieta "Enter". Así queda la línea de mejor ajuste con un extremo en el origen (Fig. E4b).

Luego clic en "Estándar" y "Zoom Extensión". Se comprueba que el punto inicio de la nueva línea esté en el origen. Luego clic en la octava pestaña "Transformar", y en el cuarto ícono "Rotar 2D"

(Fig. E4c). Hacer clic en el primer punto de referencia para la rotación, que es el origen, otro clic en el segundo punto de referencia correspondiente al otro extremo de la línea amarilla y el tercer clic sobre el eje X (Fig. E5a). En este momento la línea amarilla queda en el eje X (Fig. E5b).

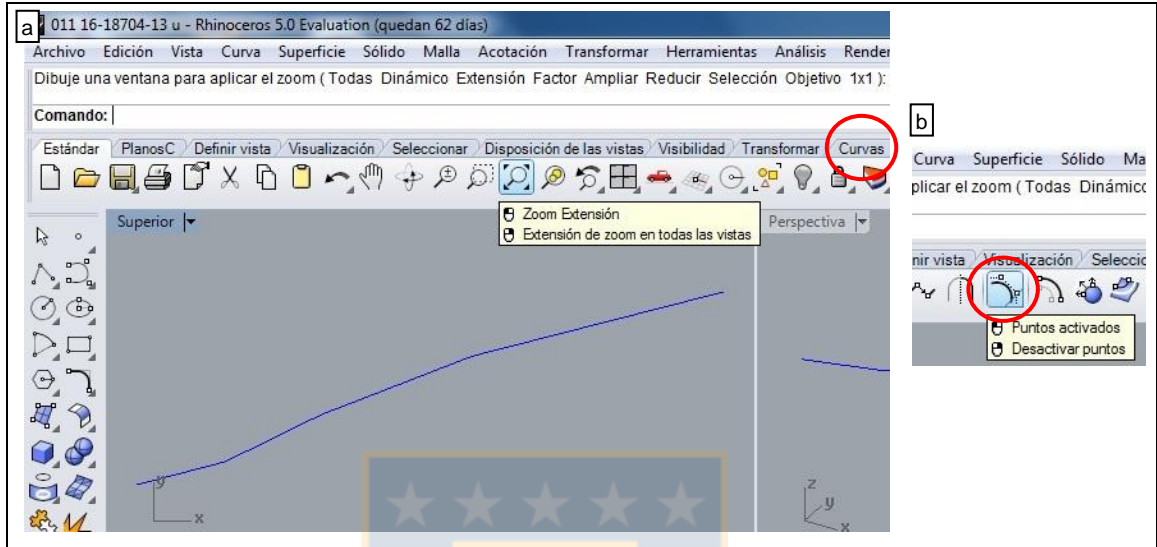


Figura E1: a) "Zoom Extensión" y hacer clic en pestaña "Curvas". b) "Puntos Activados".

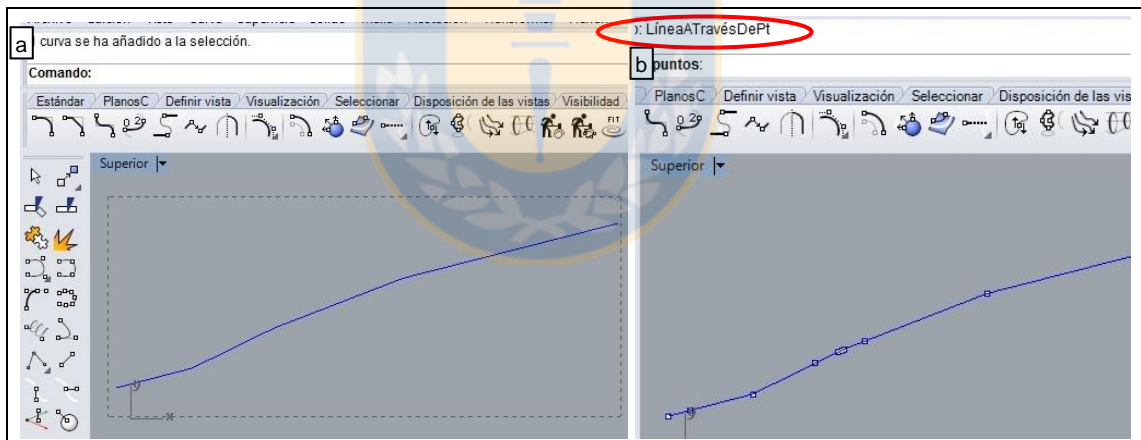


Figura E2: a) Seleccionar todo (morfología de la falla). b) Se observan los puntos activados y se escribe el comando " LíneaATravesDePt".

Posteriormente se selecciona la línea de mejor ajuste (amarilla) y se suprime (Fig. E6a). "Estándar", "Zoom extensión", "Seleccionar todo", "Edición", "Descomponer", "Seleccionar todo" y "Enter" (Fig. E6b). "Seleccionar todo": "Propiedades": "Detalles" (Fig. E6c): "Guardar como": txt (Fig. E6d). Cerrar Rhinoceros.

**Procedimiento 3:** Llevar los datos de la morfología de cada falla desde los archivos de texto a un archivo Excel para determinar el largo del perfil y la amplitud de la estructura.

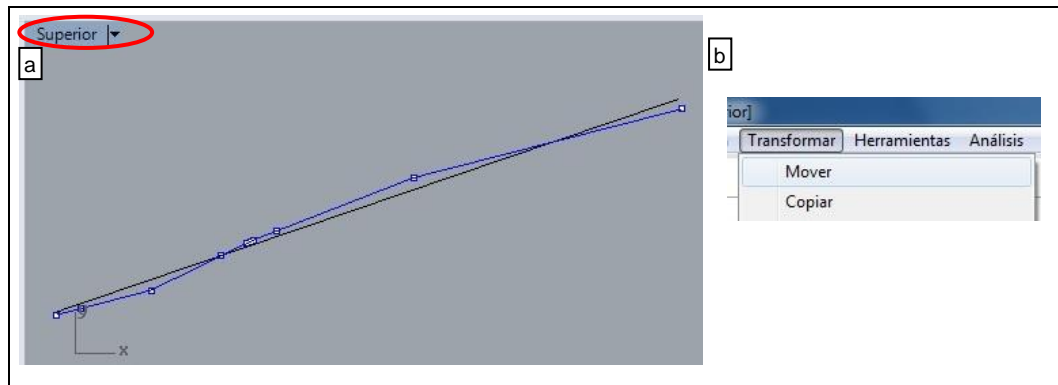


Figura E3: a) Falla con la línea de mejor ajuste. b) “Transformar” y “Mover”.

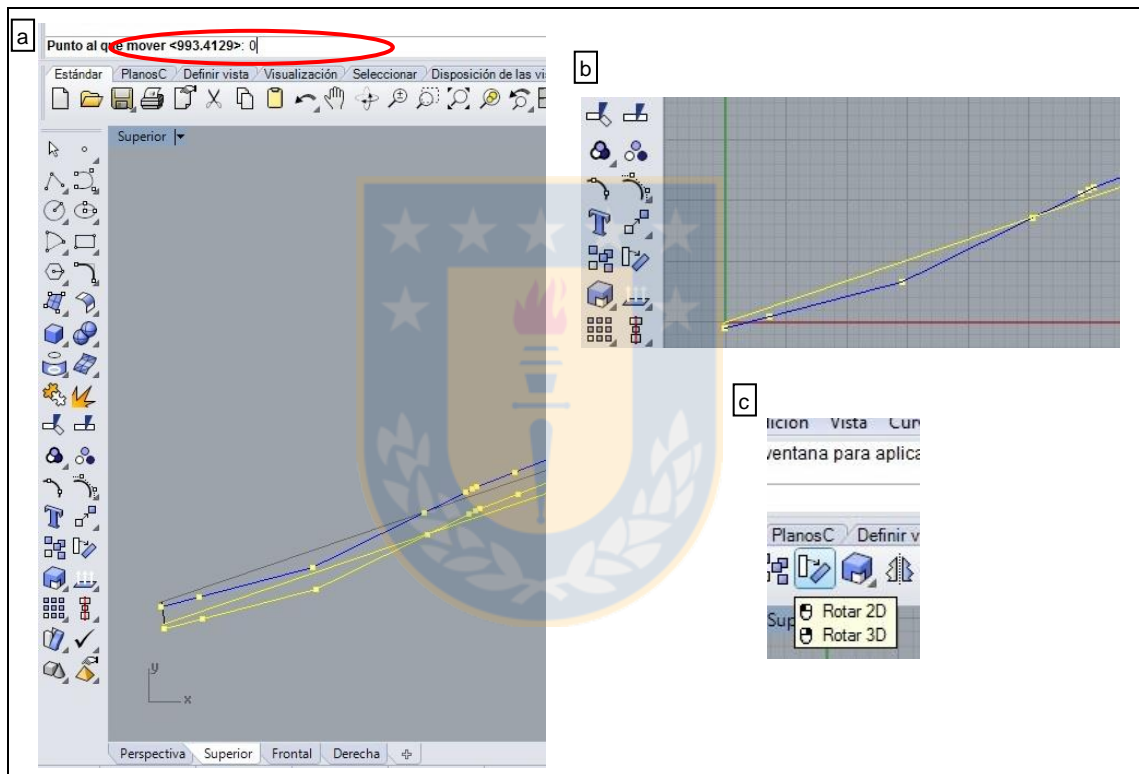


Figura E4: a) Se mueve el extremo inferior derecho de la falla al origen. b) Línea de mejor ajuste con un extremo en el origen. c) “Rotar 2D”.

Una vez exportadas las coordenadas de cada una de las fallas a un archivo de texto individual (.txt), a partir de este archivo, donde están registradas las coordenadas de los puntos que conforman la polilínea que representa la morfología de la falla, se puede generar una tabla de datos, para poder trabajar con esta información y obtener los valores de amplitud y largo del perfil necesarios para calcular el JRC.

Como la cantidad de archivos .txt es grande (136 fallas) se trabaja con una macro de Excel, consistente en una serie de comandos o instrucciones que permanecen almacenados dentro de

Excel y que se pueden ejecutar cuando sea necesario y cuantas veces se desee, lo que optimiza el tiempo de ejecución de esta tarea. Estas macros se pueden crear de dos formas; una automática, grabando una secuencia de operaciones, la que es muy fácil pero tiene ciertas limitaciones, y otra manual, escribiendo una a una las instrucciones en el lenguaje de Visual Basic, lo que es más complejo pero es mucho más flexible. En este estudio, se usaron macros automáticas que facilitaron las tareas de importar los puntos extraídos del perfil de rugosidad y ordenar estos mismos de manera que se pudiese obtener el largo del perfil y la amplitud máxima.

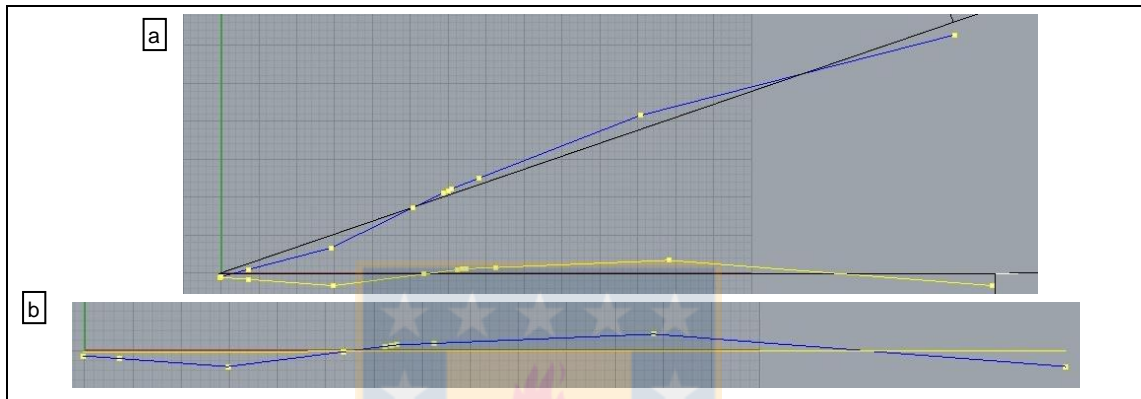


Figura E5: a) Rotación 2D de la falla (junto con la línea de mejor ajuste). b) Línea de mejor ajuste sobre el eje X.

En el programador Visual Basic de Excel para poder crear, modificar y ejecutar las secuencias de comandos de una macro, se debe desplegar la “Ficha programador” en la cinta de “Opciones de Excel”. Para ello se deben realizar lo siguiente; abrir Excel e ir a la pestaña “Archivos”, “Opciones”, “Personalizar cinta de opciones”, y en el cuadro del lado derecho hacer un clic en la opción “Programador” (Fig. E7), luego para evitar errores, es recomendable cerrar el programa.

Entonces se crea la primera macro que permite importar los archivos de texto de las coordenadas de los perfiles de rugosidad ubicados en una carpeta, para dejarlos en un archivo de Excel con 136 hojas, cada una para cada falla. Esta macro está guardada en los Anexos Digitales como "01 Importar txt". Para generarla se guardan los pasos a seguir por Excel para realizar este procedimiento automáticamente. Esta macro despliega una ventana que permite seleccionar la carpeta en donde se ubican los archivos .txt (Fig. E8a), y generar un Excel con las coordenadas de los puntos para cada falla (Fig. E8b).

Una vez obtenido este archivo, se genera otra macro para modificarlo de forma que se ordenen los datos y se obtenga el valor de la amplitud y del largo del perfil de cada falla. Para ello se procede de forma similar, es decir, se graban los pasos necesarios, y se ejecuta la macro sobre el archivo Excel

anteriormente mencionado. Así se obtienen los valores de interés para calcular el JRC de cada falla (Fig. E9).

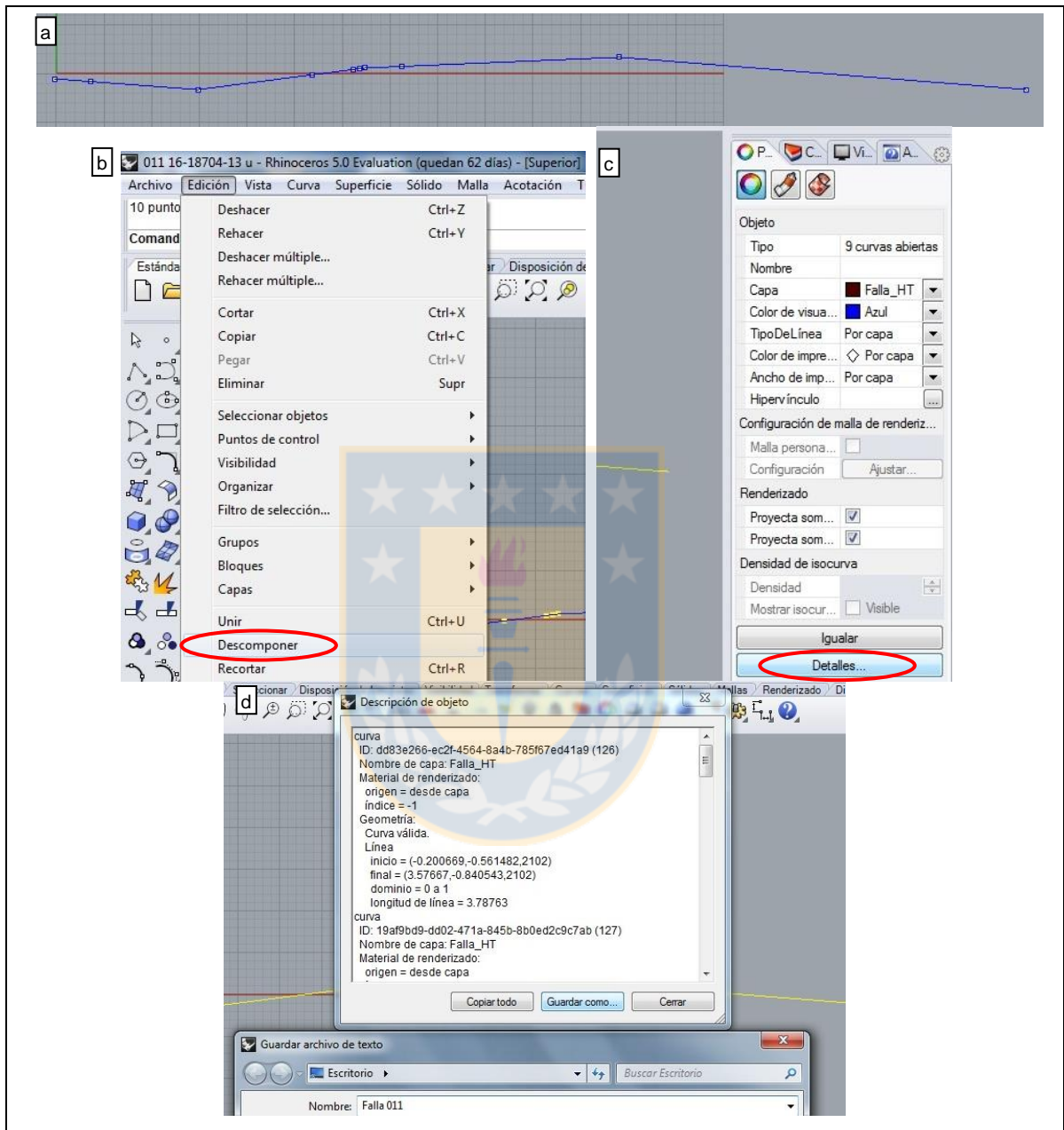


Figura E6: a) Morfología de la falla con puntos activados. b) “Edición”, “Descomponer”. c) “Detalles” de la polilínea. d) Guardar propiedades (Descripción de objeto) como un archivo de texto (.txt).

**Procedimiento 4:** Graficar largo del perfil versus amplitud máxima para la determinación del JRC.

Los resultados de largo del perfil y su amplitud máxima por falla se resumen en la Tabla E1.

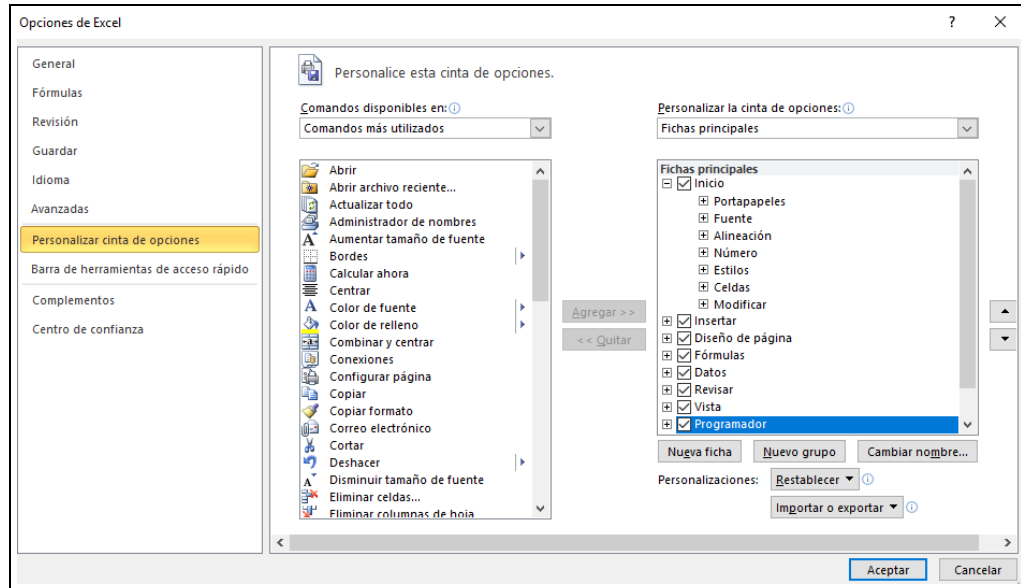


Figura E7: "Personalizar cinta de opciones" para activar "Programador".

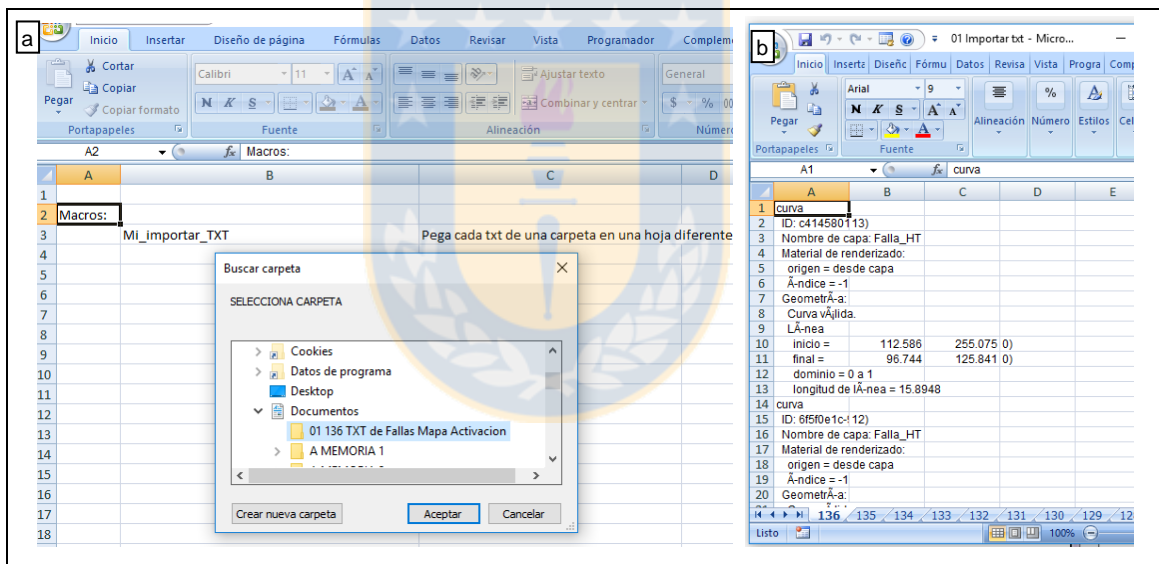


Figura E8: a) Macro que abre la carpeta de archivos .txt para traspasar los datos a un archivo de Excel. b) Archivo de Excel creado.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Coordenada X	Coordenada Y		Valor Máx	Valor Mín	Diferencia		Resumen		
2	311,901	1,42E-14		Eje X	311,901	0,000659093	311,900341	Largo del Perfil	311,900341	
3	302,996	0,583796		Eje Y	1,57971	-2,0307	3,61041	Amplitud máxima	3,61041	
4	302,996	0,583796								
5	271,976	0,736175								
6	271,976	0,736175								
7	267,479	0,557442								
8	267,479	0,557442								
9	203,829	-0,459966								
10	203,829	-0,459966								
11	202,578	-0,369384								

Figura E9: Datos de coordenadas de los puntos ordenadas para la obtención del largo de perfil y la amplitud de falla.

Tabla E1: Resultados "largo del perfil" y "amplitud máxima" para las fallas de RENO-Dacita.

NºFalla	Largo del Perfil (m)	Amplitud máxima (mm)	NºFalla	Largo del Perfil (m)	Amplitud máxima (mm)	NºFalla	Largo del Perfil (m)	Amplitud máxima (mm)
1	311,9	3610	47	42,8	833	93	134,0	3795
2	66,1	182	48	39,4	764	94	227,5	26820
3	46,8	512	49	46,0	1098	95	201,1	13343
4	60,3	2302	50	52,0	464	96	170,3	4033
5	130,2	665	51	74,5	651	97	36,1	913
6	293,0	2925	52	34,6	2824	98	98,2	3436
7	55,0	0	53	21,2	276	99	113,9	4763
8	76,3	170	54	19,3	103	100	60,6	1866
9	64,9	2087	55	35,7	559	101	305,6	16955
10	57,4	351	56	20,0	206	102	113,5	10801
11	102,0	3370	57	50,5	1425	103	132,3	7085
12	35,3	697	58	39,8	474	104	67,1	1302
13	88,8	622	59	43,3	1076	105	89,7	2595
14	59,3	743	60	35,5	136	106	68,0	1227
15	388,0	33307	61	45,1	134	107	90,3	8065
16	24,3	230	62	46,0	322	108	86,7	3130
17	95,3	1522	63	50,0	756	109	157,1	6786
18	56,3	1059	64	35,7	878	110	69,1	4207
19	46,9	658	65	22,0	585	111	28,6	1691
20	308,9	32256	66	56,6	2962	112	149,5	11192
21	69,6	2447	67	55,2	692	113	126,6	2220
22	37,4	128	68	44,1	366	114	52,4	441
23	58,1	168	69	51,1	729	115	108,4	2238
24	55,9	930	70	33,9	159	116	48,6	503
25	144,9	2545	71	72,7	617	117	109,1	8888
26	34,6	403	72	39,9	1323	118	74,3	3066
27	71,0	432	73	55,1	934	119	112,2	4224
28	55,4	492	74	57,8	413	120	131,5	10744
29	61,9	1970	75	79,1	964	121	68,9	1983
30	49,6	286	76	47,7	900	122	253,8	6152
31	34,5	209	77	18,1	140	123	52,1	763
32	39,2	357	78	56,4	1149	124	139,6	2430
33	71,2	1906	79	37,7	763	125	32,7	857
34	43,7	1246	80	116,6	2338	126	54,5	1578
35	32,1	663	81	59,0	3928	127	132,6	2429
36	58,2	648	82	54,1	2948	128	82,9	5760
37	73,5	1533	83	48,9	2426	129	128,3	3739
38	47,5	793	84	119,3	4589	130	155,5	2777
39	57,7	266	85	34,8	922	131	91,8	2401
40	24,1	214	86	29,2	685	132	75,9	1801
41	30,3	781	87	27,2	328	133	178,1	4360
42	21,5	51	88	64,6	2188	134	82,0	1000
43	41,5	247	89	37,9	1158	135	49,7	4450
44	53,6	1368	90	119,9	5456	136	112,6	4387
45	70,7	602	91	113,0	1210			
46	65,3	843	92	79,8	2612			

Éstos valores se grafican en la Tabla de Barton para estimar el JRC (Figura 5.22 dentro del informe). Sin embargo, para estimar de forma más exacta el JRC de las fallas, éstas se estudian con un mayor zoom y así se obtiene un JRC más exacto hasta con tres cifras significativas (una de ellas decimal). Para esto se grafican las fallas de acuerdo a un rango de largo de perfil, el primer rango abarca fallas entre 18 m a 50 m (Fig. E10a), el segundo de 50 m a 100 m (Fig. E10b), el tercero de 100 a 150 m (Fig. E11a) y el cuarto de 150 a 400 m (Fig. E11b). Esto está en el archivo digital "06 JRC Resumen y Desarrollo con Tablas de Barton-Bandis para 136 Fallas por Largo (Resumen JRC Total)" en la carpeta de JRC, dentro de la carpeta "Mapa de Resistencia".

En consecuencia se obtienen todos los coeficientes de rugosidad, resumidos en la Tabla E2 de menor a mayor valor de JRC y coloreados en relación al color que tiene la falla en el Mapa de JRC.

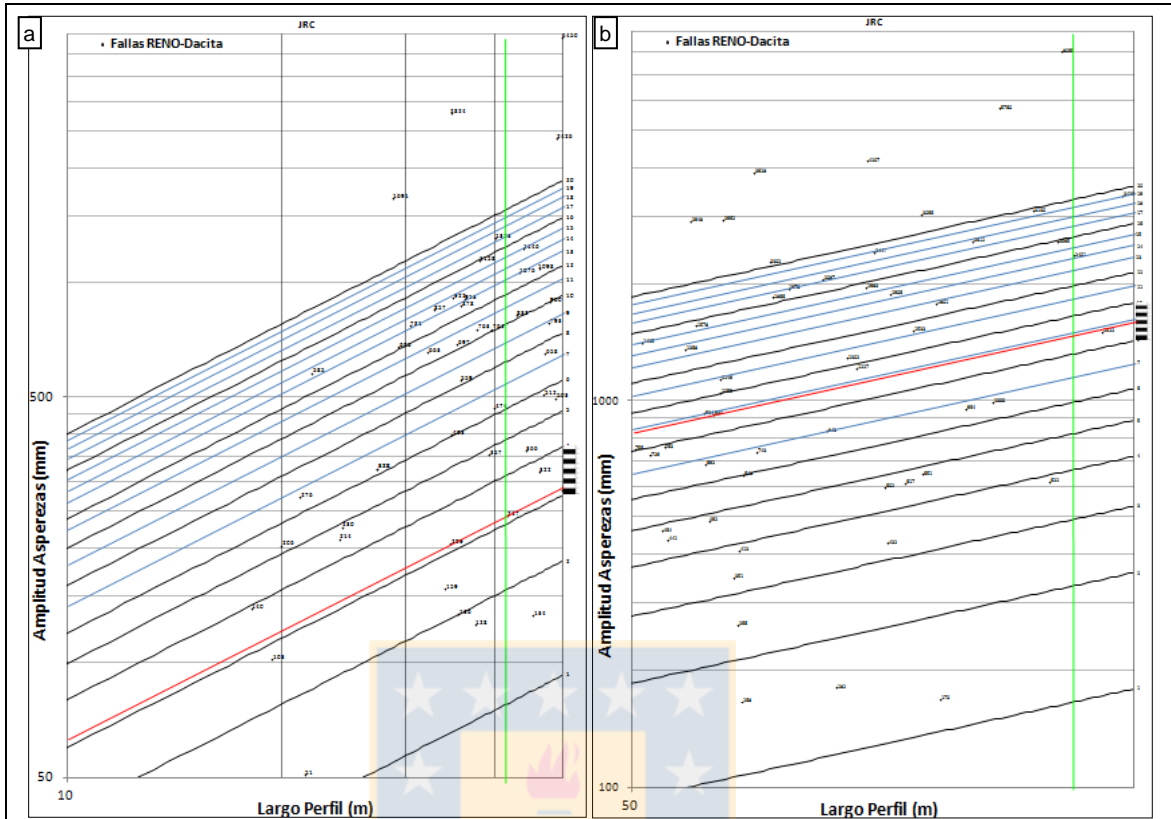


Figura E10: Tabla de Barton para determinar JRC en base al largo del perfil y su amplitud máxima de las fallas dentro de RENO-Dacita. a) Fallas con un largo de perfil entre 10 a 50 m. b) Fallas con un largo de perfil entre 50 a 100 m.

**Procedimiento 5:** Trabajo para la determinación del JRC para los segmentos de falla de 40 m y 80 m.

Con respecto al cálculo de los segmentos de falla, se aclara que 40 m implica que el máximo de la longitud para calcular el JRC es 40 m, o sea, aquellas fallas que posean más de 40 m de traza, se dividen de tal forma que todos sus segmentos sean de igual longitud y ninguno de ellos tenga una traza mayor a 40 m (lo mismo con la longitud de 80 m).

Lo primero es determinar cuáles fallas son a las que se calculará un nuevo JRC, y por lo tanto, qué fallas son las que necesitan dividirse en segmentos iguales. Esto se resume en la Tabla E3.

Una vez determinados los números de segmentos en que se divide una falla, se trabaja con el archivo de dibujo (.dxf o .dwg) dividiendo la estructura en partes iguales. Así, se abre un archivo de una falla en Autocad, se escribe el comando "Divide", se selecciona la falla, se digita el número de segmentos en que se desea dividir la línea, y así aparecen unos puntos pequeños, los cuales para

que sean notorios se debe cambiar su tipo; ahora: ir a "Formato" y luego cambiar el estilo del punto en "Tipo de Punto", entonces la falla queda como en la Fig. E12.

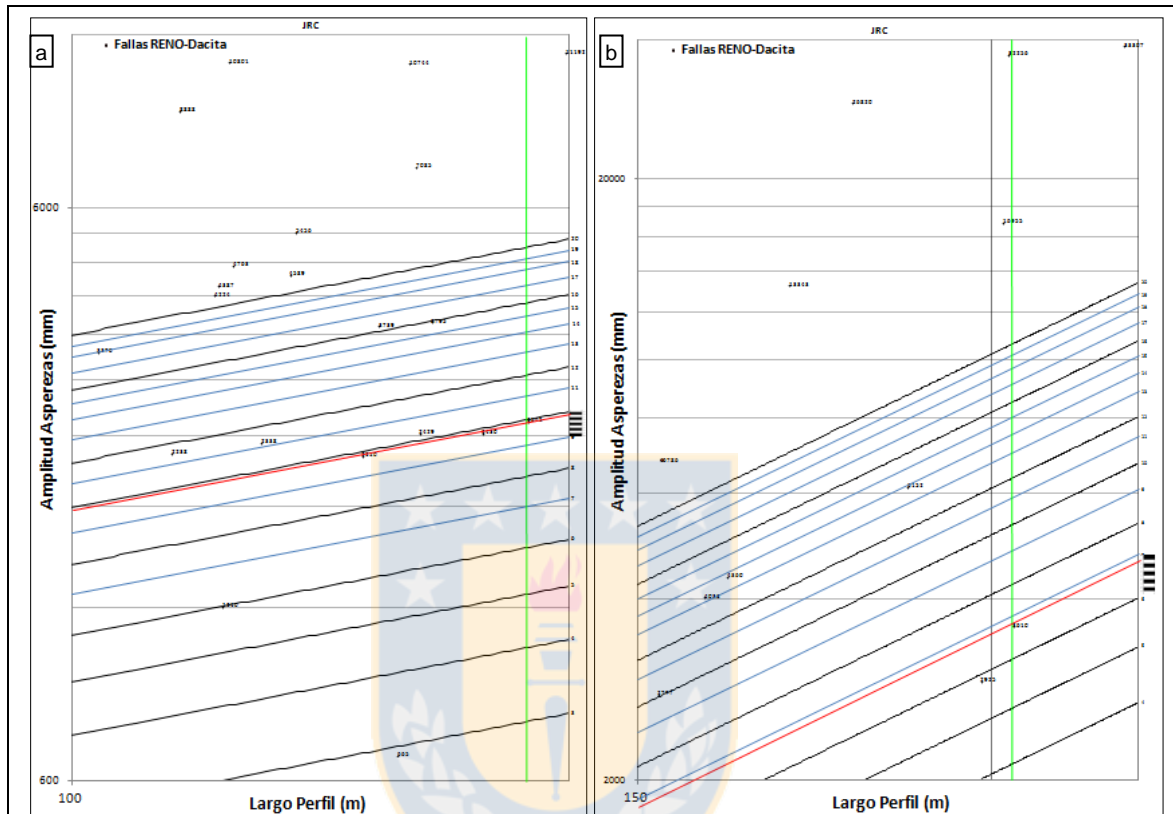


Figura E11: Tabla de Barton para determinar JRC en base al largo del perfil y su amplitud máxima de las fallas dentro de RENO-Dacita. a) Fallas con un largo de perfil entre 100 a 150 m. b) Fallas con un largo de perfil entre 150 a 400 m.

Ya viéndose los puntos, se hace el máximo zoom sobre uno de ellos, se dibuja una línea sobre el punto y se elige la opción "Recortar" (Fig. E13), para dejar sólo un segmento de interés, que en el caso del ejemplo es el Segmento 1 de la Falla 134. Se borran todos los otros elementos del dibujo, incluso los puntos y una vez ya sólo con el Segmento 1 se guarda un archivo que lo identifique. En los archivos digitales, está con el formato "134 16-6275-32 seg 1 mod", que significa que es la falla 134, y el segmento 1. El otro número se refiere al IdSoporte y que el archivo ha producto de una modificación de la falla original 134. Siempre la numeración de los segmentos crece hacia el este y al norte, tomando como el primer segmento el más oeste y al sur.

De la misma forma expuesta en los párrafos anteriores se procede para generar los segmentos para las demás fallas, como para los segmentos de hasta 40 m y los de 80 m.

Tabla E2: Resultados de largo del perfil y amplitud máxima para las fallas del Mapa de JRC.

N°Falla	IdSoporte	Largo Perfil (m)	JRC	N°Falla	IdSoporte	Largo Perfil (m)	JRC	N°Falla	IdSoporte	Largo Perfil (m)	JRC
7	16-17191-11	55,0	0,0	46	16-7218-17	65,3	7,1	126	409-114287-44	54,6	15,6
8	16-17191-6	76,3	1,3	19	16-67637-1	46,9	7,6	121	409-103927-8	69,1	15,8
42	16-7218-1	21,5	1,3	69	16-8077-1	51,1	7,7	93	387-87938-16	134,7	16,0
2	16-10409-2	66,1	1,6	123	409-114287-41	52,2	8,0	105	387-95371-2	90,0	16,0
23	16-7213-10	58,1	1,7	63	16-7218-52	50,1	8,2	129	409-96458-1	128,8	16,3
61	16-7218-49	45,1	1,7	55	16-7218-4	35,7	8,3	100	387-87938-9	60,8	16,7
22	16-7202-66	37,4	1,9	17	16-6275-44	95,4	8,8	29	16-7213-19	62,1	17,2
60	16-7218-47	35,5	2,0	24	16-7213-11	55,9	9,0	89	318-20109-17	38,0	17,2
70	16-9243-36	33,9	2,5	38	16-7213-6	47,6	9,0	9	16-17191-7	65,1	17,4
39	16-7213-7	57,7	2,6	73	287-87991-9	55,1	9,1	72	287-84260-2	40,0	17,6
54	16-7218-39	19,3	2,8	113	387-95430-7	126,7	9,8	92	387-87938-15	80,0	18,0
5	16-10409-6	130,2	2,9	106	387-95371-3	68,1	9,9	11	16-18704-13	102,3	18,2
30	16-7213-2	49,6	3,2	124	409-114287-42	139,9	9,9	88	318-20109-14	64,9	18,3
31	16-7213-20	34,5	3,2	25	16-7213-14	145,0	10,0	21	16-7202-65	69,9	19,1
43	16-7218-14	41,5	3,2	76	318-14754-1	47,7	10,1	98	387-87938-7	98,6	19,3
10	16-18704-12	57,4	3,4	130	466-110239-53	155,9	10,1	4	16-10409-5	60,4	20,0
27	16-7213-16	71,0	3,4	18	16-6680-68	56,4	10,2	15	16-6275-40	396,7	20,0
62	16-7218-5	46,0	3,8	48	16-7218-2	39,5	10,3	20	16-7202-64	316,8	20,0
13	16-18771-33	88,8	3,9	47	16-7218-18	42,9	10,4	52	16-7218-37	35,2	20,0
74	318-12930-16	57,8	3,9	127	409-114287-47	132,8	10,4	66	16-7218-60	56,9	20,0
77	318-14754-2	18,1	4,0	12	16-18704-2	35,3	10,5	81	318-16485-1	59,6	20,0
68	16-7218-9	44,1	4,4	104	387-95366-9	67,2	10,6	82	318-16799-22	54,4	20,0
114	387-95430-8	52,4	4,6	79	318-14754-5	37,7	10,8	83	318-16807-10	49,2	20,0
40	16-7213-8	24,1	4,7	35	16-7213-28	32,1	10,9	84	318-16807-4	119,7	20,0
71	287-84260-11	72,7	4,7	78	318-14754-4	56,4	11,0	90	387-87938-11	120,5	20,0
28	16-7213-18	55,5	4,8	80	318-14877-1	116,7	11,3	94	387-87938-2	233,0	20,0
45	16-7218-16	70,7	4,8	37	16-7213-4	73,6	11,5	95	387-87938-3	203,0	20,0
32	16-7213-21	39,2	4,9	115	387-95430-9	108,8	11,6	99	387-87938-8	114,5	20,0
50	16-7218-33	52,0	4,9	86	318-20109-11	29,2	12,4	101	387-88319-6	308,6	20,0
51	16-7218-36	74,5	4,9	49	16-7218-3	46,1	12,8	102	387-95366-12	115,5	20,0
16	16-6275-42	24,3	5,0	64	16-7218-57	35,8	13,0	103	387-95366-13	133,2	20,0
56	16-7218-40	20,0	5,3	132	466-110239-56	76,0	13,0	107	387-95371-4	91,4	20,0
116	409-100614-12	48,6	5,6	59	16-7218-44	43,3	13,2	108	387-95430-10	87,2	20,0
3	16-10409-4	46,8	5,9	96	387-87938-4	170,8	13,4	109	387-95430-11	158,0	20,0
6	16-17191-1	293,2	5,9	97	387-87938-6	36,2	13,4	110	387-95430-3	69,6	20,0
36	16-7213-3	58,2	6,0	41	16-7213-9	30,3	13,5	111	387-95430-5	29,0	20,0
91	387-87938-13	113,0	6,0	44	16-7218-15	53,8	13,6	112	387-95430-6	153,2	20,0
26	16-7213-15	34,7	6,2	65	16-7218-58	22,1	13,7	117	409-100614-14	110,3	20,0
58	16-7218-43	39,8	6,3	125	409-114287-43	32,8	13,8	118	409-100614-15	74,6	20,0
87	318-20109-12	27,2	6,4	133	466-110239-57	178,7	13,9	119	409-103927-3	112,9	20,0
1	16-10055-1	312,1	6,8	85	318-16807-9	34,9	14,0	120	409-103927-7	133,1	20,0
14	16-6275-39	59,3	6,8	122	409-103927-9	254,4	14,0	128	409-92767-2	83,7	20,0
53	16-7218-38	21,2	6,8	131	466-110239-54	92,0	14,4	135	16-9243-37	49,9	20,0
67	16-7218-75	55,2	6,8	33	16-7213-25	71,3	14,7	136	318-16807-5	113,0	20,0
75	318-12930-17	79,1	6,8	57	16-7218-42	50,6	15,1				
134	16-6275-32	82,0	6,8	34	16-7213-27	43,9	15,2				

Tabla E3: Determinación de fallas o segmentos 40 m – 80 m.

N°Falla	Largo del Perfil (m)	40 metros			80 metros		
		N° Segmentos	Largo de segmentos	Calcular Nuevo JRC	N° Segmentos	Largo de segmentos	Calcular Nuevo JRC
77	18,1	1	18,1	No	1	18,1	No
54	19,3	1	19,3	No	1	19,3	No
56	20,0	1	20,0	No	1	20,0	No
53	21,2	1	21,2	No	1	21,2	No
42	21,5	1	21,5	No	1	21,5	No
65	22,0	1	22,0	No	1	22,0	No
40	24,1	1	24,1	No	1	24,1	No
16	24,3	1	24,3	No	1	24,3	No
87	27,2	1	27,2	No	1	27,2	No
111	28,6	1	28,6	No	1	28,6	No
86	29,2	1	29,2	No	1	29,2	No
41	30,3	1	30,3	No	1	30,3	No
35	32,1	1	32,1	No	1	32,1	No
125	32,7	1	32,7	No	1	32,7	No
70	33,9	1	33,9	No	1	33,9	No
31	34,5	1	34,5	No	1	34,5	No

N°Falla	Largo del Perfil (m)	40 metros			80 metros		
		N° Segmentos	Largo de segmentos	Calcular Nuevo JRC	N° Segmentos	Largo de segmentos	Calcular Nuevo JRC
52	34,6	1	34,6	No	1	34,6	No
26	34,6	1	34,6	No	1	34,6	No
85	34,8	1	34,8	No	1	34,8	No
12	35,3	1	35,3	No	1	35,3	No
60	35,5	1	35,5	No	1	35,5	No
55	35,7	1	35,7	No	1	35,7	No
64	35,7	1	35,7	No	1	35,7	No
97	36,1	1	36,1	No	1	36,1	No
22	37,4	1	37,4	No	1	37,4	No
79	37,7	1	37,7	No	1	37,7	No
89	37,9	1	37,9	No	1	37,9	No
32	39,2	1	39,2	No	1	39,2	No
48	39,4	1	39,4	No	1	39,4	No
58	39,8	1	39,8	No	1	39,8	No
72	39,9	1	39,9	No	1	39,9	No
43	41,5	2	20,8	Si	1	41,5	No
47	42,8	2	21,4	Si	1	42,8	No
59	43,3	2	21,6	Si	1	43,3	No
34	43,7	2	21,9	Si	1	43,7	No
68	44,1	2	22,1	Si	1	44,1	No
61	45,1	2	22,6	Si	1	45,1	No
62	46,0	2	23,0	Si	1	46,0	No
49	46,0	2	23,0	Si	1	46,0	No
3	46,8	2	23,4	Si	1	46,8	No
19	46,9	2	23,5	Si	1	46,9	No
38	47,5	2	23,8	Si	1	47,5	No
76	47,7	2	23,8	Si	1	47,7	No
116	48,6	2	24,3	Si	1	48,6	No
83	48,9	2	24,4	Si	1	48,9	No
30	49,6	2	24,8	Si	1	49,6	No
135	49,7	2	24,8	Si	1	49,7	No
63	50,0	2	25,0	Si	1	50,0	No
57	50,5	2	25,3	Si	1	50,5	No
69	51,1	2	25,6	Si	1	51,1	No
50	52,0	2	26,0	Si	1	52,0	No
123	52,1	2	26,1	Si	1	52,1	No
114	52,4	2	26,2	Si	1	52,4	No
44	53,6	2	26,8	Si	1	53,6	No
82	54,1	2	27,1	Si	1	54,1	No
126	54,5	2	27,2	Si	1	54,5	No
7	55,0	2	27,5	Si	1	55,0	No
73	55,1	2	27,5	Si	1	55,1	No
67	55,2	2	27,6	Si	1	55,2	No
28	55,4	2	27,7	Si	1	55,4	No
24	55,9	2	27,9	Si	1	55,9	No
18	56,3	2	28,2	Si	1	56,3	No
78	56,4	2	28,2	Si	1	56,4	No
66	56,6	2	28,3	Si	1	56,6	No
10	57,4	2	28,7	Si	1	57,4	No
39	57,7	2	28,8	Si	1	57,7	No
74	57,8	2	28,9	Si	1	57,8	No
23	58,1	2	29,0	Si	1	58,1	No
36	58,2	2	29,1	Si	1	58,2	No
81	59,0	2	29,5	Si	1	59,0	No
14	59,3	2	29,6	Si	1	59,3	No
4	60,3	2	30,1	Si	1	60,3	No
100	60,6	2	30,3	Si	1	60,6	No
29	61,9	2	30,9	Si	1	61,9	No
88	64,6	2	32,3	Si	1	64,6	No
9	64,9	2	32,5	Si	1	64,9	No
46	65,3	2	32,6	Si	1	65,3	No
2	66,1	2	33,1	Si	1	66,1	No
104	67,1	2	33,5	Si	1	67,1	No
106	68,0	2	34,0	Si	1	68,0	No
121	68,9	2	34,5	Si	1	68,9	No
110	69,1	2	34,5	Si	1	69,1	No
21	69,6	2	34,8	Si	1	69,6	No
45	70,7	2	35,3	Si	1	70,7	No
27	71,0	2	35,5	Si	1	71,0	No
33	71,2	2	35,6	Si	1	71,2	No
71	72,7	2	36,4	Si	1	72,7	No
37	73,5	2	36,8	Si	1	73,5	No

N°Falla	Largo del Perfil (m)	40 metros			40 metros		
		N° Segmentos	Largo de segmentos	Calcular Nuevo JRC	N° Segmentos	Largo de segmentos	Calcular Nuevo JRC
118	74,3	2	37,2	Si	1	74,3	No
51	74,5	2	37,3	Si	1	74,5	No
132	75,9	2	37,9	Si	1	75,9	No
8	76,3	2	38,2	Si	1	76,3	No
75	79,1	2	39,6	Si	1	79,1	No
92	79,8	2	39,9	Si	1	79,8	No
134	82,0	3	27,3	Si	2	41,0	Si
128	82,9	3	27,6	Si	2	41,4	Si
108	86,7	3	28,9	Si	2	43,4	Si
13	88,8	3	29,6	Si	2	44,4	Si
105	89,7	3	29,9	Si	2	44,8	Si
107	90,3	3	30,1	Si	2	45,1	Si
131	91,8	3	30,6	Si	2	45,9	Si
17	95,3	3	31,8	Si	2	47,7	Si
98	98,2	3	32,7	Si	2	49,1	Si
11	102,0	3	34,0	Si	2	51,0	Si
115	108,4	3	36,1	Si	2	54,2	Si
117	109,1	3	36,4	Si	2	54,5	Si
119	112,2	3	37,4	Si	2	56,1	Si
136	112,6	3	37,5	Si	2	56,3	Si
91	113,0	3	37,7	Si	2	56,5	Si
102	113,5	3	37,8	Si	2	56,8	Si
99	113,9	3	38,0	Si	2	57,0	Si
80	116,6	3	38,9	Si	2	58,3	Si
84	119,3	3	39,8	Si	2	59,7	Si
90	119,9	3	40,0	Si	2	60,0	Si
113	126,6	4	31,6	Si	2	63,3	Si
129	128,3	4	32,1	Si	2	64,1	Si
5	130,2	4	32,6	Si	2	65,1	Si
120	131,5	4	32,9	Si	2	65,8	Si
103	132,3	4	33,1	Si	2	66,1	Si
127	132,6	4	33,2	Si	2	66,3	Si
93	134,0	4	33,5	Si	2	67,0	Si
124	139,6	4	34,9	Si	2	69,8	Si
25	144,9	4	36,2	Si	2	72,4	Si
112	149,5	4	37,4	Si	2	74,7	Si
130	155,5	4	38,9	Si	2	77,8	Si
109	157,1	4	39,3	Si	2	78,5	Si
96	170,3	5	34,1	Si	3	56,8	Si
133	178,1	5	35,6	Si	3	59,4	Si
95	201,1	6	33,5	Si	3	67,0	Si
94	227,5	6	37,9	Si	3	75,8	Si
122	253,8	7	36,3	Si	4	63,5	Si
6	293,0	8	36,6	Si	4	73,3	Si
101	305,6	8	38,2	Si	4	76,4	Si
20	308,9	8	38,6	Si	4	77,2	Si
1	311,9	8	39,0	Si	4	78,0	Si
15	388,0	10	38,8	Si	5	77,6	Si
Total Fallas y Segmentos		336			195		
Segmentos nuevos		305			101		
Mínimo		18,1			18,1		
Máximo		40,0			79,8		

Una vez generados todos los nuevos archivos se calcula el JRC para cada uno de los 305 nuevos segmentos hasta 40 m y los 101 nuevos segmentos de hasta 80 m, de la misma forma como se hizo para las 136 fallas de "RENO-Dacita" originales. Todos los datos están respaldados en la carpeta JRC de los archivos digitales, y a continuación se exponen los resultados de los JRC. (Tabla E4 y E5).

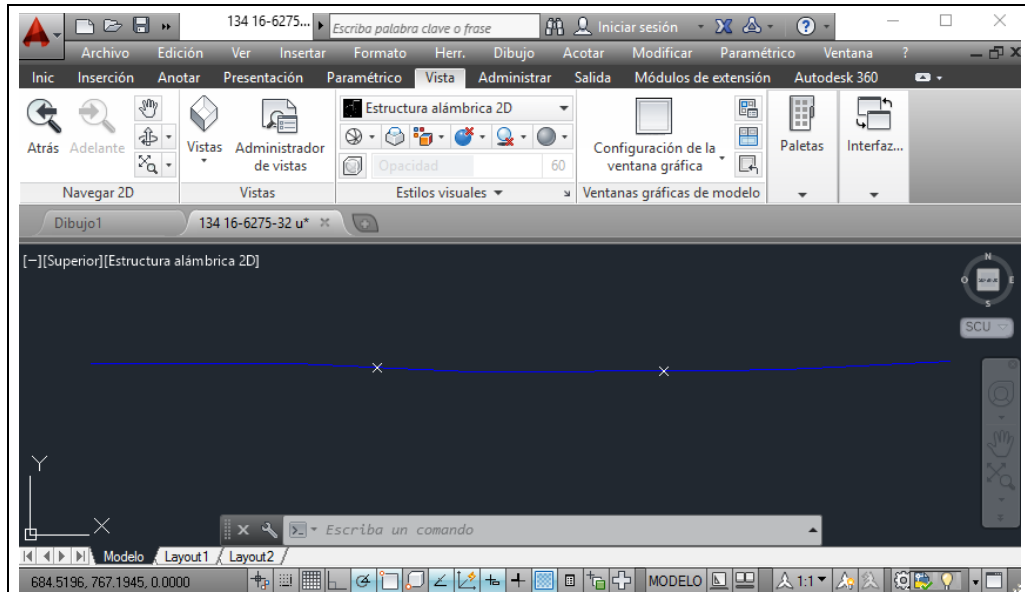


Figura E12: Falla dividida en partes iguales: Falla 134, dividida en tres partes iguales para el cálculo del JRC de cada uno de sus segmentos.

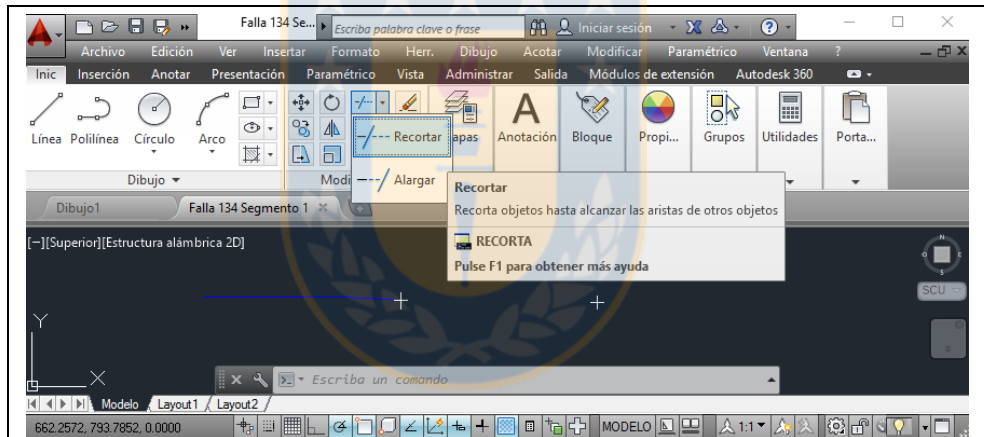


Figura E13: Falla dividida en partes iguales: Falla 134, dividida en tres partes iguales para el cálculo del JRC de cada uno de sus segmentos.

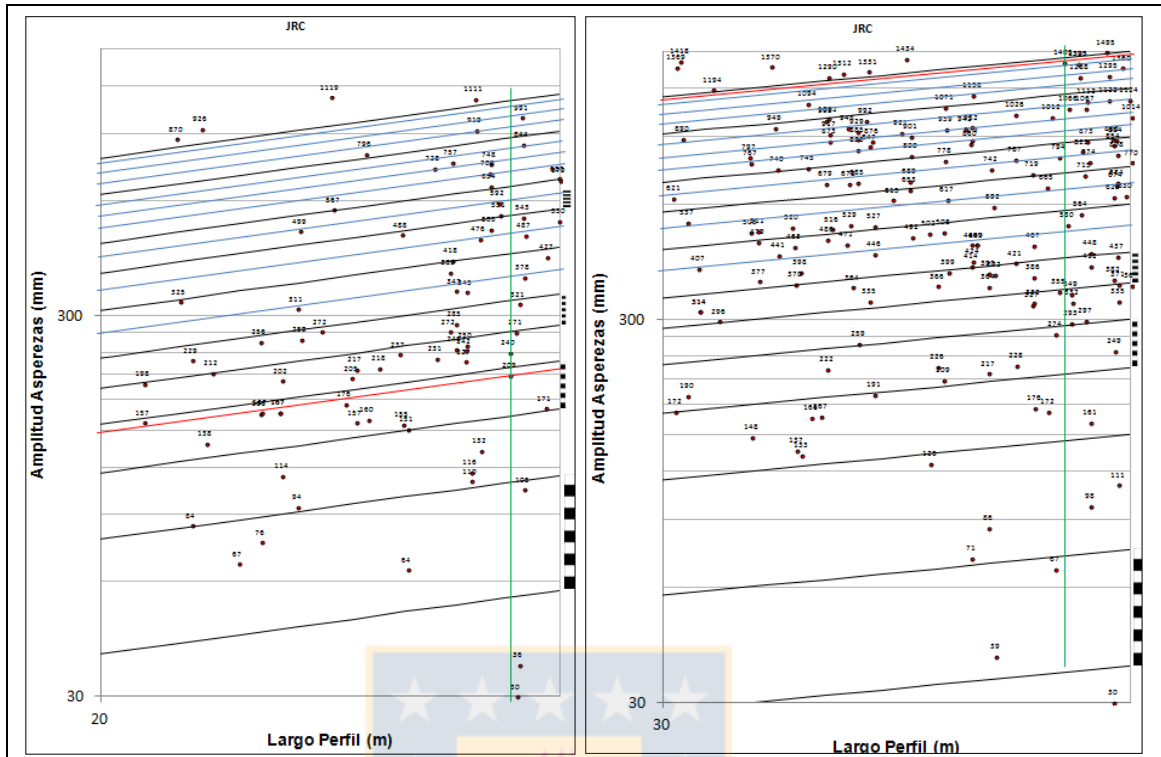


Figura E14: Tabla de Barton para determinar JRC en base al largo del perfil y su amplitud máxima de las fallas dentro de RENO-Dacita. a) Fallas con un largo de perfil entre 20 a 30 m. b) Fallas con un largo de perfil entre 30 a 40 m.

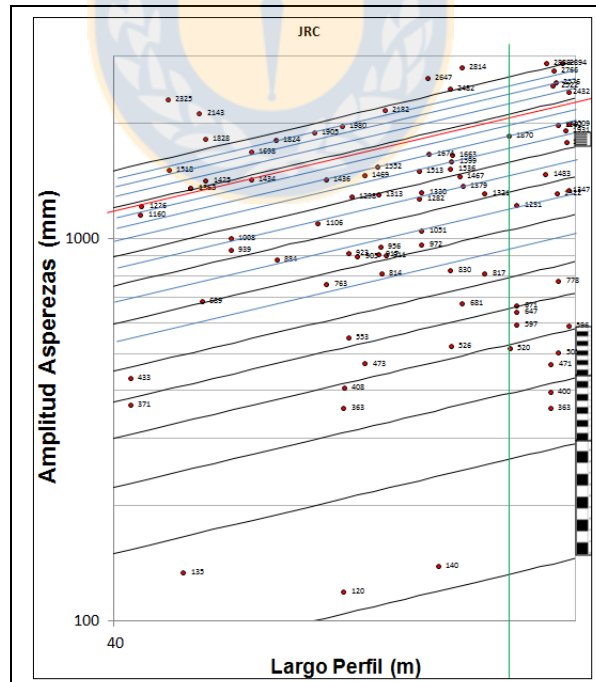


Figura E15: Tabla de Barton para determinar JRC en base al largo del perfil y su amplitud máxima de las fallas dentro de RENO-Dacita. a) Fallas con un largo de perfil entre 40 a 80 m.

Tabla E4: Valores de JRC para Fallas-Segmentos hasta 40 m.

N°Falla	Largo del Perfil (m)	Amplitud máxima (mm)	JRC	N°Falla	Largo del Perfil (m)	Amplitud máxima (mm)	JRC	N°Falla	Largo del Perfil (m)	Amplitud máxima (mm)	JRC
001 1	39,0	0	0,0	045 2	35,3	502	7,6	101 2	38,6	332	4,6
001 2	39,0	774	10,6	046 1	32,6	398	6,5	101 3	38,6	349	4,9
001 3	39,0	0	0,0	046 2	32,6	133	2,2	101 4	38,6	0	0,0
001 4	39,0	0	0,0	047 1	21,4	325	7,9	101 5	38,6	0	0,0
001 5	39,0	161	2,3	047 2	21,4	870	20,0	101 6	38,6	293	3,8
001 6	39,0	412	5,7	048 0	39,4	764	10,3	101 7	38,1	2907	20,0
001 7	39,0	98	1,4	049 1	23,0	167	3,8	101 8	38,5	1066	14,9
001 8	39,0	448	6,1	049 2	23,0	76	1,8	102 1	38,4	1405	19,5
002 1	33,1	167	2,7	050 1	26,0	19	0,1	102 2	38,2	2024	20,0
002 2	33,1	16	0,1	050 2	26,0	237	4,8	102 3	38,5	530	7,3
003 1	23,4	167	3,7	051 1	37,2	421	6,0	103 1	33,2	1290	20,0
003 2	23,4	167	3,7	051 2	37,3	228	3,3	103 2	33,1	993	15,8
004 1	30,2	172	3,0	052 0	34,6	2824	20,0	103 3	33,2	917	14,8
004 2	30,2	621	10,9	053 0	21,2	276	6,8	103 4	33,3	516	8,2
005 1	32,6	137	2,3	054 0	19,3	103	2,8	104 1	33,5	1312	20,0
005 2	32,6	16	0,1	055 0	35,7	559	8,3	104 2	33,6	471	7,4
005 3	32,6	0	0,0	056 0	20,0	206	5,3	105 1	30,0	530	9,3
005 4	32,6	0	0,0	057 1	25,3	160	3,3	105 2	30,0	679	12,0
006 1	36,6	0	0,0	057 2	25,3	796	16,3	105 3	29,9	687	12,0
006 2	36,6	217	3,2	058 0	39,8	474	6,3	106 1	34,0	992	15,5
006 3	36,6	86	1,3	059 1	21,7	84	2,0	106 2	34,0	335	5,3
006 4	36,6	0	0,0	059 2	21,7	229	5,5	107 1	30,4	537	9,3
006 5	36,6	364	5,3	060 0	35,5	136	2,0	107 2	30,3	1418	20,0
006 6	36,6	0	0,0	061 1	22,6	0	0,0	107 3	30,5	190	3,3
006 7	36,6	397	5,8	061 2	22,6	67	1,6	108 1	29,0	991	17,9
006 8	36,6	0	0,0	062 1	23,0	166	3,8	108 2	29,0	844	15,3
007 1	27,5	0	0,0	062 2	23,0	256	5,7	108 3	29,0	543	9,8
007 2	27,5	0	0,0	063 1	25,0	217	4,5	109 1	39,2	2401	20,0
008 1	38,2	67	1,0	063 2	25,0	157	3,3	109 2	39,3	1879	20,0
008 2	38,2	0	0,0	064 0	35,7	878	13,0	109 3	39,5	1122	15,2
009 1	32,5	370	6,0	065 0	22,0	585	13,7	109 4	39,4	1495	20,0
009 2	32,5	463	7,5	066 1	28,4	592	11,0	110 1	34,7	1598	20,0
010 1	28,7	240	4,4	066 2	28,4	551	10,2	110 2	34,7	921	13,3
010 2	28,7	209	3,9	067 1	27,6	250	4,8	111 0	28,6	1691	20,0
011 1	33,9	1795	20,0	067 2	27,6	345	4,6	112 1	36,4	5593	20,0
011 2	34,1	847	13,3	068 1	22,1	0	0,0	112 2	38,2	1672	20,0
011 3	34,1	0	0,0	068 2	22,1	212	5,0	112 3	38,3	794	11,0
012 0	35,3	697	10,5	069 1	25,6	218	4,5	112 4	38,3	355	5,0
013 1	29,6	0	0,0	069 2	25,6	6	0,1	113 1	31,7	148	2,5
013 2	29,6	171	3,1	070 0	33,9	159	2,5	113 2	31,7	767	13,0
013 3	29,6	0	0,0	071 1	36,4	469	6,9	113 3	31,6	797	13,5
014 1	29,6	0	0,0	071 2	36,4	469	6,9	113 4	31,7	505	8,5
014 2	29,6	427	7,6	072 0	39,9	1323	17,6	114 1	26,2	151	3,0
015 1	39,7	371	5,0	073 1	27,6	227	4,3	114 2	26,2	64	1,3
015 10	39,7	111	1,6	073 2	27,6	242	4,6	115 1	36,1	942	13,1
015 2	39,2	3020	20,0	074 1	28,9	321	5,9	115 2	36,0	1661	20,0
015 3	39,6	808	10,9	074 2	28,9	36	0,7	115 3	36,3	424	6,2
015 4	39,7	335	4,5	075 1	39,6	382	5,2	116 1	24,3	272	5,9
015 5	39,6	674	9,0	075 2	39,6	30	0,1	116 2	24,3	16	0,1
015 6	39,6	684	9,2	076 1	23,8	499	11,0	117 1	36,7	592	8,6
015 7	39,7	437	5,9	076 2	23,9	259	5,7	117 2	36,5	2027	20,0
015 8	39,6	884	12,0	077 0	18,1	140	4,0	117 3	36,7	742	10,8
015 9	39,2	3100	20,0	078 1	28,2	654	12,2	118 1	37,3	787	11,2
016 0	24,3	230	5,0	078 2	28,2	748	13,9	118 2	37,2	1026	13,8
017 1	31,8	479	8,0	079 0	37,7	763	10,8	119 1	37,4	1889	20,0
017 2	31,8	377	6,3	080 1	38,9	297	3,8	119 2	37,6	327	4,7
017 3	31,8	511	8,5	080 2	38,9	0	0,0	119 3	37,4	1787	20,0
018 1	28,2	505	9,4	080 3	38,9	715	9,8	120 1	33,2	873	13,2
018 2	28,2	709	13,2	081 1	29,0	378	6,9	120 2	33,2	1002	15,9
019 1	23,5	202	4,5	081 2	29,4	2292	20,0	120 3	33,1	1842	20,0
019 2	23,5	114	3,5	082 1	27,2	389	7,6	120 4	33,3	0	0,0
020 1	39,6	854	11,6	082 2	27,2	272	5,3	121 1	34,4	1611	20,0
020 2	39,4	2028	20,0	083 1	24,6	567	12,0	121 2	34,5	615	9,5
020 3	39,6	0	0,0	083 2	24,5	1119	20,0	122 1	36,3	952	13,2
020 4	39,6	249	3,4	084 1	39,9	9	0,1	122 2	36,3	0	0,0
020 5	39,5	890	12,0	084 2	39,8	1360	18,3	122 3	36,3	879	13,0

NºFalla	Largo del Perfil (m)	Amplitud máxima (mm)	JRC	NºFalla	Largo del Perfil (m)	Amplitud máxima (mm)	JRC	NºFalla	Largo del Perfil (m)	Amplitud máxima (mm)	JRC
020 6	39,5	1295	17,6	084 3	39,9	630	8,5	122 4	36,3	0	0,0
020 7	39,5	1609	20,0	085 0	34,8	922	14,0	122 5	36,3	0	0,0
020 8	39,6	625	8,5	086 0	29,2	685	12,4	122 6	36,3	1158	17,0
021 1	34,8	1434	20,0	087 0	27,2	328	6,4	122 7	36,3	8	0,1
021 2	34,9	653	9,9	088 1	32,4	520	8,5	123 1	26,1	488	9,8
022 0	37,4	128	1,9	088 2	32,2	1684	20,0	123 2	26,1	155	3,1
023 1	29,0	105	1,9	089 0	37,9	1158	17,2	124 1	34,9	689	10,5
023 2	29,0	0	0,0	090 1	40,0	770	10,3	124 2	34,9	492	7,5
024 1	27,9	476	8,9	090 2	40,0	1014	13,8	124 3	34,9	800	12,2
024 2	27,9	132	2,6	090 3	40,0	1612	20,0	124 4	34,9	901	13,9
025 1	36,3	71	1,1	091 1	37,7	332	4,7	125 0	32,7	857	13,8
025 2	36,3	414	6,1	091 2	37,6	386	5,5	126 1	27,3	757	14,5
025 3	36,2	469	6,9	091 3	37,7	176	2,5	126 2	27,3	418	8,0
025 4	36,2	860	12,8	092 1	40,0	368	5,0	127 1	33,2	679	10,9
026 0	34,6	403	6,2	092 2	39,9	1124	15,0	127 2	33,2	0	0,0
027 1	35,5	226	3,4	093 1	33,3	2121	20,0	127 3	33,2	486	7,8
027 2	35,5	366	5,5	093 2	33,6	678	10,7	127 4	33,2	222	3,6
028 1	27,7	116	2,2	093 3	33,6	948	15,0	128 1	27,8	919	17,2
028 2	27,7	110	2,1	093 4	33,6	529	8,4	128 2	27,6	1678	20,0
029 1	31,0	296	5,0	094 1	38,8	823	11,3	128 3	27,8	1111	20,0
029 2	30,9	1194	20,0	094 2	38,7	1395	19,2	129 1	32,2	441	7,2
030 1	24,8	0	0,0	094 3	38,7	1395	19,2	129 2	32,0	1370	20,0
030 2	24,8	176	3,7	094 4	38,8	564	7,8	129 3	32,1	949	15,6
031 0	34,5	209	3,2	094 5	38,7	1617	20,0	129 4	32,2	740	12,2
032 0	39,2	357	4,9	094 6	38,7	1288	17,8	130 1	38,9	873	12,0
033 1	35,6	209	3,1	095 1	33,8	885	13,1	130 2	38,9	1112	15,3
033 2	35,6	508	7,6	095 2	33,8	929	14,8	130 3	38,8	1572	20,0
034 1	21,8	926	20,0	095 3	33,8	833	13,2	130 4	38,9	1067	13,8
034 2	21,9	138	3,3	095 4	33,8	685	10,8	131 1	30,7	314	5,4
035 0	32,1	663	10,9	095 5	33,8	259	4,1	131 2	30,7	314	5,4
036 1	29,1	0	0,0	095 6	33,7	364	5,8	131 3	30,6	407	7,0
036 2	29,1	487	8,8	096 1	34,0	1331	20,0	132 1	38,0	172	2,5
037 1	36,8	39	0,6	096 2	34,2	191	3,0	132 2	38,0	665	6,3
037 2	36,8	392	5,7	096 3	34,1	527	8,2	133 1	35,7	939	13,2
038 1	23,8	311	6,8	096 4	34,1	876	13,8	133 2	35,7	399	6,0
038 2	23,8	94	2,1	096 5	34,1	446	7,0	133 3	35,7	1071	16,0
039 1	28,8	30	0,5	097 0	36,1	913	13,4	133 4	35,7	778	11,6
039 2	28,8	271	5,0	098 1	32,8	1094	17,8	133 5	35,7	617	9,2
040 0	24,1	214	4,7	098 2	32,8	745	12,0	134 1	27,3	285	5,5
041 0	30,3	781	13,5	098 3	32,9	166	2,7	134 2	27,3	347	6,7
042 0	21,5	51	1,3	099 1	38,0	1853	20,0	134 3	27,3	245	4,7
043 1	20,8	198	5,0	099 2	38,2	274	3,8	135 1	24,9	0	0,0
043 2	20,8	157	3,9	099 3	38,1	1012	13,4	135 2	24,9	205	4,3
044 1	26,8	728	14,2	100 1	30,3	890	15,5	136 1	37,7	0	0,0
044 2	26,9	231	4,6	100 2	30,2	1369	20,0	136 2	37,6	467	6,6
045 1	35,3	126	1,9	101 1	38,6	0	0,0	136 3	37,6	719	10,1

Tabla E5: Valores de JRC para Fallas-Segmentos hasta 80 m.

NºFalla	Largo del Perfil (m)	Amplitud máxima (mm)	JRC	NºFalla	Largo del Perfil (m)	Amplitud máxima (mm)	JRC	NºFalla	Largo del Perfil (m)	Amplitud máxima (mm)	JRC
001 1	77,9	1992	14	048 0	39,4	764	10,3	100 0	60,6	1866	16,7
001 2	78,0	0	0	049 0	46,0	1098	12,8	101 1	77,1	471	3,4
001 3	78,0	505	3,6	050 0	52,0	464	4,9	101 2	77,1	363	2,7
001 4	78,0	778	5,6	051 0	74,5	651	4,9	101 3	77,1	400	2,9
002 0	66,1	182	1,6	052 0	34,6	2824	20	101 4	76,6	2888	20
003 0	46,8	512	5,9	053 0	21,2	276	6,8	102 1	57,0	3984	20
004 0	60,3	2302	20	054 0	19,3	103	2,8	102 2	57,7	905	8,5
005 1	65,1	140	1,2	055 0	35,7	559	8,3	103 1	66,3	1536	12,7
005 2	65,1	0	0	056 0	20,0	206	5,3	103 2	66,4	1663	13,7
006 1	73,3	671	5,1	057 0	50,5	1425	15,1	104 0	67,1	1302	10,6
006 2	73,3	647	4,9	058 0	39,8	474	6,3	105 1	44,9	1363	16,2
006 3	73,3	597	4,5	059 0	43,3	1076	13,2	105 2	44,9	1363	16,2
006 4	73,3	1231	9,2	060 0	35,5	136	2	106 0	68,0	1227	9,9
007 0	55,0	0	0	061 0	45,1	134	1,7	107 1	45,6	689	8,1
008 0	76,3	170	1,3	062 0	46,0	322	3,8	107 2	45,5	2143	20
009 0	64,9	2087	17,4	063 0	50,0	756	8,2	108 1	43,4	2325	20

N°Falla	Largo del Perfil (m)	Amplitud máxima (mm)	JRC	N°Falla	Largo del Perfil (m)	Amplitud máxima (mm)	JRC	N°Falla	Largo del Perfil (m)	Amplitud máxima (mm)	JRC
010 0	57,4	351	3,4	064 0	35,7	878	13	108 2	43,4	1518	18,6
011 1	51,0	1824	19,2	065 0	22,0	585	13,7	109 1	78,4	2894	20
011 2	51,1	884	9,3	066 0	56,6	2962	20	109 2	78,8	1931	13,5
012 0	35,3	697	10,5	067 0	55,2	692	6,8	110 0	69,1	4207	20
013 1	44,4	0	0	068 0	44,1	366	4,4	111 0	28,6	1691	20
013 2	44,4	135	1,7	069 0	51,1	729	7,7	112 1	73,0	11154	20
014 0	59,3	743	6,8	070 0	33,9	159	2,5	112 2	76,5	1483	10,6
015 1	78,5	5514	20	071 0	72,7	617	4,7	113 1	63,3	1282	11
015 2	79,2	2432	16,8	072 0	39,9	1323	17,6	113 2	63,3	1513	13
015 3	79,3	1347	9,3	073 0	55,1	934	9,1	114 0	52,4	441	4,6
015 4	79,2	2009	13,9	074 0	57,8	413	3,9	115 1	54,0	1905	19
015 5	78,7	4537	20	075 0	79,1	964	6,8	115 2	54,3	1106	11
016 0	24,3	230	5	076 0	47,7	900	10,1	116 0	48,6	503	5,6
017 1	47,7	1008	11,4	077 0	18,1	140	4	117 1	55,0	1436	14
017 2	47,7	939	10,5	078 0	56,4	1149	11	117 2	55,1	763	7,5
018 0	56,3	1059	10,2	079 0	37,7	763	10,8	118 0	74,3	3066	20
019 0	46,9	658	7,6	080 1	58,3	473	4,5	119 1	56,1	2977	20
020 1	78,4	5325	20	080 2	58,3	1469	13,7	119 2	56,1	2967	20
020 2	79,2	596	4,2	081 0	59,0	3928	20	120 1	66,4	1599	13,1
020 3	78,9	3056	20	082 0	54,1	2948	20	120 2	66,3	2482	20
020 4	79,0	1802	12,6	083 0	48,9	2426	20	121 0	68,9	1983	15,8
021 0	69,6	2447	19,1	084 1	59,8	814	7,4	122 1	63,5	1051	9
022 0	37,4	128	1,9	084 2	59,7	956	8,7	122 2	63,5	972	8,3
023 0	58,1	168	1,7	085 0	34,8	922	14	122 3	63,6	0	0
024 0	55,9	930	9	086 0	29,2	685	12,4	122 4	63,5	1330	11,4
025 1	72,5	520	4	087 0	27,2	328	6,4	123 0	52,1	763	8
025 2	72,4	1870	14,1	088 0	64,6	2188	18,3	124 1	69,8	817	6,4
026 0	34,6	403	6,2	089 0	37,9	1158	17,2	124 2	69,8	1321	10,3
027 0	71,0	432	3,4	090 1	60,2	911	8,2	125 0	32,7	857	13,8
028 0	55,4	492	4,8	090 2	60,1	2182	19,8	126 0	54,5	1578	15,6
029 0	61,9	1970	17,2	091 1	56,5	363	3,5	127 1	66,3	830	6,8
030 0	49,6	286	3,2	091 2	56,5	408	3,9	127 2	66,4	526	4,4
031 0	34,5	209	3,2	092 0	79,8	2612	18	128 1	41,6	1160	14,9
032 0	39,2	357	4,9	093 1	66,7	3954	20	128 2	41,7	1226	15,7
033 0	71,2	1906	14,7	093 2	67,2	1467	12	129 1	64,2	1674	14,1
034 0	43,7	1246	15,2	094 1	77,5	2766	19,7	129 2	64,1	2647	20
035 0	32,1	663	10,9	094 2	77,3	3144	20	130 1	77,8	1322	9,3
036 0	58,2	648	6	094 3	77,4	2522	17,9	130 2	77,7	2576	18,1
037 0	73,5	1533	11,5	095 1	67,4	2814	20	131 1	45,9	1425	16,6
038 0	47,5	793	9	095 2	67,6	1379	11,2	131 2	45,9	1828	20
039 0	57,7	266	2,6	095 3	67,5	681	5,6	132 0	75,9	1801	13
040 0	24,1	214	4,7	096 1	56,7	2955	20	133 1	59,5	1313	12
041 0	30,3	781	13,5	096 2	56,9	923	8,8	133 2	59,4	1552	14,1
042 0	21,5	51	1,3	096 3	56,9	553	5,3	133 3	59,5	917	8,3
043 0	41,5	247	3,2	097 0	36,1	913	13,4	134 1	41,0	433	5,7
044 0	53,6	1368	13,6	098 1	49,1	1698	18,5	134 2	41,0	371	4,9
045 0	70,7	602	4,8	098 2	49,2	1434	15,8	135 0	49,7	4450	20
046 0	65,3	843	7,1	099 1	56,9	3127	20	136 1	56,5	120	1,2
047 0	42,8	833	10,4	099 2	57,2	1298	12,3	136 2	56,3	1980	19

Tabla E6: JRC ordenados de Fallas-Segmentos hasta 40 m. Colores tienen relación con simbología en el mapa.

N°Falla	JRC	N°Falla	JRC	N°Falla	JRC	N°Falla	JRC	N°Falla	JRC	N°Falla	JRC
001 1	0,0	059 1	2,0	040 0	4,7	096 5	7,0	112 3	11,0	120 2	15,9
001 3	0,0	060 0	2,0	091 1	4,7	131 3	7,0	118 1	11,2	133 3	16,0
001 4	0,0	028 2	2,1	119 2	4,7	129 1	7,2	094 1	11,3	057 2	16,3
005 3	0,0	038 2	2,1	134 3	4,7	102 3	7,3	020 1	11,6	122 6	17,0
005 4	0,0	028 1	2,2	050 2	4,8	104 2	7,4	133 4	11,6	089 0	17,2
006 1	0,0	046 2	2,2	067 1	4,8	009 2	7,5	015 8	12,0	018 1	17,2
006 4	0,0	001 5	2,3	032 0	4,9	124 2	7,5	020 5	12,0	020 6	17,6
006 6	0,0	005 1	2,3	101 3	4,9	014 2	7,6	083 1	12,0	072 0	17,6
006 8	0,0	070 0	2,5	015 1	5,0	033 2	7,6	098 2	12,0	094 6	17,8
007 1	0,0	091 3	2,5	016 0	5,0	045 2	7,6	105 2	12,0	098 1	17,8
007 2	0,0	113 1	2,5	029 1	5,0	082 1	7,6	105 3	12,0	108 1	17,9
008 2	0,0	132 1	2,5	039 2	5,0	094 4	7,8	130 1	12,0	084 2	18,3
011 3	0,0	024 2	2,6	043 1	5,0	127 3	7,8	078 1	12,2	094 2	19,2
013 1	0,0	002 1	2,7	068 2	5,0	047 1	7,9	124 3	12,2	094 3	19,2

NºFalla	JRC	NºFalla	JRC	NºFalla	JRC	NºFalla	JRC	NºFalla	JRC	NºFalla	JRC
013 3	0,0	098 3	2,7	092 1	5,0	017 1	8,0	129 4	12,2	102 1	19,5
014 1	0,0	054 0	2,8	112 4	5,0	126 2	8,0	086 0	12,4	011 1	20,0
020 3	0,0	004 1	3,0	075 1	5,2	096 3	8,2	025 4	12,8	015 2	20,0
023 2	0,0	096 2	3,0	006 5	5,3	103 4	8,2	064 0	13,0	015 9	20,0
030 1	0,0	114 1	3,0	056 0	5,3	055 0	8,3	113 2	13,0	020 2	20,0
036 1	0,0	013 2	3,1	082 2	5,3	093 4	8,4	122 3	13,0	020 7	20,0
061 1	0,0	033 1	3,1	106 2	5,3	017 3	8,5	095 1	13,1	021 1	20,0
068 1	0,0	123 2	3,1	131 1	5,4	020 8	8,5	115 1	13,1	029 2	20,0
080 2	0,0	006 2	3,2	131 2	5,4	084 3	8,5	018 2	13,2	034 1	20,0
101 1	0,0	031 0	3,2	027 2	5,5	088 1	8,5	095 3	13,2	047 2	20,0
101 4	0,0	034 2	3,3	059 2	5,5	113 4	8,5	120 1	13,2	052 0	20,0
101 5	0,0	051 2	3,3	091 2	5,5	117 1	8,6	122 1	13,2	081 2	20,0
120 4	0,0	057 1	3,3	134 1	5,5	036 2	8,8	133 1	13,2	083 2	20,0
122 2	0,0	063 2	3,3	001 6	5,7	024 1	8,9	011 2	13,3	088 2	20,0
122 4	0,0	107 3	3,3	037 2	5,7	015 5	9,0	110 2	13,3	090 3	20,0
122 5	0,0	020 4	3,4	062 2	5,7	015 6	9,2	097 0	13,4	093 1	20,0
127 2	0,0	027 1	3,4	076 2	5,7	133 5	9,2	099 3	13,4	094 5	20,0
135 1	0,0	019 2	3,5	006 7	5,8	105 1	9,3	041 0	13,5	096 1	20,0
136 1	0,0	127 4	3,6	095 6	5,8	107 1	9,3	113 3	13,5	099 1	20,0
002 2	0,1	003 1	3,7	015 7	5,9	018 1	9,4	065 0	13,7	100 2	20,0
005 2	0,1	003 2	3,7	074 1	5,9	121 2	9,5	090 2	13,8	101 7	20,0
050 1	0,1	030 2	3,7	116 1	5,9	080 3	9,8	096 4	13,8	102 2	20,0
069 2	0,1	049 1	3,8	009 1	6,0	108 3	9,8	118 2	13,8	103 1	20,0
075 2	0,1	062 1	3,8	051 1	6,0	123 1	9,8	125 0	13,8	104 1	20,0
084 1	0,1	080 1	3,8	133 2	6,0	021 2	9,9	130 4	13,8	107 2	20,0
116 2	0,1	099 2	3,8	001 8	6,1	136 3	10,1	078 2	13,9	109 1	20,0
122 7	0,1	101 6	3,8	025 2	6,1	066 2	10,2	124 4	13,9	109 2	20,0
039 1	0,5	010 2	3,9	026 0	6,2	048 0	10,3	085 0	14,0	109 4	20,0
037 1	0,6	043 2	3,9	115 3	6,2	090 1	10,3	044 1	14,2	110 1	20,0
074 2	0,7	077 0	4,0	017 2	6,3	012 0	10,5	126 1	14,5	111 0	20,0
008 1	1,0	095 5	4,1	058 0	6,3	124 1	10,5	095 2	14,8	112 1	20,0
025 1	1,1	073 1	4,3	132 2	6,3	001 2	10,6	103 3	14,8	112 2	20,0
006 3	1,3	135 2	4,3	087 0	6,4	093 2	10,7	101 8	14,9	115 2	20,0
042 0	1,3	010 1	4,4	046 1	6,5	079 0	10,8	092 2	15,0	117 2	20,0
114 2	1,3	015 4	4,5	136 2	6,6	095 4	10,8	093 3	15,0	119 1	20,0
001 7	1,4	019 1	4,5	134 2	6,7	117 3	10,8	109 3	15,2	119 3	20,0
015 10	1,6	063 1	4,5	038 1	6,8	004 2	10,9	108 2	15,3	120 3	20,0
061 2	1,6	069 1	4,5	053 0	6,8	015 3	10,9	130 2	15,3	121 1	20,0
049 2	1,8	044 2	4,6	025 3	6,9	035 0	10,9	100 1	15,5	128 2	20,0
022 0	1,9	067 2	4,6	071 1	6,9	127 1	10,9	106 1	15,5	128 3	20,0
023 1	1,9	073 2	4,6	071 2	6,9	066 1	11,0	129 3	15,6	129 2	20,0
045 1	1,9	101 2	4,6	081 1	6,9	076 1	11,0	103 2	15,8	130 3	20,0



N° Falla	N° de Segmentos	JCS 1	JCS 2	JCS 3	JCS 4	JCS 5	JCS 6	JCS 7	JCS 8	JCS 9	JCS 10	Promedio
56	1	135										135,0
57	2	135	135									135,0
58	1	135										135,0
59	2	135	135									135,0
60	1	135										135,0
61	2	135	135									135,0
62	2	135	135									135,0
63	2	135	135									135,0
64	1	135										135,0
65	1	135										135,0
66	2	135	135									135,0
67	2	135	135									135,0
68	2	151	151									151,0
69	2	135	135									135,0
70	1	135										135,0
71	2	135	135									135,0
72	1	108										108,0
73	2	135	135									135,0
74	2	135	135									135,0
75	2	135	135									135,0
76	2	135	135									135,0
77	1	135										135,0
78	2	135	135									135,0
79	1	135										135,0
80	3	135	135	135								135,0
81	2	151	135									143,0
82	2	135	135									135,0
83	2	135	135									135,0
84	3	135	108	108								117,0
85	1	135										135,0
86	1	108										108,0
87	1	108										108,0
88	2	108	108									108,0
89	1	108										108,0
90	3	151	151	135								145,7
91	3	151	151	151								151,0
92	2	151	151									151,0
93	4	151	151	151	151							151,0
94	6	151	151	151	151	151	135					148,3
95	6	135	151	151	151	151	151					148,3
96	5	151	151	151	151	135						147,8
97	1	151										151,0
98	3	151	151	135								145,7
99	3	151	151	151								151,0
100	2	151	151									151,0
101	8	135	135	135	151	151	151	151	151			145,0
102	3	135	151	151								145,7
103	4	135	135	135	135							135,0
104	2	151	151									151,0
105	3	135	135	135								135,0
106	2	135	151									143,0
107	3	151	151	151								151,0
108	3	151	151	151								151,0
109	4	135	135	151	151							143,0
110	2	135	135									135,0
111	1	151										151,0
112	4	151	135	151	151							147,0
113	4	135	151	151	151							147,0
114	2	151	151									151,0
115	3	151	151	151								151,0
116	2	151	135									143,0
117	3	151	151	151								151,0
118	2	151	151									151,0
119	3	135	135	151								140,3
120	4	135	151	135	151							143,0
121	2	151	151									151,0
122	7	151	135	151	151	135	151	151				146,4
123	2	151	151									151,0
124	4	151	151	151	151							151,0
125	1	151										151,0
126	2	151	151									151,0
127	4	151	151	151	151							151,0

N° Falla	N° de Segmentos	JCS 1	JCS 2	JCS 3	JCS 4	JCS 5	JCS 6	JCS 7	JCS 8	JCS 9	JCS 10	Promedio
128	3	135	135	135								135,0
129	4	135	135	135	108							128,3
130	4	151	151	151	151							151,0
131	3	135	151	151								145,7
132	2	151	151									151,0
133	5	135	151	151	151	151						147,8
134	3	135	135	135								135,0
135	2	135	135									135,0
136	3	140	124	135								133,0
Promedio Total todas las Fallas												137,5



## Anexo G:

### Cálculo del Ángulo de Fricción Residual de las Fallas de RENO-Dacita

A continuación se exhiben los valores detallados del ángulo de fricción residual para cada falla.

Tabla G1: Resultados del  $\phi_r$  para las falla del Mapa de Resistencia al Corte.

Nº	Traza (m)	Ln(L)	$\phi_r$	Nº	Traza (m)	Ln(L)	$\phi_r$	Nº	Traza (m)	Ln(L)	$\phi_r$
1	312,1	5,7	23,5	48	39,5	3,7	27,6	95	203,0	5,3	24,4
2	66,1	4,2	26,6	49	46,1	3,8	27,3	96	170,8	5,1	24,7
3	46,8	3,8	27,3	50	52,0	4,0	27,1	97	36,2	3,6	27,8
4	60,4	4,1	26,8	51	74,5	4,3	26,4	98	98,6	4,6	25,8
5	130,2	4,9	25,3	52	35,2	3,6	27,9	99	114,5	4,7	25,5
6	293,2	5,7	23,6	53	21,2	3,1	28,9	100	60,8	4,1	26,8
7	55,0	4,0	27,0	54	19,3	3,0	29,1	101	308,6	5,7	23,5
8	76,3	4,3	26,3	55	35,7	3,6	27,8	102	115,5	4,7	25,5
9	65,1	4,2	26,6	56	20,0	3,0	29,0	103	133,2	4,9	25,2
10	57,4	4,0	26,9	57	50,6	3,9	27,2	104	67,2	4,2	26,6
11	102,3	4,6	25,7	58	39,8	3,7	27,6	105	90,0	4,5	26,0
12	35,3	3,6	27,9	59	43,3	3,8	27,5	106	68,1	4,2	26,6
13	88,8	4,5	26,0	60	35,5	3,6	27,9	107	91,4	4,5	26,0
14	59,3	4,1	26,8	61	45,1	3,8	27,4	108	87,2	4,5	26,1
15	396,7	6,0	23,0	62	46,0	3,8	27,3	109	158,0	5,1	24,9
16	24,3	3,2	28,6	63	50,1	3,9	27,2	110	69,6	4,2	26,5
17	95,4	4,6	25,9	64	35,8	3,6	27,8	111	29,0	3,4	28,3
18	56,4	4,0	26,9	65	22,1	3,1	28,8	112	153,2	5,0	24,9
19	46,9	3,8	27,3	66	56,9	4,0	26,9	113	126,7	4,8	25,3
20	316,8	5,8	23,5	67	55,2	4,0	27,0	114	52,4	4,0	27,1
21	69,9	4,2	26,5	68	44,1	3,8	27,4	115	108,8	4,7	25,6
22	37,4	3,6	27,8	69	51,1	3,9	27,1	116	48,6	3,9	27,2
23	58,1	4,1	26,9	70	33,9	3,5	28,0	117	110,3	4,7	25,6
24	55,9	4,0	27,0	71	72,7	4,3	26,4	118	74,6	4,3	26,4
25	145,0	5,0	25,0	72	40,0	3,7	27,6	119	112,9	4,7	25,5
26	34,7	3,5	27,9	73	55,1	4,0	27,0	120	133,1	4,9	25,2
27	71,0	4,3	26,5	74	57,8	4,1	26,9	121	69,1	4,2	26,5
28	55,5	4,0	27,0	75	79,1	4,4	26,3	122	254,4	5,5	23,9
29	62,1	4,1	26,7	76	47,7	3,9	27,3	123	52,2	4,0	27,1
30	49,6	3,9	27,2	77	18,1	2,9	29,2	124	139,9	4,9	25,1
31	34,5	3,5	27,9	78	56,4	4,0	26,9	125	32,8	3,5	28,0
32	39,2	3,7	27,7	79	37,7	3,6	27,7	126	54,6	4,0	27,0
33	71,3	4,3	26,5	80	116,7	4,8	25,5	127	132,8	4,9	25,2
34	43,9	3,8	27,4	81	59,6	4,1	26,8	128	83,7	4,4	26,1
35	32,1	3,5	28,1	82	54,4	4,0	27,0	129	128,8	4,9	25,3
36	58,2	4,1	26,9	83	49,2	3,9	27,2	130	155,9	5,0	24,9
37	73,6	4,3	26,4	84	119,7	4,8	25,4	131	92,0	4,5	26,0
38	47,6	3,9	27,3	85	34,9	3,6	27,9	132	76,0	4,3	26,3
39	57,7	4,1	26,9	86	29,2	3,4	28,3	133	178,7	5,2	24,6
40	24,1	3,2	28,6	87	27,2	3,3	28,4	134	82,0	4,4	26,2
41	30,3	3,4	28,2	88	64,9	4,2	26,7	135	49,9	3,9	27,2
42	21,5	3,1	28,9	89	38,0	3,6	27,7	136	113,0	4,7	25,5
43	41,5	3,7	27,5	90	120,5	4,8	25,4		Promedio		26,6
44	53,8	4,0	27,0	91	113,0	4,7	25,5		Máximo		29,2
45	70,7	4,3	26,5	92	80,0	4,4	26,2		Mínimo		23,0
46	65,3	4,2	26,6	93	134,7	4,9	25,2		Des. Estándar		1,3
47	42,9	3,8	27,5	94	233,0	5,5	24,1				

## Anexo H:

### Resultados de Resistencia al Corte de las Fallas de RENO-Dacita

A continuación se exhiben los valores de resistencia al corte de las fallas calculados según el Criterio de Barton y Choubey (1977) de acuerdo a los parámetros obtenidos en este informe, coloreados según su color en el Mapa de Resistencia al Corte.

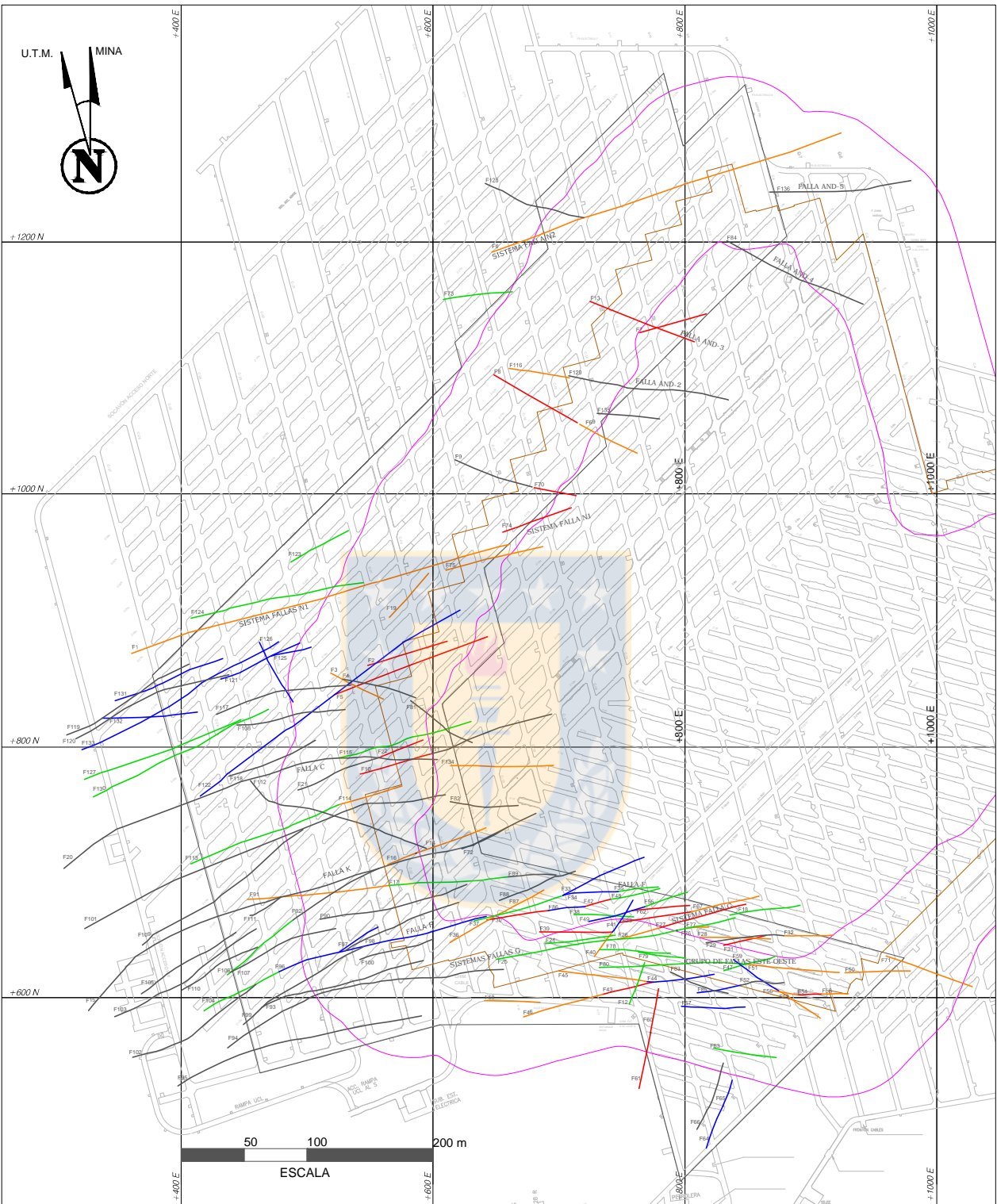
Tabla H1: Resultados de resistencia al corte.

N°Falla	Resistencia al Corte (MPa)	N°Falla	Resistencia al Corte (MPa)	N°Falla	Resistencia al Corte (MPa)	N°Falla	Resistencia al Corte (MPa)
19	13,4	53	33,1	103	36,9	97	39,2
58	15,2	23	33,2	136	37,0	135	39,2
81	22,0	10	33,4	60	37,2	98	39,4
63	25,0	124	33,5	25	37,2	12	39,5
4	25,3	126	33,5	61	37,2	31	39,6
6	26,1	35	33,7	71	37,5	42	39,7
74	27,0	123	34,0	78	37,5	64	39,8
116	28,1	113	34,1	101	37,5	46	39,8
75	28,5	122	34,1	99	37,5	110	39,8
8	28,7	129	34,2	9	37,7	125	39,9
13	28,9	17	34,2	131	37,8	32	39,9
128	29,2	36	34,3	34	37,8	121	40,0
7	29,5	40	34,4	24	37,8	82	40,1
3	29,8	130	34,4	44	37,8	118	40,1
80	30,0	14	34,6	132	38,0	87	40,2
22	30,2	114	34,7	54	38,0	107	40,2
5	30,2	96	34,7	112	38,1	86	40,2
1	30,6	85	34,7	109	38,1	33	40,7
38	31,1	106	34,8	41	38,2	21	40,7
70	31,2	104	34,8	93	38,2	88	40,8
57	31,6	68	34,8	90	38,3	29	40,9
84	31,8	127	35,0	72	38,4	18	41,1
56	32,0	15	35,3	119	38,5	55	41,2
2	32,3	47	35,5	94	38,5	83	41,3
43	32,4	26	35,7	76	38,6	108	41,6
62	32,4	67	35,8	92	38,6	49	42,0
30	32,5	105	35,9	37	38,7	77	42,0
134	32,5	133	36,0	28	38,7	48	42,3
39	32,6	20	36,1	100	38,8	89	42,8
91	32,6	115	36,4	102	38,9	59	43,4
73	32,8	16	36,4	95	38,9	111	44,0
69	32,8	79	36,6	50	39,0	52	44,4
51	32,9	45	36,7	117	39,0	66	45,6
27	33,0	11	36,9	120	39,1	65	46,0

**Anexo I:  
Mapas**



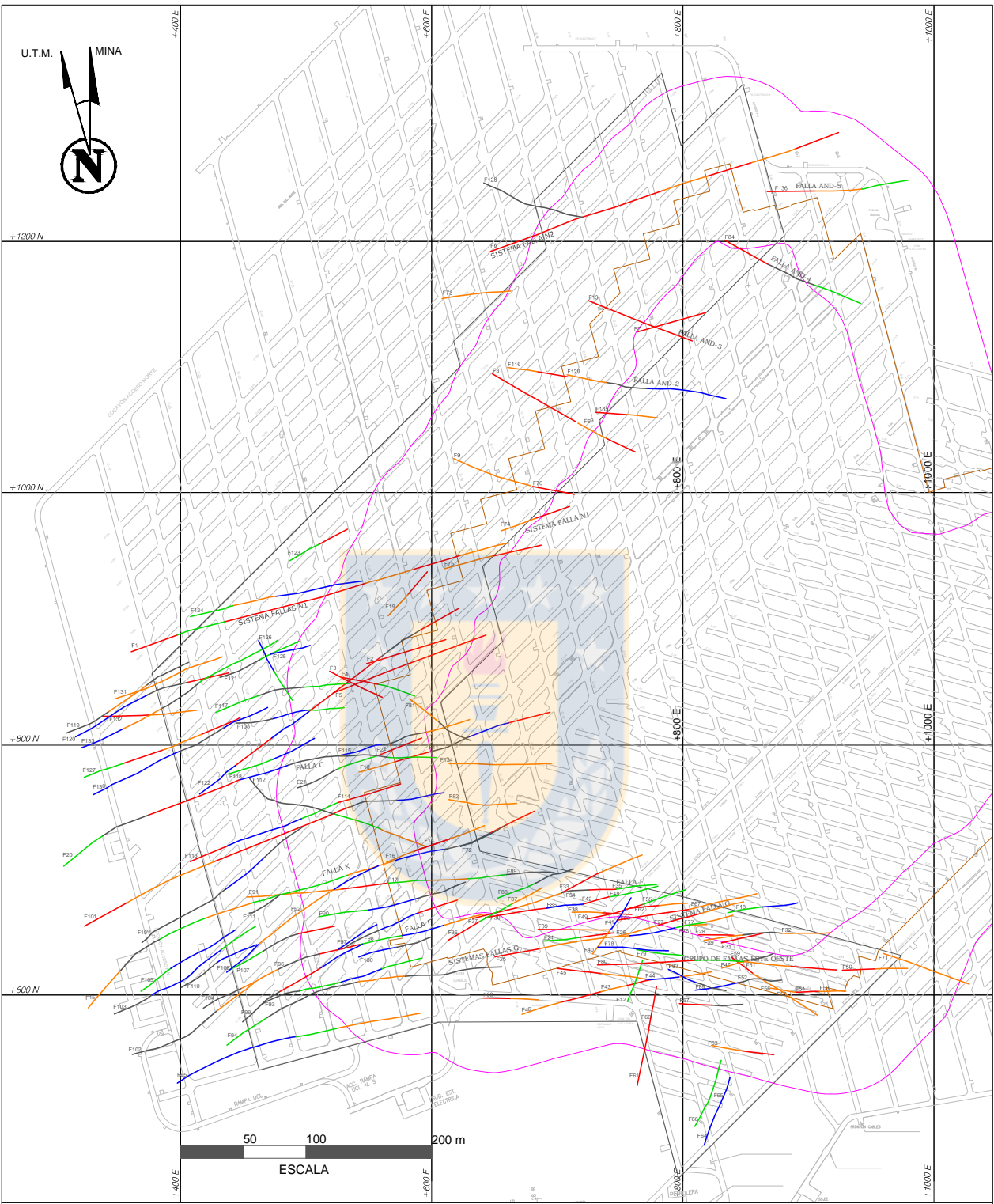
# MAPA JRC FALLAS RENO-DACITA



## SIMBOLOGÍA

	FALLAS JRC [0,4]		FALLAS JRC [12,16]		LABORES DE LA MINA		ZONA DE ESTUDIO "RENO-DACITA"
	FALLAS JRC [4,8]		FALLAS JRC [16,20]		ZONA DE TRANSICIÓN (ZT) SUB6		FRENTE DE HUNDIMIENTO
	FALLAS JRC [8,12]		NÚMERO DE FALLA				

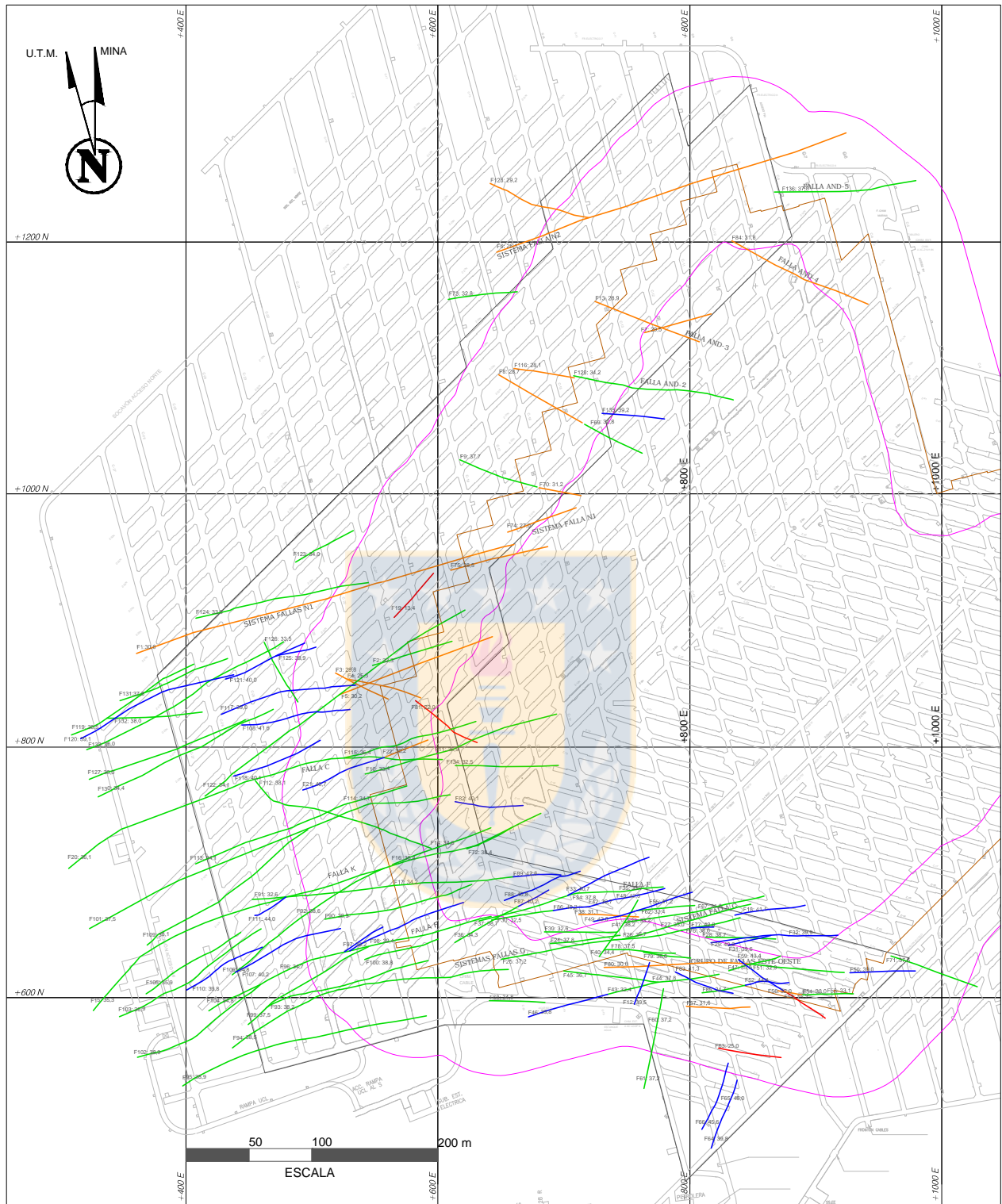
# MAPA JRC FALLAS-SEGMENTOS 40 M RENO-DACITA












## SIMBOLOGÍA

	FALLAS JRC [0,4]		FALLAS JRC [12,16]		LABORES DE LA MINA		ZONA DE ESTUDIO "RENO-DACITA"
	FALLAS JRC [4,8]		FALLAS JRC [16,20]		ZONA DE TRANSICIÓN (ZT) SUB6		FRENTE DE HUNDIMIENTO
	FALLAS JRC [8,12]		NÚMERO DE FALLA				

# MAPA RESISTENCIA AL CORTE FALLAS RENO-DACITA



## SIMBOLOGÍA

- |   |  |  |
|---|--|--|
|  FALLA RC [13,4 ; 25,0] MPA                                  |  FALLA RC ]32,0 ; 39,0[ MPA |  LABORES DE LA MINA            |
|  FALLA RC ]25,0 ; 32,0[ MPA                                  |  FALLA RC ]32,0 ; 39,0[ MPA |  ZONA DE TRANSICIÓN (ZT) SUB6  |
|  F124: 33,5 NÚMERO DE FALLA: RESISTENCIA AL CORTE (RC) (MPA) |  |  FRENTE DE HUNDIMIENTO         |
|   |  |  ZONA DE ESTUDIO "RENO-DACITA" |