

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE
INGENIERIA GEOLÓGICA



**“INFLUENCIA DE LOS INDICES GEOMECÁNICOS
RMR Y GSI EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO
PIQUE PRINCIPAL MARSA UNIDAD MINERA SAN
ANDRÉS - MARSA”**

T E S I S

**Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO GEÓLOGO**

PRESENTADO POR:

Bach. Elvis Alex, HUIDOBRO NIETO

CERRO DE PASCO – PERÚ

2018

DEDICATORIA

La presente Tesis, esta dedicado a mis padres,
por brindarme su apoyo incondicional día a día y
a mis colegas de Marsa por educarme con esfuerzo y
entusiasmo, para lograr mis objetivos y agradecerle
por su dedicación

RESUMEN

El proyecto Pique principal Marsa, está ubicada en la localidad de Llacuabamba, (las Chilcas), políticamente se ubica en el distrito de Parcoy, provincia de Pataz, departamento de La Libertad; a una altitud de 4200 y 3220 m.s.n.m.

Geomorfológicamente la zona es de relieve abrupto, accidentada típico valle en formación, el fondo del valle se encuentra aproximadamente a 2520 msnm, mientras que los picos de la región (el Gigante y Buldibuyo) alcanzan los 4500 msnm.

La zona aurífera de Parcoy, Gigante y Buldibuyo (considerado como distrito que cortan a los esquistos, filitas, pizarras y rocas metavolcánicas del Complejo del Marañón (del pre-cámbrico). El Batolito de Pataz se extiende aproximadamente 50 Km. Entre vijus al Norte y Buldibuyo al Sur, con un ancho promedio de 2.5 Km. El relleno mineralógico de las estructuras mineralizadas están constituidas por cuarzo lechoso, pirita, arsenopirita, marmatita-esfalerita, calcopirita, galena, pirrotita y oro en estado nativo y libre.

A lo largo de la historia geológica, el Batolito de Pataz ha sido afectado por los diversos eventos tectónicos desde los últimos 300 Ma. el rasgo más importante es el fallamiento, constituyendo un sistema complejo de cizallamiento Pre y Post mineral.

De la Evaluación geomecánica, Minera Aurífera Retamas (MARSA), se propone excavar un pique de múltiples usos en su yacimiento. El proyecto considera que la excavación será materializada en

Etapas según progresa la profundización del Pique. En todos los casos esta excavación en una primera alternativa primero progresa con preparación de cámaras, en sus diferentes niveles con sostenimiento, fortificación con inyección de cemento, instalación de cable bolting, y perforación Raise Boring de diámetro 1.5m para posteriormente ser sobre excavado hasta el diámetro 4.8 m útil a la construcción.

La evaluación geomecánica realizada tiene como objetivo, asegurar condiciones adecuadas de estabilidad del proyecto Pique y de las excavaciones asociadas al Proyecto, como son los diseños de las cámaras Skips, cámaras pique y cámaras jaula.

En el diseño del pique se está contemplando la construcción de sección circular con elementos metálicos en sus compartimientos, para el izaje de mineral y desmonte por skips y de personal, materiales y equipo por jaula; ambos con winche independiente. El diámetro del pique será de 4.2 m., tendrá un revestimiento de concreto de 30 cm de espesor por condiciones del terreno; con lo que se estima un diámetro de excavación de 4.80 m.

INDICE

| CONTENIDO | Pagina |
|---|--------|
| DEDICATORIA | I |
| RESUMEN | II |
| INDICE | IV |
| INTRODUCCIÓN | XIX |
| CAPÍTULO I | 01 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 01 |
| 1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA | 01 |
| 1.2. FORMULACIÓN DE PROBLEMAS | 02 |
| 1.3. OBJETIVOS | 04 |
| 1.3.1. Objetivo General | 04 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos | 04 |
| 1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA | 04 |
| 1.5. IMPORTANCIA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN | 05 |
| 1.6. LIMITACIONES | 05 |
| CAPÍTULO II | 06 |
| CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA | 06 |
| 2.1. GENERALIDADES | 06 |
| 2.1.1 Ubicación y acceso | 07 |
| 2.1.2. Fisiografía | 08 |
| 2.1.3. Relieve | 09 |
| 2.1.4. Sismicidad | 11 |
| 2.1.5. Geodinámica Externa | 11 |

| | |
|---|----|
| 2.1.6. Geología Regional | 12 |
| 2.1.6.1. Precámbrico | 12 |
| 2.1.6.1. Hercínico | 12 |
| 2.1.6.1. Andino | 12 |
| 2.1.7. Geología General | 12 |
| 2.1.8. Geología Local | 13 |
| 2.1.8.1. Rocas Intrusivas | 14 |
| 2.1.8.2. Rocas Metamórficas | 15 |
| 2.1.8.3. Rocas Sedimentarias | 15 |
| 2.1.9. Geología Estructural | 19 |
| 2.1.9.1. Fracturamiento | 19 |
| 2.1.9.2. Plegamiento | 19 |
| 2.1.9.3. Sistema de Vetas | 19 |
| 2.1.9.4. Sistema EW | 20 |
| 2.1.9.5. Sistema NW – NS | 20 |
| 2.1.10. Minerología y Estructuras Mineralizadas | 22 |
| 2.1.11. Metalogenia | 23 |
| 2.1.12. Mineralización y Alteración Hidrotermal | 24 |
| 2.1.12.1. Veta Daniela | 25 |
| 2.1.13. Prospección Geofísica | 25 |
| CAPÍTULO III | 27 |
| MARCO TEÓRICO | 27 |
| 3.1. ANTECEDENTES | 27 |
| 3.2. BASES TEÓRICO – CIENTÍFICOS | 31 |

| | |
|---|----|
| 3.2.1. Caracterización de la masa rocosa | 31 |
| 3.2.1.1. Registro de datos | 31 |
| 3.2.2. Clasificación de la masa rocosa | 32 |
| 3.2.3. Evaluación geomecánica | 34 |
| 3.2.3.1. Método de excavación-Raise Borer | 34 |
| 3.2.3.2. Método de excavación-Raise Climber | 34 |
| 3.2.4. Propiedades del macizo rocoso | 39 |
| 3.2.4.1. Discontinuidades en macizos rocosos | 39 |
| 3.2.4.2. Parámetros de las discontinuidades | 40 |
| 3.2.5. Aspectos geomecánicos para el diseño del pique | 42 |
| 3.2.6. Selección de la ubicación del pique | 42 |
| 3.2.7. Selección circular | 43 |
| 3.2.8. El método de inyección de lechada de cemento | 43 |
| 3.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS | 43 |
| 3.4. HIPÓTESIS | 51 |
| 3.4.1. Hipótesis General | 51 |
| 3.4.2. Hipótesis Específicas | 51 |
| 3.5. IDENTIFICACION DE VARIABLES | 52 |
| 3.5.1. Variables Independientes | 52 |
| 3.5.2. Variables Dependientes | 53 |
| 3.5.3. Variables Intervinientes | 53 |
| CAPÍTULO IV | 54 |
| METODOLOGÍA | 54 |
| 4.1. TIPO DE INVESTIGACIONES | 55 |

| | | |
|------|---|----|
| 4.2. | DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN | 55 |
| 4.3. | POBLACIÓN Y MUESTRA | 57 |
| | 4.3.1. Población de estudio | 57 |
| | 4.3.2. Muestra de estudio | 57 |
| 4.4. | MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN | 57 |
| | 4.4.1. Método General | 57 |
| | 4.4.2. Método Específico | 58 |
| 4.5. | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS | 58 |
| | 4.5.1. Procedimientos de recolección de datos | 59 |
| | 4.5.2. Plan de instrumentación geomecánica | 59 |
| | 4.5.3. Monitoreo de grietas y deformaciones externas | 60 |
| | 4.5.4. Instrumentación geomecánica en las estaciones, cámaras y eje del pique MARSA | 61 |
| | 4.5.4.1. Extensómetro de cinta digital | 61 |
| | 4.5.4.2. Monitoreo topográfico | 62 |
| | 4.5.4.3. Equipo “Pull – Test” | 64 |
| | 4.5.5 Implementación de la instrumentación geomecánica complementaria | 66 |
| | 4.5.5.1. Fisurómetro lineal | 66 |
| | 4.5.5.2. La Celda de Carga | 67 |
| | 4.5.6 Recomendaciones de la ubicación de la instrumentación geomecánica complementaria | 68 |
| | 4.5.6.1. Fisurómetro Lineal | 69 |

| | |
|--|----|
| 4.5.6.2. Celdas de Carga | 69 |
| 4.6. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS | 70 |
| 4.7. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS | 71 |
| 4.8. NIVELES DE MEDICIÓN | 72 |
| 4.8.1. Medición Ordinal | 72 |
| 4.8.2. Medición de Intervalo | 73 |
| CAPÍTULO V | 74 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 74 |
| 5.1. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN DE CUADROS | 74 |
| 5.1.1. Caracterización geomecánica del Macizo Rocoso | 74 |
| 5.1.1.1. Aspectos geológicos | 74 |
| 5.1.1.1.1. Ensayo de Compresión Simple | 75 |
| 5.1.1.1.2. Ensayo de Tracción Indirecta | 75 |
| 5.1.1.1.3. Ensayo de Compresión Triaxial | 76 |
| 5.1.1.1.4. Ensayo de Propiedades Elásticas | 76 |
| 5.1.1.2. Aspectos estructurales | 78 |
| 5.1.1.2.1. Aspectos estructurales - Fallas | 79 |
| 5.1.1.2.2. Aspectos estructurales - Diaclasas | 84 |
| 5.1.1.2. Alteraciones | 92 |
| 5.1.1.3. Meteorización | 92 |
| 5.1.1.4. Agua subterránea | 93 |
| 5.1.2. Clasificación de masa rocosa | 93 |
| 5.1.2.1. Sistema RMR ⁸⁹ | 94 |

| | |
|---|-----|
| 5.1.2.2. Índice GSI | 97 |
| 5.1.3. Zonificación geomecánica | 100 |
| 5.1.4. Estimación parámetros de resistencia | 101 |
| 5.1.4.1. Resistencia de roca intacta y disconti. | 101 |
| 5.1.4.1.1. Ensayo de Propiedades Físicas | 101 |
| 5.1.4.1.2. Ensayo de Compresión Uniaxial | 102 |
| 5.1.4.1.3. Ensayo de Compresión Triaxial | 102 |
| 5.1.4.1.4. Ensayo de Constantes Elásticas | 103 |
| 5.1.4.1.5. Ensayos de Tracción Indirecta | 103 |
| 5.1.4.1.6. Ensayo de Corte Directo | 104 |
| 5.1.4.2. Resistencia de la masa rocosa | 105 |
| 5.1.5. Identificación mecanismos de falla | 106 |
| 5.1.5.1. Evaluación de Cuñas estructurales Nv.3220 | 107 |
| 5.1.6. Estimación del estado tensional | 108 |
| 5.1.6.1. Dirección de esfuerzos | 110 |
| 5.1.6.2. Magnitud de esfuerzos | 111 |
| 5.1.7. Resultados de análisis de estabilidad debido a esfuerzos de las labores conexas al pique marsa. | 112 |
| 5.1.7.1. Enfoque de la Evaluación | 112 |
| 5.1.7.2. Estudio Geomecánico | 113 |
| 5.1.7.2.1. Caracterización Geomecánica | 113 |
| 5.1.7.2.2. Clasificaciones Geomecánicas | 114 |
| 5.1.7.2.3. Mapeo Geomecánico | 115 |
| 5.1.7.2.4. Esfuerzos In Situ | 117 |

| | |
|--|-----|
| del sostenimiento | 128 |
| 5.2.3. Condiciones geomecánicas de zonas anómalas post-sostenimiento | 130 |
| 5.2.3.1. Condición actual del pique marsa | 130 |
| 5.2.4. Factores de seguridad del sostenimiento instalado | 131 |
| 5.2.4.1. Factor de seguridad del anillo de concreto del Pique | 132 |
| 5.2.4.2. Factor de seguridad de perno helicoidal con inyección de lechada | 133 |
| 5.2.4.3. Factor de seguridad del sostenimiento con Shotcrete | 135 |
| 5.2.4.4. Factor de seguridad del cable bolting con inyección de lechada | 135 |
| 5.2.4.5. Factor de seguridad de arcos cedentes | 137 |
| 5.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS | 144 |
| 5.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 148 |
| CONCLUSIONES | 150 |
| RECOMENDACIONES | 152 |
| BIBLIOGRAFÍA | 154 |
| ANEXOS | 156 |

ANEXOS

- ANEXO 1 REPORTE DE LOGUEO GEOTÉCNICO
- ANEXO 2 REGISTRÓ DE MAPEO GEOMECÁNICO
COMPLEMENTARIO
- ANEXO 3 ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA POR NIVEL
- ANEXO 4 ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL EJE DEL PIQUE
MARSA
- ANEXO 5 PLANO SECCIÓN_GEOLÓGICO PIQUE MARSA
Nv-3220 AL Nv-2470
- ANEXO 6 PLANO DE ESTRUCTURA GEOLÓGICA POR NIVEL
- ANEXO 7 CONFIGURACIÓN DEL PROYECTO PRINCIPAL PIQUE
MARSA

INDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro N° 01 Acceso por Vía Terrestre | 07 |
| Cuadro N° 02 Acceso por Vía Aérea | 08 |
| Cuadro N° 03 Programa de Exploración y Desarrollo | 29 |
| Cuadro N° 04 Resumen de Resultados Clasificación de la Masa Rocosa | 32 |
| Cuadro N° 05 Tabla de Interpretación de los valores de RMR | 45 |
| Cuadro N° 06 Control Instrumental de Convergencia | 64 |
| Cuadro N° 07 Recomendación de ubicación de la Instrumentación Geomecanica | 70 |
| Cuadro N° 08 Ensayo de Compresión Simple – Norma ASTM D2938 | 75 |
| Cuadro N° 09 Ensayo de Tracción Indirecta – Norma ASTM D3967 | 75 |
| Cuadro N° 10 Ensayo de Compresión Triax. – Norma ASTM D2664-95 | 76 |
| Cuadro N° 11 Ensayo de Propiedades Elásticas – Norma ASTM D3148 | 76 |
| Cuadro N°12 Propiedades mecánicas, físicas y elásticas a nivel de facie | 77 |
| Cuadro N° 13 Datos estructurales de fallas en las labores conexas al pique principal MARSA | 81 |
| Cuadro N° 14 Buzamiento/D. Buzamiento de las Fallas | 83 |
| Cuadro N° 15 Datos estructurales de fallas en las labores conexas al pique principal MARSA | 87 |
| Cuadro N° 16 Buzamiento/D. Buzamiento de las Diaclasas | 89 |
| Cuadro N° 17 Clasificación Geomecanica RMR | 94 |
| Cuadro N° 18 Valorización del Macizo Rocoso (R.M.R.) en la | |

| | |
|--|-----|
| Ejecución del Pique Principal Marsa | 95 |
| Cuadro N° 19 Interpretación de Valores de RMR | 96 |
| Cuadro N° 20 Valoración del Macizo Rocoso | 97 |
| Cuadro N° 21 Tabla Geomecánica Según GSI | 98 |
| Cuadro N° 22 Litología de RMR | 99 |
| Cuadro N° 23 Resumen Dominios Geomecánicos | 99 |
| Cuadro N° 24 Resumen Ensayos Mecánica de Rocas | 105 |
| Cuadro N° 25 Parámetros de Resistencia Masa Rocosa | 106 |
| Cuadro N° 26 Orientación Esfuerzos Principales | 110 |
| Cuadro N° 27 Magnitudes de Esfuerzos | 112 |
| Cuadro N° 28 Valor promedio de la calidad geomecánica para la Diorita – Labores Conexas | 114 |
| Cuadro N° 29 Valor promedio de la calidad geomecánica para la Granito – Labores Conexas | 114 |
| Cuadro N° 30 Registro de mapeo geomecanico Nv. 3220 | 116 |
| Cuadro N° 31 Propiedades mecánicas, físicas y elásticas a nivel de roca intacta – Labores Conexas | 118 |
| Cuadro N° 32 Datos para propiedades de resistencia de la masa Rocosa – Labores Conexas | 119 |
| Cuadro N° 33 Resultados obtenidos - propiedades de resistencia de la masa rocosa | 119 |
| Cuadro N° 34 Valor promedio de la calidad geomecánica para la Diorita– Eje de Pique – Labores Conexas | 123 |
| Cuadro N° 35 Valor promedio de la calidad geomecánica para la | |

| | |
|---|-----|
| Granito – Eje de Pique | 123 |
| Cuadro N° 36 Propiedades mecánicas, físicas y elásticas a nivel de roca intacta– Eje de Pique | 125 |
| Cuadro N° 37 Datos para propiedades de resistencia de la masa Rocosa – Eje de Pique | 125 |
| Cuadro N° 38 Resultados obtenidos - propiedades de resistencia de la masa rocosa– Eje de Pique | 126 |
| Cuadro N° 39 Factores de Seguridad de los Sostenimientos Instalados | 138 |
| Cuadro N° 40 Capacidad de los Elementos de Sostenimiento | 139 |
| Cuadro N° 41 Tabla Referencial para Labores Temporales | 139 |
| Cuadro N° 42 Tabla Geomecánica Según GSI | 141 |
| Cuadro N° 43 Sostenimiento por Tipo de Roca y Tipo de Labor | 142 |
| Cuadro N° 44 Indicación Geomecánica | 143 |
| Cuadro N° 45 Mapeos reportados en base a la valoración del macizo rocoso (R.M.R) | 144 |
| Cuadro N° 46 Clasificación del Tipo de roca (% de RMR) | 145 |
| Cuadro N° 47 Coeficiente de correlación numérica (+1,-1 y 0) | 145 |
| Cuadro N° 48 Resumen del R.M.R. y EL G.S.I. | 147 |

INDICE DE PLANOS

| | |
|--|----|
| Plano N° 01 Plano Topográfico o de Relieve | 10 |
| Plano N° 02 Plano Geológico Local | 17 |
| Plano N° 03 Perfil Geológico (AA´) – Línea N-13600 | 18 |
| Plano N° 04 Plano Estructural de Minera Aurífera Retamas | 21 |
| Plano N° 05 Resumen de la Evaluación Geomecánica | 33 |

| | |
|---|----|
| Plano N° 06 Chimenea Piloto del Pique Marsa | 36 |
| Plano N° 07 Chimenea Piloto del Pique – RAISE BORER | 37 |
| Plano N° 08 Chimenea Piloto del Pique – RAISE CLIMBER | 38 |

INDICE DE IMAGENES

| | |
|--|-----|
| Imagen N° 01 Ubicación Físico Político Marsa | 07 |
| Imagen N° 02 Ubicación del Proyecto Principal Pique MARSA | 08 |
| Imagen N° 03 Modelo Estructural del Yacimiento | 20 |
| Imagen N° 04 Plano Ubicación Metalogenia del Perú | 23 |
| Imagen N° 05 Metalotecto de Pataz en el cinturón orogénico Devónico - Carbonífero de Au | 24 |
| Imagen N° 06 DDH-2884 veta Daniela Cota 2363 | 25 |
| Imagen N° 07 Perfil Geofísico con Anomalías de Resistividad | 26 |
| Imagen N° 08 Monitoreo de Convergencia Lineal | 62 |
| Imagen N° 09 Equipo “Pull – Test” Pull | 66 |
| Imagen N° 10 Fisurómetro Lineal | 67 |
| Imagen N° 11 Celdas de Carga | 68 |
| Imagen N° 12 Población vs Muestra | 71 |
| Imagen N° 13 Diagrama de Valoración del Macizo Rocoso | 72 |
| Imagen N° 14 Proyección Estereográfica- Fallas | 82 |
| Imagen N° 15 Proyección Estereográfica- Diaclasas | 88 |
| Imagen N° 16 Concentración polar – Diaclasas | 89 |
| Imagen N° 17 Ensayo de propiedades físicas | 102 |
| Imagen N° 18 Ensayo de compresión uniaxial | 102 |
| Imagen N° 19 Ensayo de compresión triaxial | 103 |
| Imagen N° 20 Ensayo de constante elástica | 103 |

| | |
|---|-----|
| Imagen N° 21: Ensayo de tracción indirecta | 104 |
| Imagen N° 22 Ensayo de corte directo | 104 |
| Imagen N° 23 Ploteo de planos estructural – Nv.3200 | 107 |
| Imagen N° 24 Cuñas en la cámara de winches SKIPS | 108 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura N° 01 Diagrama de rosetas, diaclasas de Cámaras del Pique Marsa | 90 |
| Figura N° 02 Diagrama de rosetas, diaclasas de accesos del Pique Marsa | 91 |
| Figura N° 03 Diagrama de rosetas, fallas en cámaras del Pique Marsa | 91 |
| Figura N° 04 Diagrama de rosetas, fallas de accesos del Pique Marsa | 92 |
| Figura N° 05 Diagrama Estereográfico Tensor de Esfuerzos | 111 |
| Figura N° 06 Modelamiento de la excavación del pique sin Sostenimiento, Nv.3220 | 120 |
| Figura N° 07 Modelamiento de la excavación del pique con Sostenimiento, Nv.3220 | 120 |
| Figura N° 08 Variación de los esfuerzos radiales y tangenciales en la zona plástica y en la zona elástica, en el cual se ha considerado la presión interna $P_i=577.68$ ton/m ² , del nivel 3175 | 121 |
| Figura N° 09 Curva de sostenimiento del pique que tienden a anularse “Pi.” | 122 |
| Figura N° 10 Modelamiento de la excavación del pique sin Sostenimiento, Nv.2520 | 126 |
| Figura N° 11 Modelamiento de la excavación del pique con Sostenimiento, Nv.2520 | 127 |
| Figura N° 12 Vista en planta del pique revestido | 133 |

| | |
|---|-----|
| Figura N° 13 Ø de perforación Ø del cable bolting | 136 |
|---|-----|

INDICE DE GRÁFICOS

| | |
|--|-----|
| Grafico N° 01 Propiedades mecánicas, físicas y elásticas – Granodiorita | 77 |
| Grafico N° 02 Propiedades mecánicas, físicas y elásticas – Granito | 77 |
| Grafico N° 03 Propiedades mecánicas, físicas y elásticas – Diorita | 78 |
| Grafico N° 04: Propiedades mecánicas, físicas y elásticas – Tonalita | 78 |
| Grafico N° 05 Barra de dispersión R.M.R. | 146 |
| Grafico N° 06 Barra de dispersión R.M.R. vs G.S.I. | 147 |

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo del pique principal, que se está realizando, se ubica en las instalaciones de la empresa Minera Aurífera Retamas S.A., distrito de Parcoy; Llacuabamba, donde me desempeñé como geólogo de proyectos pique marsa, desde noviembre del año 2010 hasta la actualidad del año 2012.

Este trabajo está relacionado a la Geomecánica, para determinar la influencia de los índices geomecánicos RMR y GSI en la construcción del Proyecto Pique Principal MARSA en la Unidad Minera San Andrés. Así también considerando que el pre-sostenimiento, consiste en la fortificación del pique principal, con la perforación diamantina e inyección de lechada de cemento. Cuyo objetivo de esta inyección de cemento en las diferentes estaciones del pique principal es, la fortificación del área del pique con taladros equidistaste. Evitando así la caída de derrumbes en los diferentes trabajos posteriores que se van a realizar.

El Proyecto Pique Principal MARSA cumplirá los siguientes objetivos. Como en la Producción: La de extraer el mineral y desmonte de los Niveles que se formarán debajo del Nivel 3220 hasta el Nivel 2620 a mediano plazo, y desde el Nivel 2620 hacia abajo, para la profundización de la mina como complemento (trasbordo) de la extracción por rampa del material de exploraciones, desarrollo y producción de mineral.

En el Transporte de Personal y Servicios: La de Movilizar 800 personas por guardia, que incluye personal de producción, geología, topografía, de otros servicios y supervisión. Es vital que el movimiento de ingreso y salida del personal se realice en el menor tiempo posible. Transportar materiales como explosivos, madera, etc. y equipo minero tales como palas mecánicas, carros mineros, locomotoras etc.

En la Ventilación: La de disminuir la contaminación causada por el transporte con flota de volquetes, y evitar inversiones en proyectos de ventilación. El pique constituirá un ducto de 4.2 m. de diámetro para ingreso de aire limpio. La parte superior del pique puede comunicarse a superficie con 400 m. de rampa de 4 m. x 4 m.

En la Seguridad: La de contar con una segunda vía de acceso y vía de escape para evacuación rápida del personal ante un evento de derrumbe o inundación de la mina. Siempre tomando en cuenta la reducción de costos con la seguridad necesaria y exigida por las normas legales.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

En la minería peruana actual existen momentos en que la distancia vertical donde se ubican las reservas de mineral económicamente explotables se hace excesiva, debido a la profundidad a la que empieza a encontrarse el mineral.

Por tal razón, las empresas se ven obligadas a replantear el sistema de extracción y la alternativa diferentes como en el caso de la Compañía MARSA en su preposición de emplear un sistema de pique vertical que permite el acceso de los operarios a las zonas más profundas de un modo más rentable y rápido, extrayendo el mineral por izado usando Skip, bien hasta la superficie o hasta niveles intermedios.

MARSA, es un yacimiento aurífero, de la cual la Unidad de San Andrés, se ubica geográficamente en el anexo de Llacuabamba, distrito de Parcoy, provincia de Pataz, departamento de La Libertad, empleando equipos mecanizados, explosivos (dinamita y emulsiones), materiales de sostenimiento como la madera, sostenimiento con Shotcrete, cimbras, etc. Producto de estos trabajos originan gases tóxicos, partículas de polvo. Con el incremento en la temperatura llegando a los, 35 °C, dificultando los trabajos en las operaciones, además de producirse un acolchonamiento de estos gases debido a una deficiente ventilación. Por ello se necesita la construcción de un pique que brinden las mejores condiciones.

1.2. FORMULACIÓN DE PROBLEMAS

Desde la antigüedad, el hombre viene explotando los recursos minerales que la naturaleza le ofrece. Generalmente, la metodología más barata consiste en la explotación desde superficie de los afloramientos de mineral con el sistema conocido por cielo abierto.

La disposición de la capa o del filón de mineral en Minera Marsa obliga a su explotación subterránea. Mientras el mineral no se encuentre a excesiva profundidad desde el Nivel 3220 hasta el Nivel 2620, el método de extracción de mineral más habitual es por ejecución de rampas, galerías y cruceros de extracción que permitan el acceso hasta la zona de minado, actualmente la profundización de extracción de mineral y desmonte se extrae desde el Nivel 2600 hasta el Nivel 2220 de corto a mediano plazo, entre recursos inferidos y medidos. Debido a que esta distancia se hace excesiva debido a la profundidad a la que empieza a

encontrarse el mineral. Esto se acentúa aún más cuando los sondeos diamantinos que se efectúan desde dentro de las explotaciones acceden a nuevas zonas aún más profundas en las cuales el mineral está presente. MARSA con el transcurrir del tiempo vio que sus reservas minerales van quedando cada vez más profundas, en tanto se fue obligado a replantear el sistema de extracción. La alternativa más usual es emplear un sistema de pique vertical que permite el acceso de los operarios a las zonas más profundas de un modo más rentable y rápido, extrayendo el mineral por izado de vagones o Skip, bien hasta superficie.

La empresa minera MARSA no es ajena a esta situación por lo que finalizó la construcción del su Pique Principal. El cual tuvo un retraso considerable en su finalización debido a problemas geomecánicos (Derrumbes, aumentando el diámetro efectivo del pique) considerado como problemática durante su proceso constructivo, por lo cual se usó la geomecánica y sus índices, para determinar, la zona y sus parámetros geomecánicos, generando un incremento en la demanda de metros cúbicos de concreto por vaciado y al tiempo de demora en el traslado del concreto para el revestimiento del pique, debido a la distancia vertical que tienen que transportar el concreto usando el sistema de transporte usando el balde de servicios.

Ante lo expuesto se plantea la siguiente pregunta:

¿Cómo determinar la Influencia de los índices geomecánicos RMR y GSI en la construcción del proyecto Pique Principal MARSA Unidad Minera San Andres-MARSA?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Determinar la Influencia de los índices geomecánicos RMR y GSI para la construcción del proyecto Pique Principal MARSA.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información geológica, estructural y topográfica del proyecto en investigación.
- Realizar la clasificación del macizo rocoso, mediante los parámetros del índice GSI y el sistema de RMR, en las labores conexas y eje del pique principal Marsa.
- Determinar mediante ensayos de mecánica de rocas en muestras de roca obtenidas en zonas estratégicas y puntuales en el Pique Marsa: Propiedades Físicas, Compresión Uniaxial, Compresión Triaxial, Constante elástica, Tracción Indirecta, Corte Directo.
- Definir el diámetro de excavación de piloto por el método de Raise Borer del Pique Principal Marsa
- Plantear un método de fortificación definitiva para la fase operativa del Pique MARSA.
- Proponer un sistema de sostenimiento provisional en la fase constructiva del Pique Marsa en base al estudio geomecánico.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En la Producción se extraerá el mineral y desmonte de los Niveles

que se formarán debajo del Nivel 3220 hasta el Nivel 2520 a mediano plazo, y desde el Nivel 2470 hacia abajo, para la profundización de la mina como complemento de la extracción por rampa del material de exploraciones, desarrollo y producción de mineral. La capacidad de extracción del sistema de pique estará preparada para la futura ampliación a 1800 TMS/ día.

La apertura de un pique en la mina MARSA ha sido siempre un deseo que hasta ahora no se había concluido, trabajo costoso y con mucho riesgo, que requiere un personal con mucha experiencia.

1.5. IMPORTANCIA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

Es importante analizar el método de construcción del Pique Principal MARSA en la evaluación de las operaciones mineras en costos, avances, sostenimiento, tiempo de ejecución, rendimientos favorables en su construcción, de igual manera verificando la seguridad del trabajador. Y el alcance de este tipo de investigación está circunscrita a la empresa minera MARSA en lo que ha producción consiste, así como a ampliar el conocimiento investigativo de la geomecánica.

1.6. LIMITACIONES

Las limitaciones que se tiene principalmente radican en la no posibilidad de muestra de data de la Empresa ya que al ser bastante reservados no puedan ser publicadas de manera íntegra, restringiendo un punto de interés para la tesis.

CAPÍTULO II

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

2.1. GENERALIDADES

LA UNIDAD MINERA MARSA, es una MINA AURÍFERA ANTIGUA explotada en los niveles 4200 hasta 1800. Actualmente la empresa MINERA AURÍFERA RETAMAS S.A. planea realizar actividades de explotación y extracción de “Oro” de los niveles inferiores.

Desde el punto de vista geológico se trata de un yacimiento vetiforme constituido por ensambles mineralógicos de “Oro, plata y minerales de ganga” emplazados en forma de vetas irregulares, de inclinación sub-vertical (35-75°), con potencias variables entre 0.2-1.0 metros. Según información geológica la génesis del yacimiento corresponde al tipo “Orogénico Filoneano del tipo relleno” en un ambiente

de rocas ígneas que corresponden al “Batolito de Pataz”.

2.1.1 Ubicación y acceso.

La Compañía Aurífera Retamas S.A. (MARSA), se encuentra ubicada en el Paraje de Chilcas, distrito de Parcoy, provincia de Pataz, departamento de La Libertad (ver Plano N° 01), las coordenadas UTM WGS84 referidas a un punto cercano a la Bocamina del Nv.3175 son: 9’110,983N y 230,284E.

Las altitudes promedio sobre el nivel de mar para la zona de interés (Pique Marsa) varían entre los 3,200.00 y 2,400.00 metros.

Se puede realizar por carretera de la siguiente forma, (ver cuadro N°01):

| | | |
|---------------------|---------|-------------------|
| Lima-Trujillo | 562 km. | Asfaltada |
| Trujillo-Huamachuco | 180 km. | Asfaltada |
| Huamachuco-Retamas | 368 km. | Trocha Carrozable |
| Retamas-Mina | 16 km. | Trocha Carrozable |

Cuadro N° 01: Acceso por Vía Terrestre.



Imagen N° 01: Ubicación Físico Político Marsa.

Por vía aérea, partiendo del Aeropuerto Jorge Chávez, (ver cuadro N°02):

| | | |
|---------------|--------------|---------------|
| Lima-Pías | Aprox. 1:10' | Vuelo Chárter |
| Trujillo-Pías | Aprox. 35' | Vuelo Chárter |

Cuadro N° 02: Acceso por Vía Aérea.

UBICACIÓN DEL PROYECTO

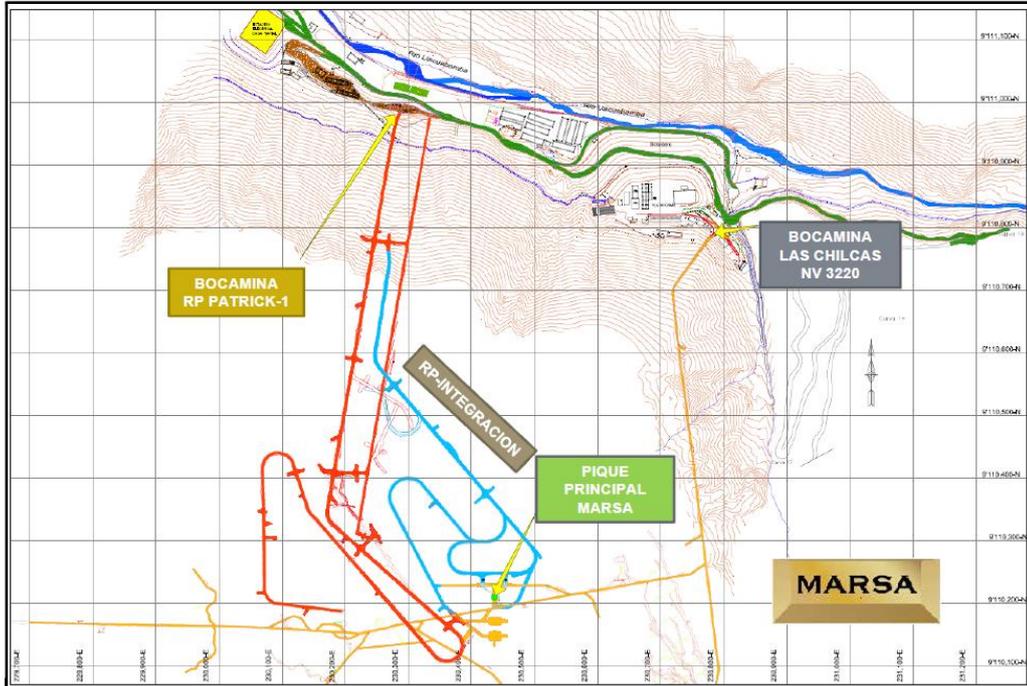


Imagen N° 02: Ubicación del Proyecto Principal Pique MARSА.

2.1.2. Fisiografía

En el contexto local las morfologías generadas están asociadas a la intensa fluvio-aluvial, coluvial ocurrida en tiempos pasados (pleistoceno) y presente, el mismo que ha generado una fuerte erosión del basamento rocoso formando “pequeños valles y terrazas en ambas márgenes del río Llacuabamba. Los cerros con mayor altura se encuentran parcialmente cubiertos por depósitos Coluviales en la parte inferior, con laderas de pendiente empinada (> 60%).

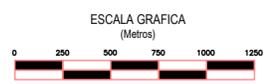
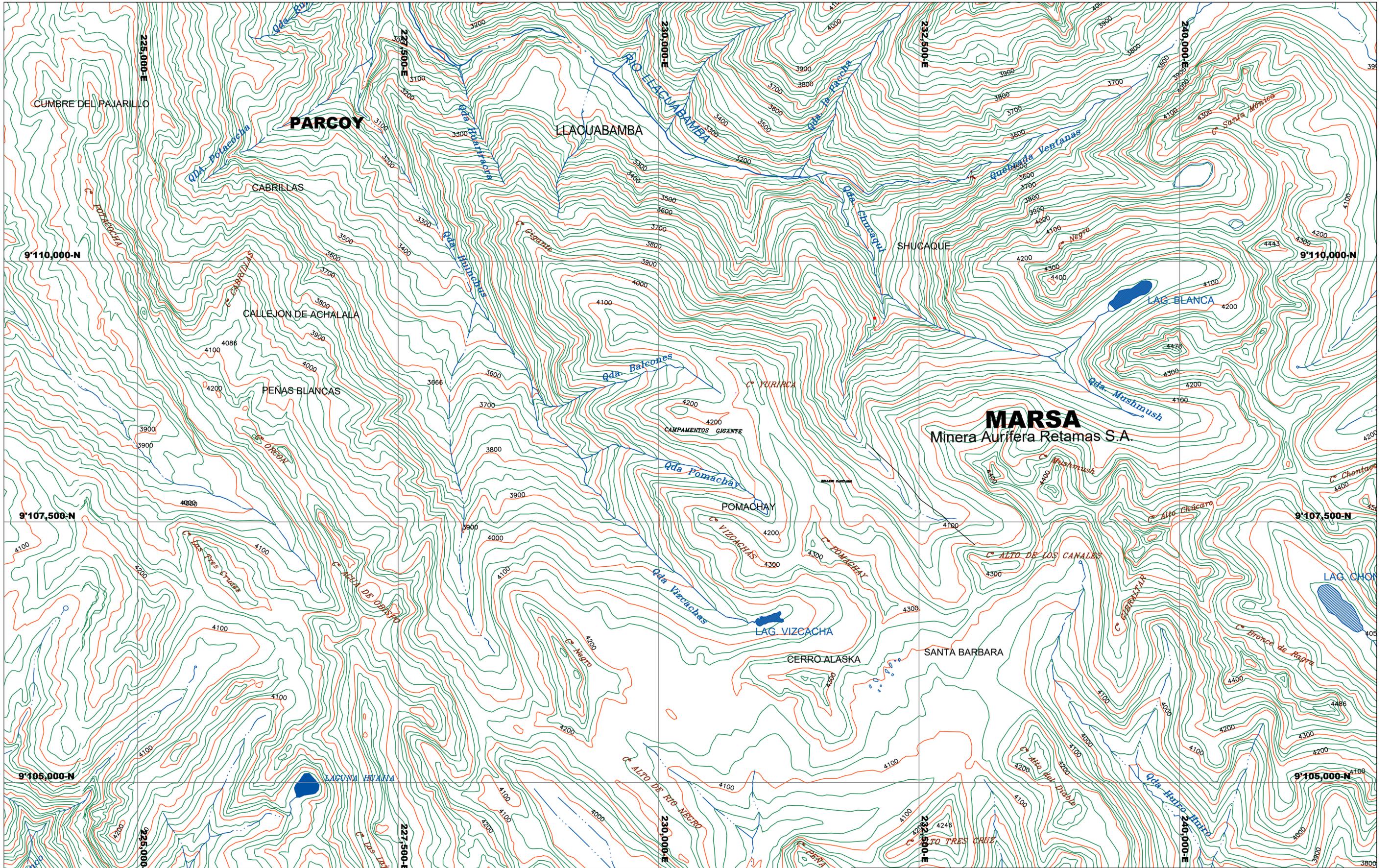
Las geoformas locales están constituidas por afloramientos rocosos escarpados de naturaleza intrusiva ígnea; tapizando parcialmente al basamento rocoso en la parte inferior de las laderas se encuentran

depósitos del tipo coluvio-fluvial y depósitos generados por la actividad antrópica (Desmontes de Mina).

2.1.3. Relieve

Minera Aurífera Retamas S.A. se encuentra dentro de un importante distrito aurífero filoneano en una abrupta zona conformada por fuertes pendientes. El relieve es accidentado y abrupto, marcado por las quebradas como Porvenir Molinetes, Pomachay, Mushmush, San Vicente, Hiunchus, etc., (ver Plano N° 01).

Los principales agentes modeladores a los eventos tectónicos son la erosión glacial y fluvial que han formado valles de fuerte pendiente (20 – 35%), así como circos glaciares, creando un drenaje dendrítico en la zona. La mina tiene elevaciones hasta de 4260 m.s.n.m. (cerro Yurirca).



| | | |
|---|--|--------------------|
| TOP. : Servicio Aereofotografico Nacional | UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA | ESCALA: 1 / 25.000 |
| GEOL. : Recopilado de INGENMET | | FECHA: Enero 2018 |
| REV. : Dpto. Geologia | PLANO TOPOGRÁFICO O RELIEVE | PLANO N° 1 |
| DIB. : Dpto. Técnico | | |

2.1.4. Sismicidad

La sismicidad en la zona de interés está asociada al proceso de subducción entre las Placas Nazca-Continental que ocurren a lo largo de la costa peruana. Según el mapa de zonificación sísmica propuesta en la Norma de diseño sísmoresistente (E.040) del Reglamento Nacional de Edificaciones (2006 y modificatorias), el área de estudio se encuentra comprendida en la Zona 3, tipificándose como una zona de alta sismicidad.

2.1.5. Geodinámica externa

Las consecuencias de ocurrencias de desastres naturales son de diversas magnitudes dependiendo de la conjunción de variables (pendiente, naturaleza de materiales, clima, drenaje, cobertura vegetal, forma de la cuenca, precipitaciones, actividad antrópica, entre otros factores). Es indudable que en el sector de interés (Pique Marsa) pueden producir pérdidas. Estas pérdidas pueden catalogarse en distintos niveles en tanto que los fenómenos actúen con incidencia en la “infraestructura física y/o sobre obras de ingeniería”.

Circundante al área de interés las “cumbres y flancos” de los cerros, que por su naturaleza litológica, características geoestructurales inherentes se muestran en general propensos al desarrollo de actividad geodinámica interna-externa, habiéndose detectado evidencias de ocurrencia de fenómenos geodinámicos (deslizamientos-Sobre la entrada de la bocamina secundaria en el Nv-3220); estos procesos geodinámicos externos son fenómenos estacionarios y se manifiestan principalmente en las temporadas lluviosas, que consisten en pequeños “flujos de lodo” y

eventuales desprendimientos de bloques rocosos desde partes más escarpadas que se precipitan pendiente abajo principalmente en las laderas de los cerros.

2.1.6. Geología Regional

Las características geológicas desarrolladas en la región están ligadas a la evolución estratigráfica y estructural de la cordillera oriental del norte del Perú; afectado por los ciclos: del Precámbrico, Hercínico y Andino.

2.1.6.1. Precámbrico: Se constituye la base estratigráfica con el Complejo de Maraón, se compone principalmente de esquistos, filitas y secuencias meta volcánicas.

2.1.6.2. Hercínico: En el paleozoico sobre el complejo se desarrolla el ciclo Hercínico con secuencias de turbiditas de colores oscuros reconocido como la Formación Contaya del Ordovícico.

2.1.6.3. Andino: En el mesozoico la sedimentación del ciclo Andino comienza con las calzas y dolomitas de Grupo Pucara del Triásico – Jurásico, sobreyacen ala Grupo Mitu u otras formaciones.

2.1.7. Geología general

La zona aurífera de Parcoy, Gigante y Buldibuyo (considerado como distrito minero), está ligada a una faja de rocas intrusivas conocida como "Batolito de Pataz", que cortan a los esquistos, filitas, pizarras y rocas meta volcánica del Complejo del Maraón. El Batolito de Pataz se extiende aproximadamente 50 Km. entre Vijus al Norte y Buldibuyo al Sur,

con un ancho promedio de 2.5 Km., limitado por el E - NE con el Complejo del Maraón y volcánicos Lavasén, y por el WSW con las rocas sedimentarias Paleozoicas del grupo Mitu. Al NW del batolito, afloran pequeños intrusivos de pórfido diorita-andesita, que intruyen a las rocas Paleozoicas, de posible edad cretáceo superior, (ver Plano N° 02). En el distrito minero, las zonas de fallamientos y fracturamientos pre-existentes dentro del intrusivo, han servido de canales de circulación de las soluciones mineralizantes hidrotermales, depositándose en las trampas estructurales, dando lugar a la formación de vetas; posteriormente, estas vetas han sido falladas y plegadas en más de dos eventos tectónicos; razón por la cual, se presentan muy irregulares en su comportamiento estructural y continuidad. El sistema principal de veta es de tipo lenticular, consecuencia del relleno de soluciones mineralizantes a lo largo de los espacios vacíos de las fisuras y fallas del sistema NW-SE.

La composición litológica del Batolito de Pataz es ácida a intermedia, caracterizado por granodiorita, diorita y cuarzo-monzonita. Diques aplíticos, microdioríticos y andesíticos posteriores, afectan al Batolito y en algunos casos cortan algunas vetas.

El relleno mineralógico de las estructuras mineralizadas está constituido por cuarzo lechoso, pirita, arsenopirita, marmatita - esfalerita, calcopirita, galena, pirrotina y oro en estado nativo y libre.

2.1.8. Geología local

Toda esta zona denominada el gigante en operación se halla mayormente cubierta por depósitos cuaternarios en el cual las rocas y estructuras mineralizadas se encuentran poco expuestas, debajo de la

cubierta cuaternaria se extiende el Intrusivo de Pataz, de naturaleza mafésica (Diorita, Tonalita); félsica (Granodiorita, Granito); en este intrusivo se hospedan las vetas auríferas.

Al NE, cerca del campamento San Andrés, afloran rocas metamórficas del Complejo del Marañón, y al SW del Tambo, ocurrencias de areniscas - limonitas - volcánicos (capas rojas), pertenecientes al grupo Mitú.

2.1.8.1. Rocas Intrusivas. – El batolito de Pataz del carbonífero (edad de la intrusión: 329 Ma y enfriamiento: 329 – 328 Ma (Hearberlin – Moritz 2002), tiene aprox. 160 km de largo (N30°W), un ancho de 2.5 a 5 km. El intrusivo está constituido probablemente por más de una facie plutónica; una facie de granito – granodiorita y la otra facie de tonalita – diorita, mostrándose la primera como la más favorable para emplazamiento y desarrollo de estructuras mineralizadas y la segunda facie, son poco favorables para la formación de estructuras mineralizadas, encontrándose vetas delgadas, ramaleadas (Stockwork) y discontinuas.

El intrusivo de Pataz se extiende como una franja longitudinal de rumbo N 60° W y ancho promedio de 2.5 Km. El contacto NE con el Complejo del Marañón se caracteriza por una franja de enclaves de ancho variable, constituidos por fragmentos alargados de filitas-pizarras, metavolcánicos y microdiorita; mientras que el contacto SW está marcado por la falla Huinchus. Los contactos internos entre las diferentes facies de rocas intrusivas son gradacionales; algunas

facies del intrusivo poseen diques aplíticos que se presentan como xenolitos alargados.

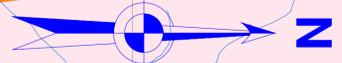
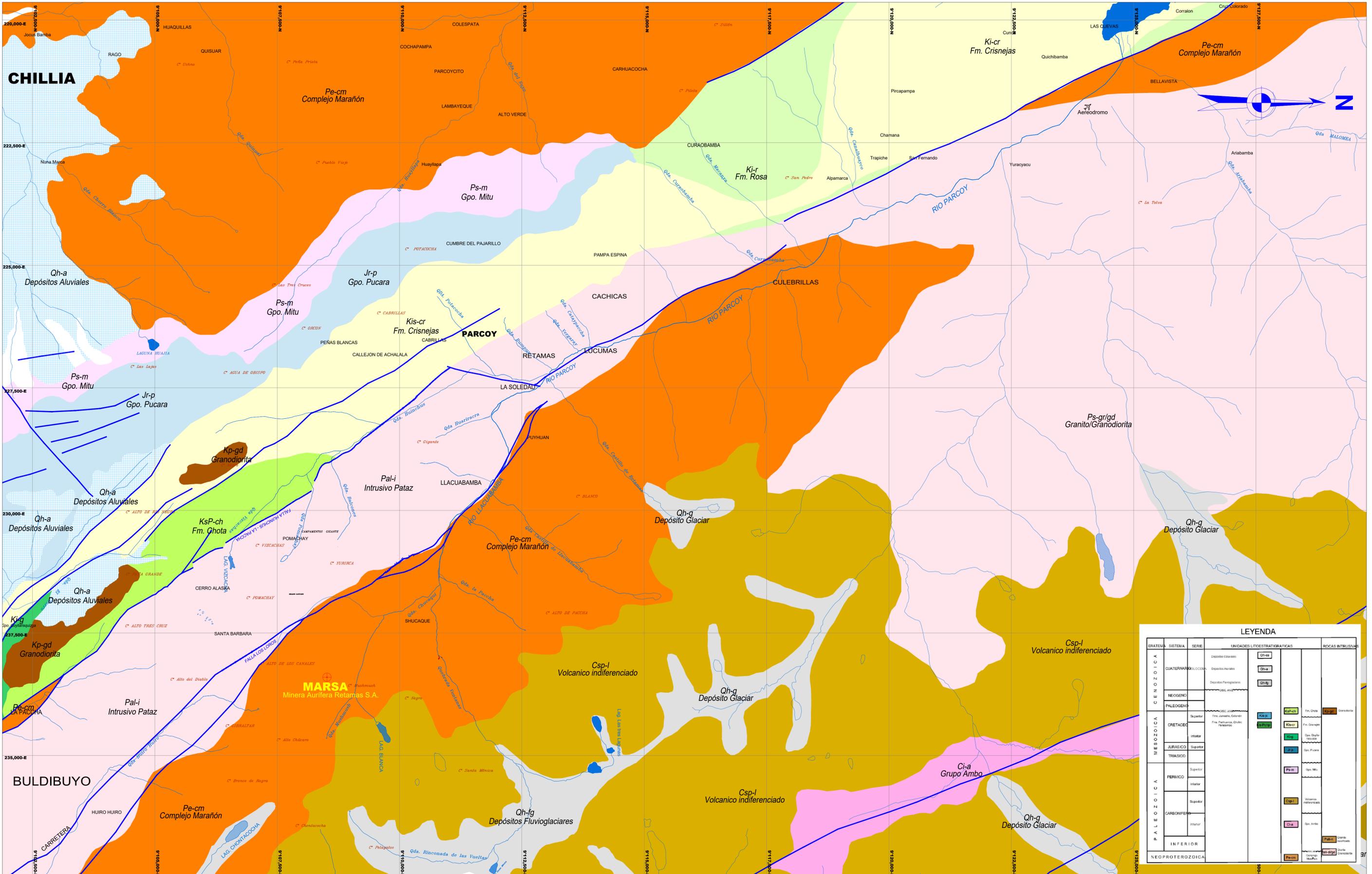
Existen pequeños intrusivos a manera de stocks y diques de pórfido tonalita–diorita que intruyen al Complejo del Marañón y al Batolito de Pataz, (ver Anexo N°06).

2.1.8.2. Rocas Metamórficas.- Representada por el Complejo del Marañón, constituida por pizarras oscuras y filitas grisáceos, intercaladas con pequeñas capas de esquistos cloritizados y metavolcánicos; se hallan expuestas en el lado NE del “Batolito de Pataz “, en las quebradas Ventanas, Mushmush, Molinetes, los Loros y San Vicente; encontrándose plegadas, falladas y/o perturbadas por varios eventos de metamorfismo dinámico e ígneo; asociados a este fallamiento aparecen ciertas estructuras auríferas de características similares y/o diferentes a las estructuras emplazadas en el intrusivo.

A las rocas del Complejo del Marañón se le asigna una edad Precambriana.

2.1.8.3. Rocas Sedimentarias. - Conformada por la secuencia sedimentaria del Paleozoico y Mesozoico que aflora al SW del "Batolito de Pataz", desde Alaska por el Sur hasta Cáchica por el Norte (correspondiente a nuestra zona de interés). Esta secuencia está constituida por la unidad vulcano sedimentaria (areniscas, limolitas, micro conglomerados a conglomerados, tobas riolíticas y brechas – aglomerados de riolitas dacitas), pertenecientes al grupo Mitu (Pérmico) y calizas del grupo Pucará (Triásico-Jurásico).

Las diferentes Unidades Litoestratigráficas, están diferenciadas mediante la sección geológica en el corte (AA´) – Línea N-13600, (ver Plano N° 02 y N° 03).



LEYENDA

| ERATEMA | SISTEMA | SERIE | UNIDADES LITOSTRATIGRAFICAS | ROCCAS INTRUSIVAS |
|-----------------|-------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------|
| CENOZOICA | QUATERNARIO | Depositos Coluviales | Qh-co | |
| | | Depositos Aluviales | Qh-a | |
| | | Depositos Periglaciares | Qh-g | |
| MESOZOICA | CRETACEO | Superior | KsP-ch | Kp-gd |
| | | Intermedia | Kis-cr | |
| | | Inferior | Jr-p | |
| PALEOZOICA | PERMIANO | Superior | Ps-m | |
| | | Intermedia | Pal-i | |
| | | Inferior | Ci-a | |
| PALEOZOICA | CARBONIFERO | Superior | Csp-l | |
| | | Inferior | | |
| NEOPROTEROZOICA | INFERIOR | | | |
| | | | | |



TOP. : Servicio Aereofotografico Nacional
 GEOL. : Recopilado de INGENMET
 REV. : Dpto. Geologia
 DIB. : Dpto. Técnico

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
 FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE FORMACIÓN
 PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA

PLANO GEOLÓGICO

ESCALA: 1 / 25,000
 FECHA: Enero 2018
 PLANO N° 2

2.1.9. Geología estructural.

Estructuralmente los rasgos más saltantes son los fracturamientos, plegamientos y fallamientos observados en las rocas intrusivas y metamórficas, (ver Plano N°04).

2.1.9.1. Fracturamiento

Se hallan frecuentemente en las rocas intrusivas del complejo Marañón, debido a múltiples eventos tectónicos, también siguieron un patrón estructural derivados de la dirección de los esfuerzos tectónicos. Se presentan formando sistemas de fracturas locales, ya sea paralelo a los esfuerzos de compresión que se comportan como micro fallas. Las vetas en su mayoría se presentan fracturadas y/o craqueladas.

2.1.9.2. Plegamiento

Se presentan en las formaciones sedimentarias y metamórficas con mucha mayor complejidad en cuanto a los fallamientos, La zona se halla perturbada habiéndose diferenciado tres principales sistemas de falla: Longitudinales, Transversales y Diagonales.

2.1.9.3. Sistema de vetas

Están asociadas a un arreglo estructural de 3 sistemas, (ver Plano N° 04).

- 1) sistema NW-SE; de bajo buzamiento al NE, corresponde a estructuras principales (veta Esperanza, Daniela, Cachaco, Yanaracra, Capitán Garfio); relacionados a eventos compresivos NW – SE con cinemática inversa.

- 2) Sistema N-S y NE-SW, con buzamiento al E-SE, asociados a los regímenes transtensivos del primer sistema, corresponde a un sistema tensional con cinemática normal (veta Valeria, Cachaco T1-T2, sistema tensional 1, 2,3...).
- 3) Sistema NE-SW, con buzamiento al NW (sistema de vetas BB), de cinemática normal tensional a la falla Los Loros.

2.1.9.4. Sistema EW

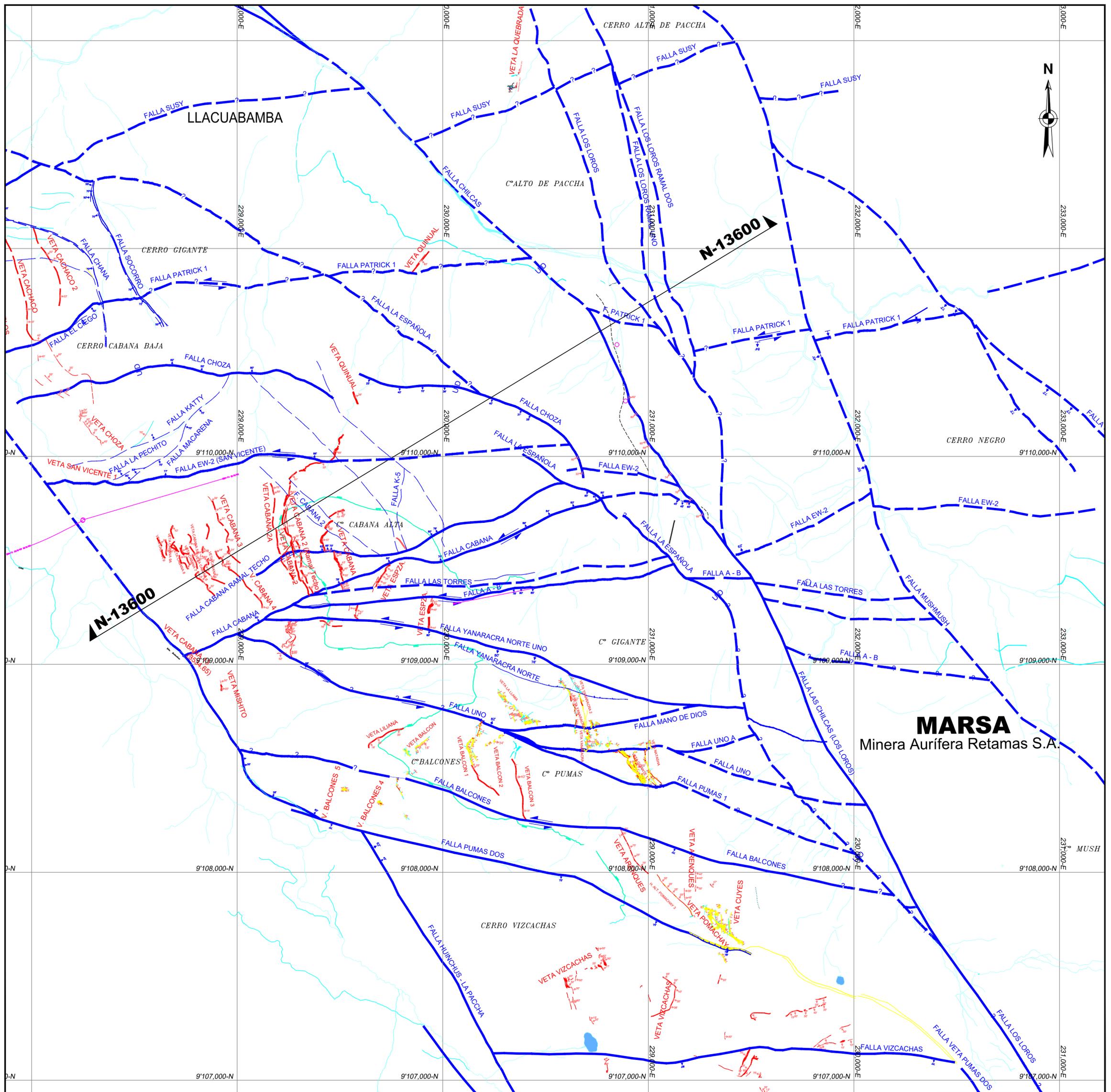
Falla de rumbo EW a $N70^{\circ}E$, con buzamiento mayores a 60° al NW con cinemática normal sinextral (fallas Cabana, Las Torres, Patrick 1, San Vicente, Ventanas), son fallas post mineralización.

2.1.9.5. Sistema NW-NS

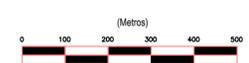
Como un evento posterior a los dos anteriores se tiene el sistema gravitacional de rumbo $N30^{\circ}W$ a NS con alto buzamiento al W, de cinemática inversa – dextral (Sistema Chilcas, Las Chilcas, Los Loros, Sistema Los Loros), (ver Imagen N° 03).



Imagen N° 03: Modelo Estructural del Yacimiento.



MARSA
Minera Aurífera Retamas S.A.



TOP. : Dpto. Ingeniería
 GEOL. : Dpto. Geología
 REV. : Dpto. Técnico
 DIB. : Dpto. Técnico



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
 FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE FORMACIÓN
 PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

PLANO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL

ESCALA: 1/10,000
 FECHA: Enero-2018
 PLANO N°: 4

2.1.10. MINERALOGÍA Y ESTRUCTURAS MINERALIZADAS

La ocurrencia de las estructuras mineralizadas se debe a las acumulaciones del mineral de mena en potencias muy variables, el principal mineral de mena es la pirita aurífera, que se presenta acompañada de arsenopirita, galena, marmatita-esfalerita, en proporciones menores; también consideramos el cuarzo sacaroide como mineral de mena por hospedar oro libre. El cuarzo lechoso es el mineral principal como guía para las exploraciones; ligadas al cuarzo se presentan pirita y arsenopirita. Muchas veces, la presencia de galena y esfalerita-marmatita es un indicativo de que se incrementen las leyes de oro, siempre que se presenten asociadas a la pirita

Los sulfuros rellenan cavidades de cuarzo y otras veces llegan a las cajas como disseminaciones e hilos remanentes, en estas vetas de sulfuros el oro se encuentra en estado metálico ligado íntimamente a la Pirita y en menos grado ligado a la Arsenopirita, mientras que en vetas de óxidos el oro se halla en estado libre, así como también ligado a la Pirita y Arsenopirita que se presentan como nódulos dentro de los óxidos.

Un rasgo estructural muy importante que evidencia el sistema principal de la veta, es la existencia de “lazos cimoides” múltiples, con longitudes que varían de 15 m a 150 m y potencia de 0.8 a 12 m.

La mineralización está emplazada como filones de cuarzo con sulfuros en roca granitoides y asociadas a minerales de: pirita, arsenopirita, marmatita, galena.

2.1.11. Metalogenia

Esta franja corre unos 160 km a lo largo de la cordillera oriental y un ancho de 2.5 a 5 km y contiene más de 16 yacimientos (minas) del tipo orogénico (o mesotermales). La dimensión de los recursos minerales de esta franja metalogenética con una cifra cercana a los 40 MOZ con leyes en el rango de 8 a 85 gr/t Au alcanzando una producción de ~ 15 MOZ.

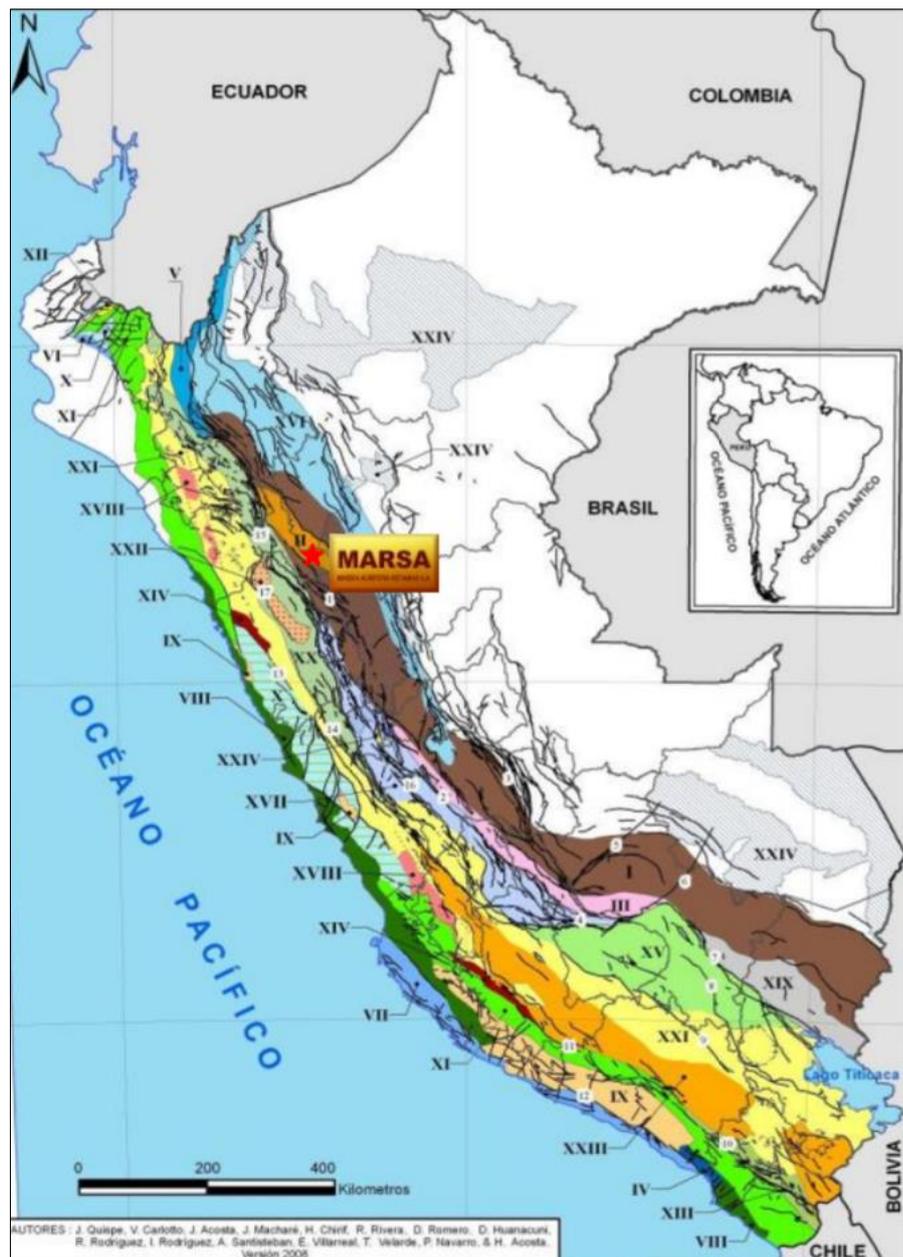


Imagen N° 04: Plano Ubicación Metalogenia del Perú.

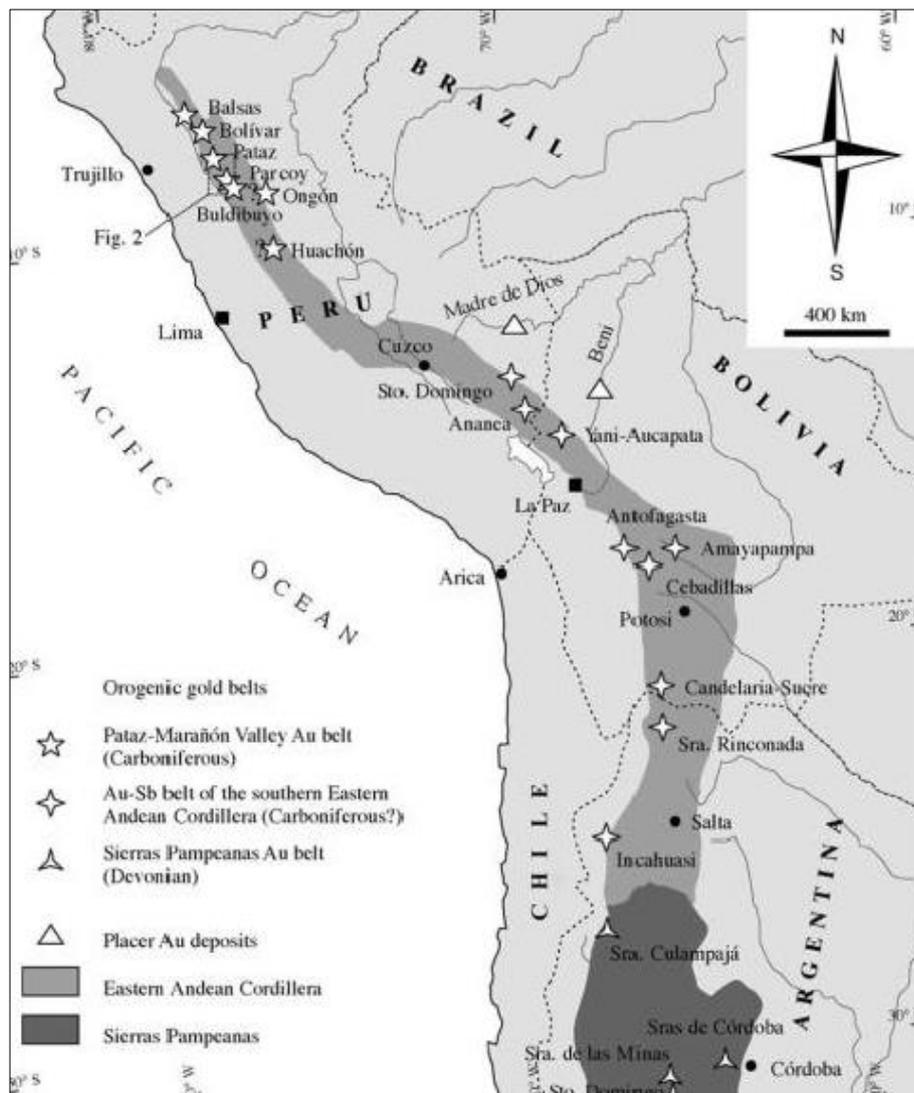


Imagen N° 05: Metalotecto de Pataz en el cinturón orogénico Devónico - Carbonífero de Au.

2.1.12. Mineralización y Alteración Hidrotermal

A nivel de yacimiento tiene una asociación metálica de Au, Ag, As, Fe, Pb, Zn, +- Cu, +-Sb, +(Bi-Te-W) con más de dos estadios de deposición de menas ricas en sulfuros. La mineralogía no es muy compleja, en orden de abundancia se tiene, cuarzo blanco/gris – pirita – arsenopirita - marmatita – galena – calcopirita, siendo la pirita – marmatita – galena uno de los ensambles de mayores concentraciones de oro, la alteración predominante es la sericitación (cuarzo – sericita-pirita).

2.1.12.1. Veta Daniela: Presenta una mineralización de cuarzo blanco craquelado – pirita arsenopirita - marmatita – galena – calcopirita, con una textura masiva y bandeada, (ver Imagen N° 06).



Imagen N° 06: DDH-2884 veta Daniela Cota 2363.

2.1.13. Prospección Geofísica:

Los trabajos de prospección geofísica fueron realizados por la empresa Geoterrex – Dighem, se utilizó el método eléctrico de resistividad – conductiva IP/RES lo que permitió caracterizar zonas de contacto litológico, anomalías de fallas, estructuras de con relleno de mineralización, vetas, lineamientos estructurales dominantes.

En la imagen N° 04 línea 13200 podemos observar por las profundidades del sistema de vetas la prospección geofísica es favorable sin embargo hacia el extremo NE del yacimiento el sistema se encuentra coberturado por el complejo Marañón y el intrusivo del batolito de Pataz en un rango de 1000 a 1600 metros, (ver Imagen N° 07).

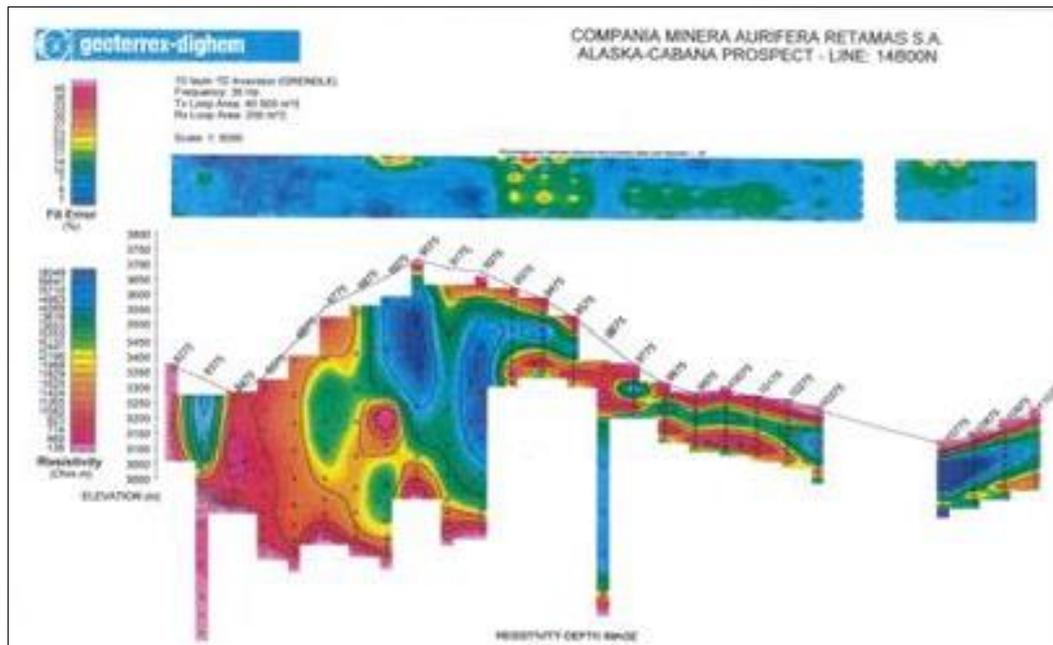


Imagen N° 07: Perfil Geofísico con Anomalías de Resistividad.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1. ANTECEDENTES

Minera Aurífera Retamas S.A. es una empresa de minería subterránea de capital íntegramente peruano. El yacimiento conocido como "Cerro El Gigante", que viene explorando y explotando sostenidamente hace 37 años se encuentra ubicado en el "Batolito de Pataz", que forma parte del complejo geológico del Marañón, rico en concentraciones de oro y plata. Marsa, fundada en 1981 por don Andrés Marsano Porras, está ubicada a 3900 metros sobre el nivel del mar en el anexo de Llacuabamba, distrito de Parcoy, provincia de Pataz, departamento de La Libertad; en el flanco oeste de la Cordillera de los Andes.

En sus inicios, la empresa fue inaugurada con una planta de tratamiento de 50TMS/día; con pocos recursos y como consecuencia de un arduo trabajo minero sostenido, de la inquebrantable fe minera de su fundador y de su equipo de colaboradores, se logró el crecimiento y desarrollo de MARSA; contando la empresa hoy en día con una planta de 1800TMS/día de capacidad instalada.

MARSA es hoy en día una empresa moderna, eficiente, respetuosa de su entorno, que da trabajo a más de 3,800 personas y que tiene un alto compromiso de responsabilidad social y ambiental.

Para obtener acceso a las reservas minerales en el Perú se construyeron varios piques, los mismos que han considerado los estudios geomecánicos a fin de eliminar el problema del macizo rocoso y la construcción de estos, siendo los siguientes: Pique Lourdes Nuevo, Pique Lourdes Viejo, Pique Excelsior estos en Cerro de Pasco; Pique Carlos Francisco, Pique Central en Casapalca; Pique Natividad, Pique María y Pique Central en Morococha; Pique Santa Bárbara, Pique Porvenir en San Cristóbal; Pique Central en Yauricocha y Pique Central en Cobriza.

En el territorio del distrito minero de Parcoy, en el Batolito de Pataz, se encuentra el depósito mineral conocido como «El Gigante», donde MARSA desarrolla sus operaciones. Está emplazado en rocas intrusivas granitoides de la edad Paleozoica. Constituido por filones de cuarzo con concentraciones de sulfuros, la concentración de mineral se presenta en forma de un cuerpo mineralizado (ore shoot) controlado por estructuras del tipo lazo cimoide.

En las exploraciones y desarrollo, la política de MARSA es mantener el nivel de reservas, para lograr este objetivo se desarrolla un agresivo programa mensual de avances lineales de alrededor de 2 mil metros. Las exploraciones son vitales para encontrar y renovar nuestras reservas.

En las exploraciones y desarrollo, la política de MARSA es mantener el nivel de reservas, para lograr este objetivo, se desarrolla un agresivo programa anual, que asciende a 19,040 m., que permitirán categorizar 423,000 tms de Recursos Medios e Inferidos, (ver cuadro N°03).

| PROGRAMA DE EXPLORACIÓN Y DESARROLLO | | | | | |
|--------------------------------------|-------|--------|-------|------------------|---------|
| PROGRAMA | m | tms | Ley | Pot | Kg |
| CORTO | 14540 | 423000 | 18.92 | 0.73 | 8003.16 |
| MEDIANO | 2120 | - | - | - | - |
| LARGO | 2380 | - | - | - | - |
| TOTAL | 19040 | 423000 | 18.92 | 0.73 | 8003.16 |
| | | | | Ratio tm/m 29.09 | |

Cuadro N° 03: Programa de Exploración y Desarrollo.

Este agresivo programa de exploraciones con labores mineras se viene ejecutando desde la cota 3220 hacia cotas más profundas, actualmente ya estamos explorando en la cota 2220. Este programa junto a los programas de perforación diamantina de largo alcance permite incrementar nuevas áreas de exploración y una reevaluación de las áreas más antiguas.

En años anteriores las reservas y la producción provenían del sistema esperanza que es una estructura con rumbo NNW – SSE y buzamiento NE, pero adicionalmente se tienen identificadas 14 estructuras al piso de Esperanza con el mismo rumbo y buzamiento. Con la profundización realizada en los últimos años se han interceptado las

vetas Cabana 2, Cabana 3 y Daniela con valores de oro superiores al promedio de ley de las reservas actuales y que pertenecen a este sistema de estructuras paralelas. Adicionalmente también se ha interceptado la veta Valeria que es una estructura tensional con valores de oro superiores. Los resultados que se vienen obteniendo son muy alentadores y esto ha permitido que manteniendo el programa de exploraciones las reservas se incrementen sustancialmente. Actualmente nuestras reservas alcanzan para una producción de 10 años. Con respecto al potencial de reservas las expectativas de mineralización económica son muy altas.

El Proyecto del pique principal ha iniciado la construcción de un Pique Circular con una longitud total de 802 mts. (Incluido el castillo y zona de carga) y 4.20 mts., de diámetro, para optimizar la operatividad entre los niveles 3220 y 2520. A través del Pique, se podrá trasladar en el Skip 3800 TMS/día de material que incluye mineral y desmote y contará además con una jaula de capacidad de 54 personas que permitirá dar acceso a 800 trabajadores por turno o trasladar a través de ella 5800 kilos de carga, (ver Anexo N° 09).

Este proyecto representa un gran reto para MARSA. Actualmente se encuentra culminado la fase construcción del Castillo de Winche, Cámaras de Winches (Producción y Servicios), Columna de Pique, Echaderos de Mineral y Desmote, Cruceros de Fajas Transportadoras.

MINERÍA. Construcción de pique de Minera Marsa se culminó en 100 por ciento, comprendiendo 737 metros, para lo cual se destinó un presupuesto total de US\$ 38'512,550.

“Este monto que se divide entre el pique propiamente (US\$ 34'474,752) y la rampa y accesorios (US\$ 4'037 789)”, recalcó el Ing. Basilio Ponce Pio, Sub Gerente de Proyectos de Marsa en el marco el Jueves Minero organizado por Instituto de Ingenieros de Minas del Perú – IIMP. Manifestando que dentro de los parámetros de diseño que se utilizaron, se consideraron las guías metálicas, para la jaula, en vez de las tradicionales de madera, con la finalidad de conseguir una mayor velocidad de hasta 9 m/s. Y con el fin de tener todas las medidas de seguridad se adquirió un sistema de frenado de emergencia E-Fast.

3.2. BASES TEÓRICO – CIENTÍFICOS

3.2.1. Caracterización de la masa rocosa.

3.2.1.1. Registro de datos: Para la caracterización de la masa rocosa del eje del pique, se registraron datos a partir del logueo geomecánico (ver Anexo N° 01) de los siguientes sondajes:

En el eje del Pique:

Taladro No. 03 : DDH 09-001

Labor : Xc 10194-NW

Nivel : 3220

Longitud : 728.00 mts.

Inclinación : 90°

Registro de logueo : ANEXO 1

Para la construcción de las cámaras en el Nivel 3220:

Taladro No. 01 : DDH 3275

Labor : Intersección, Xc 10260 W y Cámara 04.

Longitud : 44.45 mts.

Orientación : S58°E

Taladro No. 02 : DDH 3276

Labor : Intersección, Xc 10260 W y Cámara 04.

Longitud : 80.65 mts.

Orientación : S34°E

3.2.2. Clasificación de masa rocosa.

Para clasificar geomecánicamente a la masa rocosa se utilizó la información desarrollada precedentemente, aplicando los criterios de Clasificación geomecanica de Bieniawski (RMR- Valoración del Macizo Rocoso – 1989) y la clasificación del índice Geológico de resistencia (GSI) propuesto por Hoek (1995).

Los valores del índice de calidad de la roca (RQD), fueron determinados a partir del mapeo geotécnico de los testigos de las perforaciones diamantinas.

En el siguiente cuadro un resumen de los mismos, (ver Cuadro N° 04):

| Tipo de Roca | Rango RMR | Promedio RMR | Promedio GSI | % de la masa rocosa según RMR |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------------|
| Tipo II | 60-30 | 62 | F/B | Buena: 0.30 % |
| Tipo III | 41-56 | 48 | MF/R | Regular: 45.1 % |
| Tipo IV | 21-40 | 31 | MF/P | Mala: 54.2% |
| Tipo V | 19-21 | 20 | IF/P | Muy Mala: 0.40 % |

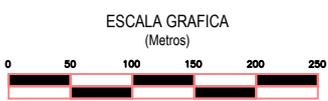
Cuadro N° 04: Resumen de Resultados Clasificación de la Masa Rocosa.

Según lo que indica en el Cuadro N° 04, en el eje del pique y en las excavaciones cercanas al pique prevalece en mayor porcentaje la Roca Tipo III y Roca Tipo IV.

CUADRO RESUMEN DE LA EVALUACIÓN GEOMECÁNICA Y TIPOS DE SOSTENIMIENTO CONSIDERADO

| NIVEL | RESULTADOS DEL LOGEO | RMR GENERAL | INDICE GSI | SOSTENIMIENTO | | INSTRUMENTACIÓN Ubicación referencial |
|-------------------------|----------------------|-------------|---|---|---|---|
| | | | | PRIMARIO | SEGUNDARIO | |
| NIVEL 3220 CHILCAS | | REGULAR | MF/R-B | CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2" - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | | Extensometría de cinta, Manual o Digital |
| NIVEL 3175 CHILCAS BAJO | | MALA | MF/R | CONCRETO LANZADO, 2" CON FIBRA METÁLICA + MALA ELECTRODOLADA + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2" - 3" | Extensometría de cinta, Manual o Digital |
| NIVEL 3125 CHILCAS BAJO | | REGULAR | MF/R-B | CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2" - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | | |
| | | MALA | IF/R | CONCRETO LANZADO, 2" CON FIBRA METÁLICA + MALA ELECTRODOLADA + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2" - 3" | |
| NIVEL 3075 CHILCAS BAJO | | REGULAR | MF/R-B | CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2" - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | | |
| | | MALA | MF/R-P | CONCRETO LANZADO, 2" CON FIBRA METÁLICA + MALA ELECTRODOLADA + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2" - 3" | |
| NIVEL 2950 CHILCAS BAJO | | REGULAR | MF/R-B | CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2" - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | | Extensometría de cinta, Manual o Digital, Celdas de Carga |
| | | MALA | MF/R | CONCRETO LANZADO, 2" CON FIBRA METÁLICA + MALA ELECTRODOLADA + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2" - 3" | |
| NIVEL 2920 BATOLITO I | | REGULAR | MF/R | CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2" - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | | |
| | | MALA | MF/R | CONCRETO LANZADO, 2" CON FIBRA METÁLICA + MALA ELECTRODOLADA + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2" - 3" | |
| NIVEL 2870 BATOLITO I | | REGULAR | F/R-B | CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2" - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | | Extensometría de cinta, Manual o Digital, Celdas de carga |
| | | MALA | MF/P | CONCRETO LANZADO, 2" CON FIBRA METÁLICA + MALA ELECTRODOLADA + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2" - 3" | |
| NIVEL 2820 BATOLITO I | | REGULAR | F/R | CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2" - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | | |
| | | MALA | MF/P | CONCRETO LANZADO, 2" CON FIBRA METÁLICA + MALA ELECTRODOLADA + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2" - 3" | |
| NIVEL 2770 BATOLITO I | | REGULAR | F/R | CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2" - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | | |
| | | MALA | MF/P | CONCRETO LANZADO, 2" CON FIBRA METÁLICA + MALA ELECTRODOLADA + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2" - 3" | |
| NIVEL 2720 BATOLITO II | | REGULAR | MF/R-P | CONCRETO LANZADO, 2" CON FIBRA METÁLICA + MALA ELECTRODOLADA + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | | Extensometría de cinta Manual o Digital, Extensómetros de Barras o múltiples, Celdas de Carga, Perno Roofes |
| | | MALA | IF/R-P | CONCRETO LANZADO, 2" CON FIBRA METÁLICA + MALA ELECTRODOLADA + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2" - 3" | |
| NIVEL 2670 BATOLITO II | | REGULAR | MF/B | CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2" - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | | |
| | | MUY MALA | IF/P | CONCRETO LANZADO DE 2" DE ESPESOR | ANILLO DE CONCRETO DE 20 x 20 cm DE ESPESOR Y/O MARCOS METÁLICOS CON REVESTIMIENTO DE CONCRETO LANZADO DE 2" - 3" | |
| NIVEL 2620 BATOLITO II | REGULAR | F/R-B | CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2" - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | | Extensometría de cinta, Manual o Digital | |
| | MALA | MF/R-P | CONCRETO LANZADO, 2" CON FIBRA METÁLICA + MALA ELECTRODOLADA + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2" - 3" | Extensometría de cinta, Manual o Digital, Celdas de Carga | |
| NIVEL 2500 BATOLITO II | BUENA | I/S | PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | | | |
| | MALA | MF/R-P | CONCRETO LANZADO, 2" CON FIBRA METÁLICA + MALA ELECTRODOLADA + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2" - 3" | Extensometría de cinta, Manual o Digital, Celdas de Carga, Perno Roofes | |
| NIVEL 2500 BATOLITO II | REGULAR | LF/R-B | CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2" - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | | Extensometría de cinta, Manual o Digital, Perno Roofes | |
| | MALA | MF/R | CONCRETO LANZADO, 2" CON FIBRA METÁLICA + MALA ELECTRODOLADA + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2" - 3" | | |
| NIVEL 2500 BATOLITO II | REGULAR | F/R-B | CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2" - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | | | |
| | MALA | MF/R | CONCRETO LANZADO, 2" CON FIBRA METÁLICA + MALA ELECTRODOLADA + PERNO SISTEMÁTICO CON INYECCIÓN DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m. | SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2" - 3" | | |
| NIVEL 2500 BATOLITO II | MUY MALA | IF/P | CONCRETO LANZADO DE 2" DE ESPESOR | | | |

| TIPO | RMR _{log} | RMR _{gen} |
|----------|--------------------|--------------------|
| BUENA | II-B = 0.30% | 0.30% |
| REGULAR | III-A = 13.50% | 45.1% |
| MALA | IV-A = 48.40% | 54.2% |
| MUY MALA | V = 5.80% | 0.40% |



| TIPO | RMR _{log} | RMR _{General} |
|-----------------|----------------------------------|------------------------|
| BUENA | II-B = 0.30% | 0.30 % |
| REGULAR | III-A = 13.50% III-B = 31.76% | 45.1 % |
| MALA | IV-A = 48.40% IV-B = 5.80% | 54.2 % |
| MUY MALA | V = 0.40% | 0.40 % |

3.2.3. Evaluación geomecánica

La construcción del pique se realizará aplicando el método excavación con chimenea piloto, (ver plano N° 06) y posterior ampliación (desquinche) a 4.80 m. de diámetro con holgura de 0.30 m. para anillo de concreto como soporte del macizo rocoso.

La excavación con chimeneas piloto, estará constituida por dos metodologías dependiendo de la calidad del macizo rocoso:

- Raise Borer, para roca de calidad regular a mala.
- Raise Climber, para roca de calidad mala.

3.2.3.1. Método de Excavación - Raise Borer

El primer tramo se construyó un piloto con Raise Borer de diámetro 1.5 m., para los primeros tramos comprendidos entre los Niveles 3220 y 2870 cubriendo 350 m. de profundidad.

El método Raise Borer realiza la perforación en dos etapas, (ver plano N° 07).

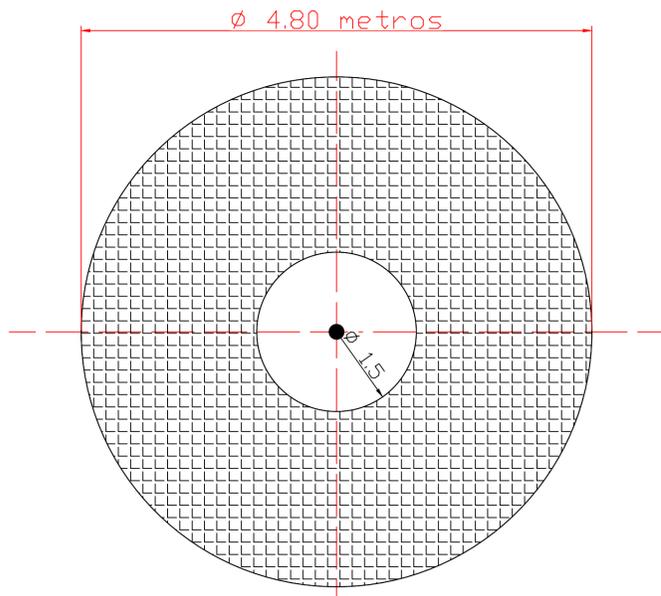
3.2.3.2. Método de Excavación - Raise Climber

En nuestro caso hemos considerado construir un piloto con jaula trepadora de sección 2.2 x 2.0 m., para los tramos comprendidos entre los Niveles 2870 y 2470 cubriendo 400 m. de profundidad.

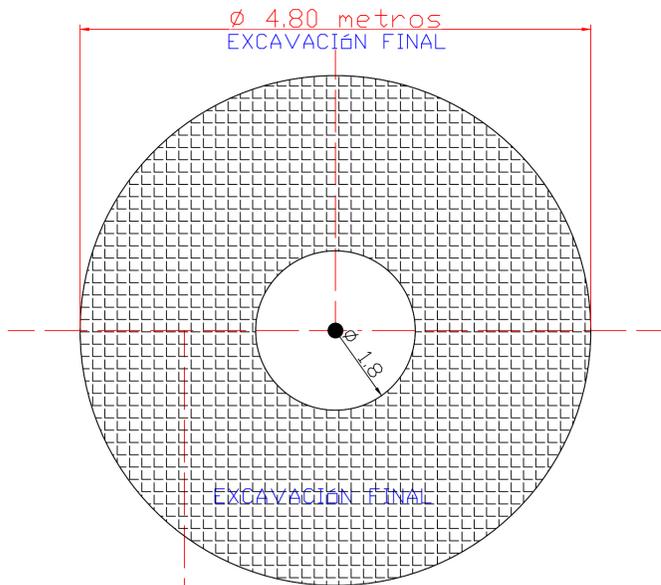
El método Raise Climber utiliza una jaula trepadora que sirve de protección para los perforistas, y esta va ascendiendo anclándose en carriles que deben ser colocados conforme se avanza en la excavación de la chimenea, (ver plano N° 08).

La evaluación geomecánica realizada tiene como objetivo, asegurar condiciones adecuadas de estabilidad del proyecto Pique y de las excavaciones asociadas al Proyecto, como son los diseños de las cámaras Skips, cámaras pique y cámaras jaula.

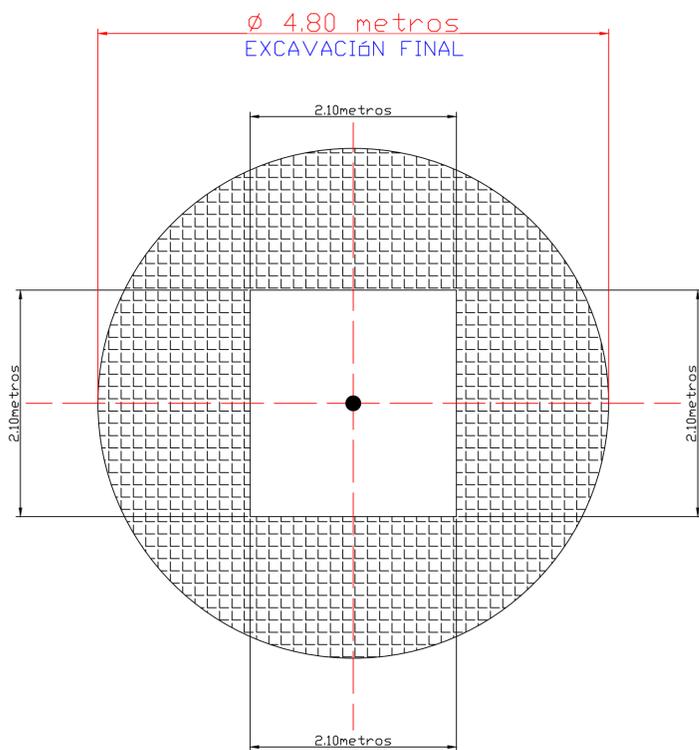
En el diseño del pique se está contemplando la construcción de sección circular con elementos metálicos en sus compartimientos, para el izaje de mineral y desmonte por skips y de personal, materiales y equipo por jaula; ambos con Winche independiente. El diámetro del pique será de 4.2 m., tendrá un revestimiento de concreto de 30 cm de espesor por condiciones del terreno; con lo que se estima un diámetro de excavación de 4.80 m.



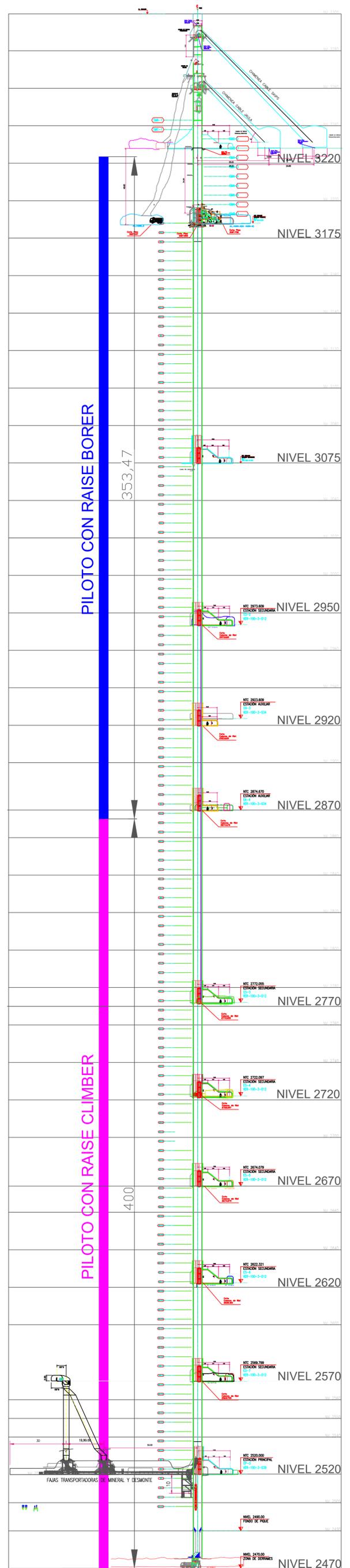
1. SECCIÓN DE PILOTO CON RAISE BORER $\varnothing 1.5$ m.



2. SECCIÓN DE PILOTO CON RAISE BORER $\varnothing 1.8$ m.



3. SECCIÓN DE PILOTO CON RAISE CLIMBER 2.1 X 2.1m.



| | |
|--------------|-----------------|
| ESCALA : | 1/1000 |
| GEOLOGIA : | DPTO. GEOLOGIA |
| TOPOGRAFIA : | DPTO. PROYECTOS |
| DIBUJADO : | SIST. PROYECTOS |
| REVISADO : | SIST. PROYECTOS |
| APROBADO : | SIST. PROYECTOS |

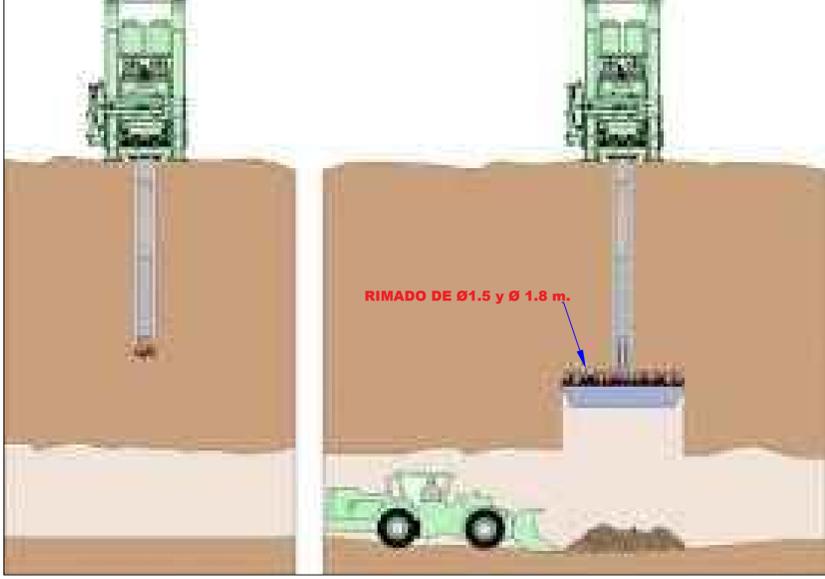
UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
 FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE FORMACIÓN
 PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA

**EXCAVACIÓN CHIMENEA PILOTO
 RAISE BORER y RAISE CLIMBER
 NIVEL_3220 AL NIVEL_2470**

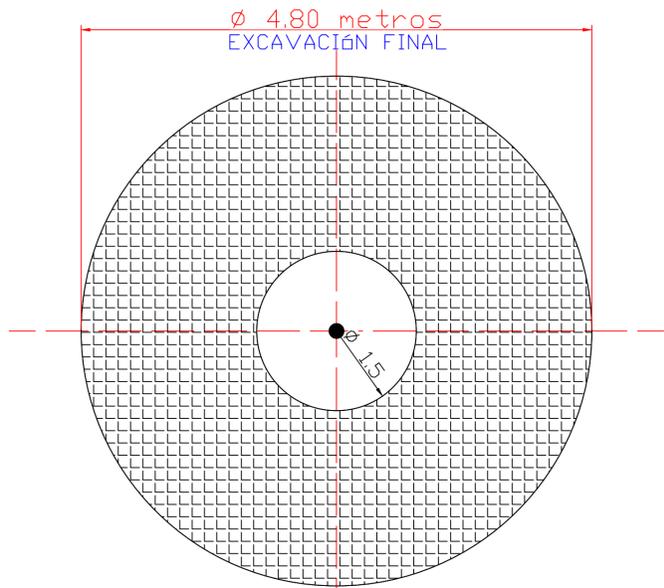
| | |
|--------------------|------------|
| NOMBRE DEL ARCHIVO | |
| PILOTO PIQUE.dwg | |
| COD. PLANO | |
| 00-00-00-00 | |
| PLANO N° | FECHA |
| 006 | 01-01-2018 |

METODOLOGÍA CON RAISE BORER

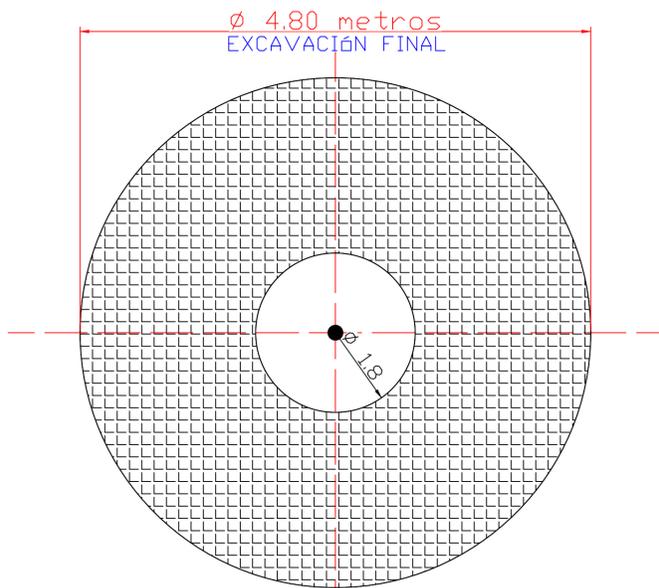
PILOTO (12 1/4")



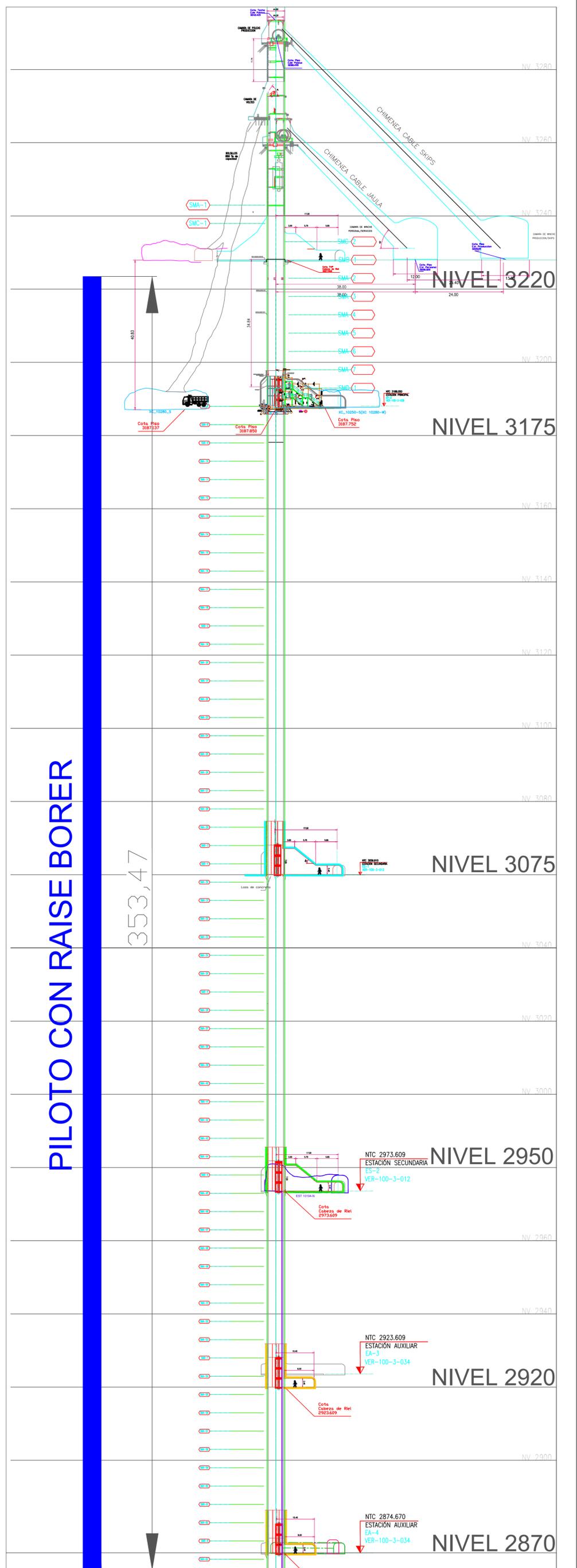
RIMADO DE Ø1.5 y Ø 1.8 m.



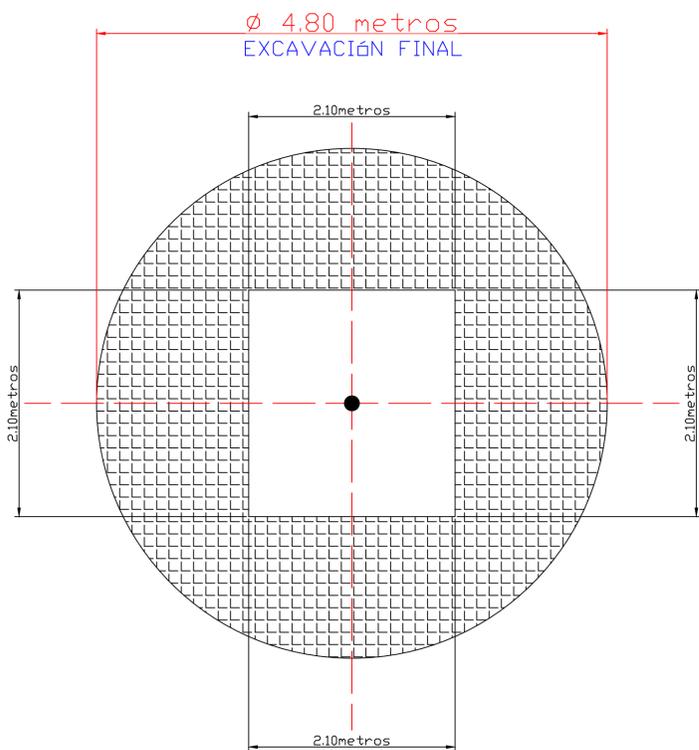
1. SECCIÓN DE PILOTO CON RAISE BORER Ø 1.5 m.



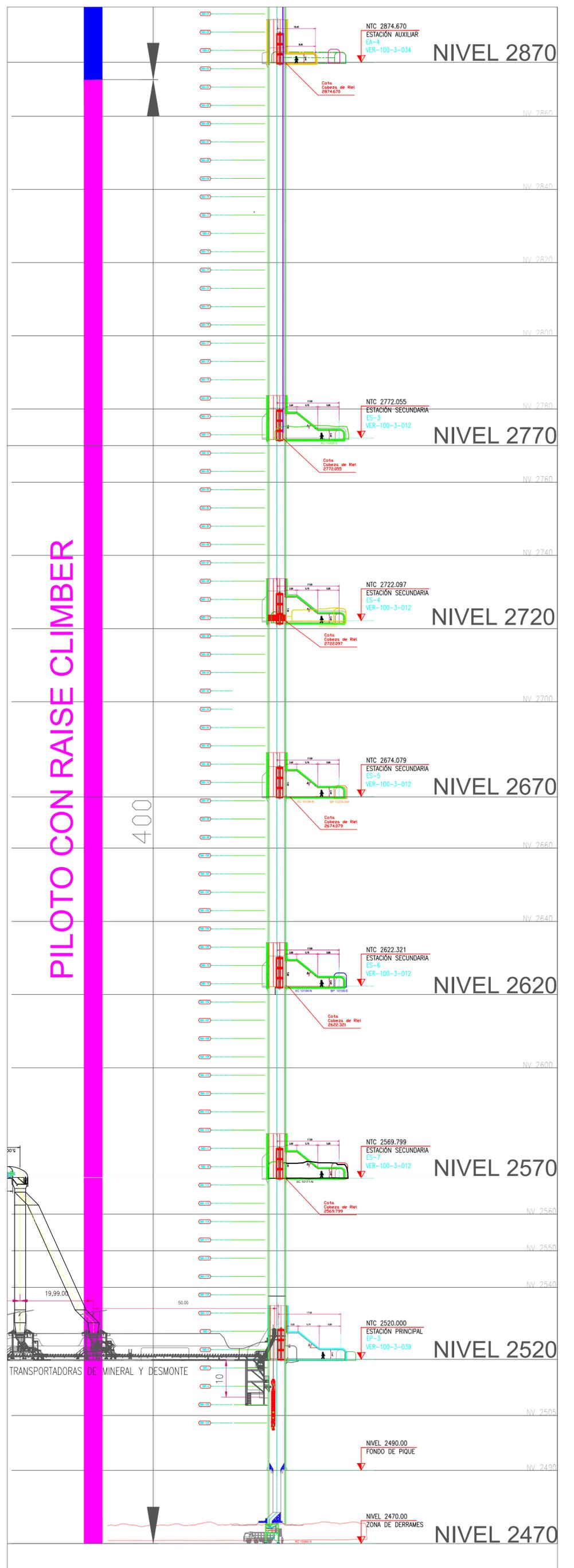
2. SECCIÓN DE PILOTO CON RAISE BORER Ø 1.8 m.



METODOLOGÍA CON RAISE CLIMBER



3. SECCIÓN DE PILOTO CON RAISE CLIMBER 2.1 X 2.1m.



3.2.4. Propiedades del macizo rocoso

3.2.4.1. Discontinuidades en macizos rocosos. Las discontinuidades están presentes en la roca y afectan la resistencia, permeabilidad y durabilidad de la masa. Es importante evaluar la geometría, naturaleza, estado y condición de las discontinuidades, porque ellas definen la fábrica estructural del macizo rocoso.

Además de su génesis, la influencia en el comportamiento del macizo, exige evaluar la génesis de los rellenos, la cantidad de agua, las cicatrices y revestimientos en las paredes por materiales solubles, la abertura, rugosidad y persistencia de las discontinuidades, y el número de familias.

Los principales tipos de discontinuidades presentes en la masa rocosa son:

- **Planos de estratificación.** dividen en capas o estratos a las rocas sedimentarias.
- **Fallas.** son fracturas que han tenido desplazamiento. Estas son estructuras menores que se presentan en áreas locales de la mina o estructuras muy importantes que pueden atravesar toda la mina.
- **Zonas de corte.** son bandas de material que pueden ser de varios metros de espesor, en donde ha ocurrido fallamiento de la roca.

- **Diaclasas.** también denominadas juntas, son fracturas que no han tenido desplazamiento y las que más comúnmente se presentan en la masa rocosa.
- **Planos de foliación o esquistosidad.** se forman entre las capas de las rocas metamórficas dando la apariencia de hojas o láminas.
- **Contactos litológicos.** que comúnmente forman, por ejemplo, la caja techo y caja piso de una veta.

3.2.4.2. Parámetros de las discontinuidades. Los parámetros de descripción de las discontinuidades son diez.

- **Orientación.** Es la posición espacial y se da con el rumbo y buzamiento de la superficie de discontinuidad. Es importante ver la actitud de los bloques y fracturas para efectos de estabilidad.
- **Espaciamiento.** Es la distancia perpendicular entre dos discontinuidades de una misma familia. Debe advertirse que el espaciamiento aparente, el que muestra en superficie la roca, por regla general es mayor que el real. Se utiliza el promedio.
- **Persistencia.** Es la longitud de la traza de una discontinuidad en un afloramiento (se trabaja estadísticamente y con criterios probabilísticos como el espaciamiento). Cuando hay persistencia se garantiza el flujo de agua a través de la masa.

- **Rugosidad.** Se alude a la rugosidad de la superficie y a la ondulación de la discontinuidad, pues ambos afectan la resistencia del macizo rocoso. Una alta rugosidad aumenta la resistencia a la fricción.
- **Resistencia de las paredes de la discontinuidad.** Generalmente es la resistencia a la compresión inconfiada, pues es una buena medida de la alteración de las paredes de la discontinuidad. La resistencia aumenta con la presencia de dientes de roca en la discontinuidad.
- **Abertura.** Es la distancia perpendicular entre las paredes de las distancias de las diaclasas cuando estas no tienen relleno (sólo agua o aire). Hay diaclasas cerradas.
- **Relleno.** Alude al material entre las paredes de la discontinuidad, casi siempre más blando que el macizo rocoso. Un parámetro en el material de relleno es su grado de cementación.
- **Flujo.** Agua presente en la discontinuidad que se encuentra libre o en movimiento. Se describe por el caudal y debe evaluarse si el agua brota o no con presión.
- **Número de familias presentes.** Es indicativo del grado de fracturamiento del macizo y depende de la dirección y tipo de esfuerzos. El menor número de familias en un macizo es tres; también las familias presentan características distintivas, no solamente en dirección y espaciamiento sino

también en condiciones de relleno, caudal e incluso edad y tipo de esfuerzos que la origina.

- **Tamaño de bloques.** El que se cuantifica con algunas metodologías específicas. Deben identificarse además los bloques críticos: aquellos que tienen tamaños finitos y posibilidad de desprenderse.

3.2.5. Aspectos geomecánicos para el diseño del pique: La apertura de una labor subterránea como el caso de este pique, altera el campo de esfuerzos existentes en el macizo rocoso que al profundizarse las labores se incrementan las presiones que llegan a producir esfuerzos que exceden la resistencia de las rocas, siendo necesario instalar el sostenimiento, refuerzo o soporte. El Pique Principal MARSA es importante por el cual pasarán todos los suministros para la explotación tales como ventilación transporte de mineral, suministros y personas. Electricidad, aire comprimido, agua, bombeo. Dada su importancia, se escogerá su ubicación adecuadamente, su diámetro, el método de profundización, el recubrimiento de las paredes del pique. La capacidad del pique se diseñará pensando en posibles ampliación o profundización.

3.2.6. Selección de la ubicación del pique: El pique principal de MARSA, no deben de ser afectado por las inundaciones, y para ello se analiza la máxima venida. Se analizarán todas aquellas cuestiones externas que pudieran poner en peligro la vida de los trabajadores y la integridad de la mina y que puedan influir en la decisión sobre el emplazamiento del pique.

3.2.7. Sección Circular: La sección circular garantizará una mayor estabilidad, debido a que la fortificación va a resistir mejor la presión causada por la roca circundante; distribuyéndose uniformemente. Poseerá un menor coeficiente de resistencia aerodinámica, (ver Anexo N° 09).

3.2.8. El método de inyección de lechada de cemento: Se realiza mediante una bomba inyectora Puztmeister y obturador de diámetro de HQ. Objetivo de la inyección de cemento en las diferentes estaciones del pique principal es, la fortificación del área del pique con taladros equidistantes. Evita la caída de derrumbes en los diferentes trabajos posteriores que se van a realizar.

3.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Pique: Los piques son labores verticales que sirven de comunicación entre la mina subterránea y la superficie exterior con la finalidad de subir o bajar al personal, material, equipos y el mineral.

Factores para la construcción de un pique: Necesidades de extracción de mineral; Reducción de los costos de producción; Profundización de los niveles de extracción.

Formas de la sección transversal de un pique: El pique Principal en MARSA será de forma circular, que, para elegir la forma de la sección transversal, es necesario tener en cuenta lo siguiente: La calidad del macizo rocoso; El tiempo de servicio y el destino final del pozo; y El material de fortificación a ser utilizado.

Clasificación del macizo rocoso: Los sistemas de clasificación del macizo rocoso sustituyen un enfoque para estimar las propiedades del

macizo rocoso a gran escala. En la industria minera, el índice GSI y los sistemas RMR y Q, son parámetros de entrada para muchos métodos de diseño, así como parámetro de entrada de muchos programas de modelamiento numérico. Los sistemas de clasificación geomecánica son un intento de representar con un solo valor las propiedades de resistencia de un macizo rocoso. El macizo rocoso es usualmente un material altamente anisotrópico y puede ser representado por más de un sistema de clasificación.

Estos sistemas de clasificación serán útiles para determinar la extensión de los dominios geomecánicos en una mina. El ingeniero debe estimar el valor de clasificación más realístico para los requerimientos de diseño; también, debe tener en cuenta que existen diversas aplicaciones para cada sistema de clasificación geomecánica.

Propiedades de roca intacta: El macizo rocoso está compuesto por roca intacta y estructuras geológicas. La respuesta de la roca intacta bajo condiciones de esfuerzos especialmente si se trata de roca masiva y rígida de alta resistencia sujeta a altos esfuerzos (in situ o inducidos) puede conducir a condiciones de estallido de roca; mientras que una roca suave y altamente deformable puede conducir a un comportamiento elastoplástico de altas deformaciones que con el tiempo pueden cerrar la excavación o abertura.

Mapeo geomecánico por celdas: El mapeo geomecánico por celdas se desarrolló a través de la ejecución de estaciones geomecánicas, las cuales abarcaron un área aproximada de 3 m x 3 m.

Mediante el mapeo geomecánico por celdas se identificó y cuantificó características del macizo rocoso, las características de las principales familias de discontinuidades. Para cada familia se determina el tipo de discontinuidad, orientación (buzamiento y dirección de buzamiento), resistencia de la pared de la discontinuidad, espaciamiento, persistencia, apertura, relleno, rugosidad presente y grado de alteración o meteorización.

Todo ello, para definir los parámetros que permitirán clasificar el macizo rocoso mediante el sistema RMR (Rock Mass Rating) y GSI (Índice de Resistencia Geológica).

Sistema RMR: El sistema Rock Mass Rating (RMR) fue desarrollado por Bieniawski, y clasifica los macizos rocosos de 0 a 100 puntos, siendo 0 para roca muy mala y 100 para roca muy buena, de acuerdo a la tabla siguiente e incorporan la valoración de parámetros como:

- Resistencia de la Roca Intacta.
- RQD.
- Espaciamiento de discontinuidades.
- Condición de discontinuidades.
- Agua subterránea.

| Descripción | RMR | Clase de Macizo Rcoso |
|----------------|--------|-----------------------|
| Roca Muy Buena | 81-100 | I |
| Roca Buena | 61-80 | II |
| Roca Regular | 41-60 | III |
| Roca Mala | 21-40 | IV |
| Roca Muy Mala | 0-20 | V |

Cuadro N° 05: Tabla de Interpretación de los valores de RMR, (Bieniawski, 1989)

Índice GSI (Índice de Resistencia Geológica): El índice de

resistencia geológica (GSI) es un índice de caracterización de macizos rocosos que evalúa al macizo rocoso en función a dos criterios: estructura geológica y condición de la superficie de las juntas. Tiene gran aceptación en el Perú por su facilidad de uso entre el personal de operaciones.

Índice GSI modificado: C. Vallejo (2002) con el objetivo de utilizarlas tablas originales de manera práctica y sencilla de clasificar cualitativamente al macizo rocoso y recomendar el sostenimiento requerido. Cabe señalar que el índice GSI fue originalmente desarrollado con la finalidad de obtener parámetros para el criterio de falla de Hoek& Brown, por lo que Vallejo recurre a las equivalencias del GSI con RMR para recomendar y dimensionar el sostenimiento. Las tablas resultan ser muy prácticas para ser empleadas solo para los colaboradores o trabajadores, sin embargo, corresponderá al personal especializado del área de geomecánica de cada empresa, la adecuación específica, así como la evaluación y/o revisión de su aplicación.

| INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICO GSI (Hoek & Marinos, 2000). A partir de la litología, estructura y la condición de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio de GSI. No intente ser muy preciso. Escoger un rango de 33 a 37 es mas realista que fijar GSI=35. También notar que esta tabla no se aplica a mecanismos de falla controlado por estructuras. Donde se presenten planos estructuralmente débiles en una orientación desfavorable con respecto a la cara de la excavación, estos dominaran el comportamiento del macizo rocoso. La resistencia al corte de las superficies en rocas que son propensas a deteriorarse como resultado de cambios en la humedad, se reducirá cuando exista presencia de agua. Cuando se trabaje con rocas de categoría regular a muy mala, puede moverse hacia la derecha para condiciones húmedas. La presión de poros se maneja con un análisis de esfuerzos efectivos. | | CONDICIONES SUPERFICIALES | | | | |
|--|---|--|--|---|--|---|
| ESTRUCTURA | | DISMINUYE CALIDAD DE SUPERFICIE → | | | | |
| | | MUY BUENA Muy rugoso, Superficies frescas sin meteorización | BUENO Rugoso, ligeramente meteorizada, superficies con óxido. | REGULAR Lizas, moderadamente meteorizadas y superficies alteradas. | MALA Espejo de falla, altamente meteorizadas con recubrimiento compacto o rellenos o fragmentos | MUY MALA Espejo de falla, superficies altamente meteorizadas con recubrimiento de arcilla suave o rellenos |
|  | Intacta o Masivo: Especímenes de roca intacta o masivo in situ con pocas discontinuidades ampliamente espaciadas. | 90 | | | N/A | N/A |
|  | Levemente fracturado: Macizo rocoso no disturbado, muy bien entrelazado, constituido por bloques cúbicos formados por tres familias de discontinuidades | 80 | 70 | | | |
|  | Moderadamente Fracturado: Entrelazado, macizo rocoso parcialmente disturbado con bloques angulosos de varias caras formado por 4 o mas familias de discontinuidades | | 60 | 50 | | |
|  | Muy Fracturado/Disturbado/Agrietada: Foleada con bloques angulosos formados por la intersección de muchas familias de discontinuidades. Persistencia de planos de estratificación o esquistocidad | | | 40 | 30 | |
|  | Desintegrado: Pobremente entrelazado, macizo altamente fracturado compuesto de una mezcla de pedazos de rocas angulosas y redondeadas | | | | 20 | |
|  | Foliado/Laminado/Ozallado: Falta de formación de bloques debido al pequeño espaciamiento o esquistocidad débil o planos de corte | | | | | 10 |

Estructuras geológicas: La mayor parte de los problemas de inestabilidad y la consecuente falla de los macizos rocosos en las minas subterráneas, están asociados a las diferentes estructuras geológicas, generalmente la parte más débil del macizo rocoso. De allí la necesidad de un conocimiento detallado de las estructuras geológicas, que pueda

mejorar la capacidad de comprensión de los mecanismos de falla del macizo rocoso y prevenir potenciales eventos de caídas de roca.

Las estructuras geológicas se pueden observar a diferentes escalas, desde una escala a nivel continental a una escala de micro fracturas en la composición de la matriz de roca. Para los propósitos de la geomecánica de la mina, las estructuras geológicas se pueden dividir en “estructuras mayores”, incluyendo zonas de corte y fallas regionales (estructuras a escalas de la mina), y las menos extensas o “estructuras menores”, como las familias de discontinuidades, los estratos, etc. (Estructuras a una escala local para un área de la mina).

Estructuras Mayores: Las estructuras principales se originan por grandes movimientos de la corteza terrestre, ocurridos antes, durante, o después de la formación de los yacimientos. Dichos movimientos han generado sistemas de fallas geológicas que son de interés para los geólogos que tratan de entender cómo se formaron los yacimientos. Las Fallas son planas de debilidad a lo largo de los cuales se han desplazado bloques de roca y podrían tener una gran trascendencia en la estabilidad global de la mina.

Las actividades de minado podrían reactivar movimientos a lo largo de las fallas y causar un daño significativo a las minas subterráneas en actividad. Entender la geometría de la red de fallas y cómo se puede perturbar su estabilidad con las actividades de minado conduce a enfoques estratégicos para el minado, que minimicen el potencial movimiento de fallas y el riesgo de daño e inestabilidad regional.

Se pueden esperar problemas locales de estabilidad en zonas donde ocurra una cantidad intensa de fallas y en ubicaciones donde las fallas se intersectan unas con otras. Los ingenieros del proyecto Pique Principal MARSA deben registrar la ubicación y medir la orientación y buzamiento de todas las estructuras principales identificadas en testigos obtenidos de taladros orientados de perforación diamantina y en las excavaciones existentes en las etapas iniciales del proyecto.

Esta información puede ser usada para reconstruir la red de las principales estructuras en los planes de minado y desarrollar un modelo estructural tridimensional

El pre-sostenimiento: Consiste en la fortificación del pique principal, con la perforación diamantina e inyección de lechada de cemento.

La dosificación de lechada de cemento: Depende de la calidad del comportamiento del macizo rocoso, fallas, fracturamiento y roca competente.

Aspectos geológicos del macizo rocoso: El intrusivo está constituido por 2 facies plutónicas: 1ra facies, microdiorita diorita; 2da facies, granodiorita-granito. La primera facies son las rocas más favorables para la depositación de las soluciones mineralizantes; en ellas se emplazan el mayor número y las principales estructuras mineralizadas, las que actualmente se hallan en exploración y explotación; la segunda facies, son poco favorables para la formación de estructuras mineralizadas, encontrándose vetas delgadas, ramaleadas (stockwork) y

discontinuas. El porcentaje areal a nivel de todo el batolito es granodiorita y cuarzo monzonita 55 %, tonalita 22 %, diorita 13 %, granito 9 %. La descripción macroscópica Existen pequeños intrusitos a manera de stocks y diques de pórfido tonalita diorita que intruyen al Complejo del Marañón y al Batolito de Pataz.

Aspectos litológicos: En el área del Proyecto Pique podemos observar la presencia de rocas intrusivas propias del o está constituido por dioritas, microdioritas, granodioritas y granitos. Los contactos internos entre las diferentes facies de rocas intrusivas son gradacionales; algunas facies del intrusivo están cortados por diques aplíticos que se presentan como xenolitos alargados. De igual manera en la zona de evaluación se ha encontrado pequeños intrusivos a manera de stocks y diques de pórfido tonalita-diorita.

Las rocas intrusivas del área evaluada, se hallan fuertemente fracturadas debido a los múltiples eventos tectónicos; estos fracturamientos siguieron un patrón estructural derivados de la dirección de los esfuerzos tectónicos que se presentan formando sistemas de fracturamientos locales, ya sea paralela al sistema de fallas longitudinales, diagonales o paralela a los esfuerzos de compresión que a la vez originan micro fallas.

Aspectos litoestratigráficas: En el área del Proyecto Pique, podemos observar como contexto geológico local, y su entorno pertenecen estratigráficamente a la secuencia del Missisipiano - Carbonífero Inferior, edad paleozoica, representada por el Batolito de

Pataz. Estructuralmente se ubica en una zona de intensa actividad tectónica evidenciado por la presencia de “fallas y estructuras menores “. El Batolito de Pataz (edad de la intrusión: 239 Ma. y enfriamiento: 329 – 328 Ma. Hearberlin – Moritz 2002, tiene aprox. 160 Km de largo (N30°W), un ancho de 2.5 a 5 Km. El intrusivo está constituido probablemente por más de una facies plutónica, una facies de granito – granodiorita y otra facie de tonalita – diorita, mostrándose la primera como la más favorable para el emplazamiento y desarrollo de estructuras mineralizadas

Las rocas sedimentarias afloran al SW del Batolito de Pataz, corresponde el grupo Mitú (Pérmico) y está constituida por la unidad vulcano sedimentaria (areniscas, limonitas, conglomerados, tobas riolíticas y brechas – aglomerado de riolitas y dacitas), calizas del Crisnejas (Triásico – Jurásico)

3.4. HIPÓTESIS

3.4.1. Hipótesis General

Determinando los índices geomecánicos RMR y GSI se podrá detectar su influencia en la construcción del proyecto Pique Principal MARSA.

3.4.2. Hipótesis Específicas

- Las características geomecánicas del macizo rocoso presentes en el Pique Principal Marsa están controladas por las características estructurales, geométricas y de las discontinuidades del macizo rocoso en base al mapeo geomecánico sienten estos: la orientación de las

discontinuidades, el espacio, la persistencia, la rugosidad, de las juntas, la apertura, el relleno, meteorización, alteración y la presencia de agua.

- El diseño de sostenimiento en el eje del pique, está determinado por la caracterización geomecánica del macizo rocoso y caracterización geológica.
- Se determina los índices de RMR y GSI para la clasificación del macizo rocoso.
- Con la construcción del proyecto Pique Principal MARSA, podremos extraer el mineral y desmonte de los Niveles inferiores.

3.5. IDENTIFICACION DE VARIABLES

Las variables con las que se trabajó esta investigación fueron Variables ordinales de Tipo cuantitativo continuo por presentar cualquier valor del intervalo real de datos tomados en campo.

Las variables se pueden clasificar también según si son independientes o dependientes:

3.5.1. Variable Independiente

Es una variable que su valor no depende de otra variable. La variable independiente suele representarse en las gráficas en el eje de abscisas (x). En el diseño experimental a la variable independiente le denominamos variable de entrada, o variable manipulada.

En el estudio se consideró como variables Independientes a:

- Índice RMR (Rock Mass Rating) Sistema de Clasificación de Roca: Muy Buena, buena, Media, Mala y Muy Mala
- Índice GSI (Índice de Resistencia Geológica).

3.5.2. Variable Dependiente

Es una variable cuyos valores dependen de los valores que tome otra variable. Se representa en el eje de ordenadas (y).

En el presente estudio se consideró a la construcción del Proyecto Pique Principal MARSA como variable dependiente a través de la resistencia del macizo rocoso o caracterización del macizo rocoso.

3.5.3. Variables Intervinientes

Como variables intervinientes se consideró:

- La inversión de MARSA para la elaboración del proyecto Pique Principal MARSA.
- La Normativa Legal en Seguridad Minera.
- La Normativa Ambiental.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

Siendo la Metodología un estudio y conocimiento crítico y sistemático del método, utilizado por la ciencia, para determinar la realidad del proceso y adquirir un conocimiento lógico en su aplicación. El estudio de investigación realizado en la empresa minera MARSA, con el objetivo de determinar la influencia que existe entre la clasificación Geomecánica de índice de resistencia geológica (GSI) y el rango de macizo rocoso (RMR) en el sostenimiento de la masa rocosa para la construcción del Pique Principal MARSA, consiste en aplicar el procedimiento con la toma de datos y determinar la veracidad de su correlación con las muestras tomadas de acuerdo las clasificaciones geomecánicas de Índice de Resistencia Geológica (GSI) y Rango de

Macizo Rocosos(RMR) se realizó el mapeo Geomecánico de las labores cercanas. Hablamos de un método experimental.

4.1. TIPO DE INVESTIGACIONES

La presente investigación es tipo descriptiva, se trata de describir las características más importantes de un determinado objeto de estudio.

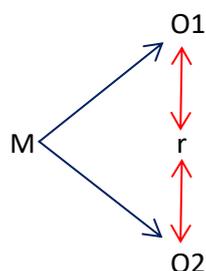
En un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones, conceptos o variables y se mide cada una de ellas independientemente una de la otra, con el fin, precisamente, de describirlas. Estos estudios buscan especificar las propiedades más importantes de un grupo de muestras.

La investigación descriptiva, consiste en recolectar en dos o más muestras con el propósito de observar el comportamiento de una variable, denominada comparativa, tratando de “controlar” estadísticamente otras variables que se considera pueden afectar la variable estudiada (variable dependiente).

4.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño que se utilizó en el trabajo de investigación es por correlación; consiste en recolectar dos o más conjuntos de datos de un objeto de investigación con la intención de determinar la relación entre estos datos

Diagrama:



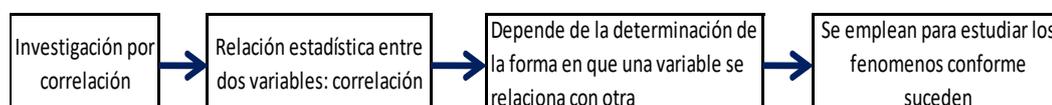
Donde:

O1,O2: Observación y mediciones del conjunto de datos 1 y 2.

M: Muestra de Estudio

r: Relación entre dichas variables

La investigación correlacional es un tipo de investigación no experimental miden dos variables y establecen una relación estadística entre las mismas (correlación), sin necesidad de incluir variables externas para llegar a conclusiones relevantes.



Este tipo de investigación es conducida en lugar de la experimentación, es por la relación estadística causal entre las variables, sin embargo, la característica más importante de la investigación correlacional es que las dos variables tratadas son medidas (sin ser manipuladas) y los resultados son ciertos independientemente del tipo de variable.

La investigación correlacional consiste en buscar diversas variables que interactúan entre sí, de esta manera cuando se evidencia el cambio en una de ellas, se puede asumir cómo será el cambio en la otra que se encuentra directamente relacionada con la misma.

En tanto de acuerdo a la investigación de dicha tesis y la forma de como se quiera conducir la investigación, se determinó mediante un análisis de información, ello consiste en analizar datos recolectados previamente por otros investigadores para poder establecer una relación correlacional significativa, usualmente se necesita tener acceso a grandes cantidades de información como: dimensiones; estándares de seguridad, estándares de operación, diseño y configuración del proyecto, condiciones estructurales y geológicas, condiciones de estabilidad y construcción de chimeneas piloto, así mismo los indicadores: etapa

operativa, grado de estabilidad, comportamiento geomecánico y características del macizo rocoso.

4.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

4.3.1. Población de estudio

La población es el conjunto total de individuos, objetos o medidas que poseen algunas características similares, en el caso de nuestra investigación, la zona donde se realizó la investigación es el yacimiento y área involucrada en el proyecto Pique Principal MARSA de Minera Aurífera Retamas S.A.

4.3.1. Muestra de estudio

La muestra es un parte de la población, la cual se selecciona con el propósito de obtener información, está conformada, por las muestras tomadas de los sondajes diamantinos, Boring Nro: DDH-09-001 con línea HQ-Logueo Prof. 0 - 765 mts (ver Anexo N° 01) y de los resultados de los 431 mapeos geomecánicos correspondientes (Ver Cuadro N° 18).

Se utilizó el tipo de muestreo probalístico estratificado, consiste en dividir la población en subconjuntos o estratos cuyos elementos poseen características comunes. Así los estratos son homogéneos internamente.

4.4. MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.4.1. Método General

En la presente investigación, se utilizó el Método Científico como método general. "El estudio del método CIENTÍFICO es objeto de estudio de la epistemología. Ahora se le conoce como el conjunto de técnicas y procedimientos que le permiten al investigador realizar

sus objetivos" Cataldo, (1992:26).

4.4.2. Método Específico

El Método Experimental es un proceso lógico, sistemático que responde a la incógnita: ¿Si trabajamos bajo condiciones estrictamente controladas tendremos resultados positivos? Según Mayer, J. (2005).

4.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Dentro de las técnicas e instrumentos de recolección de datos en el proyecto Pique Principal MARSA, se consideró:

- Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería D.S. 0024-2016-EM.
- Recopilación de datos bibliográficos
- Levantamiento topográfico
- Reportes Técnicos de Labores
- Fichas de Observación
- Datos de Estadísticos del área de estudio
- Tablas geomecánicas
- Mapeos geomecánicos y geológicos
- Datos de campo (in situ)
- Zonificación del área de influencia
- Planos topográficos existentes y levantados de la zona del proyecto.
- Planos geológicos existentes y levantados de la zona del proyecto.
- Planos Geomecánicos de la zona del proyecto.

4.5.1. Procedimientos de recolección de datos

- Revisión de las Normas y Estándares de Seguridad establecidos.
- Reconocimiento de la zona del proyecto.
- Revisión de la información geológica y geomecánica del proyecto.
- Manejo de los datos de mapeos geomecánicos, geológicos del macizo rocoso, caracterización del Macizo Rocosó del área del proyecto.
- Determinación de la resistencia del macizo del macizo rocoso.
- Determinación del factor de seguridad y analizar las zonas de desarrollo del proyecto.
- Determinación del tipo de sostenimiento en el pique.
- Realizar los requerimientos de los materiales.
- Disponibilidad de equipo, accesorios y maquinas con la cantidad requerida para la ejecución del proyecto.
- Capacitación del personal a participar en el desarrollo del proyecto.
- Realizar mapeos geomecánicos para la evaluación del macizo rocoso.
- Los informes de estudios geomecánicos.
- Los reportes geomecánicos.
- Las evaluaciones geomecánicas localizadas.

4.5.2. Plan de instrumentación geomecánica

La profundización del PIQUE MARSÁ, debido a la ocurrencia de mineralización económica en profundidad, así como la presencia de espacios abiertos (cámaras, chimeneas, accesos y anillo de concreto

armado del Pique Marsa) representan condiciones adversas que implican un incremento significativo de los riesgos asociados a los esfuerzos y deformaciones en la masa rocosa. En este contexto se genera la necesidad de incorporar “técnicas y herramientas de precisión, que permitan una gestión geomecánica eficiente” a través de permitir «observar-medir y monitorear» los fenómenos (esfuerzos y deformaciones) que ocurren en la masa rocosa para poder diseñar estrategias adecuadas que permitan minimizar los posibles impactos negativos (control de pérdidas). Según evaluaciones realizadas y considerando las necesidades propias del Proyecto Pique Marsa, se describe los requerimientos de instrumentación geomecánica básica aplicables a las condiciones del PIQUE MARSA.

4.5.3. Monitoreo de grietas, fisuras y deformaciones externas

En el siguiente capítulo se proporcionará información referente a la forma y distribución adecuada de sistemas de instrumentación, se establecen algunas especificaciones que se adecuan para “observar-medir y monitorear las grietas y/o fisuras”, así como las condiciones de esfuerzos-deformaciones y otros fenómenos naturales e inducidos que se presentan en las cámaras, anillo de concreto, chimeneas y accesos, así mismo su implicancia en la estabilidad de excavaciones subterráneas.

Los beneficios de implementar la instrumentación geomecánica básica permitirán entre otros aspectos la aplicación de instrumentación adecuada y específica para “observar, medir y monitorear fenómenos que se presentan en la masa rocosa y concreto armado” y plantear respuestas

numéricas que permitan mitigar, minimizar y/o eliminar los impactos (Control de Pérdidas).

4.5.4. Instrumentación geomecánica en las estaciones, cámaras y eje del pique MARSA

4.5.4.1. Extensómetro de cinta digital

La cinta extensométrica mide las variaciones de longitud entre dos puntos distribuidos en el perímetro de la excavación u otras zonas conexas al pique. La medición de convergencia, sobre todo en lugares críticos en los cuales se esperan grandes movimientos, aporta datos valiosos sobre la necesidad de soporte adicional. Debido a su gran sensibilidad es posible determinar la aceleración de la deformación, expresándolo en términos de “tiempo – deformación – estabilización”:

- Ubicación de la instrumentación. - Se prevé que será un solo equipo, que, mediante una ubicación apropiada, permitirá poder hacer evaluaciones en las tres zonas de producción. Para su aplicación es necesario ubicar “Estaciones De Convergencia” con más de “2 o 3 puntos de monitoreo”. El lugar debe ser de fácil accesibilidad en el cual se deberán ubicar como mínimo 02 puntos de monitoreo (recomendables es colocar tres puntos) que en conjunto hacen una “Estación de convergencia”. La separación mínima entre dos estaciones de convergencia será 25 metros.
- Objetivo del instrumento y respuestas esperadas. - El objetivo principal de la instrumentación es la detección temprana de los

posibles movimientos del macizo rocoso (movimientos expresados en deformación continua y de aceleración constante o en avanzada), en las cámaras y alrededores de los accesos principales del Pique Marsa, que son efecto de los movimientos internos. La respuesta es mediante el incremento o decremento en unidades métricas, de la distancia original (D_0), el cual deberá ser controlado, minimizando la velocidad y aceleración de la deformación, mediante la aplicación del sostenimiento.

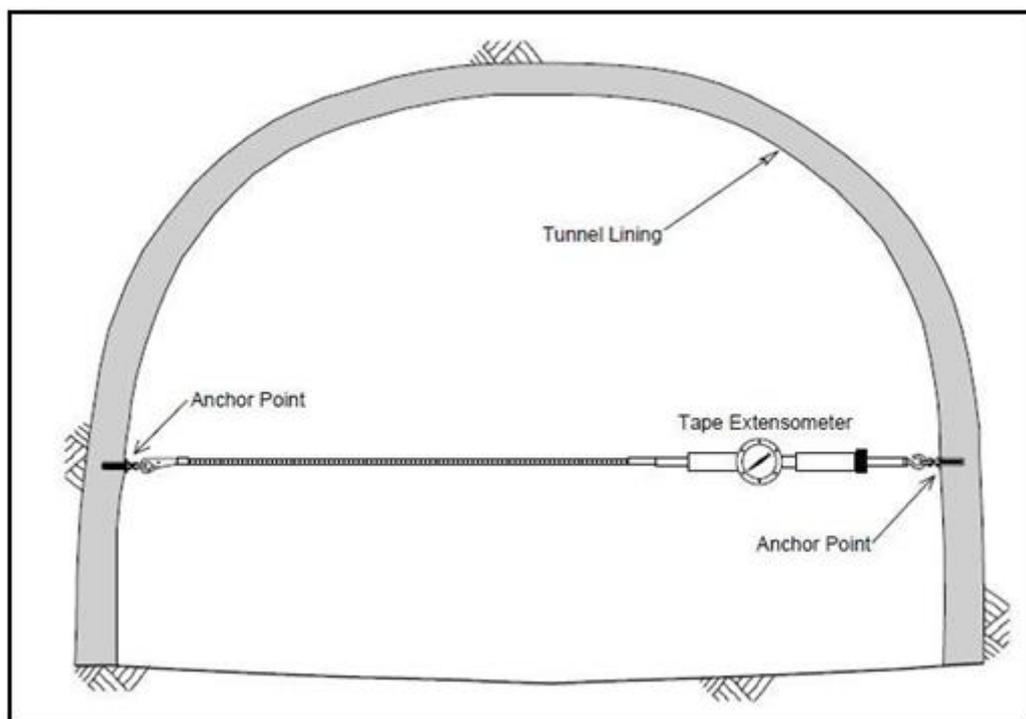


Imagen N° 08: Monitoreo de Convergencia Lineal.

En la imagen N° 05, se muestra una configuración típica de una estación de monitoreo de convergencias por medio de dos puntos (recomendable es usar tres puntos), usando el extensómetro de cinta digital.

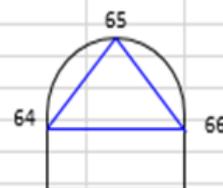
4.5.4.2. Monitoreo topográfico

Los Puntos Topográficos son instrumentación básica que todas las cámaras conexas al Pique Marsa deben tener, muy aparte de los puntos topográficos ya existentes en algunas cámaras, para realizar un monitoreo y registro continuo a fin de evaluar y monitorear puntos de convergencia que puedan generar inestabilidad en las cámaras afectando al Pique Marsa y debilitando los elementos de sostenimiento ya instalados.

El departamento de geomecánica de MARSA, realiza siempre el monitoreo de los Puntos Topográficos instalados en zonas estratégicos de las cámaras, así mismo se registra y evalúa técnicamente los resultados obtenidos del monitoreo, (Ver Cuadro N°06).

El monitoreo y registro de los Puntos Topográficos deber ser deben registrados y evaluados tal como muestra en la cuadro, donde se está monitoreando y registrando los puntos topográficos ya instalados en algunas cámaras:

| CONTROL INSTRUMENTAL DE CONVERGENCIA | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------|---------------------|--------------------|----------------------|-------------|-------------------|-----------------|--------------------------------|
| SECCIÓN: | CHILCASALTO | | | INICIO DE LABOR: | 15/02/2015 | | | |
| NIVEL: | 3075 | | | INICIO DE MONITOREO: | 25/03/2015 | | | |
| LABOR: | XC 10177-NE | | | ULTIMO MONITOREO: | 17/01/2016 | | | |
| ESTACIÓN: | 66 | | | MODELO: | 25890 DGS1 | | | |
| INSTRUMENT: | LEYCA | | | | | | | |
| | 64 - 66 | Unidades | | Factores | | | | |
| Despl. Total: | -19.00 | mm | | dia | 30.4375 | | | |
| Tiempo Total: | 308 | dias | | dia2 | 926.441406 | | | |
| Velocidad Prom: | -4.90 | mm/mes | | | | | | |
| Aceler. Prom: | -2.51 | mm/mes ² | | | | | | |
| DATOS | | | | 64 - 66 | | | | |
| Fecha | Tiempo (dias) | Tiem. Acum. (dias) | Area expuesta (m2) | Lectura (m) | Despl. (mm) | Despl. Acum. (mm) | Veloc. (mm/dia) | Aceler. (mm/dia ²) |
| 15/03/2015 | 0 | 0 | 0 | 9.68400 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.0000 |
| 06-04-15 | 22 | 22 | 0 | 9.69400 | -10.00 | -10.00 | -0.455 | -0.0207 |
| 05-05-15 | 29 | 51 | 0 | 9.69400 | 0.00 | -10.00 | 0.000 | 0.0000 |
| 11-06-15 | 37 | 88 | 0 | 9.69400 | 0.00 | -10.00 | 0.000 | 0.0000 |
| 11-07-15 | 30 | 118 | 0 | 9.69400 | 0.00 | -10.00 | 0.000 | 0.0000 |
| 16-08-15 | 36 | 154 | 0 | 9.69400 | 0.00 | -10.00 | 0.000 | 0.0000 |
| 17-09-15 | 32 | 186 | 0 | 9.69300 | 1.00 | -9.00 | 0.031 | 0.0010 |
| 18-10-15 | 31 | 217 | 0 | 9.69300 | 0.00 | -9.00 | 0.000 | 0.0000 |
| 16-11-15 | 29 | 246 | 0 | 9.69600 | -3.00 | -12.00 | -0.103 | -0.0036 |
| 15-12-15 | 29 | 275 | 0 | 9.69000 | 6.00 | -6.00 | 0.207 | 0.0071 |
| 17-01-16 | 33 | 308 | 0 | 9.70300 | -13.00 | -19.00 | -0.394 | -0.0119 |



Cuadro N° 06: Control Instrumental de Convergencia.

4.5.4.3. Equipo "Pull - Test"

Este equipo se utiliza Para realizar pruebas de arranque de los pernos permitiendo la capacidad de carga de los pernos, dicha capacidad está determinada por la longitud del perno, diámetro de perforación y calidad de roca y tiempo de instalación. En tanto se realiza un programa de control de calidad de los sistemas de sostenimiento aplicables en el Proyecto Pique Marsa.

Para el caso del control de calidad del sostenimiento con concreto lanzado a presión "Shotcrete" debido al requerimiento, se puede ensayar los materiales en laboratorios especializados. Estos

parámetros son también indispensables para el input en las simulaciones geomecánicas.

Zonas de evaluación con la instrumentación "Pull-Test": Es indispensable realizar el control de calidad de la eficacia de los sistemas de sostenimiento, en todos los sectores del Pique Marsa donde se emplean los pernos (sean estos los pernos de fricción, los pernos cementados, los pernos con resina o cable Bolting), por tanto, su uso no se restringe a zonas puntuales, debiéndose hacer el seguimiento durante todo el tiempo operativo del Pique Marsa.

Objetivos de los ensayos y respuestas esperadas: El objeto principal es la seguridad de todo involucrado en el proyecto, el aprovechamiento casi o al 100% de los sistemas de soporte y la estabilidad del Pique Marsa, sus cámaras, chimeneas y accesos principales. Las respuestas esperadas de acuerdo a los resultados de pruebas, serán expresados en costos, por lo que el tema del control por parte de la empresa Minera a las contratadas, como generación de descuentos, se den con la finalidad de mejorar la gestión y el control de calidad.

Adicionalmente a estos se entiende que la empresa minera (MARSA) cuenta con material instrumental para evaluaciones de campo y laboratorio (Martillo de rebote, picota de geólogo, brújula, Vernier digital, Distanciómetros Laser).



Imagen N° 09: Equipo “Pull – Test” Pull.

4.5.5 Implementación de la instrumentación geomecánica complementaria.

4.5.5.1. Fisurómetro lineal

El Fisurómetro Lineal, Instrumento con diseño ideal para medir el movimiento a través de las articulaciones tales como fisuras y grietas de tensión en armados de concretos (Anillo de Concreto – Pique Marsa), así como grietas y juntas en las uniones de roca y hormigón (Shotcrete). Los extremos del sensor están unidos a anclas (con empalmes circulares) que han sido inyectados, atornilladas, soldadas o unidas en lados opuestos de la grieta o fisura a monitorear. Con soportes de montaje lineal que permiten la medición de los desplazamientos ortogonales y abrazaderas especiales para la fijación a una variedad de refuerzos de tierra y geomallas.



Imagen N° 10: Fisurómetro Lineal.

4.5.5.2. La Celda de Carga

Las celdas de carga se usan para medir las fuerzas de transmitidas a los sondajes. Se instalan en los pernos, cables y cimbras; estas miden las cargas transmitidas al macizo rocoso, medidas en el anclaje. La ubicación de la celda se sitúa entre la cabeza del anclaje y el macizo.

Está diseñado principalmente para su uso en puntos de amarre, Pernos Helicoidales y cable de “Bolting” en roca y en particular cuando se requiere seguimiento a largo plazo. En casi todos los casos, las celdas de carga se utilizan junto con placas de carga posicionada en cada lado de la celda de carga. Las celdas de carga de cuerda vibrante proporcionan excelente estabilidad a largo plazo y se pueden utilizar con cables largos sin afectar negativamente el rendimiento. Son resistentes al agua y tienen un bajo coeficiente de temperatura. Cuando se usa para medir cargas de tensión en puntos de amarre o pernos de anclaje, la celda de

carga queda atrapada entre placas de carga situada entre el gato y la estructura, ya sea por debajo de la cabeza de anclaje para instalaciones permanentes o por encima de la cabeza de anclaje para la prueba de calidad.

Ventajas

El cuerpo de la celda de carga - Modelo 4900, está construido en forma de un cilindro de acero de alta resistencia en el que entre 3-6 calibradores vibrantes de tensión de alambre están incrustados para medir el cambio de la tensión en el cilindro, ya que viene bajo carga. Las lecturas de los medidores individuales se promedian y se utilizan en combinación con el factor de calibración para el cálculo de las cargas aplicadas. Múltiples medidores se utilizan para dar cuenta de los efectos de la carga excéntrica.



Imagen N° 11: Celdas de Carga.

4.5.6 Recomendaciones de la ubicación de la instrumentación geomecánica complementaria.

La instrumentación Geomecánica complementaria que se recomienda a la instrumentación ya existente en la MINA MARSA son los siguientes:

4.5.6.1. Fisurómetro Lineal: Ideal para monitorear las grietas y fisuras de las estructuras de concreto, así como de las estructuras de hormigón que se puedan presentar cuando el Pique Marsa entre en operación. El Fisurómetro lineal puede ser ubicado en el Anillo de Concreto Armado, en la base donde están asentadas las estructuras metálicas, en las estaciones de las cámaras, en el Loading Pocket; todo ello a medida que se vayan presentando anomalías en las estructuras mencionadas.

En la evaluación de las condiciones post-sostenimientos se han observado fisuras en las paredes internas del anillo de concreto armado desde el Nv-2950 hasta el Nv-2870, donde se recomienda implementar e instalar Fisurómetro Lineal, (ver Cuadro N° 08).

4.5.6.2.Celdas de Carga: Recomendamos implementar e instalar Celdas de Carga colocadas en Pernos Helicoidales que están ubicados en techo de las cámaras y dirigidos hacia el eje del pique, todo ello a fin de monitorear la tensión entre la masa rocosa y el perno helicoidal, debido a que en algunas estaciones principales del Pique Marsa se ha observado el techo deformado de las cámaras, el cual se debe monitorear constantemente con la instrumentación geomecánica recomendada (Celdas de Carga), (ver Cuadro N° 07).

| INSTRUMENTACIÓN GEOMECÁNICA | | |
|-------------------------------------|--|--|
| TIPO DE INSTRUMENTACIÓN RECOMENDADA | UBICACIÓN | OBSERVACIÓN |
| FISURÓMETRO LINEAL | Nv-2870: Escalera 64 | Fisura con abertura promedio de 2.5 mm. |
| | Nv-2720: Escalera 84 | Fisura con abertura de 3.0 mm. de longitud promedio de 1.50 m. |
| | Nv-2770: Escalera 78 | Fisura con abertura promedio de 0.50 mm. Y de una extensión aproximada de 1.70 m. |
| | Nv-2770: Escalera 84 | Fisura con abertura promedio de 0.50 mm. Y de una extensión aproximada de 2.00 m. |
| | Nv-2770: Escalera 77 | Fisuras con abertura promedio de 0.80 mm. Y extensión aproximada de 1.30 m. y de 0.90 m. |
| | Nv-2770: Escalera 68 | Fisuras con abertura promedio de 1.00 mm. Y extensión aproximada de 1.30 m. y 0.80 m. |
| | Nv-2950: Escalera 45 | Fisura entrecruzada con abertura promedio de 1.00 mm. Y extensión aproximada de 1.70 m. |
| | Nv-2950: Escalera 28 | Fisura semi horizontal con abertura promedio de 1.00 mm. Y extensión aproximadamente de 1.50 m. |
| | Nv-2950: Escalera 27 | Fisura semi horizontal con abertura promedio de 1.00 mm. Y extensión aproximadamente de 1.60 m. |
| CELDAS DE CARGA | Ubicados en la intersección de la cámara principal con el eje del Pique. | Pernos dentro del área de influencia del pique que están dirigidos desde la cámara principal hacia el eje del Pique. |

Cuadro N° 07: Recomendación de ubicación de la Instrumentación Geomecánica

4.6. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

- Se hizo uso de manejo de datos geomecánicos a través del software Rock Data.
- Procesamiento la data mediante el software Auto CAD.
- Modelamiento en 3D mediante el software Studio 5D Planner – Datamine.
- Se utilizó el programa Excel, para manejo estadístico de datos.

4.7. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS

Se agruparon datos geomecánicos estadísticamente y el tratamiento correspondiente del mismo.

Se aplicó la estadística inductiva, debido a que a partir del conocimiento derivado de una muestra se pretende caracterizar la población. Así como la estadística descriptiva por referirse a la recolección, presentación, descripción, análisis e interpretación de una colección de datos de muestras recolectadas en el campo, esencialmente consiste en resumir éstos con uno o dos elementos de información (medidas descriptivas) que caracterizan la totalidad de los mismos. Y la estadística Inferencial debido a que estas inferencias pueden tomar la forma de respuestas a preguntas si/no (prueba de hipótesis), estimaciones de características numéricas (estimación), pronósticos de futuras observaciones, descripciones de asociación (correlación) o modelamiento de relaciones entre variables (análisis de regresión).

En nuestro caso se observó las características del macizo rocoso con el tipo de roca en este caso los intrusivos versus índices RMR y SGI. (Ver imagen N° 12).

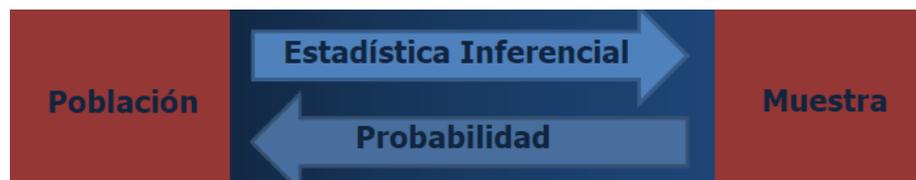


Imagen N° 12: Población vs Muestra

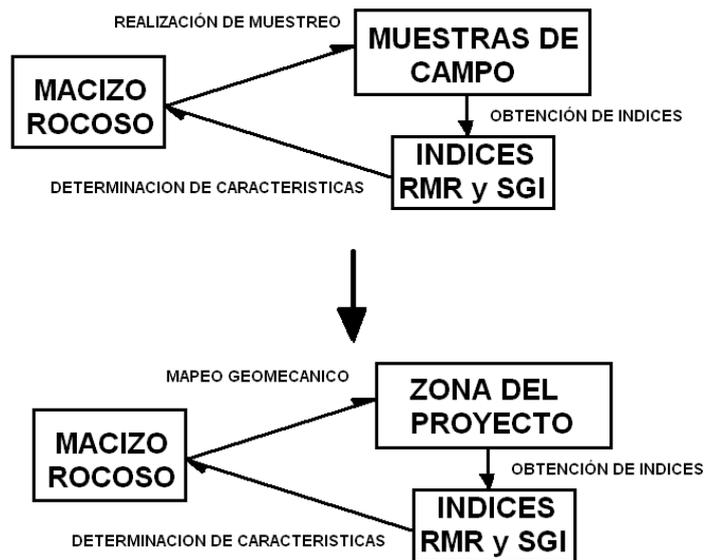


Imagen N° 13: Diagrama de Valoración del Macizo Rocoso.

4.8. NIVELES DE MEDICIÓN

4.8.1. Medición Ordinal.

Se establecen categorías con dos o más niveles que implican un orden inherente entre sí. La escala de medición ordinal es cuantitativa porque permite ordenar a los eventos en función de la mayor o menor posesión de un atributo o característica. Considerándola un valor actitudinal o valor de orden:

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Indiferente
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

Caso **Índice RMR** (Rock Mass Rating) Sistema de Clasificación de Roca:

- Muy Buena,

- Buena,
- Media,
- Mala y
- Muy Mala

Las anteriores alternativas de respuesta pueden codificarse con números que van del uno al cinco que sugieren un orden preestablecido, pero no implican una distancia entre un número y otro. Las escalas de actitudes son ordinales, pero son tratadas como variables continuas (Therese L. Baker, 1997).

4.8.2. Medición de Intervalo

La medición de intervalo posee las características de la medición nominal y ordinal. Establece la distancia entre una medida y otra. La escala de intervalo se aplica a variables continuas, pero carece de un punto cero absolutos. El ejemplo más representativo de este tipo de medición la tabla de determinación del RQD (Índice de Calidad de Roca).

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN DE CUADROS

5.1.1. Caracterización Geomecánica del Macizo Rocoso

5.1.1.1. Aspectos Geológicos

Se caracteriza por la presencia de un complejo Intrusivo Paleozoico (El batolito de Pataz del carbonífero - edad de la intrusión: 329 Ma y enfriamiento: 329 - 328 Ma), El intrusivo está constituido probablemente por más de una facie plutónica;

- Facie de granito – granodiorita, naturaleza félsica.
- Facie de tonalita – diorita, naturaleza mafélsica.

Para determinar las propiedades mecánicas de las rocas en las

diferentes facie, se realizó ensayos de laboratorio de mecánica de rocas para el análisis de esfuerzos en la roca bajo la acción de alguna perturbación impuesta.

Se usaron los resultados obtenidos por el laboratorio de mecánica de rocas UNI” Universidad Nacional de Ingeniera”, con los siguientes ensayos:

5.1.1.1.1. Ensayo de Compresión Simple

El ensayo de compresión simple tiene como objetivo determinar la resistencia máxima a la compresión de la muestra de roca en las diferentes facies, (ver Cuadro N°08).

| Muestra | Diametro (cm.) | Altura (cm.) | Carga (KN.) | Resistencia a la Compresión Simple (Kg/cm2) | Resistencia a la Compresión Simple (Mpa) |
|--------------|----------------|--------------|-------------|---|--|
| Granodiorita | 6.32 | 11.96 | 378.4 | 1226.45 | 120.19 |
| Granito | 6.32 | 11.96 | 280.6 | 901.1 | 88.31 |
| Diorita | 6.32 | 11.96 | 293.3 | 958.78 | 93.96 |
| Tonalita | 6.32 | 11.96 | 120.9 | 390.49 | 38.27 |

Cuadro N° 08: Ensayo de Compresión Simple – Norma ASTM D2938.

5.1.1.1.2. Ensayo de Tracción Indirecta

El ensayo de tracción indirecta tiene como objetivo determinar la resistencia a la tracción de una muestra de roca, dada a través de la aplicación de una carga lineal de compresión diametral en un disco de roca, (ver Cuadro N°09).

| Muestra | Diametro (cm.) | Altura (cm.) | Carga (KN.) | Resistencia a la Tracción (MPa) |
|--------------|----------------|--------------|-------------|---------------------------------|
| Granodiorita | 6.32 | 11.96 | 20.9 | 7.01 |
| Granito | 6.32 | 11.96 | 13.0 | 4.39 |
| Diorita | 6.32 | 11.96 | 20.2 | 6.51 |
| Tonalita | 6.32 | 11.96 | 8.3 | 2.68 |

Cuadro N° 09: Ensayo de Tracción Indirecta – Norma ASTM D3967.

5.1.1.1.3. Ensayo de Compresión Triaxial

Este ensayo tiene como objetivo determinar la resistencia a la compresión de una muestra cilíndrica de roca (testigo), que es sometida a una presión de confinamiento constante mientras se le aplica una carga axial de manera continua y puntual

| Muestra | Diametro (cm.) | Altura (cm.) | Carga (KN.) | Confin. (MPa) | Resistencia (Mpa) | mi | Angulo de Fricción Interno (°) | Cohesión (Mpa) |
|--------------|----------------|--------------|-------------|---------------|-------------------|-------|--------------------------------|----------------|
| Granodiorita | 6.32 | 11.99 | 48146.9 | 2 | 149.9 | 26.23 | 56.03 | 19.68 |
| Granito | 6.34 | 12.15 | 34883.5 | 2 | 107.7 | 15.3 | 48.45 | 17.82 |
| Diorita | 6.33 | 12.09 | 42702.7 | 2 | 132.2 | 19.35 | 52.08 | 19.82 |
| Tonalita | 6.34 | 12.22 | 12266.5 | 0 | 37.9 | 8.06 | 39.14 | 9.07 |

Cuadro N° 10: Ensayo de Compresión Triaxial – Norma ASTM D2664-95.

5.1.1.1.3. Ensayo de Propiedades Elásticas

En ensayo tiene como objetivo definir las curvas de esfuerzo-deformación, el módulo de elasticidad o de Young (E) y la relación de Poisson (ν) a través de un ensayo de compresión simple, en una muestra de roca de geométrica cilíndrica, (ver Cuadro N°11).

| Muestra | Diametro (cm.) | Altura (cm.) | Modulo Young (Gpa) | Poisson |
|--------------|----------------|--------------|--------------------|---------|
| Granodiorita | 6.32 | 11.69 | 11.87 | 0.3 |
| Granito | 6.34 | 12.05 | 8.93 | 0.31 |
| Diorita | 6.32 | 12.23 | 10.25 | 0.3 |
| Tonalita | 3.31 | 11.98 | 4.97 | 0.32 |

Cuadro N° 11: Ensayo de Propiedades Elásticas – Norma ASTM D3148.

La preparación de las muestras para los ensayos de las propiedades de rocas, sus dimensiones y el número de ensayos fueron puntos importantes al tomarse en cuenta al momento de recoger en el campo los bloques de roca que posteriormente fueron remitidos al laboratorio. Cada ensayo tiene sus normas en cuanto a dimensiones, orientación de ensayos, etc., los resultados fueron representativos y válidos para ser

empleados en el diseño, a continuación, se detalla en resumen de litológico de facie.

| Litología | σ_c (MPa) | σ_t (MPa) | γ (MN/m ³) | m_i | Ang. Fric. Interno (°) | Cohecion (Mpa) | Emi (GPa) | Poisson 'v' |
|--------------|------------------|------------------|-------------------------------|-------|------------------------|----------------|-----------|-------------|
| Granodiorita | 120.19 | 7.01 | 0.027 | 26.23 | 56.03 | 19.68 | 11.87 | 0.3 |
| Granito | 88.31 | 4.39 | 0.027 | 15.3 | 48.45 | 17.82 | 8.93 | 0.31 |
| Diorita | 93.96 | 6.51 | 0.027 | 19.35 | 52.08 | 19.82 | 10.25 | 0.3 |
| Tonalita | 38.27 | 2.68 | 0.027 | 8.06 | 39.14 | 9.07 | 4.97 | 0.32 |

Cuadro N° 12: Propiedades mecánicas, físicas y elásticas a nivel de facie.

La representación estadística se realiza en forma de diagramas de barras, estableciendo una correspondencia entre las frecuencias de cada modalidad y el área de los sectores o los rectángulos.

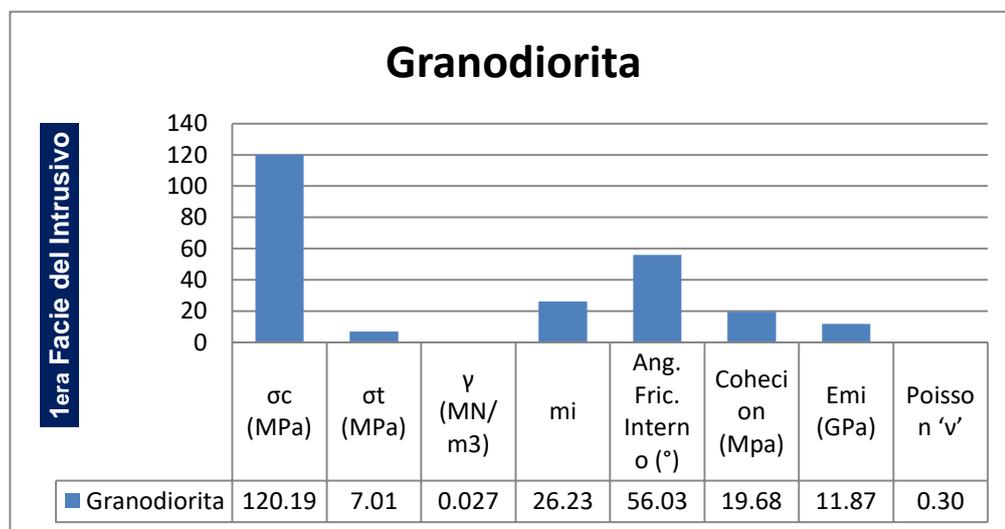


Gráfico N° 01: Propiedades mecánicas, físicas y elásticas – Granodiorita.

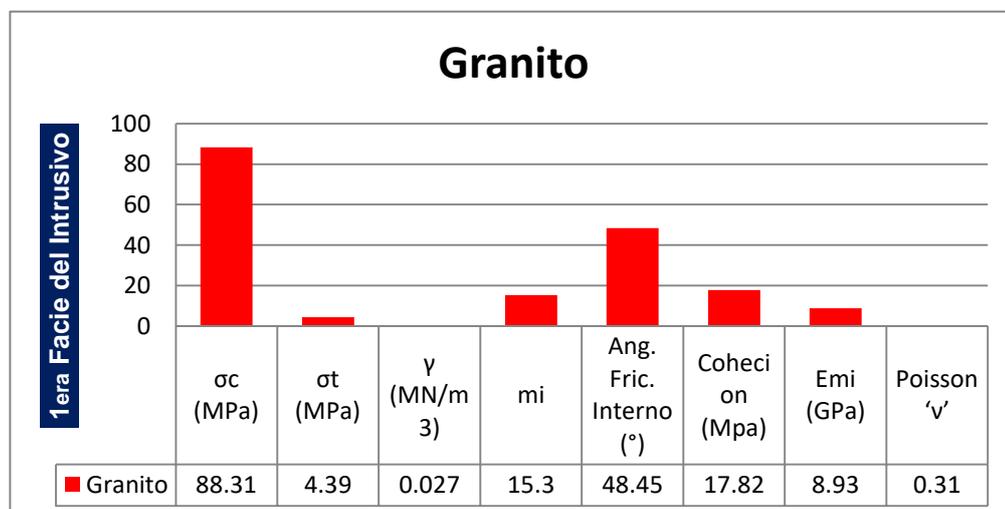


Gráfico N° 02: Propiedades mecánicas, físicas y elásticas – Granito.

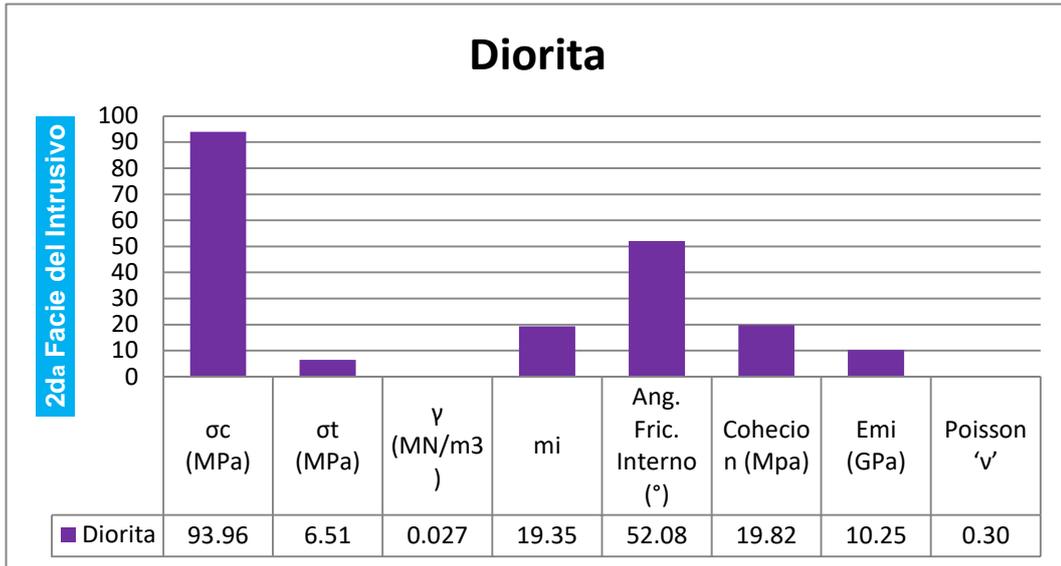


Grafico N° 03: Propiedades mecánicas, físicas y elásticas – Diorita.

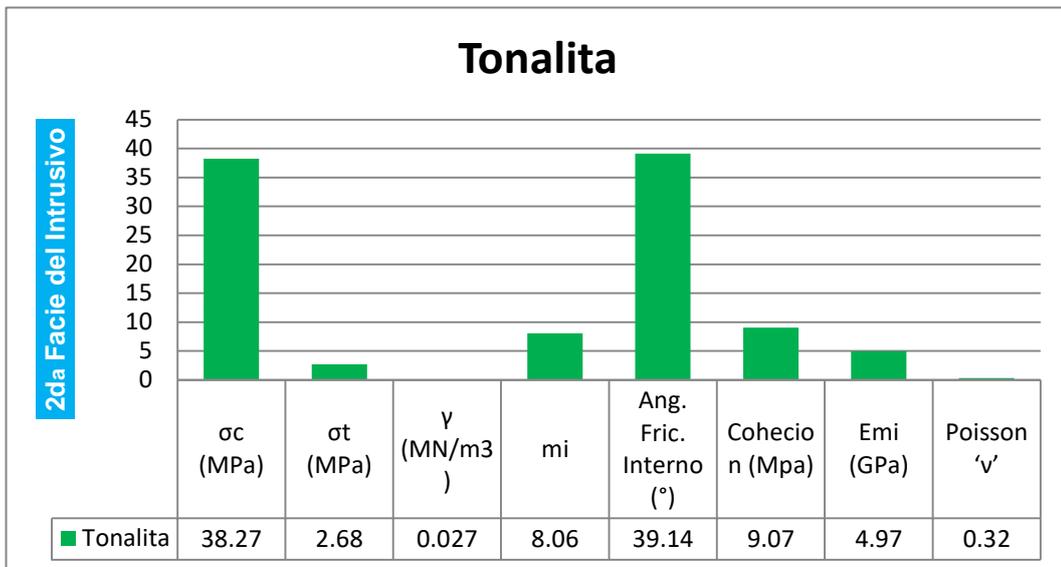


Grafico N° 04: Propiedades mecánicas, físicas y elásticas – Tonalita.

5.1.1.2. Aspectos estructurales

La evaluación de aspectos estructurales (fallas y diaclasas) en el contexto geológico del Pique Marsa y su entorno, se realiza sobre la base de información realizadas en el campo, con énfasis en datos orientacionales, tipo de rellenos, espesor de relleno, espaciamiento entre estructuras y evaluación de la influencia del agua en el deterioro de la resistencia en paredes de discontinuidades.

5.1.1.2.1. Aspectos estructurales - Fallas

La influencia de estas fallas afecta significativamente al deterioro del comportamiento físico- mecánico de las rocas adyacentes a través del incremento de su permeabilidad, disminución de los parámetros de resistencia al esfuerzo de corte, incremento del grado de fracturamiento, dependiendo de la magnitud de las mismas. En la zona de interés, se han identificado tres sistemas de fallamiento predominantes asociados a la tectónica del lugar “Sistema de fallas de Vetas, Sistema EW y Sistema NW-NS”.

Tipificadas como discontinuidades estructurales de mayor orden e importancia desde el punto de vista de estabilidad estructuralmente controlada a nivel de esta tesis, se identificó las principales fallas en eje del pique Marsa, además de las labores conexas al pique, tomando en cuenta que la sola presencia de éstas fallas implica un cambio en las características geomecánicas de la roca antes-después de la misma, su influencia en el deterioro significativo del comportamiento de las masas rocosas debido a que incrementa el grado de fracturamiento y disminuye los parámetros resistentes (cohesión- fricción), en cuadro N°13, se tiene el registro de las estructuras mayores “fallas”, de tal Composito se han procesado estadísticamente empleando la técnica de proyección estereográfica equiangular, utilizando como herramienta el software “DIPS, de Rocscience”

DATOS ESTRUCTURALES- FALLAS LABORES CONEXAS Y EJE DE PIQUE

| Nivel | Código | Labor | Zona | Veta | Tipo de Estructura | Bz | D. Bz | Espaciamiento | Tipo de Relleno | Espesor Relleno mm |
|-------|--------|----------------------------------|-----------------|-------------|--------------------|----|-------|----------------|-----------------|--------------------|
| 3220 | 001660 | CHI 3 PIQUE (XC 10260-W) | LAS CHILCAS | ESPERANZA H | F - FALLA | 51 | 250 | 4 - 60-200 mm | PZ | 2 |
| 3220 | 001660 | CHI 3 PIQUE (XC 10260-W) | LAS CHILCAS | ESPERANZA H | F - FALLA | 84 | 245 | 4 - 60-200 mm | PZ | 2 |
| 3220 | 001661 | CHI 4 PIQUE (XC 10260-W) | LAS CHILCAS | ESPERANZA H | F - FALLA | 78 | 285 | 4 - 60-200 mm | PZ | 2 |
| 3220 | 015875 | CAM 10178 (XC 10177-SE(CAM5)) | LAS CHILCAS | ESPERANZA H | F - FALLA | 66 | 168 | 4 - 60-200 mm | AR | 2 |
| 3220 | 015874 | CAM 10172 (XC 10171-E(XC-SE)) | LAS CHILCAS | ESPERANZA H | F - FALLA | 59 | 198 | 4 - 60-200 mm | AR | 5 |
| 3175 | 017007 | XC 10194-N (XC 10250-S (XC-W)) | CHILCAS BAJO | ESPERANZA H | F - FALLA | 45 | 257 | 4 - 60-200 mm | AR | 1 |
| 3175 | 017007 | XC 10194-N (XC 10250-S (XC-W)) | CHILCAS BAJO | ESPERANZA H | F - FALLA | 30 | 230 | 4 - 60-200 mm | SI | 0.5 |
| 2950 | 023064 | CH RB1-PQ PRIN (EST 10194-N(RP)) | CHILCAS BAJO | VALERIA H | F - FALLA | 57 | 157 | 4 - 60-200 mm | SI | 0.5 |
| 2950 | 023064 | CH RB1-PQ PRIN (EST 10194-N(RP)) | CHILCAS BAJO | VALERIA H | F - FALLA | 84 | 135 | 4 - 60-200 mm | SI | 0.5 |
| 2950 | 023064 | CH RB1-PQ PRIN (EST 10194-N(RP)) | CHILCAS BAJO | VALERIA H | F - FALLA | 78 | 198 | 4 - 60-200 mm | PZ | 0.5 |
| 2950 | 023064 | CH RB1-PQ PRIN (EST 10194-N(RP)) | CHILCAS BAJO | VALERIA H | F - FALLA | 66 | 225 | 4 - 60-200 mm | PZ | 0.5 |
| 2870 | 018861 | XC 10194-N (XC 10271-S (EST)) | INTEGRACION - I | DANIELA | F - FALLA | 84 | 40 | 4 - 60-200 mm | PZ | 1 |
| 2870 | 018861 | XC 10194-N (XC 10271-S (EST)) | INTEGRACION - I | DANIELA | F - FALLA | 34 | 234 | 4 - 60-200 mm | PZ | 1 |
| 2870 | 018861 | XC 10194-N (XC 10271-S (EST)) | INTEGRACION - I | DANIELA | F - FALLA | 24 | 236 | 4 - 60-200 mm | PZ | 2 |
| 2870 | 018861 | XC 10194-N (XC 10271-S (EST)) | INTEGRACION - I | DANIELA | F - FALLA | 30 | 178 | 4 - 60-200 mm | PZ | 1 |
| 2870 | 018861 | XC 10194-N (XC 10271-S (EST)) | INTEGRACION - I | DANIELA | F - FALLA | 23 | 250 | 4 - 60-200 mm | AR | 0.5 |
| 2770 | 013296 | GAL 10308-S (XC 10313-NE-P2) | INTEGRACION - I | DANIELA | F - FALLA | 84 | 121 | 3 - 200-600 mm | AR | 0.5 |
| 2770 | 013296 | GAL 10308-S (XC 10313-NE-P2) | INTEGRACION - I | DANIELA | F - FALLA | 78 | 285 | 4 - 60-200 mm | AR | 0.5 |
| 2770 | 013296 | GAL 10308-S (XC 10313-NE-P2) | INTEGRACION - I | DANIELA | F - FALLA | 66 | 93 | 4 - 60-200 mm | SI | 0.4 |
| 2770 | 013296 | GAL 10308-S (XC 10313-NE-P2) | INTEGRACION - I | DANIELA | F - FALLA | 67 | 135 | 4 - 60-200 mm | SI | 0.4 |
| 2720 | 010214 | XC 10320-SE (RP 10313-NE-P2) | VALERIA - II | VALERIA H | F - FALLA | 46 | 156 | 4 - 60-200 mm | PZ | 2 |
| 2720 | 010214 | XC 10320-SE (RP 10313-NE-P2) | VALERIA - II | VALERIA H | F - FALLA | 24 | 225 | 4 - 60-200 mm | PZ | 1 |
| 2720 | 010214 | XC 10320-SE (RP 10313-NE-P2) | VALERIA - II | VALERIA H | F - FALLA | 23 | 111 | 4 - 60-200 mm | PZ | 2 |
| 2670 | 013496 | XC 10194-N (BP 10209-SW) | VALERIA - II | DANIELA | F - FALLA | 23 | 234 | 4 - 60-200 mm | AR | 2 |
| 2670 | 013496 | XC 10194-N (BP 10209-SW) | VALERIA - II | DANIELA | F - FALLA | 73 | 236 | 4 - 60-200 mm | AR | 2 |
| 2670 | 013496 | XC 10194-N (BP 10209-SW) | VALERIA - II | DANIELA | F - FALLA | 35 | 104 | 4 - 60-200 mm | AR | 1 |
| 2620 | 013495 | XC 10194-N (BP 10109-E(XC-SE)) | VALERIA - III | VALERIA H | F - FALLA | 78 | 250 | 4 - 60-200 mm | CB | 2 |
| 2620 | 013495 | XC 10194-N (BP 10109-E(XC-SE)) | VALERIA - III | VALERIA H | F - FALLA | 23 | 121 | 4 - 60-200 mm | AR | 5 |
| 2570 | 017188 | XC 10194-N (XC 10171-N(RPPAT)) | VALERIA - III | VALERIA H | F - FALLA | 67 | 168 | 4 - 60-200 mm | AR | 0.5 |

| | | | | | | | | | | |
|------|--------|-------------------------------|---------------|-----------|-----------|----|-----|----------------|----|-----|
| 2570 | 017188 | XC 10194-N (XC 10171-N(RPPAT) | VALERIA - III | VALERIA H | F - FALLA | 35 | 98 | 4 - 60-200 mm | SI | 0.5 |
| 2520 | 018862 | XC 10356-E (RP PATRICK3(RP-W) | VALERIA - III | VALERIA H | F - FALLA | 84 | 284 | 4 - 60-200 mm | AR | 1 |
| 2520 | 018862 | XC 10356-E (RP PATRICK3(RP-W) | VALERIA - III | VALERIA H | F - FALLA | 64 | 50 | 3 - 200-600 mm | PZ | 1 |

Cuadro N° 13: Datos estructurales de fallas en las labores conexas al pique principal MARSA.

| ABREVIACIÓN DEL TIPO DE RELLENO | |
|---------------------------------|-----------|
| Arc | Arcilla |
| Cb | Carbonato |
| Pz | Panizo |

| ABREVIACIÓN DEL TIPO DE ESTRUCTURAL | |
|-------------------------------------|-------|
| Fa | Falla |

Por la presencia de marcados rasgos estructurales “fallas, pseudo - estratificaciones, estructuras menores” el cual se contrasta en interior mina con la amplia exposición de “fallas” se deduce que la zona de interés (Pique Marsa) ha estado expuesta a una intensa actividad tectónica que influirá adversamente en el comportamiento de las excavaciones (Pique, cámaras, chimeneas y accesos principales) y estructuras acentuadas en el Pique Marsa asociado al control estructural y presencia de esfuerzos tectónicos residuales.

El propósito de la recolección de información de los rasgos lito- estructurales, es la verificación mediante el cálculo correcto de planos de orientación por medio de Dips/ Dips Direction, La verificación proporcionada en los datos, nos permite realizar los cálculos para la determinación de la orientación del Composito de fallas en el eje del proyecto pique principal MARSA.

Cálculo del grupo de orientaciones se realiza utilizando los siguientes

pasos:

1.- Convertir las orientaciones de DIP/ DIP DIRECTION, en formato de vector unitario.

$$X_i = \sin (DIP) \text{ Sen } (DIP \text{ DIRECTION})$$

$$Y_i = \sin (DIP) \text{ Cos } (DIP \text{ DIRECTION})$$

$$z_i = \text{Cos } (DIP \text{ DIRECTION})$$

2.- Determinar la media de cada uno de los vectores unitarios.

$$X = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

Donde N es el número de vectores (para el caso de estructuras mayores “falla” se considera un total de N=32, ver Cuadro N° 13.

3.- Se procede a normalizar el vector para que tenga una magnitud de 1 y se convierta en un vector unitario, (ver Imagen N°14).

$$X_i = \frac{X_i}{\sqrt{(X)^2 + (Y)^2 + (Z)^2}} \quad Y_i = \frac{Y_i}{\sqrt{(X)^2 + (Y)^2 + (Z)^2}} \quad Z_i = \frac{Z_i}{\sqrt{(X)^2 + (Y)^2 + (Z)^2}}$$

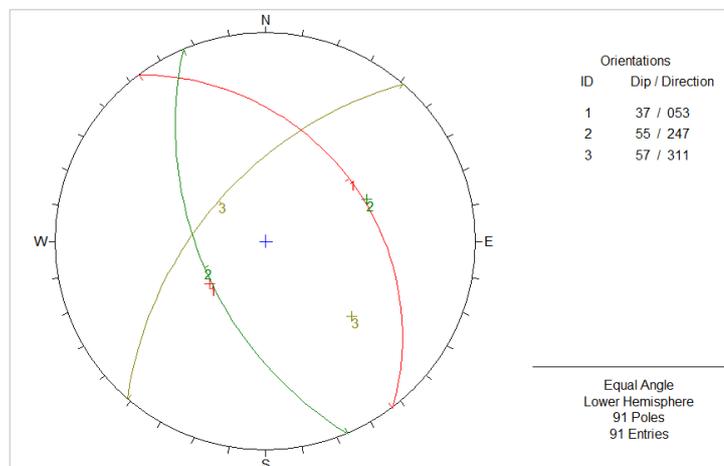


Imagen N° 14: Proyección Estereográfica- Fallas.

4.- Convertir el vector promedio normalizado (X_i, Y_i, z_i) dentro *DIP/DIP*

DIRECTION, utilizando la relación:

$$DIP = \text{Cos}^{-1}(z_i)$$

$$DIP \text{ DIRECTION} = \text{Cos}^{-1}\left(\frac{Y_i}{\text{Sin}(DIP)}\right)$$

Para establecer las características de distribución espacial de discontinuidades estructurales (fallas) que involucran las masas rocosas en el área de interés se ha considerado como referencia la información estructural (fallas) contenida en los planos "litológico- estructurales", (ver Cuadro N° 12) registrando el tipo de discontinuidades "estructurales y su orientación". Estos datos orientacionales se han procesado estadísticamente empleando la técnica de proyección estereográfica equiangular, utilizando como herramienta el software "DIPS, de Rocscience". Los resultados del análisis estereográfico de fallas en el Pique Marsa se muestran en siguiente cuadro (ver Cuadro N° 14).

Nota: * El sistema de discontinuidad estructural se describe a través de la notación:
"Buzamiento / D. Buzamiento".

| FALLAS | F1 | F2 | F3 |
|--------|--------|--------|--------|
| | 37/053 | 55/247 | 57/311 |

Cuadro N° 14: Buzamiento/D. Buzamiento de las Fallas.

Resultados mostrados en el Cuadro N° 14, para propósitos del análisis estereográfico se han agrupado a nivel del Pique Marsa considerando que las unidades lito-estratigráficas son similares donde se aprecia que las variaciones a nivel de datos globales son mínimas respecto al análisis por cada nivel. Respecto al análisis estereográfico de fallas se ha realizado el agrupamiento de datos en función al compuesto debido a que estas fallas son continuas y persistentes.

Los resultados del análisis estereográfico de discontinuidades

estructurales (cuadro N°14) indican que existen dos sistemas de fallas principales (F1, F2) y un secundario (F3).

5.1.1.2.2. Aspectos estructurales - Diaclasas

Tipificadas como discontinuidades estructurales menores constituyen una de las componentes importantes desde el punto de vista de la estabilidad estructuralmente controlada en macizos rocosos fracturados como es el caso de interés y representa un factor determinante de la calidad de rocas pues está asociada a dos criterios “el tamaño de bloques” (que define el grado de fracturamiento) y la resistencia al esfuerzo de corte en las paredes de discontinuidades (parámetros de cohesión-fricción). Las características geomecánicas de estas discontinuidades estructurales en los distintos dominios evaluados presentan espaciamientos muy variables entre los “20-60 centímetros, 6-20 centímetros, menor a 6 centímetros y zonas completamente descompuestas donde ya no se aprecian parámetros estructurales”; la persistencia es muy variable entre “>20 metros, 10-20 metros, 3-10 metros, 1- 3 metros y <1 metro”; el grado de apertura en las paredes expuestas de estas diaclasas varía desde “muy abiertas, abiertas, angostas a muy angostas en cuanto al relleno en las discontinuidades, por lo general se aprecian con rellenos del tipo “carbonatos, óxidos y sulfuros” a modo de vetilleos, en cuadro N°15, se tiene el registro de las estructuras menores “diaclasas”, de tal Composito se han procesado estadísticamente empleando la técnica de proyección estereográfica equiangular, con el software “DIPS, de Rocscience”

DATOS ESTRUCTURALES- DIACLASAS LABORES CONEXAS Y EJE DE PIQUE

| Nivel | Código | Labor | Zona | Veta | Tipo de Estructura | Bz | D. Bz | Espaciamiento | Tipo de Relleno | Espesor Relleno mm |
|-------|--------|----------------------------------|-----------------|-------------|--------------------|----|-------|----------------|-----------------|--------------------|
| 3220 | 001660 | CHI 3 PIQUE (XC 10260-W) | LAS CHILCAS | ESPERANZA H | DI - DIACLASA | 51 | 250 | 4 - 60-200 mm | CB | 2 |
| 3220 | 001661 | CHI 4 PIQUE (XC 10260-W) | LAS CHILCAS | ESPERANZA H | DI - DIACLASA | 66 | 263 | 3 - 200-600 mm | CB | 1 |
| 3220 | 015875 | CAM 10178 (XC 10177-SE(CAM5)) | LAS CHILCAS | ESPERANZA H | DI - DIACLASA | 59 | 265 | 4 - 60-200 mm | AR | 2 |
| 3220 | 015874 | CAM 10172 (XC 10171-E(XC-SE)) | LAS CHILCAS | ESPERANZA H | DI - DIACLASA | 45 | 290 | 4 - 60-200 mm | AR | 1 |
| 3220 | 001660 | CHI 3 PIQUE (XC 10260-W) | LAS CHILCAS | ESPERANZA H | DI - DIACLASA | 35 | 255 | 4 - 60-200 mm | AR | 2 |
| 3220 | 001661 | CHI 4 PIQUE (XC 10260-W) | LAS CHILCAS | ESPERANZA H | DI - DIACLASA | 30 | 30 | 4 - 60-200 mm | AR | 1 |
| 3220 | 015875 | CAM 10178 (XC 10177-SE(CAM5)) | LAS CHILCAS | ESPERANZA H | DI - DIACLASA | 30 | 245 | 4 - 60-200 mm | AR | 2 |
| 3220 | 015874 | CAM 10172 (XC 10171-E(XC-SE)) | LAS CHILCAS | ESPERANZA H | DI - DIACLASA | 75 | 185 | 4 - 60-200 mm | AR | 2 |
| 3220 | 001660 | CHI 3 PIQUE (XC 10260-W) | LAS CHILCAS | ESPERANZA H | DI - DIACLASA | 84 | 245 | 4 - 60-200 mm | AR | 2 |
| 3220 | 001661 | CHI 4 PIQUE (XC 10260-W) | LAS CHILCAS | ESPERANZA H | DI - DIACLASA | 78 | 285 | 4 - 60-200 mm | AR | 2 |
| 3220 | 015875 | CAM 10178 (XC 10177-SE(CAM5)) | LAS CHILCAS | ESPERANZA H | DI - DIACLASA | 66 | 200 | 4 - 60-200 mm | AR | 2 |
| 3220 | 015874 | CAM 10172 (XC 10171-E(XC-SE)) | LAS CHILCAS | ESPERANZA H | DI - DIACLASA | 59 | 182 | 4 - 60-200 mm | AR | 5 |
| 3175 | 017007 | XC 10194-N (XC 10250-S (XC-W)) | CHILCAS BAJO | ESPERANZA H | DI - DIACLASA | 45 | 172 | 4 - 60-200 mm | AR | 1 |
| 3175 | 017007 | XC 10194-N (XC 10250-S (XC-W)) | CHILCAS BAJO | ESPERANZA H | DI - DIACLASA | 35 | 166 | 4 - 60-200 mm | AR | 5 |
| 3175 | 017007 | XC 10194-N (XC 10250-S (XC-W)) | CHILCAS BAJO | ESPERANZA H | DI - DIACLASA | 30 | 198 | 4 - 60-200 mm | SI | 0.5 |
| 3025 | 014839 | XC 10165-NE (EST CC5B-P1) | CHILCAS BAJO | CABANA 2-H | DI - DIACLASA | 30 | 249 | 4 - 60-200 mm | SI | 0.5 |
| 3025 | 014839 | XC 10165-NE (EST CC5B-P1) | CHILCAS BAJO | CABANA 2-H | DI - DIACLASA | 75 | 296 | 4 - 60-200 mm | SI | 0.5 |
| 3025 | 014839 | XC 10165-NE (EST CC5B-P1) | CHILCAS BAJO | CABANA 2-H | DI - DIACLASA | 46 | 288 | 4 - 60-200 mm | SI | 0.5 |
| 2950 | 023064 | CH RB1-PQ PRIN (EST 10194-N(RP)) | CHILCAS BAJO | VALERIA H | DI - DIACLASA | 20 | 120 | 4 - 60-200 mm | SI | 0.5 |
| 2950 | 023064 | CH RB1-PQ PRIN (EST 10194-N(RP)) | CHILCAS BAJO | VALERIA H | DI - DIACLASA | 32 | 168 | 4 - 60-200 mm | SI | 0.5 |
| 2950 | 023064 | CH RB1-PQ PRIN (EST 10194-N(RP)) | CHILCAS BAJO | VALERIA H | DI - DIACLASA | 57 | 198 | 4 - 60-200 mm | PZ | 0.5 |
| 2950 | 023064 | CH RB1-PQ PRIN (EST 10194-N(RP)) | CHILCAS BAJO | VALERIA H | DI - DIACLASA | 68 | 257 | 4 - 60-200 mm | PZ | 0.5 |
| 2950 | 023064 | CH RB1-PQ PRIN (EST 10194-N(RP)) | CHILCAS BAJO | VALERIA H | DI - DIACLASA | 68 | 215 | 4 - 60-200 mm | PZ | 0.4 |
| 2950 | 023064 | CH RB1-PQ PRIN (EST 10194-N(RP)) | CHILCAS BAJO | VALERIA H | DI - DIACLASA | 23 | 257 | 4 - 60-200 mm | PZ | 0.4 |
| 2950 | 023064 | CH RB1-PQ PRIN (EST 10194-N(RP)) | CHILCAS BAJO | VALERIA H | DI - DIACLASA | 22 | 168 | 4 - 60-200 mm | PZ | 0.4 |
| 2950 | 023064 | CH RB1-PQ PRIN (EST 10194-N(RP)) | CHILCAS BAJO | VALERIA H | DI - DIACLASA | 22 | 65 | 4 - 60-200 mm | PZ | 0.4 |
| 2870 | 018861 | XC 10194-N (XC 10271-S (EST)) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 22 | 102 | 4 - 60-200 mm | PZ | 1 |
| 2870 | 018861 | XC 10194-N (XC 10271-S (EST)) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 46 | 131 | 4 - 60-200 mm | PZ | 1 |
| 2870 | 018861 | XC 10194-N (XC 10271-S (EST)) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 23 | 165 | 4 - 60-200 mm | PZ | 2 |
| 2870 | 018861 | XC 10194-N (XC 10271-S (EST)) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 36 | 150 | 4 - 60-200 mm | PZ | 1 |

| | | | | | | | | | | |
|------|--------|-------------------------------|-----------------|-----------|---------------|----|-----|----------------|----|-----|
| 2870 | 018861 | XC 10194-N (XC 10271-S (EST)) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 78 | 165 | 4 - 60-200 mm | AR | 2 |
| 2870 | 018861 | XC 10194-N (XC 10271-S (EST)) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 56 | 80 | 4 - 60-200 mm | AR | 1 |
| 2870 | 018861 | XC 10194-N (XC 10271-S (EST)) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 76 | 85 | 3 - 200-600 mm | AR | 2 |
| 2870 | 018861 | XC 10194-N (XC 10271-S (EST)) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 23 | 80 | 3 - 200-600 mm | AR | 2 |
| 2870 | 018861 | XC 10194-N (XC 10271-S (EST)) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 43 | 20 | 4 - 60-200 mm | AR | 2 |
| 2870 | 018861 | XC 10194-N (XC 10271-S (EST)) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 45 | 115 | 3 - 200-600 mm | AR | 2 |
| 2870 | 018861 | XC 10194-N (XC 10271-S (EST)) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 64 | 195 | 4 - 60-200 mm | CB | 2 |
| 2870 | 018861 | XC 10194-N (XC 10271-S (EST)) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 35 | 85 | 3 - 200-600 mm | CB | 5 |
| 2870 | 018861 | XC 10194-N (XC 10271-S (EST)) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 57 | 158 | 3 - 200-600 mm | CB | 1 |
| 2870 | 018861 | XC 10194-N (XC 10271-S (EST)) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 68 | 88 | 3 - 200-600 mm | CB | 5 |
| 2870 | 018861 | XC 10194-N (XC 10271-S (EST)) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 35 | 158 | 3 - 200-600 mm | CB | 0.5 |
| 2770 | 013296 | GAL 10308-S (XC 10313-NE-P2) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 24 | 230 | 3 - 200-600 mm | CB | 0.5 |
| 2770 | 013296 | GAL 10308-S (XC 10313-NE-P2) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 68 | 167 | 3 - 200-600 mm | PZ | 0.5 |
| 2770 | 013296 | GAL 10308-S (XC 10313-NE-P2) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 50 | 169 | 3 - 200-600 mm | PZ | 0.5 |
| 2770 | 013296 | GAL 10308-S (XC 10313-NE-P2) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 40 | 86 | 4 - 60-200 mm | PZ | 0.5 |
| 2770 | 013296 | GAL 10308-S (XC 10313-NE-P2) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 10 | 165 | 3 - 200-600 mm | PZ | 0.5 |
| 2770 | 013296 | GAL 10308-S (XC 10313-NE-P2) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 45 | 268 | 3 - 200-600 mm | AR | 0.5 |
| 2770 | 013296 | GAL 10308-S (XC 10313-NE-P2) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 25 | 157 | 3 - 200-600 mm | AR | 0.5 |
| 2770 | 013296 | GAL 10308-S (XC 10313-NE-P2) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 31 | 34 | 4 - 60-200 mm | AR | 0.4 |
| 2770 | 013296 | GAL 10308-S (XC 10313-NE-P2) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 68 | 198 | 4 - 60-200 mm | AR | 0.4 |
| 2770 | 013296 | GAL 10308-S (XC 10313-NE-P2) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 35 | 308 | 3 - 200-600 mm | AR | 0.4 |
| 2770 | 013296 | GAL 10308-S (XC 10313-NE-P2) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 34 | 346 | 4 - 60-200 mm | AR | 0.4 |
| 2770 | 013296 | GAL 10308-S (XC 10313-NE-P2) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 70 | 280 | 4 - 60-200 mm | AR | 1 |
| 2770 | 013296 | GAL 10308-S (XC 10313-NE-P2) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 82 | 260 | 4 - 60-200 mm | AR | 1 |
| 2770 | 013296 | GAL 10308-S (XC 10313-NE-P2) | INTEGRACION - I | DANIELA | DI - DIACLASA | 89 | 260 | 4 - 60-200 mm | AR | 2 |
| 2720 | 010214 | XC 10320-SE (RP 10313-NE-P2) | VALERIA - II | VALERIA H | DI - DIACLASA | 62 | 78 | 4 - 60-200 mm | AR | 3 |
| 2720 | 010214 | XC 10320-SE (RP 10313-NE-P2) | VALERIA - II | VALERIA H | DI - DIACLASA | 70 | 57 | 4 - 60-200 mm | AR | 4 |
| 2720 | 010214 | XC 10320-SE (RP 10313-NE-P2) | VALERIA - II | VALERIA H | DI - DIACLASA | 25 | 295 | 4 - 60-200 mm | AR | 1 |
| 2720 | 010214 | XC 10320-SE (RP 10313-NE-P2) | VALERIA - II | VALERIA H | DI - DIACLASA | 69 | 225 | 4 - 60-200 mm | SI | 2 |
| 2720 | 010214 | XC 10320-SE (RP 10313-NE-P2) | VALERIA - II | VALERIA H | DI - DIACLASA | 42 | 240 | 4 - 60-200 mm | SI | 1 |
| 2720 | 010214 | XC 10320-SE (RP 10313-NE-P2) | VALERIA - II | VALERIA H | DI - DIACLASA | 35 | 89 | 4 - 60-200 mm | SI | 2 |
| 2720 | 010214 | XC 10320-SE (RP 10313-NE-P2) | VALERIA - II | VALERIA H | DI - DIACLASA | 24 | 93 | 4 - 60-200 mm | AR | 2 |
| 2670 | 013496 | XC 10194-N (BP 10209-SW) | VALERIA - II | DANIELA | DI - DIACLASA | 31 | 140 | 4 - 60-200 mm | AR | 2 |
| 2670 | 013496 | XC 10194-N (BP 10209-SW) | VALERIA - II | DANIELA | DI - DIACLASA | 50 | 50 | 4 - 60-200 mm | AR | 2 |
| 2670 | 013496 | XC 10194-N (BP 10209-SW) | VALERIA - II | DANIELA | DI - DIACLASA | 89 | 98 | 4 - 60-200 mm | AR | 1 |

| | | | | | | | | | | |
|------|--------|--------------------------------|---------------|-----------|---------------|----|-----|----------------|----|-----|
| 2670 | 013496 | XC 10194-N (BP 10209-SW) | VALERIA - II | DANIELA | DI - DIACLASA | 62 | 50 | 4 - 60-200 mm | AR | 2 |
| 2670 | 013496 | XC 10194-N (BP 10209-SW) | VALERIA - II | DANIELA | DI - DIACLASA | 79 | 68 | 3 - 200-600 mm | AR | 1 |
| 2670 | 013496 | XC 10194-N (BP 10209-SW) | VALERIA - II | DANIELA | DI - DIACLASA | 25 | 57 | 3 - 200-600 mm | CB | 2 |
| 2670 | 013496 | XC 10194-N (BP 10209-SW) | VALERIA - II | DANIELA | DI - DIACLASA | 28 | 156 | 4 - 60-200 mm | CB | 1 |
| 2620 | 013495 | XC 10194-N (BP 10109-E(XC-SE)) | VALERIA - III | VALERIA H | DI - DIACLASA | 20 | 76 | 3 - 200-600 mm | CB | 2 |
| 2620 | 013495 | XC 10194-N (BP 10109-E(XC-SE)) | VALERIA - III | VALERIA H | DI - DIACLASA | 56 | 25 | 4 - 60-200 mm | AR | 5 |
| 2620 | 013495 | XC 10194-N (BP 10109-E(XC-SE)) | VALERIA - III | VALERIA H | DI - DIACLASA | 76 | 221 | 3 - 200-600 mm | AR | 1 |
| 2620 | 013495 | XC 10194-N (BP 10109-E(XC-SE)) | VALERIA - III | VALERIA H | DI - DIACLASA | 49 | 156 | 3 - 200-600 mm | AR | 5 |
| 2620 | 013495 | XC 10194-N (BP 10109-E(XC-SE)) | VALERIA - III | VALERIA H | DI - DIACLASA | 52 | 62 | 4 - 60-200 mm | AR | 0.5 |
| 2620 | 013495 | XC 10194-N (BP 10109-E(XC-SE)) | VALERIA - III | VALERIA H | DI - DIACLASA | 65 | 109 | 4 - 60-200 mm | AR | 0.5 |
| 2620 | 013495 | XC 10194-N (BP 10109-E(XC-SE)) | VALERIA - III | VALERIA H | DI - DIACLASA | 84 | 120 | 4 - 60-200 mm | AR | 0.5 |
| 2620 | 013495 | XC 10194-N (BP 10109-E(XC-SE)) | VALERIA - III | VALERIA H | DI - DIACLASA | 64 | 275 | 4 - 60-200 mm | AR | 0.5 |
| 2570 | 017188 | XC 10194-N (XC 10171-N(RPPAT)) | VALERIA - III | VALERIA H | DI - DIACLASA | 60 | 169 | 3 - 200-600 mm | AR | 0.5 |
| 2570 | 017188 | XC 10194-N (XC 10171-N(RPPAT)) | VALERIA - III | VALERIA H | DI - DIACLASA | 79 | 295 | 3 - 200-600 mm | SI | 0.5 |
| 2570 | 017188 | XC 10194-N (XC 10171-N(RPPAT)) | VALERIA - III | VALERIA H | DI - DIACLASA | 72 | 225 | 4 - 60-200 mm | SI | 0.5 |
| 2570 | 017188 | XC 10194-N (XC 10171-N(RPPAT)) | VALERIA - III | VALERIA H | DI - DIACLASA | 72 | 240 | 3 - 200-600 mm | SI | 0.5 |
| 2570 | 017188 | XC 10194-N (XC 10171-N(RPPAT)) | VALERIA - III | VALERIA H | DI - DIACLASA | 76 | 286 | 4 - 60-200 mm | AR | 0.4 |
| 2570 | 017188 | XC 10194-N (XC 10171-N(RPPAT)) | VALERIA - III | VALERIA H | DI - DIACLASA | 80 | 159 | 3 - 200-600 mm | AR | 0.4 |
| 2570 | 017188 | XC 10194-N (XC 10171-N(RPPAT)) | VALERIA - III | VALERIA H | DI - DIACLASA | 52 | 140 | 3 - 200-600 mm | AR | 0.4 |
| 2570 | 017188 | XC 10194-N (XC 10171-N(RPPAT)) | VALERIA - III | VALERIA H | DI - DIACLASA | 65 | 50 | 3 - 200-600 mm | AR | 0.4 |
| 2520 | 018862 | XC 10356-E (RP PATRICK3(RP-W)) | VALERIA - III | VALERIA H | DI - DIACLASA | 84 | 284 | 3 - 200-600 mm | AR | 1 |
| 2520 | 018862 | XC 10356-E (RP PATRICK3(RP-W)) | VALERIA - III | VALERIA H | DI - DIACLASA | 64 | 50 | 3 - 200-600 mm | PZ | 1 |
| 2520 | 018862 | XC 10356-E (RP PATRICK3(RP-W)) | VALERIA - III | VALERIA H | DI - DIACLASA | 60 | 40 | 3 - 200-600 mm | PZ | 0.5 |
| 2520 | 018862 | XC 10356-E (RP PATRICK3(RP-W)) | VALERIA - III | VALERIA H | DI - DIACLASA | 35 | 210 | 3 - 200-600 mm | PZ | 0.5 |
| 2520 | 018862 | XC 10356-E (RP PATRICK3(RP-W)) | VALERIA - III | VALERIA H | DI - DIACLASA | 72 | 168 | 4 - 60-200 mm | SI | 0.4 |
| 2520 | 018862 | XC 10356-E (RP PATRICK3(RP-W)) | VALERIA - III | VALERIA H | DI - DIACLASA | 78 | 260 | 3 - 200-600 mm | PZ | 0.4 |

Cuadro N° 15: Datos estructurales de fallas en las labores conexas al pique principal MARSÁ.

| ABREVIACIÓN DEL TIPO DE RELLENO | |
|---------------------------------|-----------|
| Arc | Arcilla |
| Cb | Carbonato |
| Pz | Panizo |

| ABREVIACIÓN DEL TIPO DE ESTRUCTURAL | |
|-------------------------------------|-------|
| Fa | Falla |

1.- Convertir las orientaciones de DIP/ DIP DIRECTION, en formato de vector unitario.

$$X_i = \sin (DIP) \text{ Sen } (DIP \text{ DIRECTION})$$

$$Y_i = \sin (DIP) \text{ Cos } (DIP \text{ DIRECTION})$$

$$z_i = \text{Cos } (DIP \text{ DIRECTION})$$

2.- Determinar la media de cada uno de los vectores unitarios.

$$X = \frac{\sum_{I=1}^N X_i}{N}. \text{ Donde N es el número de vectores (para el caso de estructuras}$$

mayores “falla” se considera un total de N=91, ver Cuadro N° 15.

3.- Se procede a normalizar el vector para que tenga una magnitud de 1 y se convierta en un vector unitario.

$$X_i = \frac{X_i}{\sqrt{(X)^2 + (Y)^2 + (Z)^2}} \quad Y_i = \frac{Y_i}{\sqrt{(X)^2 + (Y)^2 + (Z)^2}} \quad Z_i = \frac{Z_i}{\sqrt{(X)^2 + (Y)^2 + (Z)^2}}$$

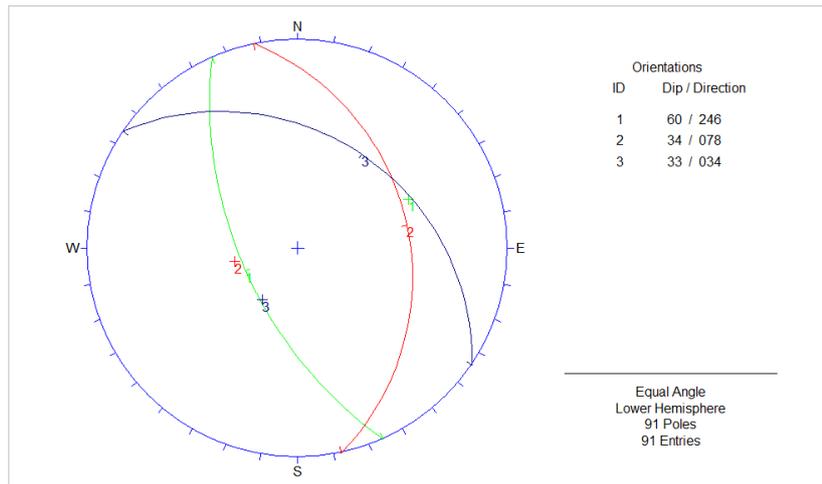


Imagen N° 15: Proyección Estereográfica- Diaclasas.

4.- Convertir el vector promedio normalizado (X_i, Y_i, z_i) dentro *DIP/DIP DIRECTION*, utilizando la relación:

$$DIP = \text{Cos}^{-1}(z_i)$$

$$DIP \text{ DIRECTION} = \text{Cos}^{-1}\left(\frac{Y_i}{\text{Sin}(DIP)}\right)$$

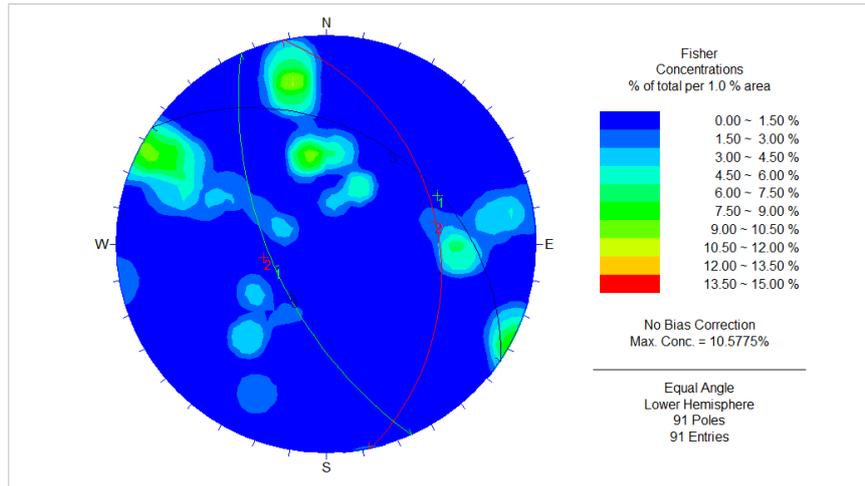


Imagen N° 16: Concentración polar - Diaclasas.

Para establecer las características de distribución espacial de discontinuidades estructurales (diaclasas) que involucran las masas rocosas en el área de interés se ha considerado como referencia la información estructural (diaclasas) contenida en los planos “litológico- estructurales”, (ver Anexo N° 06) registrando el tipo de discontinuidades “estructurales y su orientación”.

Los resultados del análisis estereográfico diaclasas en el Pique Marsa se muestran en siguiente cuadro, (ver Cuadro N° 16)

Nota: * El sistema de discontinuidad estructural se describe a través de la notación: "Buzamiento / D. Buzamiento".

| TIPO DE ESTRUCTURA | SISTEMA DE DISCONTINUIDAD ESTRUCTURAL | | |
|--------------------|---------------------------------------|--------|--------|
| | S1 | S2 | S3 |
| DIACLASAS | 60/246 | 34/078 | 33/034 |

Cuadro N° 16: Buzamiento/D. Buzamiento de las Diaclasas.

Respecto a las diaclasas es necesario precisar que cada dominio “lito-estructural” se caracteriza por presentar un arreglo estructural propio; sin embargo, el análisis estereográfico muestra que a nivel compuesto presentan características similares que en esta tesis denominaremos sistemas de diaclasas (S1, S2, S3) jerarquizados en orden descendente (S1, S2, S3) por su grado

importancia en la estabilidad de excavaciones estructuralmente controladas. Estos sistemas de fallas y diaclasas constituyen información válida para evaluar “la dirección de esfuerzos principales y realizar el análisis de estabilidad estructuralmente controlada”.

En las figuras, se muestran los diagramas de rosetas de los principales sistemas de “diaclasas y fallas” encontrados en las zonas del Pique Marsa. Estas rosetas, representan la estadística de datos orientacionales de discontinuidades estructurales:

DIACLASAS Cámaras Pique Marsa.

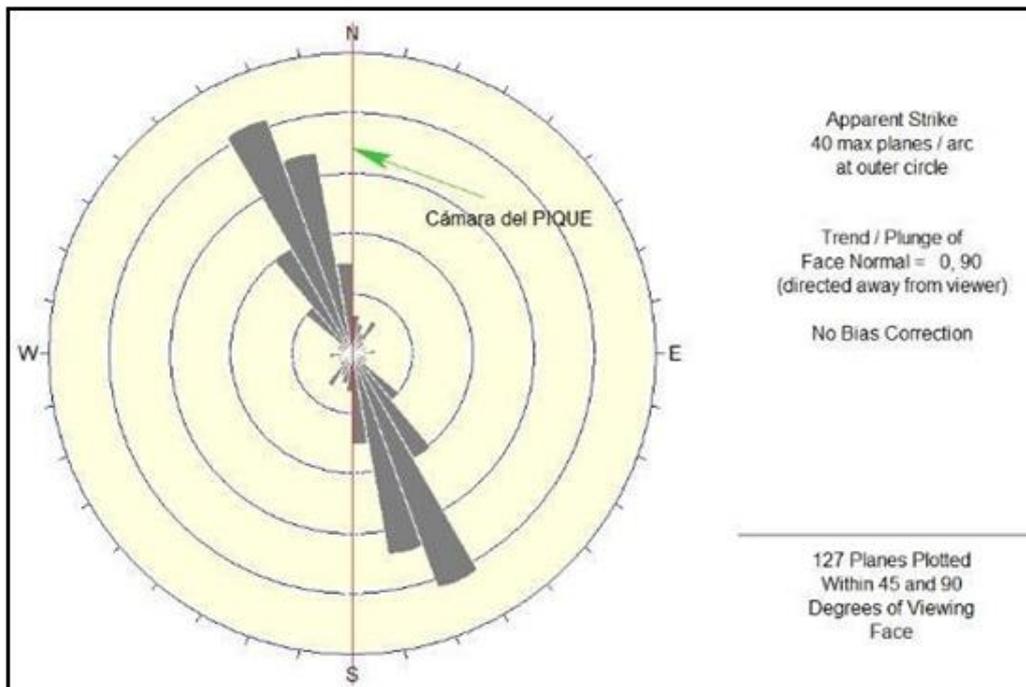
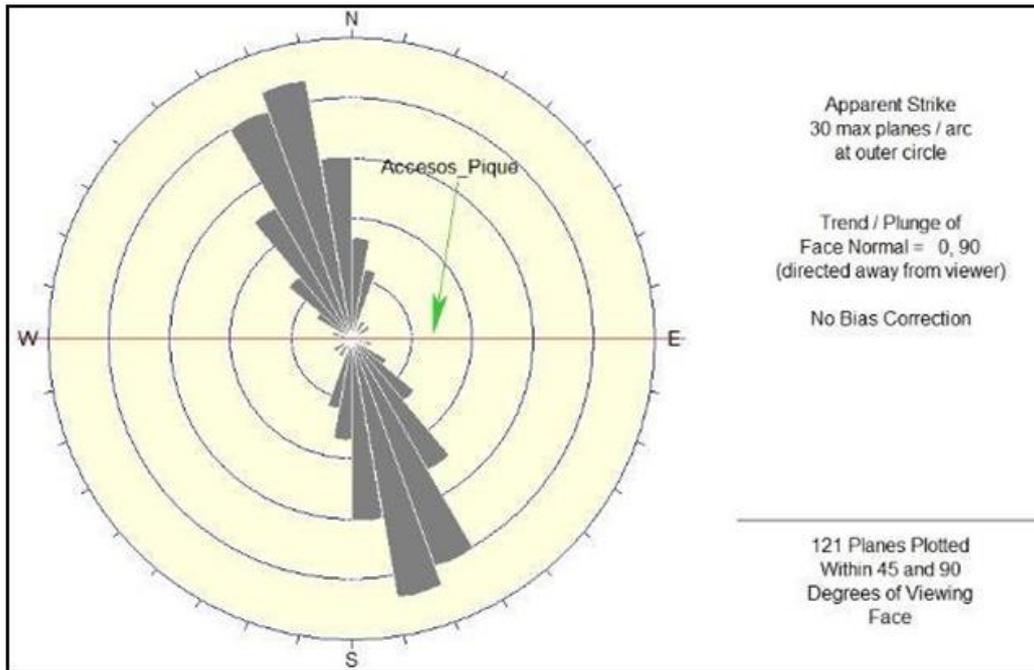


Figura N° 01: Diagrama de rosetas, diaclasas de Cámaras del Pique Marsa.



DIACLASAS Accesos Pique Marsa

Figura N° 02: Diagrama de rosetas, diaclasas de accesos del Pique Marsa.

COMPÓSITO FALLAS_ Cámaras Pique Marsa

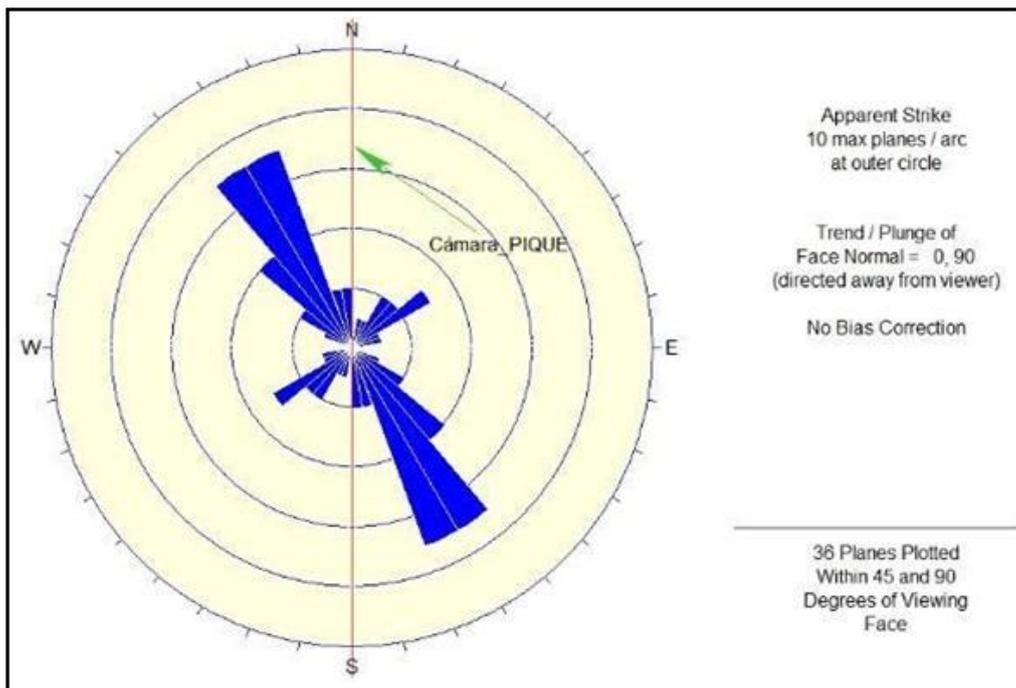


Figura N° 03: Diagrama de rosetas, fallas en cámaras del Pique Marsa

COMPÓSITO FALLAS_ Accesos Pique Marsa

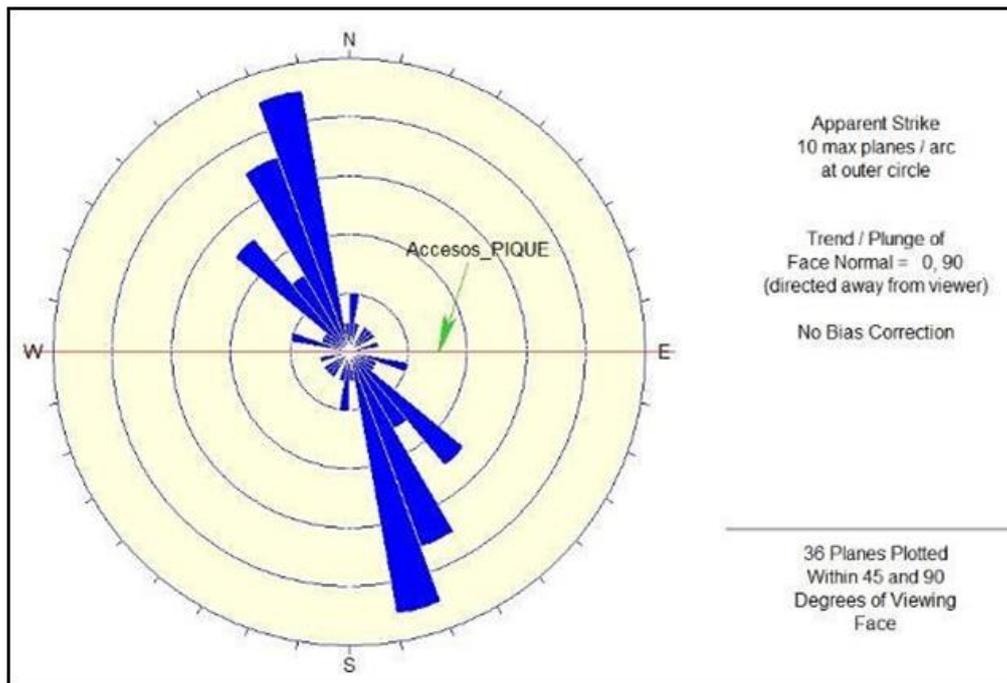


Figura N° 04: Diagrama de rosetas, fallas de accesos del Pique Marsa.

Los resultados del proceso de los datos estructurales, mostrados en cuadro N° 14 y N° 16 y figuras 01, 02, 03, 04, constituyen información válida para estimar el análisis de estabilidad estructuralmente controlada en función a las dimensiones de excavación y el arreglo estructural que expone la masa rocosa.

5.1.1.2.3. Alteraciones

La alteración predominante en todo el yacimiento es la sericitización (cuarzo – sericita – pirita) presentándose en forma pervasiva, la alteración fílica llega a ser centimétrica (albita – sericita – pirita – clorita), ocasionalmente y en los extremos o periferia de los clavos se observa alteración propilítica caracterizada principalmente por cloritas, eventualmente epidota y pirita.

5.1.1.2.3. Meteorización

La meteorización definida como la “desintegración, descomposición y

disgregación” de la estructura rocosa como consecuencia de su exposición a la acción de agentes “físico-químicos” es un proceso que afecta considerablemente a las rocas en la zona de interés en donde se evidencian a través de la “desintegración, erosión de la estructura rocosa, presencia de algunas zonas de oxidación-lixiviación” en afloramientos rocosos mineralizados. Los procesos de meteorización han afectado a las rocas generando el deterioro de los parámetros de resistencia.

5.1.1.2.4 Agua subterránea

La presencia del agua subterránea en la zona de interés es un tema sensible debido a su implicancia negativa en el contexto de la estabilidad de la estructura del Pique Marsa y deterioro del sostenimiento. El efecto más importante del agua en la masa rocosa es la reducción de su resistencia al esfuerzo de corte, el cual ocurre como consecuencia de incremento de las presiones de agua en los poros de la roca. En el área de interés el agua influye significativamente en la degradación de calidad de roca acelerando los procesos de desintegración de estructuras rocosas debido al carácter higroscópico que presentan los minerales constituyentes de la roca (plagioclasas, feldespatos). No se tiene un estudio hidrogeológico, pero se puede inferir que la presencia de agua subterránea no está asociada una nápa freática, aparentemente se trata de la infiltración de un cuerpo de agua distante a la zona de interés (P.E: Rio) a través de las fallas que constituyen medios permeables.

5.1.2. Clasificación de masa rocosa

Los sistemas de clasificación del macizo rocoso sustituyen un enfoque para

estimar las propiedades del macizo rocoso a gran a escala, en la industria minera, el índice GSI y el sistema de RMR, son parámetros de entrada para muchos métodos de diseño, así como parámetros de entrada de muchos programas de modelamiento numérico.

5.1.2.1. Sistema RMR ⁸⁹

El proceso de clasificación geomecánica de la masa rocosa en la zona de interés (Pique Marsa) ha sido realizada empleando el sistema de “Clasificación geomecánica RMR89 de Bieniawski, Modificado por Romana el 2000”. Los valores de resistencia a la compresión uniaxial de roca fueron estimados en campo usando “la picota de geólogo”, los valores del índice de calidad de roca “R.Q.D.” fueron determinados mediante el registro volumétrico de diaclasas utilizando la relación propuesta por “Palmstrom”. Se emplea la clasificación geomecánica “RMR89 de Bieniawski, modificado por Romana, 2000” con la finalidad de discretizar la masa rocosa en rangos más ajustados de la calidad de roca, evitando errores de “sobre-estimación sub-estimación” en algunos sectores, (ver Cuadro N° 17)

| | TIPO DE ROCA | CLASE | R.M.R. |
|---|---------------------|--------------|---------------|
|  | BUENA-A | II - A | 71-80 |
|  | BUENA-B | II - B | 61-70 |
|  | REGULAR-A | III - A | 51-60 |
|  | REGULAR-B | III - B | 41-50 |
|  | MALA-A | IV-A | 31-40 |
|  | MALA-B | IV-B | 21-30 |
|  | MUY MALA | V | 0-20 |

Cuadro N° 17: Clasificación Geomecánica RMR

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R) EN LA EJECUCIÓN DEL PIQUE PRINCIPAL MARSA

| NIVEL | CODIGO | LABOR | ZONA | VETA | LITOLOGIA | CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE ROCA | ABREVIACIÓN DEL TIPO DE RELLENO | ABREVIACIÓN DEL TIPO DE FRACTURA | CANTIDAD DE FORMATOS REPORTADA POR LABOR | OBSERVACIONES |
|------------------|--------|----------------------------------|-----------------|-------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--|----------------------|
| COLUMNA DE PIQUE | | | | | GR-GRANO-DIO-TONAL | III - B "Regular B" | Fa - J - Ct | Py - Si | 60 | Eje del pique |
| | | | | | GR-GRANO-DIO-TONAL | IV - A "Mala A" | J - Ct - Ve | Cb - Py - Si | 195 | Eje del pique |
| | | | | | GR-GRANO-DIO-TONAL | IV - B "Mala B" | Fa - J - Ct | Pz - Si - Py | 45 | Eje del pique |
| 3220 | 001660 | CHI 3 PIQUE (XC 10260-W) | LAS CHILCAS | ESPERANZA H | GR - DIO | III - B "Regular B" | J - Ct - Ve | Cz | 8 | Bolsillos |
| 3220 | 001661 | CHI 4 PIQUE (XC 10260-W) | LAS CHILCAS | ESPERANZA H | GRANO - DIO | III - B "Regular B" | Fa | Py - Si | 9 | Bolsillos |
| 3220 | 015875 | CAM 10178 (XC 10177-SE(CAM5)) | LAS CHILCAS | ESPERANZA H | MICRO - DIO | IV - A "Mala A" | Fa | Py - Si | 2 | Acceso a la Cámara |
| 3220 | 015874 | CAM 10172 (XC 10171-E(XC-SE)) | LAS CHILCAS | ESPERANZA H | DIO - GRA | IV - A "Mala A" | Fa | Py - Si | 3 | Acceso a la Cámara |
| 3175 | 017007 | XC 10194-N (XC 10250-S (XC-W)) | CHILCAS BAJO | ESPERANZA H | GRA | IV - A "Mala A" | Fa | Py - Si | 4 | Acceso a la Estación |
| 3025 | 014839 | XC 10165-NE (EST CC5B-P1) | CHILCAS BAJO | CABANA 2-H | GRAN - MICRO | IV - A "Mala A" | Fa - Ct - J | Cz | 4 | Acceso a la Estación |
| 2950 | 023064 | CH RB1-PQ PRIN (EST 10194-N(RP)) | CHILCAS BAJO | VALERIA H | GR - DIO | IV - A "Mala A" | J | Cb | 4 | Acceso a la Estación |
| 2870 | 018861 | XC 10194-N (XC 10271-S (EST)) | INTEGRACION - I | DANIELA | DIO - GRANO | IV - A "Mala A" | Fa - J - Ct | Py | 4 | Acceso a la Estación |
| 2770 | 013296 | GAL 10308-S (XC 10313-NE-P2) | INTEGRACION - I | DANIELA | DIO | IV - A "Mala A" | Ve | Cb | 4 | Acceso a la Estación |
| 2720 | 010214 | XC 10320-SE (RP 10313-NE-P2) | VALERIA - II | VALERIA H | GR - DIO | IV - A "Mala A" | J | Cb - Py - Si | 4 | Acceso a la Estación |
| 2670 | 013496 | XC 10194-N (BP 10209-SW) | VALERIA - II | DANIELA | GR - DIO | IV - A "Mala A" | J | Cb - Ox | 4 | Acceso a la Estación |
| 2620 | 013495 | XC 10194-N (BP 10109-E(XC-SE)) | VALERIA - III | VALERIA H | DIO - MICRO | IV - A "Mala A" | Fa - Ct | Pz | 4 | Acceso a la Estación |
| 2570 | 017188 | XC 10194-N (XC 10171-N(RPPAT)) | VALERIA - III | VALERIA H | DIO - MICRO | IV - A "Mala A" | J | Cb | 4 | Acceso a la Estación |
| 2520 | 025468 | EST 10356-1W (XC 10356-E(RPPAT)) | VALERIA - III | VALERIA H | GR - DIO | IV - A "Mala A" | J - Fa | Pz - Si - Py | 4 | Acceso a RP |
| 2520 | 023271 | EST 1 (XC 10356-E(RPPAT)) | VALERIA - III | VALERIA H | GR - DIO | III - B "Regular B" | J - Fa | Pz - Si - Py | 4 | Unidad Hidráulica |
| 2520 | 023625 | EST 2 (XC 10356-E(RPPAT)) | VALERIA - III | VALERIA H | GRANO - DIO | IV - A "Mala A" | J - Fa | Pz - Si - Py | 3 | Unidad Hidráulica |
| 2520 | 025469 | EST 3 (XC 10356-E(RPPAT)) | VALERIA - III | VALERIA H | GRA | III - B "Regular B" | J - Fa | Si | 4 | Unidad Hidráulica |
| 2520 | 025470 | EST 4 (XC 10356-E(RPPAT)) | VALERIA - III | VALERIA H | GRA - MICRO | III - B "Regular B" | J - Fa | Si | 3 | Unidad Hidráulica |
| 2520 | 025471 | EST 5 (XC 10356-E(RPPAT)) | VALERIA - III | VALERIA H | GR - DIO | III - B "Regular B" | J - Fa | Si | 3 | Unidad Hidráulica |
| 2520 | 025280 | CH 10280-3 (XC 10356-E(RPPAT)) | VALERIA - III | VALERIA H | GRANO - DIO | IV - A "Mala A" | J - Fa | Py | 15 | Colectores |
| 2520 | 023657 | CH 10280-2 (XC 10356-E(RPPAT)) | VALERIA - III | VALERIA H | MICRO - DIO | IV - A "Mala A" | J - Fa | Py | 15 | Colectores |
| 2520 | 024008 | CH 10280-1 (XC 10356-E(RPPAT)) | VALERIA - III | VALERIA H | DIO - GRA | IV - A "Mala A" | J - Fa | Py | 13 | Colectores |
| 2520 | 018862 | XC 10356-E (RP PATRICK3(RP-W)) | VALERIA - III | VALERIA H | GRA | IV - A "Mala A" | Fa | Pz - Si | 4 | Crucero de Fajas |
| 2520 | 018862 | XC 10356-E (RP PATRICK3(RP-W)) | VALERIA - III | VALERIA H | GR - DIO | IV - A "Mala A" | Fa | Pz - Si | 5 | Loading Pocket |

| LITOLOGIA |
|-----------------------------|
| GRANITO - PROFIDO GRANITICO |
| APLITA |
| GRANODIORITA |
| TONALITA |
| DIORITA |
| MICRODIORITA |
| ESQUISTO - PIZARRA |
| DIQUE SULVOLCANICO |
| DIQUE VOLCANICO |

| ABREVIACIÓN DEL TIPO DE ESTRUCTURAL | |
|-------------------------------------|----------------|
| Dí | Diaclasa |
| Fa | Falla |
| Ct | Contacto |
| E | Estrato |
| Ve | Venilla |
| J | Junta |
| D | Discontinuidad |

| ABREVIACIÓN DEL TIPO DE RELLENO | |
|---------------------------------|-----------|
| Ox | Oxido |
| Arc | Arcilla |
| Cb | Carbonato |
| Pz | Panizo |
| Py | Pirita |
| Lm | Limos |
| Si | Silice |

Cuadro N° 18: Valorización del Macizo Rocoso (R.M.R.) en la Ejecución del Pique Principal Marsa

Nota 1: *Clasificación geomecánica "RMR 89", modificada según Romana el 2000.

El sistema Rock Mass Rating (RMR) fue desarrollada por Bieniawski, y clasifica el macizo rocoso de 0 a 100 puntos siendo 0 para roca muy mala y 100 para roca muy buena, (ver cuadro N° 19).

Las versiones más usadas son el RMR₇₆ y el RMR₈₉. Ambas incorporan la valoración de parámetros como:

- La resistencia a compresión (MPa)..... (i)
- El RQD (Rock Quality Designation) (ii)
- El espaciamiento de las discontinuidades..... (iii)
- Condiciones de las discontinuidades..... (iv)
- Agua Subterránea..... (v)
- Ajuste por orientación de discontinuidades..... (vi)

El puntaje total del RMR₈₉ está definido por:

$$\text{RMR} = (i) + (ii) + (iii) + (iv) + (v) - \text{Ajuste por orientación (vi)}$$

| Descripción | RMR | Clase de Macizo Rcoso |
|----------------|----------|-----------------------|
| Roca Muy Buena | 81 - 100 | I |
| Roca Buena | 61 - 80 | II |
| Roca Regular | 41 - 60 | III |
| Roca Mala | 21 - 40 | IV |
| Roca Muy Mala | 0 - 20 | V |

Cuadro N° 19: Interpretación de Valores de RMR.

En función de la clase obtenida y mediante la valoración del macizo rocoso (ver Cuadro N° 20), se puede establecer una estimación de las características geotécnicas (ángulo y cohesión) y de su comportamiento frente a excavaciones.

| VAL | PARAMETROS | Punto de Mapeo | 1. RESISTENCIA A LA COMPRESION (Mpa) | 2. RQD | 3. ESPACIAMIENTO (m) | 4. CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES | | | | | 5. AGUA SUBTERRÁNEA | 6. AJUSTE POR ORIENTACIÓN | VALOR TOTAL RMR BASICO (Suma de valoración 1 a 5) | VALOR TOTAL RMR AJUSTADO (Suma de valoración 1 a 6) | REFERENCIA TOPOGRAFICA + DISTANCIA (M) |
|-----|---------------------------|----------------|--------------------------------------|--------|----------------------|--------------------------------------|----------|-----------|---------|------------|---------------------|---------------------------|--|--|--|
| | | | | | | Persistencia | Apertura | Rugosidad | Relleno | Alteración | | | | | |
| 15 | 1.- > 250 Mpa | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | 2.- 100-250 Mpa | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 3.- 50-100 Mpa | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 4.- 25-50 Mpa | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 5.- < 25 Mpa | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 1.- 90-100% | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 2.- 75-90% | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | 3.- 60-75% | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 4.- 25-60% | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 5.- < 25% | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 1.- > 2 m | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 2.- 0.6-2 m | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 3.- 200-600 mm | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 4.- 60-200 mm | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 5.- < 60 mm | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 1.- < 1m | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 2.- 1-3 m | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 3.- 3-10 m | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 4.- 10-20 m | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 5.- > 20 m | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 1.- Cerrada 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 2.- Muy Angosta < 0.1 mm | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 3.- Angosta 0.1 - 1.0 mm | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 4.- Abierta 1.0 - 5.0 mm | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 5.- Muy abierta > 5.0 mm | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 1.- Muy rugoso | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 2.- Rugoso | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 3.- Ligeramente rugosa | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 4.- Lisa | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 5.- Muy lisa | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 1.- Ninguna | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 2.- Relleno duro < 5mm | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 3.- Relleno duro > 5mm | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 4.- Relleno blanco < 5mm | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 5.- Relleno blanco > 5mm | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 1.- No meteorizada | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 2.- Ligeramente | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 3.- Moderadamente | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 4.- Altamente meteorizada | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 5.- Descompuesta | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 1.- Completamente seco | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 2.- Húmedo | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 3.- Mojado | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 4.- Goteo | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 5.- Flujo | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1.- Muy favorable | | | | | | | | | | | | | | |
| -2 | 2.- Favorable | | | | | | | | | | | | | | |
| -5 | 3.- Regular | | | | | | | | | | | | | | |
| -10 | 4.- Desfavorable | | | | | | | | | | | | | | |
| -12 | 5.- Muy desfavorable | | | | | | | | | | | | | | |

Cuadro N° 20: Valoración del Macizo Rocoso.

5.1.2.2. Índice GSI

El índice de resistencia geológica (GSI) es un índice de caracterización de macizos rocosos que evalúa el macizo rocoso en función de dos criterios: estructura geológica y condiciones de la superficie de las juntas, (ver Cuadro N° 21).

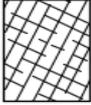
1. La estructura de la masa rocosa considera el grado de fracturamiento o la cantidad de fracturas (discontinuidades) por metro lineal, según esto, las cinco categorías consideradas se definen así:

- Masiva o Levemente Fracturada (LF)
- Moderadamente Fracturada (F)
- Muy Fracturada (MF)
- Intensamente Fracturada (IF)
- Triturada o brechada (T)

2. La condición superficial de la masa rocosa involucra a la resistencia de la roca intacta y a las propiedades de las discontinuidades: resistencia, apertura, rugosidad, relleno y la meteorización o

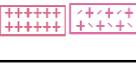
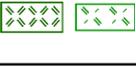
alteración. Según esto, las cinco categorías consideradas se definen así:

- Masa rocosa Muy Buena (MB)
- Masa rocosa Buena (B)
- Masa rocosa Regular (R)
- Masa rocosa Mala (M)
- Masa rocosa Muy Mala (MM)

|  TABLA GEOMECÁNICA SEGUN GSI | | | | | | |
|---|---|---|---|--|--|--|
| <p>Los códigos de letra que describen la estructura del macizo rocoso son referencialmente la combinación entre la estructura y la condición superficial y/o resistencia de éstas.</p> <p>Para estimar la clasificación del GSI, primero se tiene que determinarse el número de fracturas por metro cuadrado en el punto de mapeo, luego se determina la condición superficial de las estructuras contadas (Resistencia).</p> <p>Con esta información se hace la interpolación en esta tabla, por ejemplo, si se cuenta 21 fracturas/metro cuadrado y la condición de estas estructuras deja una huella superficial y no existe filtración de agua, entonces esta intersección clasificará al macizo rocoso como Intensamente Fracturada / Regular (IF/R) y el valor del RMR = 40 - 50 (color amarillo).</p> <p style="text-align: center;">  </p> | | CONDICION SUPERFICIAL (RESISTENCIA) | | | | |
| | | SE ROMPE CON 3 O MÁS GOLPES DE PICOTA O SE ASTILLA CON LA BARRETILLA MUY BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA) (MB) | SE ROMPE CON 1 - 2 GOLPES DE PICOTA O SE FRACTURA CON LA BARRETILLA BUENA (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) (B) | HUELLA SUPERFICIAL CON PICOTA / BARRETILLA REGULAR (MODERADAMENTE RESISTENTE, MODERADAMENTE ALTERADA) (R) | HUELLA MAS DE 5mm CON PICOTA / BARRETILLA MALA (BLANDA, MUY ALTERADA) (M) | SE DISGREGA CON LA PICOTA /BARRETILLA MUY MALA (EXTREMADAMENTE ALTERADA) (MM) |
|  | LEVEMENTE FRACTURADA (LF) (2 - 6 Fract./ metro cuadrado). Tres a menos familias de discontinuidades muy espaciadas entre si. | RMR: 90 | | | | |
|  | MOD. FRACTURADA (F) (7 - 12 Fract./ metro cuadrado). Muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres familias de discontinuidades ortogonales. | | | | | |
|  | MUY FRACTURADA (MF) (13 - 20 Fract./metro cuadrado) Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, formados por 4 ó más familia de discontinuidades. | | | | | |
|  | INT. FRACTURADA (IF) (más de 20 Fract./metro cuadrado) Plegamiento y/o fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando bloques angulosos e irregulares. | | | | | |
|  | TRITURADA O BRECHADA (T) Ligeramente trabada, masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados. | | | | | |

TRABADA: Cuando existen fracturas que forman cuñas que se auto-sostienen entre si.
 ZONA A: No considerar la franja amarilla.
 ZONA B: No considerar la franja naranja

Cuadro N° 21: Tabla Geomecánica Según GSI

| LITOLOGÍA | |
|---|---------------------------------------|
|  | GRANITO - PÓRFIDO GRANÍTICO |
|  | APLITA |
|  | GRANODIORITA - PÓRFIDO GRANODIORÍTICO |
|  | TONALITA - PÓRFIDO TONALÍTICO |
|  | DIORITA - PÓRFIDO DIORÍTICO |
|  | MICRODIORITA |
|  | ESQUISTO - PIZARRAS |
|  | DIQUE SUBVOLCÁNICO |
|  | DIQUE VOLCÁNICO |

Cuadro N° 22: Litología de RMR

En el cuadro N° 23, se presenta el resumen de la “Clasificación geomecánica” de masa rocosa a nivel de “DOMINIOS GEOMECAÑICOS” utilizando la “Clasificación RMR de Bieniawski modificado por Romana 2000”, (ver Cuadro N° 23).

| PROYECTO PIQUE MARSÁ | CALIDAD DE MASA ROCOSA | | | | CLASIFICACIÓN | |
|----------------------|------------------------|---|---|-----|---------------|-------------|
| | LITOLOGÍA | DESCRIPCIÓN DE LA CONDICIÓN LITO-ESTRUCTURAL DE LA MASA ROCOSA | RMR* | GSI | | |
| | GRANITO | Estructura rocosa de origen ígnea plutónica, texturas fanerítica a granulares, caracterizada por su disposición en pseudo-estratificaciones, color claro a rosáceo por el predominio de ortosas sobre la plagioclasas. Estructuralmente se muestran "levemente fracturadas, fracturadas, muy fracturadas e intensamente fracturadas". Presentan resistencias a compresión "intermedias a baja". El agua subterránea afecta significativamente a esta unidad litológica debido a su composición petrográfica, grado de fracturamiento, alteraciones asociadas a procesos "tectónicos e hidrotermales". | 55 | 50 | REGULAR - A | |
| | | | 45 | 40 | REGULAR - B | |
| | | | 35 | 30 | MALA - A | |
| | | | 25 | 20 | MALA - B | |
| | | | 15 | 10 | MUY MALA | |
| | GRANODIORITA | Estructura rocosa de origen ígnea plutónica, con textura fanerítica o granular, caracterizada por su disposición en pseudo-estratificaciones, color claro debido al predominio de las plagioclasas sobre la ortosa. Estructuralmente se muestran "fracturadas, muy fracturadas e intensamente fracturadas". Presentan resistencias a compresión "intermedia, baja". El agua subterránea afecta significativamente a esta unidad litológica debido a su composición petrográfica, grado de fracturamiento, alteraciones asociadas a procesos "tectónicos e hidrotermales". | Estructura rocosa de origen ígnea plutónica, con textura granular, caracterizada por su disposición masiva, color gris a gris oscuro debido a la presencia de ferromagnesianos. Estructuralmente se muestran "fracturadas, muy fracturadas e intensamente fracturadas". Presentan resistencias a compresión "alta, intermedias, bajas". El agua subterránea afecta significativamente a esta unidad litológica debido a su grado de fracturamiento, alteraciones asociadas a procesos "tectónicos e hidrotermales". | 55 | 50 | REGULAR - A |
| | | | | 45 | 40 | REGULAR - B |
| | | | | 35 | 30 | MALA - A |
| | | | | 25 | 20 | MALA - B |
| | | | | 15 | 10 | MUY MALA |
| | DIORITA | Estructura rocosa de origen ígnea plutónica, con textura granular, caracterizada por su disposición masiva, color gris a gris oscuro debido a la presencia de ferromagnesianos. Estructuralmente se muestran "fracturadas, muy fracturadas e intensamente fracturadas". Presentan resistencias a compresión "alta, intermedias, bajas". El agua subterránea afecta significativamente a esta unidad litológica debido a su grado de fracturamiento, alteraciones asociadas a procesos "tectónicos e hidrotermales". | Estructura rocosa de origen ígnea plutónica, con textura granular, caracterizada por su disposición masiva, color gris a gris oscuro debido a la presencia de ferromagnesianos. Estructuralmente se muestran "fracturadas, muy fracturadas e intensamente fracturadas". Presentan resistencias a compresión "alta, intermedias, bajas". El agua subterránea afecta significativamente a esta unidad litológica debido a su grado de fracturamiento, alteraciones asociadas a procesos "tectónicos e hidrotermales". | 55 | 50 | REGULAR - A |
| | | | | 45 | 40 | REGULAR - B |
| | | | | 35 | 30 | MALA - A |
| | | | | 25 | 20 | MALA - B |
| | | | | 15 | 10 | MUY MALA |

Nota: Valoración RMR 89 de Bieniawski, modificada según Romana 2000.

Cuadro N° 23: Resumen Dominios Geomecánicos.

Las masas rocosas de calidad Regular (IIIB: 20%) y calidad Mala (IVA: 60 %, IVB: 15%) calidad Muy Mala (V:<5%) esta última corresponde principalmente a zonas de corte (Fallas principales).

5.1.3. Zonificación geomecánica

La aplicación racional de los diferentes métodos de cálculo en “Mecánica de rocas”, requiere fundamentalmente que la masa rocosa en estudio se encuentre sectorizada (dividida) en áreas con características similares (dominios geomecánicos o zonas geomecánicas) debido a que el análisis de resultados será válido sólo dentro de masas rocosas con similares características. En este contexto “la litología, el grado de alteración, el arreglo estructural, propiedades resistentes a nivel de roca intacta - discontinuidades estructurales y masa rocosa” serán criterios de interés para definir los “Dominios geomecánicos” presentes en la masa rocosa (Anexo 3 y Anexo 4). Aplicando la clasificación geomecánica “RMR89 de Bieniawski, modificada por Romana el 2000” el área de interés se ha caracterizado la masa rocosa con un índice numérico cuantitativo en “DOMINIOS GEOMECAÑICOS”, (ver Cuadro N°23).

El proceso de zonificación geomecánica de masa rocosa implica plasmar los resultados obtenidos de la valoración RMR89 (Anexo 2, Anexo 3, y cuadro N° 23) sobre “planos de planta y secciones transversales del Proyecto Pique Marsa”. La interpretación y correlación de estos dominios conceptuados usando criterios de interpolación e información de datos estructurales permite elaborar el “modelo geomecánico conceptual” de masa rocosa. Resultados del proceso de zonificación geomecánica (planos en plantas y secciones del modelo geomecánico conceptual).

Es importante precisar que una de las características recurrentes e importantes observadas en los distintos niveles evaluados es la calidad de masa rocosa, está asociado a “controles estructurales, alteraciones, influencia del agua de infiltración, grados de meteorización y ubicación espacial referida a la ocurrencia de la estructura mineralizada”. Para una apreciación gráfica se sugiere revisar los planos de zonificación geomecánica conceptualizada en plantas y secciones transversales (Anexos 03 y Anexo N° 04).

5.1.4. Estimación parámetros de resistencia

5.1.4.1. Resistencia de roca intacta y discontinuidades

Para estimar la resistencia de roca, en campo se usó picota de geólogo y en laboratorio se realizó ensayos de Mecánica de Rocas (propiedades físicas, compresión uniaxial, compresión triaxial, ensayo de constantes elásticas, ensayo de tracción indirecta y ensayo de corte directo), se usaron los resultados obtenidos por el laboratorio de mecánica de rocas de la UNI” Universidad Nacional de Ingeniera”.

5.1.4.1.1. Ensayo de Propiedades Físicas

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM C97-02, dando los siguientes resultados:

| Muestra | Diámetro (cm) | Altura (cm) | Densidad Seca (g/cm³) | Densidad Húmeda (g/cm³) | Porosidad Aparente (%) | Absorción (%) | Peso Específico Aparente (kN/m³) |
|-----------------|----------------------|--------------------|---|---|-------------------------------|----------------------|--|
| <i>M-4</i> | <i>4.44</i> | <i>3.06</i> | <i>2.60</i> | <i>2.60</i> | <i>0.68</i> | <i>0.26</i> | <i>25.55</i> |
| | <i>4.44</i> | <i>1.90</i> | <i>2.59</i> | <i>2.59</i> | <i>0.71</i> | <i>0.28</i> | <i>25.42</i> |
| | <i>4.44</i> | <i>2.10</i> | <i>2.59</i> | <i>2.59</i> | <i>0.74</i> | <i>0.29</i> | <i>25.44</i> |
| Promedio | | | 2.59 | 2.60 | 0.71 | 0.27 | 25.47 |

Nota: Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica Laboratorio de Mecánica de Rocas.



Imagen N° 17: Ensayo de propiedades físicas

5.1.4.1.2. Ensayo de Compresión Uniaxial

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D2938, dando los siguientes resultados:

| Muestra | Diámetro (cm) | Altura (cm) | Carga de rotura (kN) | Resistencia a la Compresión Uniaxial (kg/cm ²) | Resistencia a la Compresión Uniaxial (MPa) |
|---------|---------------|-------------|----------------------|--|--|
| M-2 | 4.44 | 7.19 | 69.0 | 442 | 43.3 |

Nota: Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica Laboratorio de Mecánica de Rocas



Imagen N° 18: Ensayo de compresión uniaxial

5.1.4.1.3. Ensayo de Compresión Triaxial

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM 2664-95, dando los siguientes resultados:

| Muestra | Diámetro (cm) | Altura (cm) | Confin. σ_3 (MPa) | Esfuerzo rotura σ_1 (MPa) | Resisten. Compres. Uniaxial (MPa) | Constante "mi" | Cohesión (MPa) | Ang. de Fricción Interno (°) |
|---------|---------------|-------------|--------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------|----------------|------------------------------|
| M-2 | 4.44 | 8.92 | 2 | 71.09 | 50.51 | 19.92 | 10.05 | 49.69 |
| | 4.44 | 8.92 | 4 | 81.42 | | | | |
| | 4.44 | 8.90 | 6 | 100.78 | | | | |

Nota: Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica Laboratorio de Mecánica de Rocas



Imagen N° 19 :Ensayo de compresión triaxial

5.1.4.1.4. Ensayo de Constantes Elásticas

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D7012, dando los siguientes resultados:

| Muestra | Diámetro (cm) | Altura (cm) | Resist. a la Compresión Uniaxial (MPa) | Módulo de Young "E" (GPa) | Relación de Poisson "ν" |
|---------|---------------|-------------|--|---------------------------|-------------------------|
| M-2 | 4.44 | 8.50 | 48.8 | 11.35 | 0.28 |

Nota: Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica Laboratorio de Mecánica de Rocas



Imagen N° 20: Ensayo de constante elástica

5.1.4.1.5. Ensayos de Tracción Indirecta (brasileiro)

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D3967, dando los siguientes resultados:

| Muestra | Diámetro (cm) | Altura (cm) | Carga (kN) | Resistencia Tracción (kg/cm ²) | Resistencia Tracción (MPa) |
|-----------------|---------------|-------------|------------|--|----------------------------|
| M-2 | 4.91 | 2.50 | 6.5 | 34 | 3.4 |
| | 4.91 | 2.57 | 5.6 | 29 | 2.8 |
| | 4.91 | 2.35 | 4.9 | 28 | 2.7 |
| Promedio | | | | 30 | 3.0 |

Nota: Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica Laboratorio de Mec. de Rocas



Imagen N° 21: Ensayo de tracción indirecta

5.1.4.1.6. Ensayo de Corte Directo

Los ensayos se realizaron sobre discontinuidad con caras paralelas a la dirección de corte, según norma ASTM D5607-95, dando los siguientes resultados.

| Muestra | Diámetro (cm) | Tipo de discontinuidad | Cohesión (MPa) | Angulo de Fricción Residual (°) |
|---------|---------------|------------------------|----------------|---------------------------------|
| M-3 | 5.34 | Simulada | 0.048 | 28.43 |

Nota: Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica Laboratorio de Mecánica de Rocas



Imagen N° 22: Ensayo de corte directo

La preparación de las muestras para los ensayos de las propiedades de rocas, sus dimensiones y el número de ensayos fueron puntos importantes al tomarse en cuenta al momento de recoger en el campo los bloques de roca que posteriormente fueron remitidos al laboratorio. Cada tipo de ensayo tiene sus normas en cuanto a dimensiones, orientación de ensayos, etc., los resultados fueron representativos y válidos para ser empleados en el diseño, a continuación, se detalla, en resumen:

| PROYECTO PIQUE MARSA | | RESULTADOS ENSAYOS MECÁNICA DE ROCAS _PROYECTO PIQUE MARSA | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--|--|------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------|-------|----------------------|-----------|--------------------|---------------|-------|
| | | MUESTRA | ENSAYO | PROPIEDADES FÍSICAS | COMPRESIÓN UNIAxIAL | COMPRESIÓN TRIAXIAL | | | CONSTANTES ELÁSTICAS | | TRACCIÓN INDIRECTA | CORTE DIRECTO | |
| | | | NORMA | ASTM-C97-02 | ASTM-D2938 | ASTM-2664-95 | | | ASTM-D7012 | | ASTM-D3967 | ASTM-D5607-95 | |
| | | | PARÁMETROS | δ (KN/m3) | δ (Mpa) | δ (Mpa) | c (Mpa) | f (°) | "E" (Goa) | " ν " | Mpa | c (Mpa) | f (°) |
| | | M-2 | | 43.3 | 81.42 | 10.05 | 49.69 | 11.35 | 0.28 | 3.0 | | | |
| | | M-3 | | | | | | | | | 0.048 | 28.43 | |
| | | M-4 | 25.47 | | | | | | | | | | |

Cuadro N° 24: Resumen Ensayos Mecánica de Rocas.

5.1.5.2. Resistencia de la masa rocosa

Para la estimación de los parámetros de resistencia a nivel de la Masa Rocosa, en el Estudio se han utilizado los criterios de “Serafín-Pereira; 1983”, “Hoek- Brown; 2002” y “Karzulovic, 1999”, los cuales toman como datos de entrada los resultados de la “Clasificación geomecánica” mostrados en las “Cuadro N°17, 18 y 25”. Estos criterios son empíricos, pero resultan prácticos en la estimación de los parámetros geomecánicos a nivel de la masa rocosa, supliendo en alguna forma el error que se genera al “extrapolar directamente resultados de Ensayos de Mecánica de Rocas realizados en condiciones de Laboratorio sobre muestras de roca intacta” como parámetros de masa rocosa, procedimiento que no considera el efecto de escala. En el cuadro N° 25 se muestra el resumen de parámetros “estimados” a nivel de masa rocosa, utilizando los criterios de “Hoek-Brown; 2002”, “Serafín- Pereira; 1983” y “Karzulovic; 1999” basados en parámetros obtenidos de la “Clasificación geomecánica”, ensayos de mecánica de rocas realizados en “campo y laboratorio” según sugieren las normas de la “Sociedad Internacional de

Mecánica de Rocas”.

| PROYECTO PIQUE MARSÁ | CALIDAD DE LA MASA ROCOSA | | | PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE LA MASA ROCOSA*(CONCEPTUALES) | | | | | | | | |
|--|---------------------------|-----|-------|--|---------------------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|------------|
| | LITOLOGÍA | RMR | GSI | Peso Específico (KN/m3) | δ_{ci} (Mpa) | mi | mb | s | a | E(Mpa) | "v" | Φ (°) |
| GRANITO - GRANODIORITA - DIORITA | 55 | 50 | 26.00 | 69.00 | 27.00 | 4.121 | 0.0032 | 0.506 | 12.85 | 0.25 | 50.10 | 10.55 |
| | 45 | 40 | 25.55 | 50.51 | 19.92 | 2.088 | 0.001 | 0.511 | 11.35 | 0.28 | 49.69 | 10.05 |
| | 35 | 30 | 25.00 | 43.30 | 14.00 | 1.008 | 0.003 | 0.522 | 8.70 | 0.30 | 37.50 | 9.55 |
| | 25 | 20 | 24.50 | 28.00 | 11.00 | 0.544 | 0.0001 | 0.544 | 6.20 | 0.31 | 32.50 | 9.05 |
| | 15 | 10 | 24.00 | 15.00 | 6.00 | 0.296 | 0.0001 | 0.544 | 3.40 | 0.33 | 22.50 | 8.55 |

*Nota: *Estimaciones realizadas mediante aplicación de los criterios "H&B2002, S&Pereyra1983, Karzulovic, 1999", Resultados de estimación de ensayos en campo y Resultados de ensayos de laboratorio (Reportes de ensayos UNI).*

Cuadro N° 25: Parámetros de Resistencia Masa Rocosa.

Los resultados mostrados del cuadro N° 25, son parámetros de resistencia que caracterizan los dominios geomecánicos que conforman la masa rocosa en evaluación. Estos parámetros serán empleados como datos de ingreso "INPUT" al modelo geomecánico en los análisis de estabilidad posteriores para propósitos estrictamente asociados a los alcances de la presente tesis.

5.1.5. Identificación mecanismos de falla

En base a información obtenida del análisis estereográfico mostrado en "Figuras 1-4 y Cuadro N° 14 y N°16", considerando la geometría de la estructura donde se ubica el Pique Marsa, las proyecciones del modelo geológico conceptual, utilizando criterios para el análisis cinemático de datos estructurales desarrollado por "MARKLAND, 1972" y sugerencias de "HOEK & BRAY, 1981" se prevé que los modos más probables de "INESTABILIDAD" asociados al control estructural serán desprendimiento de bloques que conllevarán a un fisuramiento y craquelamiento de los sostenimientos y armados de concreto;

esto referido estrictamente a las zonas de las cámaras, estructura del Pique Marsa (Armado de concreto), en los desarrollos (accesos principales, bypass, chimeneas orientadas), así mismo se prevé formación de cuñas en el techo y hastiales de las cámaras debido al grado de fracturamiento que expone la masa rocosa; en las zonas de corte (intersección de cambio de altura de los techos entre el acceso y la cámara principal) debido a presencia de áreas disturbadas estructuralmente se prevé la formación de cuñas en función a las dimensiones de excavaciones (Cámaras) y eje de diseño las mismas que constituirán un problema persistente horizontal - verticalmente, aspecto desfavorable a considerar como restricción del diseño.

5.1.5.1. Evaluación de Cuñas estructurales – Nivel 3220

Se analizó el debilitamiento estructuralmente controlado mediante el programa Unwedge. Con esta evaluación se adquiere una idea del debilitamiento estructuralmente controlado y la verificación de la estabilidad de cuñas aisladas en la excavación de las cámaras Skips, Cámara Jaula.

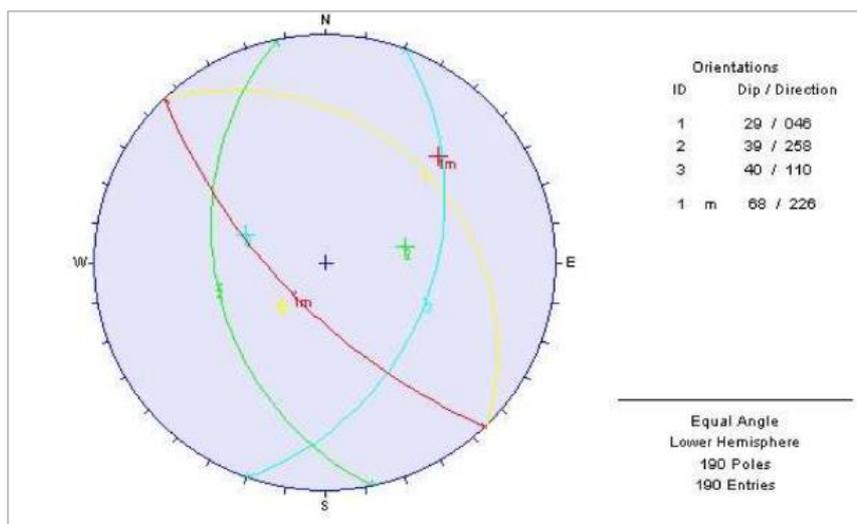


Imagen N° 23: Ploteo de planos estructural – Nv.3200.

En la imagen N°23, observamos sistemas de fracturamiento de alto y

bajo ángulo, un principal con dirección NW y un ángulo de buzamiento 68° al SW, un segundo sistema con la misma dirección(NW), ángulo de buzamiento 29° al NE, lo que haría presumir la formación de una cuña de magnitud considerable, también observamos un tercer y cuarto sistema con dirección / buzamiento NW/ 39° SW y NE/ 40° SE respectivamente, que estarían formando cuñas.

Según el análisis de cuñas estructural realizado en base al DIPS se realizó el análisis de posibles cuñas que podrían comprometer en la estabilidad en la excavación de las cámaras del Pique en el proyecto Nv. 3200, (ver Imagen N° 24).

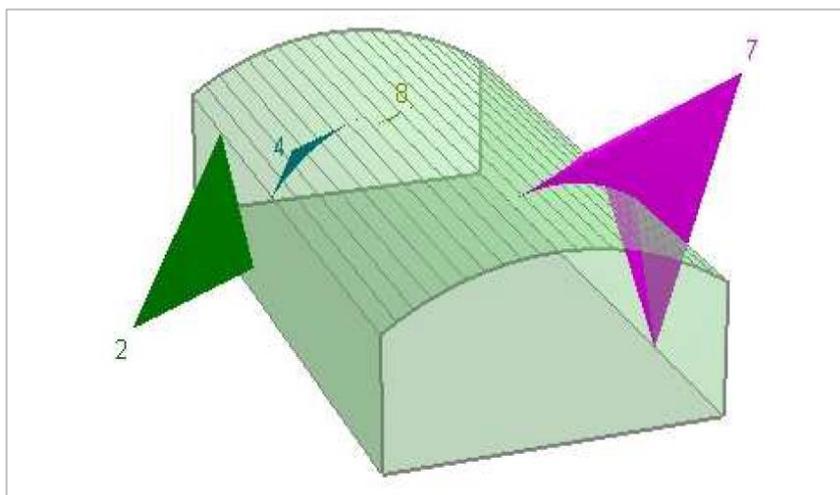


Imagen N° 24: Cuñas en la cámara de winches SKIPS.

En la imagen N°24, que corresponde a la cámara winche SKIPS, se puede notar la formación de cuñas con factores de seguridad mayor a 15.00 excepto la cuña 8 cuyo factor de seguridad es de 0.00, pero la magnitud es mínima (0.008 Tn.), controlado con un desatado

5.1.6. Estimación del estado tensional

La roca en profundidad está sometida a una serie de esfuerzos resultantes

del peso de estratos sobre yacientes para un caso puramente geoestático y adicionalmente debido a “los esfuerzos de origen tectónico-residual, sismológico, otros para casos no geoestáticos”. Independientemente de cuál sea el caso “geoestático o no geoestático” al crear una excavación en masas rocosas sometida a un estado de esfuerzos “in-situ” (pre minado) su campo de esfuerzos inmediatamente es disturbado, en respuesta a este evento la masa rocosa genera una redistribución de esfuerzos cuyo resultado con lleva a nuevo estado de esfuerzos denominado “esfuerzos inducidos” en el entorno físico de las excavaciones. El conocimiento de “magnitud y dirección” de esfuerzos, es una componente esencial para el diseño subterráneo debido que la mayoría de casos en menor o mayor cuantía la estabilidad de excavaciones subterráneas estará condicionado al estado tensional de masa rocosa (si la resistencia de la roca es superada por la magnitud de esfuerzos inducidos se creará inestabilidades en el borde las excavaciones).

Evaluar el estado tensional en la masa rocosa implica definir “la dirección y la magnitud de esfuerzos principales”. Al respecto existen muchas formas de estimar éstos parámetros que van desde técnicas sofisticadas como “Over-Coring, Hidro fracturamiento, mediciones acústicas” hasta las técnicas deducidas de criterios empíricos (criterio de Bieniawski, criterio de fallas conjugadas, criterio de Sheorey, mapa de esfuerzos Zoback-1992, entre otros).

Para los propósitos de esta tesis está basado en investigaciones del comportamiento tectónico andino en el contexto regional, utilizando los criterios de “fallas conjugadas, las curvas de variación de la constante de transmisión de esfuerzos desarrollada por Bieniawski en función a profundidades e informes

de la “Medición de Esfuerzos” realizados por empresas consultoras externas en la Mina Marsa (Informe de Overcoring), se han elaborado algoritmos que permiten evaluar la variación de “la constante de transmisión de esfuerzos K”. El resultado de estas aproximaciones matemáticas será la base para las estimaciones de magnitud de esfuerzos principales válidos únicamente para fines de esta tesis”.

5.1.6.1. Dirección de esfuerzos

Para estimar la orientación de esfuerzos, considerándose que en esta zona se carecen de estimaciones, se parte de la hipótesis de ocurrencia de fallas conjugadas. Esta hipótesis postula que “las orientaciones de los esfuerzos principales a nivel del Pique Marsa están controlados en alguna medida por la dirección de las fallas principales ocurridas en el sector. Del análisis estereográfico (proyección de fallas y diaclasas), mostrados en el Cuadro N° 14, 16 y Figuras N°1-4, se toman los sistemas de fallas (F1 y F2); mediante proyección estereográfica equiangular de estos sistemas de fallas y empleando el criterio de “fallas conjugadas” se obtienen los planos máximos de los esfuerzos “ σ_1 , σ_2 , y σ_3 ”; cuya interpretación finalmente nos permite estimar la orientación de los esfuerzos principales como se muestra en el Cuadro N° 26 y Figura N° 05.

| E | | ORIENTACIÓN DE ESFUERZOS PRINCIPALES | | |
|----------------|--------|--------------------------------------|---------------|------------|
| | | ID | D. BUZAMIENTO | BUZAMIENTO |
| PROYECTO PI | MARSAS | σ_1 | 149° | 86° |
| | | σ_2 | 240° | 86° |
| | | σ_3 | 120° | 09° |

*Nota: *Estimación realizada mediante la hipótesis de "fallas Conjugadas".*

Cuadro N° 26: Orientación Esfuerzos Principales.

En la figura 5, se muestran los resultados de estimación conceptual de la orientación de esfuerzos principales asociados al proyecto, en base a hipótesis de fallas conjugadas.

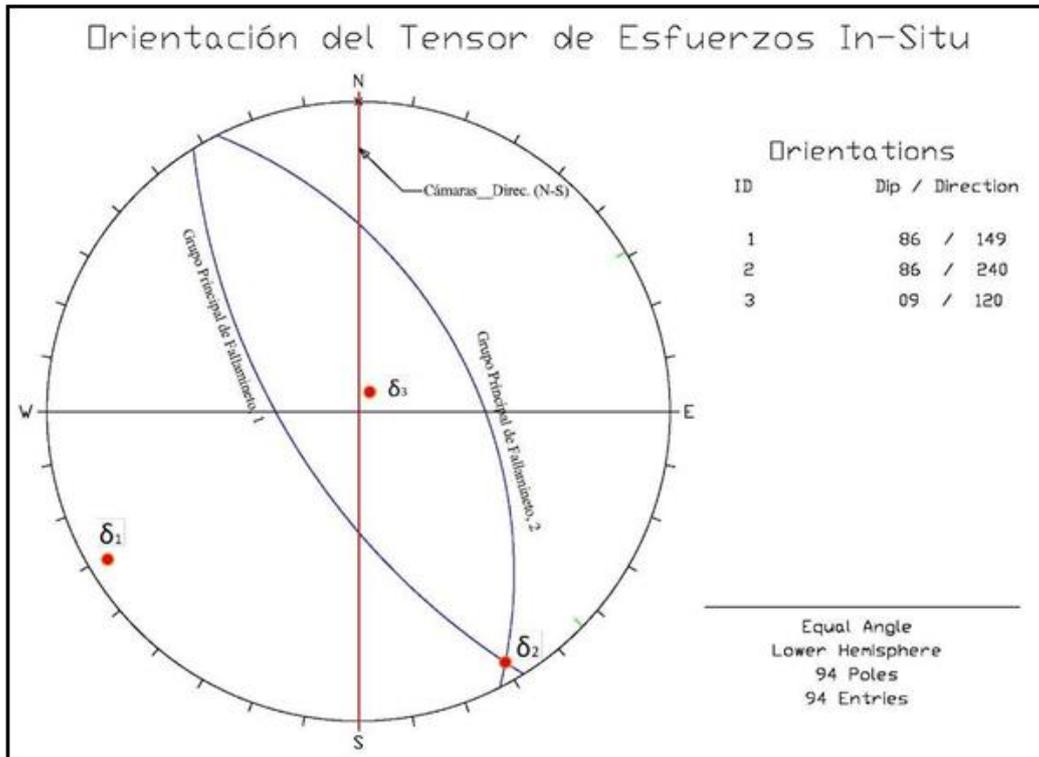


Figura N° 05: Diagrama Estereográfico Tensor de Esfuerzos.

De la Figura 5, se deduce que el esfuerzo principal mayor presenta orientación σ_1 (86/149), el esfuerzo principal menor presenta orientación σ_3 (09/120).

5.1.6.2. Magnitud de esfuerzos

Como se precisa, para estimar la magnitud de los esfuerzos en esta tesis, se ha tomado como base las investigaciones a nivel regional del comportamiento tectónico andino en función a la profundidad (informes de la “Medición de Esfuerzos” realizados por empresas consultoras externas para la Mina Marsa - Informe de Overcoring), los resultados de estas investigaciones establecen aproximaciones matemáticas que permiten

evaluar la variación de “la constante de transmisión de esfuerzos K” como una función de la profundidad del minado debajo de la superficie. Estas aproximaciones matemáticas han sido la base para los cálculos referidos a la magnitud de esfuerzos principales asociados al proyecto, válidos únicamente y exclusivamente para los fines y alcances de esta tesis, los resultados de estas estimaciones son de carácter conceptual, (ver Cuadro N° 27).

| MAGNITUD DE ESFUERZOS PRINCIPALES_PROYECTO PIQUE MARSA | | | | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| ESFUERZOS | Nv-3220 | Nv-3175 | Nv-3075 | Nv-2970 | Nv-2870 | Nv-2720 | Nv-2620 | Nv-2570 | Nv-2520 |
| Esfuerzo máximo (Mpa) - (δ_1) | 13.9 | 14.1 | 14.8 | 15.4 | 16.0 | 17.0 | 17.6 | 17.9 | 18.2 |
| Esfuerzo medio (Mpa) - (δ_2) | 8.4 | 8.9 | 9.9 | 11.0 | 12.1 | 13.7 | 14.7 | 15.3 | 15.8 |
| Esfuerzominimo(Mpa)-(δ_3) | 2.9 | 3.6 | 5.1 | 6.7 | 8.1 | 10.4 | 11.9 | 12.6 | 13.3 |
| <i>Nota:*Para estimar la magnitud de esfuerzos, se considera que en toda la extensión la masa rocosa estará sometida a condiciones muy variables, según evidencias geológicas de campo se trata de un caso no geoestático.</i> | | | | | | | | | |

Cuadro N° 27: Magnitudes de Esfuerzos.

5.1.7. Resultados de análisis de estabilidad debido a esfuerzos de las labores conexas al pique marsa.

Para el análisis de estabilidad de las labores conexas al Pique Marsa se ha tomado en cuenta la ubicación de las secciones a modelarse en el plano topográfico correspondiente, y de acuerdo al tipo de sostenimiento en estas labores conexas como son cámaras de Winche, se han realizado diferentes modelamientos geomecánicos por niveles desde el 3175 al 2520, tomando en cuenta desde un antes y después del sostenimiento, los cuales se puede mostrar en las figuras siguientes:

5.1.7.1. Enfoque de la Evaluación

- En una primera etapa, se acopio información geomecánica básica, con el fin de obtener la información necesaria que permita evaluar los

factores principales del control de la estabilidad y estimar así los parámetros geomecánicos básicos. Dicha información, conformada por los valores representativos de la calidad del macizo rocoso en base a la clasificación Geomecánica RMR Bieniawski y mapeos estructurales.

- En una segunda etapa, se revisará la información obtenida durante las investigaciones básicas, con el fin de obtener los parámetros geomecánicos que gobiernan el comportamiento del macizo rocoso y realizar las evaluaciones correspondientes influenciadas por el aspecto estructural e influencia de esfuerzos.

5.1.7.2. Estudio Geomecánico

Para el estudio Geomecánico del proyecto pique principal Marsa, en nivel 3220, se utilizó y analizó la información de los mapeos Geomecánicos. Se caracterizó geomecánicamente los diferentes tipos litológicos alrededor del proyecto en base a normas de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas. Se determinó la calidad de la masa rocosa involucrada en el área de estudio. Se estimaron las propiedades Geomecánicas del macizo rocoso con las cuales se realizaron modelamientos numéricos para analizar el comportamiento tenso-deformacional del macizo rocoso alrededor de la excavación.

5.1.7.2.1. Caracterización Geomecánica

Para obtener valores numéricos de la calidad del macizo rocoso se ha usado el sistema de Valoración RMR (Rock Mass Rating, Bieniawski 1989).

Cabe resaltar que, para la zona de estudio, La Zonificación Geomecánica se realizó de acuerdo al dominio litológico presente y su relación con su clasificación geomecánica, dichos resultados se presentan en los Cuadros N° 28 y 30. Cabe resaltar que los resultados estimados son el promedio general para cada tipo de roca, con fines de ingresar la información para la simulación numérica.

| CLASIFICACION GEOMECANICA RMR - DIORITA | | | |
|--|--------------|--------------|---|
| PARAMETRO | RANGO | VALOR | |
| RESISTENCIA | 25 - 50 MPa | 7 | |
| RQD | 25 - 50% | 8 | |
| ESPACIAMIENTO | 60 - 200 mm | 8 | |
| CONDICION DE DISCONTINUIDADES | PERSISTENCIA | 10 - 20 m | 1 |
| | APERTURA | 0.1 - 1.0 mm | 4 |
| | RUGOSIDAD | Ligeramente | 3 |
| | RELLENO | Duro > 5mm | 4 |
| | ALTERACION | Ligeramente | 3 |
| PRESENCIA DE AGUA | Húmedo | 10 | |
| AJUSTE POR LA ORIENTACIÓN | MF - MD | 10 | |
| RMR Basico | | 38 | |

Cuadro N° 28: Valor promedio de la calidad geomecánica para la Diorita.

| CLASIFICACION GEOMECANICA RMR - GRANITO | | | |
|--|--------------|--------------|---|
| PARAMETRO | RANGO | VALOR | |
| RESISTENCIA | 25 - 50 MPa | 4 | |
| RQD | 25 - 50% | 8 | |
| ESPACIAMIENTO | 60 - 200 mm | 8 | |
| CONDICION DE DISCONTINUIDADES | PERSISTENCIA | 10 - 20 m | 1 |
| | APERTURA | 0.1 - 1.0 mm | 1 |
| | RUGOSIDAD | Lisa | 1 |
| | RELLENO | Blando < 5mm | 1 |
| | ALTERACION | Ligeramente | 3 |
| PRESENCIA DE AGUA | Húmedo | 10 | |
| AJUSTE POR LA ORIENTACIÓN | MF - MD | 5 | |
| RMR Basico | | 32 | |

Cuadro N° 29: Valor promedio de la calidad geomecánica para el Granito.

5.1.7.2.2. Clasificaciones Geomecánicas

De acuerdo a la clasificación geomecánica RMR89 Básico, el valor del

RMR= 32-38. De acuerdo al GSI está catalogada como un macizo rocoso Muy Fracturada/Regular (MF/R), La Diorita tiene un RMR de 38 roca tipo Mala IV-A; el granito tiene un RMR de 32 roca tipo Mala IV-A. Cabe resaltar que los resultados han sido considerados en base al compósito para el respectivo análisis de esfuerzo-deformación en las secciones geológicas. Esto es debido a la Influencia de la Falla Nw-3N, Veta Esperanza y Falla RB. De acuerdo al avance de la excavación ocasionará alteración y perturbación.

5.1.7.2.3. Mapeo Geomecánico

El mapeo geomecánico realizado en las labores de la cámara de producción, cámara de servicios y labores conexas, fue realizados mediante el “método directo de celdas de detalle” con el formato estandarizado por la empresa y cumpliendo las normas establecidas por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM). Con la información obtenida se fue zonificando los Planos Geomecánicos, (ver Anexo N° 03). los mismos que fueron detallando el tipo de roca en el que se ubicaba el proyecto, en mapeo geomecánico en el nivel 3220; posee las siguientes características, (ver Cuadro N° 30):

| Sección | Nivel | Labor | Litología | Res | RQD | Esp | Per | Ape | Rug | Rel | Alt | Agu | Ori | val | Tipo | Val | Tipo |
|-------------|-------|---------------------------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-------|
| LAS CHILCAS | 3220 | CAM10178(XC10177-SE) C.P. | DIORITA | 4 | 8 | 8 | 0 | 5 | 3 | 0 | 3 | 12 | 2 | 43 | III-B | 41 | III-B |
| LAS CHILCAS | 3220 | CAM10178(XC10177-SE) C.P. | DIORITA | 7 | 8 | 8 | 1 | 4 | 3 | 4 | 3 | 10 | 10 | 48 | III-B | 38 | IV-A |
| LAS CHILCAS | 3220 | CAM10178(XC10177-SE) C.P. | DIORITA | 4 | 8 | 5 | 0 | 5 | 3 | 2 | 3 | 10 | 2 | 40 | IV-A | 38 | IV-A |
| LAS CHILCAS | 3220 | CAM10178(XC10177-SE) C.P. | GRANITO | 4 | 8 | 8 | 0 | 5 | 3 | 0 | 3 | 10 | 0 | 41 | III-B | 41 | III-B |
| LAS CHILCAS | 3220 | CAM10178(XC10177-SE) C.P. | GRANITO | 4 | 8 | 8 | 0 | 5 | 3 | 0 | 3 | 10 | 0 | 41 | III-B | 41 | III-B |
| LAS CHILCAS | 3220 | CAM10178(XC10177-SE) C.P. | GRANITO | 4 | 8 | 8 | 0 | 5 | 3 | 0 | 3 | 10 | 0 | 41 | III-B | 41 | III-B |
| LAS CHILCAS | 3220 | CAM10178(XC10177-SE) C.P. | GRANITO | 7 | 8 | 8 | 2 | 4 | 1 | 4 | 5 | 10 | 10 | 49 | III-B | 39 | IV-A |
| LAS CHILCAS | 3220 | CAM10178(XC10177-SE) C.P. | GRANITO | 4 | 8 | 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10 | 10 | 37 | IV-A | 32 | IV-A |
| LAS CHILCAS | 3220 | CAM10178(XC10177-SE) C.P. | DIORITA | 4 | 8 | 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 10 | 5 | 37 | IV-A | 32 | IV-A |
| LAS CHILCAS | 3220 | CAM10178(XC10177-SE) C.P. | DIORITA | 4 | 8 | 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 10 | 5 | 37 | IV-A | 32 | IV-A |
| LAS CHILCAS | 3220 | CAM10172(XC10177-SE) C.S. | DIORITA | 4 | 8 | 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 10 | 5 | 37 | IV-A | 32 | IV-A |
| LAS CHILCAS | 3220 | CAM10172(XC10177-SE) C.S. | DIORITA | 4 | 8 | 8 | 1 | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 5 | 37 | IV-A | 32 | IV-A |
| LAS CHILCAS | 3220 | CAM10172(XC10177-SE) C.S. | DIORITA | 4 | 8 | 8 | 1 | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 5 | 37 | IV-A | 32 | IV-A |
| LAS CHILCAS | 3220 | CAM10172(XC10177-SE) C.S. | DIORITA | 4 | 8 | 8 | 1 | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 5 | 37 | IV-A | 32 | IV-A |
| LAS CHILCAS | 3220 | CAM10172(XC10177-SE) C.S. | DIORITA | 4 | 8 | 8 | 1 | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 5 | 37 | IV-A | 32 | IV-A |
| LAS CHILCAS | 3220 | CAM10172(XC10177-SE) C.S. | DIORITA | 4 | 8 | 8 | 1 | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 5 | 37 | IV-A | 32 | IV-A |
| LAS CHILCAS | 3220 | CAM10172(XC10177-SE) C.S. | GRANITO | 4 | 8 | 8 | 2 | 5 | 3 | 4 | 3 | 7 | 10 | 44 | III-B | 34 | IV-A |
| LAS CHILCAS | 3220 | CAM10172(XC10177-SE) C.S. | GRANITO | 4 | 8 | 8 | 2 | 5 | 3 | 4 | 3 | 7 | 10 | 44 | III-B | 34 | IV-A |
| LAS CHILCAS | 3220 | CAM10172(XC10177-SE) C.S. | GRANITO | 4 | 8 | 8 | 2 | 5 | 3 | 4 | 3 | 7 | 10 | 44 | III-B | 34 | IV-A |
| LAS CHILCAS | 3220 | XC 10177 SE | GRANITO | 4 | 8 | 8 | 2 | 5 | 3 | 4 | 3 | 7 | 10 | 44 | III-B | 34 | IV-A |
| LAS CHILCAS | 3220 | XC 10177 SE | GRANITO | 7 | 8 | 8 | 1 | 4 | 3 | 4 | 3 | 10 | 10 | 48 | III-B | 38 | IV-A |
| LAS CHILCAS | 3220 | XC 10177 SE | GRANITO | 4 | 8 | 8 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 10 | 10 | 46 | III-B | 36 | IV-A |
| LAS CHILCAS | 3220 | XC 10177 SE | GRANITO | 4 | 8 | 8 | 2 | 5 | 3 | 4 | 3 | 10 | 10 | 47 | III-B | 37 | IV-A |
| LAS CHILCAS | 3220 | XC 10177 SE | GRANITO | 4 | 8 | 8 | 2 | 5 | 3 | 4 | 3 | 10 | 10 | 47 | III-B | 37 | IV-A |
| LAS CHILCAS | 3220 | XC 10177 SE | GRANITO | 2 | 8 | 8 | 2 | 5 | 3 | 1 | 3 | 10 | 10 | 42 | III-B | 32 | IV-A |
| LAS CHILCAS | 3220 | XC_10171-E(XC 10177-SE) | GRANITO | 4 | 8 | 8 | 2 | 5 | 3 | 4 | 3 | 10 | 5 | 47 | III-B | 42 | III-B |
| LAS CHILCAS | 3220 | XC_10171-E(XC 10177-SE) | GRANITO | 7 | 8 | 8 | 2 | 5 | 3 | 4 | 3 | 10 | 5 | 50 | III-B | 45 | III-B |
| LAS CHILCAS | 3220 | XC_10171-E(XC 10177-SE) | GRANITO | 7 | 8 | 8 | 1 | 4 | 3 | 4 | 3 | 10 | 10 | 48 | III-B | 38 | IV-A |
| LAS CHILCAS | 3220 | XC_10171-E(XC 10177-SE) | GRANITO | 4 | 8 | 8 | 2 | 4 | 1 | 2 | 3 | 10 | 5 | 42 | III-B | 37 | IV-A |
| LAS CHILCAS | 3220 | XC_10171-E(XC 10177-SE) | GRANITO | 2 | 8 | 8 | 1 | 1 | 3 | 4 | 3 | 7 | 5 | 37 | IV-A | 32 | IV-A |
| LAS CHILCAS | 3220 | XC_10171-E(XC 10177-SE) | GRANITO | 2 | 8 | 8 | 1 | 1 | 3 | 4 | 3 | 7 | 5 | 37 | IV-A | 32 | IV-A |

Cuadro N° 30: Registro de mapeo geomecánico Nv. 3220.

5.1.7.2.4. Esfuerzos In Situ

Nivel 3220, labores conexas al pique principal MARSA, en su cota actual está con un encampame promedio de **381.452 m**. El peso de la columna vertical de roca que descansa sobre este elemento es el producto de la profundidad y la unidad de peso de la masa de roca suprayacente (típicamente alrededor de 2,7 toneladas/m³ o 0.027 MN/m³). Por lo tanto, la tensión vertical sobre el elemento es **1029.92 ton/m² o 10.30 MPa**.

Para estimar la magnitud del esfuerzo vertical se ha utilizado el criterio de carga litostática de Hoek & Brown (1978), en el cual, el esfuerzo vertical es calculado a partir del peso unitario de la roca sobre-yacente y la profundidad debajo de la superficie. Para estimar el esfuerzo horizontal, es necesario conocer la constante K (factor de distribución de esfuerzos). Dadas las mediciones de esfuerzo in situ realizadas en MARSA el valor de k está determinado por $K = 0.5 + (1500/z)$ y el valor del esfuerzo vertical para el criterio de carga litostática: $\sigma_v = 0.027 \cdot 0.13 \cdot z$, z: profundidad.

De lo expuesto anteriormente, para tener un valor aproximado de los esfuerzos presentes se tiene una profundidad promedio en el punto motivo de estudio de 381.452 m. se ha definido un coeficiente de distribución de esfuerzos: $k = 4.44$, obteniéndose un esfuerzo vertical de **1.34 MPa** y un esfuerzo horizontal de **5.93 MPa**.

5.1.7.3. Análisis de Estabilidad

5.1.7.3.1. Diseño por métodos numéricos

El análisis de estabilidad se ha realizado utilizando el programa PHASE2 versión 8.0 de Rocscience Inc. que analiza los esfuerzos y

deformaciones utilizando el método de elementos finitos.

Se han realizado los análisis de Strength Factor (equivalente a Factor de Seguridad) dicho factor de seguridad es calculado por el cociente entre la resistencia del macizo rocoso y los esfuerzos inducidos generados producto de la excavación, un factor de seguridad por encima de 1 se considera estable, igual a 1 se considera como zona de equilibrio y por debajo de 1 se considera como zona plástica, tiene una probabilidad de falla de aproximadamente el 50%.

5.1.7.3.1.1. Resistencia de la Roca intacta y macizo rocoso

Para estimar la resistencia compresiva de la roca intacta sin confinar, así como otras propiedades mecánicas, físicas y elásticas; se usaron los resultados obtenidos por el laboratorio de mecánica de rocas de la UNI" Universidad Nacional de Ingeniera". Dichos resultados se consignan en el cuadro N° 31

| Litología | σ_c (MPa) | σ_t (MPa) | γ (MN/m ³) | m_i | Ang. Fric. Interno (°) | Cohesion (Mpa) | Emi (GPa) | Poisson ' ν ' |
|--------------|---------------------|---------------------|----------------------------------|-------|---------------------------|-------------------|--------------|----------------------|
| Granodiorita | 120.19 | 7.01 | 0.027 | 26.23 | 56.03 | 19.68 | 11.87 | 0.3 |
| Granito | 88.31 | 4.39 | 0.027 | 15.3 | 48.45 | 17.82 | 8.93 | 0.31 |
| Monzogranito | 64.07 | 4.57 | 0.027 | 16.64 | 49.31 | 16.38 | 11.14 | 0.3 |
| Diorita | 93.96 | 6.51 | 0.027 | 19.35 | 52.08 | 19.82 | 10.25 | 0.30 |
| Porfido | 77.52 | 4.48 | 0.027 | 16.37 | 49.94 | 20.87 | 8.85 | 0.31 |
| Filita | 40.91 | 3.22 | 0.027 | 5.48 | 32.15 | 13.29 | 4.79 | 0.31 |
| Granito II | 105.13 | 7.41 | 0.027 | 13.53 | 47.09 | 20.07 | 7.55 | 0.31 |
| Tonalita | 38.27 | 2.68 | 0.027 | 8.06 | 39.14 | 9.07 | 4.97 | 0.32 |

Cuadro N° 31: Propiedades mecánicas, físicas y elásticas a nivel de roca intacta.

Para estimar los parámetros de resistencia de la masa rocosa se usó el criterio generalizado de rotura de Hoek et al. (2004), se presentan los valores de los resultados obtenidos sobre las propiedades de resistencia de la masa rocosa.

| DATOS DE CAMPO | | | | | | |
|----------------|-------|------|-----|-----------------|-----|-----------|
| Fecha | Mes | Año | GSI | Profundidad (m) | D | Litología |
| 01/01/2018 | ENERO | 2018 | 32 | 381 | 0.0 | Diorita |
| 01/01/2018 | ENERO | 2018 | 37 | 381 | 0.0 | Granito |

Cuadro N° 32: Datos para propiedades de resistencia de la masa rocosa

| DATOS PARA MODELAMIENTO | | | | | | | |
|-------------------------|---------|------|-------------|-------------|------|-----------------|-----------------|
| mb | s | a | $Emr (GPa)$ | $Emr (MPa)$ | k | $S3 \approx Sv$ | $S1 \approx Sh$ |
| 1.706 | 0.00052 | 0.52 | 3.44 | 3439.31 | 4.44 | 1.34 | 5.93 |
| 1.613 | 0.00091 | 0.51 | 4.45 | 4446.36 | 4.44 | 1.34 | 5.93 |

Cuadro N° 33: Resultados obtenidos - propiedades de resistencia de la masa rocosa

Dónde: σ_{mr} , resistencia del macizo rocoso; Emr , módulo de deformación del macizo rocoso; mb , s y a parámetros del criterio de rotura de Hoek. Los valores obtenidos nos permitirán realizar los análisis tenso-deformacionales del macizo rocoso.

5.1.7.3.1.2. Resultados de los Modelamiento Numéricos

A fin de determinar el grado de estabilidad Nivel 3220, labores conexas al pique principal MARSA, a continuación, se muestra los resultados obtenidos de los modelamientos, considerando las propiedades geomecánicas para cada dominio litológico y se presentan en los siguientes Figuras N° 06 y N° 07.

En las siguientes figuras se muestran “vistas gráficas” como resultados del análisis de estabilidad debido a esfuerzos producidos en el Nivel 3220, pique principal MARSA. En estos resultados se observa la distribución del factor de seguridad expresado como un cociente entre la resistencia y el esfuerzo inducido correspondiente a cada una de las faces, los cuales se expresan en rangos de colores que van desde el rojo al celeste.

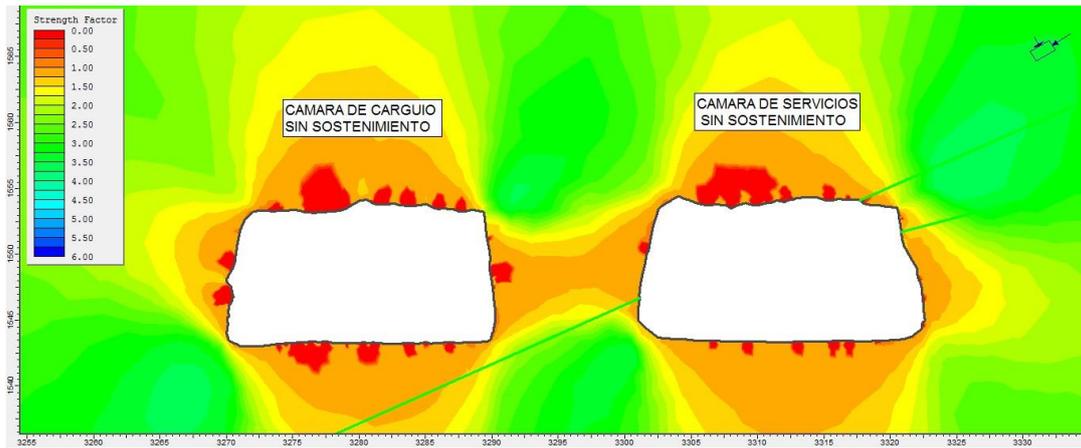


Figura N° 06: Modelamiento de la excavación de las cámaras de Winche y servicios sin sostenimiento, Nv.3220.

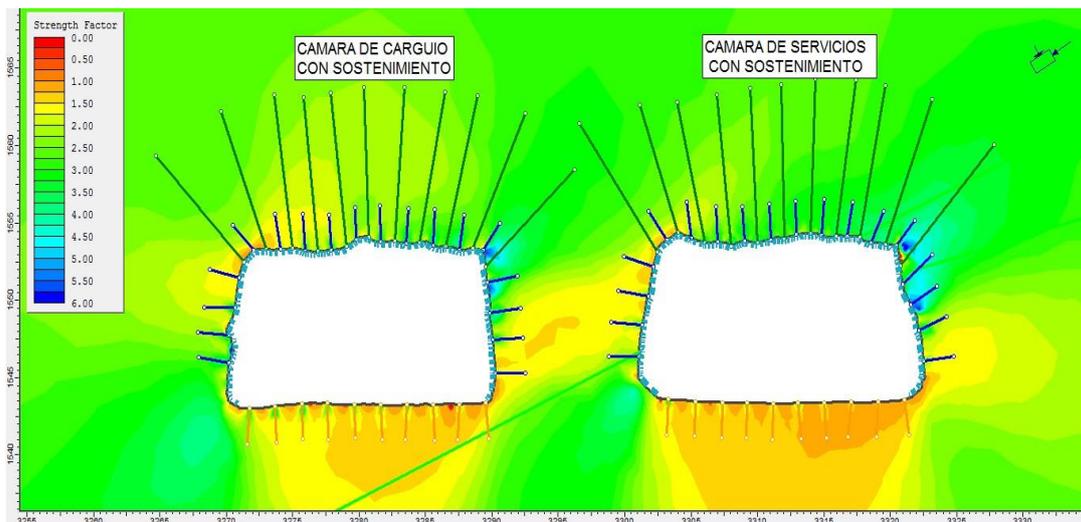


Figura N° 07: Modelamiento de la excavación de las cámaras de Winche y servicios con sostenimiento, Nv.3220.

5.1.8. Resultados de análisis de estabilidad debido a esfuerzos del pique marsa.

De acuerdo al tipo de sostenimiento en el Pique Marsa, con pernos helicoidales e inyección de lechada de cemento y anillo de concreto armado de espesor 30.00 cm. (≈ 0.30 m.), se han realizado un análisis geomecánicos del nivel 2520 (mediante el programa “PHASE”), desde un antes y después del sostenimiento, en el cual se puede mostrar los siguientes resultados de estabilidad por medio del factor de seguridad.

5.1.8.1. Curva de convergencia de sostenimiento

Para el presente cálculo de estabilidad del pique, también se ha propuesto la presentación de la curva de convergencia de sostenimiento, el cual permite evaluar, a partir de un modelo plano de deformaciones, lo que ocurre en el material circundante a la excavación, puesto que al mostrarse la roca inestable se han planteado construir sostenimiento de concreto, con las especificaciones mencionadas anteriormente, del cual se han obtenido resultados de presión descendente uniforme de la pared de zona elástica y presiones descendentes de la zona plástica que tienden a anularse, en el nivel 2520. Los cuales muestran que el pique se muestra estable.

A continuación, se muestran las figuras como resultados de cálculos de esfuerzos radiales y tangenciales, seguidamente se muestran además las figuras de la curva de convergencia de sostenimiento por niveles.

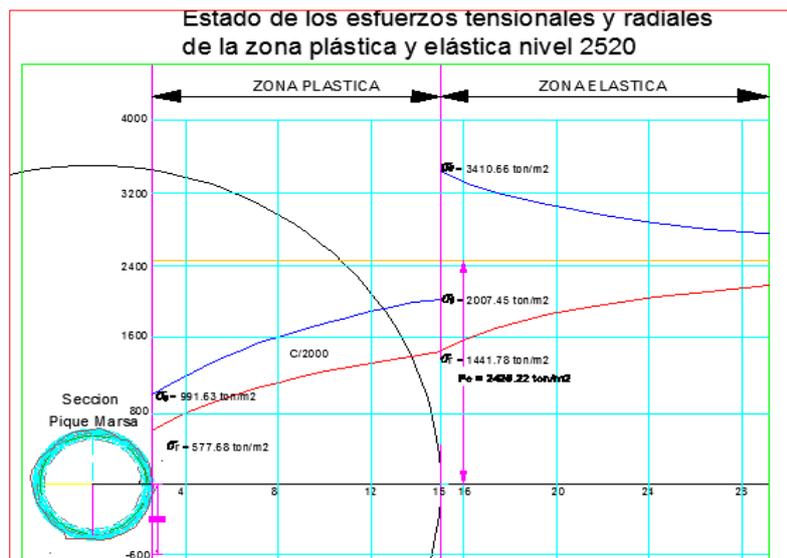


Figura N° 08: Variación de los esfuerzos radiales y tangenciales en la zona plástica y en la zona elástica, en el cual se ha considerado la presión interna $P_i=577.68 \text{ ton/m}^2$, del nivel 3175.

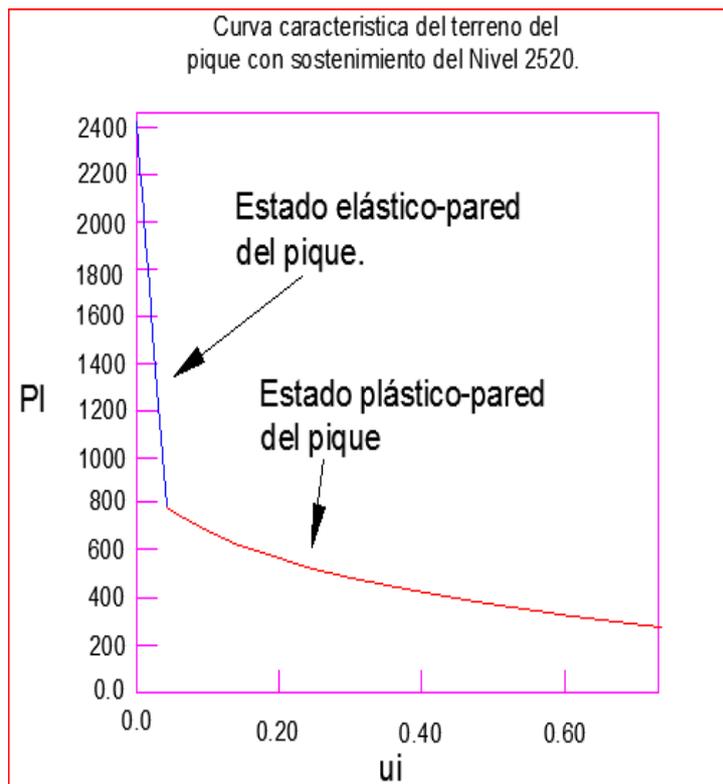


Figura N° 09: Curva de sostenimiento del pique que tienden a anularse "Pi."

5.1.8.2. Estudio Geomecánico

5.1.8.2.1. Caracterización Geomecánica

Para obtener valores numéricos de la calidad del macizo rocoso se ha usado el sistema de Valoración RMR (Rock Mass Rating, Bieniawski 1989).

Cabe resaltar que, para la zona de estudio, La Zonificación Geomecánica se realizó de acuerdo al dominio litológico presente en el eje del pique y su relación con su clasificación geomecánica, en tanto los resultados estimados son el promedio general para cada tipo de roca, con fines de ingresar la información para la simulación numérica.

5.1.8.2.2. Clasificaciones Geomecánicas

De acuerdo a la clasificación geomecánica RMR89 Básico, el valor del RMR= 31-34. De acuerdo al GSI está catalogada como un macizo

rocoso Muy Fracturada/Regular (MF/R), La Diorita tiene un RMR de 31 roca tipo Mala IV-A; la tonalita tiene un RMR de 34 roca tipo Mala IV-A. Cabe resaltar que los resultados han sido considerados en base al compósito para el respectivo análisis de esfuerzo-deformación en las secciones geológicas. Esto es debido a la Influencia de la Falla Chilcas 2, Traza de Falla chilcas2, Veta Valeria y Veta Cachaco. De acuerdo al avance de la excavación ocasionará alteración y perturbación.

| CLASIFICACION GEOMECANICA RMR - DIORITA | | | |
|--|--------------|--------------|---|
| PARAMETRO | RANGO | VALOR | |
| RESISTENCIA | 25 - 50 MPa | 4 | |
| RQD | 25 - 50% | 8 | |
| ESPACIAMIENTO | 60 - 200 mm | 8 | |
| CONDICION DE DISCONTINUIDADES | PERSISTENCIA | 10 - 20 m | 1 |
| | APERTURA | 0.1 - 1.0 mm | 4 |
| | RUGOSIDAD | Ligeramente | 3 |
| | RELLENO | Duro > 5mm | 2 |
| | ALTERACION | Ligeramente | 3 |
| PRESENCIA DE AGUA | Húmedo | 4 | |
| AJUSTE POR LA ORIENTACIÓN | MF - MD | 6 | |
| RMR Basico | | 31 | |

Cuadro N° 34: Valor promedio de la calidad geomecánica para la Diorita.

| CLASIFICACION GEOMECANICA RMR - TONALITA | | | |
|---|--------------|--------------|---|
| PARAMETRO | RANGO | VALOR | |
| RESISTENCIA | 25 - 50 MPa | 4 | |
| RQD | 25 - 50% | 8 | |
| ESPACIAMIENTO | 60 - 200 mm | 8 | |
| CONDICION DE DISCONTINUIDADES | PERSISTENCIA | 10 - 20 m | 2 |
| | APERTURA | 0.1 - 1.0 mm | 5 |
| | RUGOSIDAD | Lisa | 3 |
| | RELLENO | Blando < 5mm | 4 |
| | ALTERACION | Ligeramente | 3 |
| PRESENCIA DE AGUA | Húmedo | 7 | |
| AJUSTE POR LA ORIENTACIÓN | MF - MD | 10 | |
| RMR Basico | | 34 | |

Cuadro N° 35: Valor promedio de la calidad geomecánica para el Granito.

5.1.8.2.3. Esfuerzos In Situ

En eje del pique principal MARSA (nivel 2520), en su cota actual está con un encampane promedio de **1079.758 m**. El peso de la columna vertical de roca que descansa sobre este elemento es el producto de la profundidad y la unidad de peso de la masa de roca suprayacente (típicamente alrededor de 2,7 toneladas/m³ o 0.027 MN/m³). Por lo tanto, la tensión vertical sobre el elemento es **2915.347 ton/m² o 29.15 MPa**.

Para estimar la magnitud del esfuerzo vertical se ha utilizado el criterio de carga litostática de Hoek & Brown (1978), en el cual, el esfuerzo vertical es calculado a partir del peso unitario de la roca sobre-yacente y la profundidad debajo de la superficie. Para estimar el esfuerzo horizontal, es necesario conocer la constante K (factor de distribución de esfuerzos). Dadas las mediciones de esfuerzo in situ realizadas en MARSA el valor de k está determinado por $K = 0.5 + (1500/z)$ y el valor del esfuerzo vertical para el criterio de carga litostática: $\sigma_v = 0.027 \cdot 0.13 \cdot z$, z: profundidad.

Se ha definido un coeficiente de distribución de esfuerzos: $k = 1.89$, obteniéndose un esfuerzo vertical de **3.79 MPa** y un esfuerzo horizontal de **7.16 MPa**.

5.1.8.3. Análisis de Estabilidad

5.1.8.3.1. Diseño por métodos numéricos

El análisis de estabilidad se ha realizado utilizando el programa PHASE2 versión 8.0 de Rocscience Inc. que analiza los esfuerzos y deformaciones utilizando el método de elementos finitos.

Se han realizado los análisis de Strength Factor (equivalente a Factor de Seguridad) dicho factor de seguridad es calculado por el cociente entre la

resistencia del macizo rocoso y los esfuerzos inducidos generados producto de la excavación, un factor de seguridad por encima de 1 se considera estable, igual a 1 se considera como zona de equilibrio y por debajo de 1 se considera como zona plástica, tiene una probabilidad de falla de aproximadamente el 50%.

5.1.8.3.1.1. Resistencia de la Roca intacta y macizo rocoso

Para estimar la resistencia compresiva de la roca intacta sin confinar, así como otras propiedades mecánicas, físicas y elásticas; se usaron los resultados obtenidos por el laboratorio de mecánica de rocas de la UNI” Universidad Nacional de Ingeniería”, (ver Cuadro N°36).

| Litología | σ_c (MPa) | σ_t (MPa) | γ (MN/m ³) | m_i | Ang. Fric. Interno (°) | Cohesion (Mpa) | Emi (GPa) | Poisson 'v' |
|--------------|---------------------|---------------------|----------------------------------|-------|---------------------------|-------------------|--------------|----------------|
| Granodiorita | 120.19 | 7.01 | 0.027 | 26.23 | 56.03 | 19.68 | 11.87 | 0.3 |
| Granito | 88.31 | 4.39 | 0.027 | 15.3 | 48.45 | 17.82 | 8.93 | 0.31 |
| Monzogranito | 64.07 | 4.57 | 0.027 | 16.64 | 49.31 | 16.38 | 11.14 | 0.3 |
| Diorita | 93.96 | 6.51 | 0.027 | 19.35 | 52.08 | 19.82 | 10.25 | 0.30 |
| Porfido | 77.52 | 4.48 | 0.027 | 16.37 | 49.94 | 20.87 | 8.85 | 0.31 |
| Filita | 40.91 | 3.22 | 0.027 | 5.48 | 32.15 | 13.29 | 4.79 | 0.31 |
| Granito II | 105.13 | 7.41 | 0.027 | 13.53 | 47.09 | 20.07 | 7.55 | 0.31 |
| Tonalita | 38.27 | 2.68 | 0.027 | 8.06 | 39.14 | 9.07 | 4.97 | 0.32 |

Cuadro N° 36: Propiedades mecánicas, físicas y elásticas a nivel de roca intacta.

Para estimar los parámetros de resistencia de la masa rocosa se usó el criterio generalizado de rotura de Hoek et al. (2004), se presentan los valores de los resultados obtenidos sobre las propiedades de resistencia de la masa rocosa.

| DATOS DE CAMPO | | | | | | |
|----------------|-------|------|-----|--------------------|-----|-----------|
| Fecha | Mes | Año | GSI | Profundidad (m) | D | Litología |
| 01/01/2018 | ENERO | 2018 | 31 | 1080 | 0.0 | Diorita |
| 01/01/2018 | ENERO | 2018 | 34 | 1080 | 0.0 | Tonalita |

Cuadro N° 37: Datos para propiedades de resistencia de la masa rocosa.

| DATOS PARA MODELAMIENTO | | | | | | | |
|-------------------------|---------|------|-------------|-------------|------|-----------------|-----------------|
| mb | s | a | Emr (GPa) | Emr (MPa) | k | $S3 \approx Sv$ | $S1 \approx Sh$ |
| 1.646 | 0.00047 | 0.52 | 3.25 | 3246.92 | 1.89 | 3.79 | 7.16 |
| 0.763 | 0.00065 | 0.52 | 2.46 | 2462.80 | 1.89 | 3.79 | 7.16 |

Cuadro N° 38: Resultados obtenidos - propiedades de resistencia de la masa rocosa

Dónde: σ_{mr} , resistencia del macizo rocoso; Emr , módulo de deformación del macizo rocoso; mb , s y a parámetros del criterio de rotura de Hoek. Los valores obtenidos nos permitirán realizar los análisis tenso-deformacionales del macizo rocoso.

5.1.8.3.1.2. Resultados de los Modelamiento Numéricos

A fin de determinar el grado de estabilidad en el eje del pique Marsa, cota Nivel 2520, a continuación, se muestra los resultados obtenidos de los modelamientos, considerando las propiedades geomecánicas para cada dominio litológico y se presentan en los siguientes Figuras N° 10 y N° 11.

NIVEL 2520:

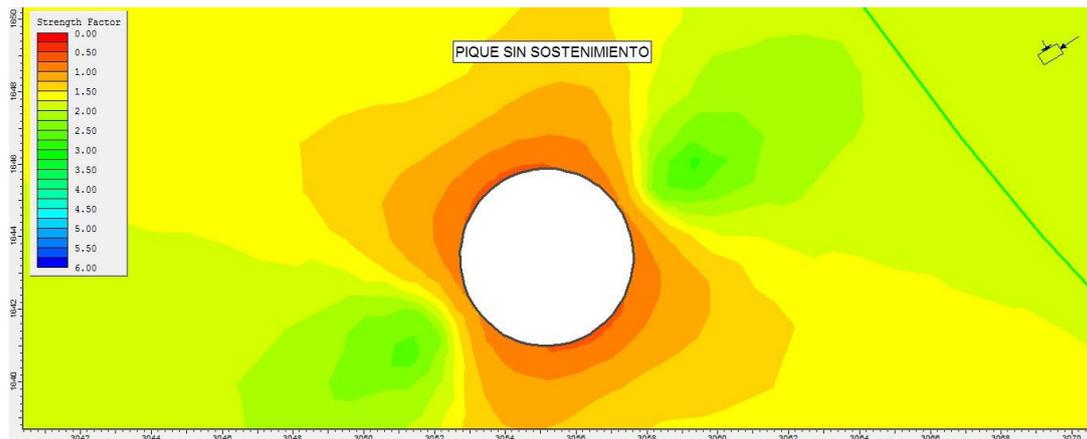


Figura N° 10: Modelamiento de la excavación del pique sin sostenimiento, Nv.2520

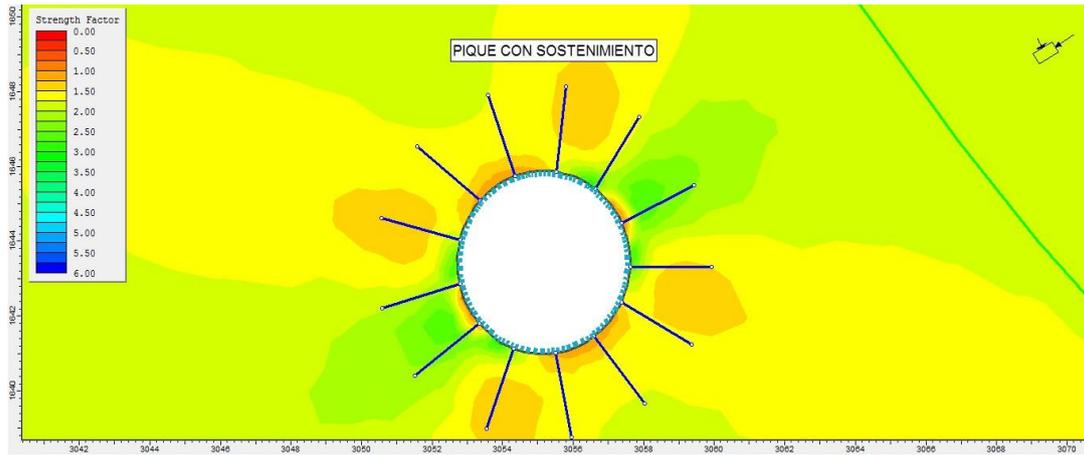


Figura N° 11: Modelamiento de la excavación del pique con sostenimiento, Nv.2520

5.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

5.2.1. Consideraciones del tipo de sostenimiento utilizado en el pique marsa

En base a las características geológicas, el arreglo estructural, la caracterización geomecánica, la estimación de los parámetros de resistencia a nivel de roca intacta, discontinuidades y masa rocosa, la evaluación de estado tensional, la condición de agua subterránea que presenta la masa rocosa en zonas de interés y considerando la experiencia con resultados favorables en minas de similares condiciones, se tiene que los TIPOS DE SOSTENIMIENTO QUE SE APLICARON PARA EL CONTROL DEL TERRENO fueron aquellos que se encuentran precisados en la “CARTILLA GEOMECÁNICA_MINERA MARSAS” adecuada para cada tipo de roca. Es necesario precisar que los tipos de sostenimiento deben ser aplicados en función al tipo de excavación (permanente – caso de Pique Marsa por el tiempo operacional del Pique), en el sentido expreso se debe emplear sostenimientos con barras helicoidales en cámaras, los diámetros de taladros y diámetros de elementos de sostenimiento tienen

que cumplir requisitos mínimos para asegurar su funcionalidad, no se pueden emplear cartuchos de cemento para instalar barras helicoidales aun cuando estas se combinen con resinas debido a la presencia de agua, usar malla electrosoldada con abertura necesaria para el lanzado de Shotcrete considerando que el Shotcrete debe cubrir en su totalidad la malla electrosoldada, apertura necesaria para el empernado, reforzar el Shotcrete con fibra de acero (DRAMIX), en las intersecciones es necesario desfasar y/o reforzar las excavaciones de mayor y menor altura (Intersección de cámaras y accesos) ya que incrementa la densidad del sostenimiento en intersecciones.

5.2.2. Sostenimiento utilizado en el pique marsa

5.2.2.1. Consideraciones técnicas en la aplicación del sostenimiento

Los tipos de sostenimiento aplicados debido a las condiciones geomecánicas que presenta la masa rocosa del Pique Marsa en sus distintos dominios geomecánicos son:

- ✓ Concreto lanzado a presión (Shotcrete $f'c:240$ Kg/cm² en espesores de 1.5", 2", 2.5", 3" y 4", con refuerzo de fibra de acero (DRAMIX) para pernos + Shotcrete, para pernos + Shotcrete de 3" +malla).
- ✓ Concreto armado – Hormigón (Anillo de Concreto, a lo largo del eje del Pique Marsa).
- ✓ Pernos helicoidales cementados de 6 pies (hastiales de la cámara) y 8 pies (corona de la cámara) con resina de fragua rápida y Cemex, así mismo se empleó en algunos casos cartuchos de cemento.

- ✓ Pernos de Fricción (Split set) de 5 pies, 4 pies y 1 pie, instalados a una distancia de 1.5 m x 1.5 m. utilizados para el sostenimiento del Pique Marsa, siendo reforzados en sus tramos más críticos con Shotcrete de 2" de espesor + malla + pernos helicoidales.
- ✓ Malla electrosoldada no galvanizada de cuadrícula 4"x4" abertura para lazando de Shotcrete (alambre N°08).
- ✓ Marcos metálicos (cimbras) tipo Omega, completamente elementadas, utilizados mayormente en los accesos principales al Pique Marsa.
- ✓ Arcos Noruegos, sistema de refuerzo y sostenimiento que consiste en armar una Estructura en Arco de Concreto Armado, con fierros corrugados, pernos de anclaje y Shotcrete; utilizado en las cámaras, los inclinados y accesos principales al Pique Marsa.

Estos arcos consisten de 4 varillas de fierro corrugado de ½", los cuales se amarran a los pernos de anclaje con el alambre N° 16 a través de los Cubos de 20x20x15 cm. de Fierro de ¾ ". Se coloca 1 cubo por cada perno instalado, y como material de ajuste a la roca se utilizan las placas de los pernos. Estas varillas están colocan desde el piso de la excavación rodeándola por completo. En zonas donde la excavación es muy irregular, se colocaron Etribos de fierro de ¼" a los fierros corrugados de ½" para darles una forma uniforme. Una vez que se han colocado todos estos elementos en conjunto se procede al lanzado del Shotcrete, el cual debe cubrir por completo a los fierros corrugados, los cuales deben quedar no visibles y dar la apariencia de una viga de concreto reforzada con fierros.

La calidad del macizo rocoso donde se aplica los arcos noruegos se encuentra en un rango de RMR de 15-30, que implica un tipo V (Muy Mala) y un tipo IV-B (Mala B).

- ✓ Cable BOLTING de “trenzado simple” conformado por 7 alambres, que en conjunto tienen 3/4” de diámetro, con una capacidad de anclaje de 25 Ton. Usados en la longitud de rango de 5 m. (hastiales) a 10 m (corona de la cámara), para un mayor sostenimiento de las cámaras.
- ✓ La madera por cuestiones operacionales se empleó como elemento de soporte temporal en el Pique Marsa.

5.2.3. Condiciones geomecánicas de zonas anómalas post-sostenimiento

5.2.3.1. Condición actual del pique marsa

El Proyecto Pique Marsa, comprende una excavación 737 metros de profundidad, de sección circular con diámetro de 4.8 metros y diámetro útil de 4.2 metros por revestimiento (sostenimiento con pernos helicoidales y anillos de concreto armado), compuesto por la división en sección vertical de un castillo con altura 65.0 metros, el pique propiamente dicho con una longitud de 802.0 metros y la zona de carguío con longitud de 63.0 metros, siendo el tramo del pique propiamente dicho, subdividido por estaciones. Con respecto al área del castillo, está comprendido por dos compartimentos de acumulación de mineral por izaje del mismo de 3,600 TM/día (entre mineral y desmonte), unidos cada una por cámaras de carguío de mineral, y otro compartimento de servicios que comprende una

jaula de tres pisos con capacidad para 54 personas, (ver Anexo N°07).

Las rocas en el cual se ha realizado la excavación del pique, se hallan intensamente fracturadas debido a los múltiples eventos tectónicos según la dirección de los esfuerzos, dando como resultado rocas de tipos III (Regular A y B), IV (Mala A y B) y V (Muy Mala).

Con respecto al sistema de sostenimiento se ha empleado pernos helicoidales con inyección de resina y Cemex en las dos excavaciones inclinadas (acumulación de mineral) y los inclinados de que corresponde a las cámaras de servicios e izaje de mineral, en ambos casos revestidos con Shotcrete. En el sostenimiento de las cámaras de Winche, así como de las estaciones respectivas se han empleado pernos helicoidales con inyección de resinas y cemex, Split set y Cable Bolting con inyección de cemento. En los accesos a dichas cámaras y estaciones, según el tipo de rocas se han adicionado mallas de acero en el intermedio del sostenimiento, arcos noruegos con Shotcrete, y en el sostenimiento del Pique se han utilizado Split set, pernos helicoidales y anillos de concreto armado.

La evaluación de las condiciones geomecánicas del Pique tiene como objetivo fundamental asegurar la estabilidad del pique y de las excavaciones asociadas al Proyecto Pique Marsa.

5.2.4. Factores de seguridad del sostenimiento instalado

El factor clásico utilizado en el diseño de estructuras de ingeniería es considera en relación entre la resistencia o soporte a la carga del sistema y la demanda o carga calculada actuando sobre el sistema. El factor de seguridad (FS) es una medición determinística de la relación entre la fuerza

resistente (capacidad) y las fuerzas actuantes (demanda)

Factor de seguridad de una estructura se define como:

$$FS = \frac{C}{D}$$

Donde:

FS = Factor de Seguridad

C = Capacidad de soporte de carga del sistema

D = Fuerza actuante o demanda sobre el sistema

El factor de seguridad mínimo para el análisis de estabilidad debido a esfuerzos será mediante cálculos numéricos y se empleará el criterio de estabilidad ($F.S > 1.1$), que simula escenarios estables.

Existen 3 tipos de escenarios:

- Cuando $C > D$, luego $C/D > F > 1$ el sistema es estable.
- Cuando $C < D$, luego $C/D > F < 1$ el sistema es inestable.
- Cuando $C = D$, luego $C/D > F = 1$ el sistema está en equilibrio.

5.2.4.1. Factor de seguridad del anillo de concreto del pique

Para hallar el factor de seguridad del anillo del pique se ha utilizado la ecuación de Talore el cual es la siguiente:

$$PI = \left\{ \frac{c}{\tan\phi} + \sigma H(1 - \sin\phi) \right\} \left(\frac{r}{r+1} \right)^{(\tan\beta - 1)} - \frac{c}{\tan\phi} \dots \dots \dots \text{Ec. 8}$$

Donde:

PI = Esfuerzo radial aplicado sobre el revestimiento

C = Cohesión

ϕ = Angulo de fricción

σH = Esfuerzo de campo horizontal

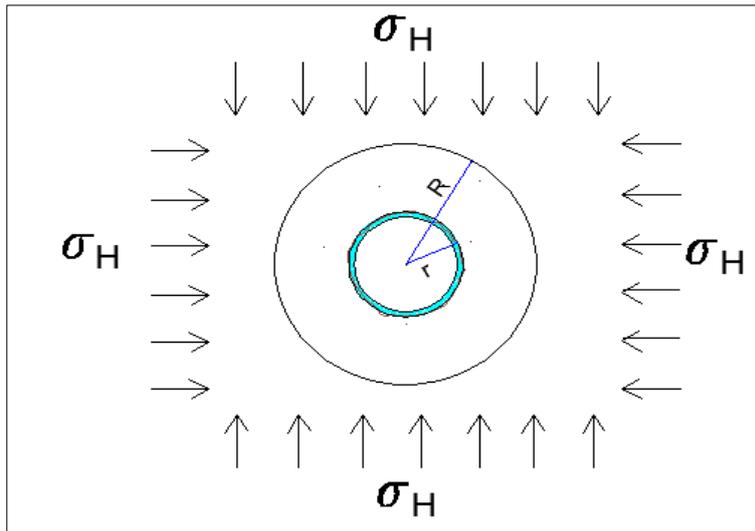


Figura N° 12: Vista en planta del pique revestido.

$$\tan \beta = \frac{1 + \text{Sen } \phi}{1 - \text{Sen } \phi} \dots \text{Ec. 9}$$

β = Coeficiente de presión pasiva del terreno.

$$I = \left\{ \sqrt{\frac{\sigma_H (\tan \beta + 1)}{\sigma_H (\tan \beta - 1)}} - 1 \right\} * r \dots \text{Ec. 10}$$

Donde:

I = Espesor o extensión de la zona relajada

r = Radio de excavación

σ_c = Resistencia a compresión del macizo rocoso

$$F.S. = \frac{f'c - \frac{f'c}{\left(\frac{t}{a} + 1\right)^2}}{2\pi i} \dots \text{Ec. 11}$$

$f'c$ = Resistencia de diseño del concreto

a = Radio interior del pozo revestido

t = Espesor del revestimiento

Pi = Presión sobre el revestimiento.

Siendo:

Pi = 577.68 ton/m² y

F.S. = 1.35

5.2.4.2. Factor de seguridad de perno helicoidal con inyección de lechada

$$P = R_c \times S = t \times U \times L \dots \text{Ec. 13}$$

$$S = \tau \times d^2/4 \dots\dots\dots \text{Ec. 14}$$

$$U = \tau \times d \dots\dots\dots \text{Ec. 15}$$

$$t = 0.25 \times R_c \times d/L \dots\dots\dots \text{Ec. 16}$$

Donde:

- P = Capacidad de apoyo del perno (kg)
- Rc = Resistencia a la tracción mínima del perno = 6330 kg/cm²
- S = Área del perno (cm²)
- d = Diámetro del perno (cm.)
- t = Adherencia entre el perno y el cemento (kg/cm²)
- U = Circunferencia del perno (cm)
- L = Longitud del perno (cm)

Cálculo de soporte (resistencia) del perno helicoidal cementado de $\phi = 7/8''$
(2.2cm), longitud 2.40m. (8.0 pies)

$$t = 0.25 \times R_c \times d/L \dots\dots\dots \text{Ec. 17}$$

t = 1.42 Mpa

$$S = \tau \times d^2/4 = \tau \times r^2 \dots\dots\dots \text{Ec. 18}$$

S= 3.8 cm².

$$U = \tau \times d \dots\dots\dots \text{Ec. 19}$$

U= 6.91 cm.

$$P = t \times U \times L \dots\dots\dots \text{Ec. 20}$$

P= 24 TN (234.6 KN)

Por tanto, el soporte de una barra helicoidal = 24 TN = 235 KN.

$$H_r = B \left(\frac{100 - RMR}{100} \right) \dots\dots\dots \text{Ec. 21}$$

Capacidad del perno cementado

$$T = \gamma \times h \times S^2 \dots\dots\dots \text{Ec. 22}$$

Donde:

- T = Peso del bloque muerto
- γ = Peso unitario de la roca
- S = espaciamiento entre pernos (longitudinal y transversal)

Para la roca granito-granodiorita

$$T = \gamma \times h \times S^2$$

T = 14.54 TN (peso de bloque)

Factor de seguridad

$$F.S. = P/T$$

P = Capacidad de apoyo del perno

T = peso del bloque muerto

$$F.S. = P/T$$

$$F.S. = 24 \text{ TN} / 14.54 \text{ TN} = 1.65$$

5.2.4.3. Factor de seguridad del sostenimiento con Shotcrete

$$F.S. = \frac{Ps}{Pr}$$

Donde:

Ps = Presión de soporte

Pr = Presión de roca

$$P.s. = \frac{t(\tau c)}{r}$$

Donde:

t = espesor

τc = resistencia al esfuerzo cortante del concreto.

$$\tau c = 0.2f'c$$

f'c = resistencia a la compresión del concreto

r = radio del túnel

$$P_r = \gamma_r B \left(\frac{100 - RMR}{100} \right) \dots\dots\dots \text{Ec. 12}$$

$$F.S. = 2.29$$

5.2.4.4. Factor de seguridad del cable bolting con inyección de lechada.

Cálculo de la resistencia tensiva en las interfaces Cemento-Cable y Roca-Cemento

- Peso unitario del cable 1.10 kg/m
- Longitud del cable 10 m.

- Diámetro del cable 5/8" x 7 Hebras

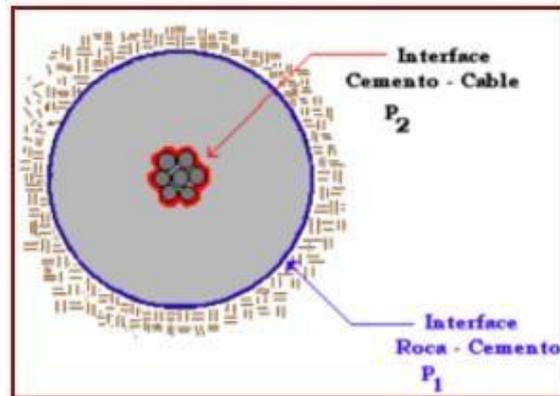


Figura N° 13: Ø de perforación Ø del cable bolting

Ecuación:

$$P = 0,08 D. L. S.$$

Ec. 23

Donde:

P = Resistencia tensiva al deslizamiento.

D1= diámetro de taladro (Interface roca cemento)

D2=diámetro del cable (Interface cemento cable) L = Longitud del cable

S = 1/10(σ_c) = 42 MPa

σ_c = Resistencia a compresión de la pasta de cemento

Aplicando la Ecuación anterior se tiene:

$$P1 = 0.08 * 0.0508m * 10m * 42 \text{ MPa}$$

$$P1 = 0.04064m^2 * 42MN/m^2$$

P1=1.71MN (Resistencia tensiva al deslizamiento roca-cemento)

$$P2 = 0.08 * 0.0159m * 10m * 42 \text{ MPa}$$

$$P2 = 0.0127m^2 * 42MN/m^2$$

P2=0.533MN = 54.38 TN. (Resistencia tensiva al deslizamiento cable cemento)

Por tanto:

La resistencia a tracción del cable es:

$$\sigma_t = \frac{54.38 \text{ ton}}{10 \text{ m}} = 5.44 \text{ ton/m}$$

Capacidad del cable cementado

$$T = \gamma \times h \times S^2$$

$$T = 1.6875 \text{ gr/cm}^3 \times 10\text{m} \times (1.22\text{m})^2$$

$$T = 24.3 \text{ ton}$$

Donde:

T = Peso del bloque muerto

γ = Peso unitario de la roca

S = espaciamiento entre cables (longitudinal y transversal).

$$F.S. = \frac{P^2}{T}$$

$$F.S. = \frac{54.38 \text{ ton}}{24.3 \text{ ton}} = 2.24$$

| |
|--------------------|
| F.S. = 2.24 |
|--------------------|

5.2.4.5. Factor de seguridad de arcos cedentes

El sostenimiento con arcos cedentes se ha observado en el acceso a la cámara del pique 2520 en el cual el factor de seguridad se muestra en 1.37, a continuación, se muestra una breve explicación del cálculo.

$$|\sigma| = \frac{\text{Carga Normal}}{\text{Área de Sección}} + \frac{\text{Momento Máximo}}{\text{Modulo de la Sección}}$$

$$|\sigma| = \frac{q r}{F} + \frac{A (h' + \frac{0.5A}{q})}{W}$$

Donde:

$|\sigma|$ = Valor absoluto del esfuerzo (ton/m²)

F = Área de la sección del perfil (m²)

W = Módulo de sección del perfil (m³)

σ_{sf} = Esfuerzo permisible del acero en la mina

Esfuerzo de arcos cedentes

Distancia vertical (h') = 1.65

Longitud cedente = 0.15 m

Ancho de labor = 3.2 m

Radio (r) = 1.5 m

Distancia vertical (h') cedente = 1.5 m

Espaciamiento "a" = 1m

Factor de carga ∞ = 0.5

Densidad de roca γ = 2.5 ton/m³

qt = 4 ton/m

$A_y = B_y = 0.925183416$

Área de sección $F = 0.0037 \text{ m}^2$

Módulo de sección $W = 0.000094 \text{ m}^3$

Esfuerzo admisible = $15523.43724 \text{ ton/m}^2$

Esfuerzo de deformación = 24000 ton/m^2

F.S. = 1.37

Se realiza un resumen de factores de seguridad de los sostenimientos instalados, en tanto el valor mínimo referencial del “FACTOR DE SEGURIDAD” obtenido en múltiples análisis en condiciones similares al Pique Marsa, es un criterio válido para estimar la estabilidad de excavaciones subterráneas en la práctica ingenieril y con amplia aceptación en el medio local, (ver Cuadro N° 39).

| PROYECTO PIQUE MARSА | RESUMEN DE FACTORES DE SEGURIDAD DE LOS SOSTENIMIENTOS INSTALADOS | |
|--|---|---------------------|
| | TIPO DE SOSTENIMIENTO | FACTOR DE SEGURIDAD |
| | 1. FACTOR DE SEGURIDAD DEL ANILLO DE CONCRETO DEL PIQUE MARSА | F.S. = 1.35 |
| | 2. FACTOR DE SEGURIDAD DEL SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE DEL PIQUE MARSА | F.S. = 2.29 |
| | 3. FACTOR DE SEGURIDAD DE PERNO HELICOIDAL CON INYECCIÓN DE LECHADA DEL PIQUE MARSА | F.S. = 1.65 |
| | 4. FACTOR DE SEGURIDAD DEL CABLE BOLTING CON INYECCIÓN DE LECHADA DEL PIQUE MARSА | F.S. = 2.24 |
| 5. FACTOR DE SEGURIDAD DE ARCOS CEDENTES DEL PIQUE MARSА | F.S. = 1.37 | |

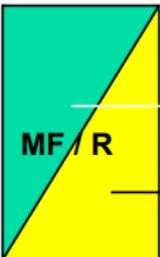
Cuadro N° 39: Factores de Seguridad de los Sostenimientos Instalados

CAPACIDAD DE LOS ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO

| Elemento de sostenimiento | Tipo de sostenimiento | Capacidad | Unid | Consideraciones |
|-------------------------------------|-----------------------|------------|--------------------|---|
| Barra Helicoidal (Perno de roca) | Activo | ≥ 6.6 | ton/m | |
| Perno Hydrabolt (Perno de fricción) | Activo | ≥ 9 | ton/m | Capacidad en toda su extensión |
| Perno Split Set (Perno de fricción) | Activo | ≥ 3.3 | ton/m | Diámetro de perforación de 36 mm \pm 8 mm |
| Cimbras Viga 4H13"4x4"x1/4" | Pasivo | 10.5 | ton/m ² | Sección 2.40 m x 2.70 m |
| Cimbras Omega Ω - N21 | Pasivo | 12 | ton/m ² | Sección 2.40 m x 2.70 m |
| Cimbras Omega Ω - N21 | Pasivo | 7 | ton/m ² | Sección 3.00 m x 300m |
| Cimbras Omega Ω -N29 | Pasivo | 14 | ton/m ² | Sección 3.00 m x 300m |
| Cuadros de madera | Pasivo | ≥ 10 | ton/m ² | Sección 2.40 m x 2.70 m |
| Arco Noruego | Activo/Pasivo | 5.8 | ton/m ² | |
| Anillado (Wood Crib) | Pasivo | 22 | ton/m ² | Altura máxima 3 veces el ancho de la base |
| Puntal de 20 cm x 1.50 m | Pasivo | 30.5 | ton | Resistencia promedio 110 Kg/cm ² |
| Puntal de 15 cm x 1.50 m | Pasivo | 16.5 | ton | Resistencia promedio 110 Kg/cm ² |
| Par de Puntal 20 cm x 2.50 m | Pasivo | 56 | ton | Cuando la altura es mayor a 2 m |
| Shotcrete | Pasivo | ≥ 280 | kg/cm ² | Resistencia a 28 días |
| Malla electro-soldada | Pasivo | 1000- 1300 | kg | En cuatro puntos de apoyo |

Cuadro N° 40: Capacidad de los Elementos de Sostenimiento.

En el cuadro N° 41, se observa el tipo de sostenimiento utilizado para las diferentes secciones. En base a la capacidad del elemento de sostenimiento. Como resultado se elaboró el cuadro anterior de Capacidad de los Elementos de Sostenimiento.

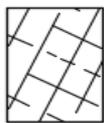
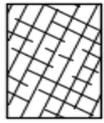
| FACTORES INFLUYENTES | | TABLA DE REFERENCIA PARA PUENTES ESTABLES EN LABORES TEMPORALES (F. S. Mayor o Igual a 1.3) | | | | |
|---|--|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------|
| | | TIPO ROCA | RMR | SECCIONES | | PUENTE |
| | | | | Lab. Sup. | Lab. Inf. | |
|  | MODO DE APLICACIÓN Franja superior: Sostenimiento sin factores influyentes Franja inferior: Sostenimiento con factores influyentes. | IV-A | 31-40 | $\leq 2.4 \times 2.7$ | $\leq 1.5 \times 1.8$ | 5.0 |
| | | | | $\leq 2.4 \times 2.7$ | $\leq 2.4 \times 2.7$ | 7.5 |
| | | | | 3.0 x 3.0 | 3.0 x 3.0 | 11.0 |
| | | III B | 41-50 | $\leq 2.4 \times 2.7$ | $\leq 2.4 \times 2.7$ | 3.0 |
| | | | | 3.0 x 3.0 | 3.0 x 3.0 | 5.0 |
| III A | 51-60 | $\leq 2.4 \times 2.7$ | $\leq 2.4 \times 2.7$ | 3.0 | | |
| | | 3.0 x 3.0 | 3.0 x 3.0 | 4.0 | | |
| II B | 61-70 | $\leq 2.4 \times 2.7$ | $\leq 2.4 \times 2.7$ | 3.0 | | |
| | | 3.0 x 3.0 | 3.0 x 3.0 | 4.0 | | |

Cuadro N° 41: Tabla Referencial para Labores Temporales.

En base al RMR, se calculó los puentes en sus Secciones, dependiendo del tipo de roca y su modo de aplicación, lo cual se encuentra completamente relacionado con la construcción del Pique Marsa.

Se elaboró el Cuadro o Cartilla Geomecánica según GSI, la misma que será utilizada, a lo largo de la ejecución del Proyecto Pique Marsa. Para las estructuras, en su condición superficial llamada también Resistencia. Y la recomendación de sostenimiento por tipo de roca y tipo de labor en Marsa. Relacionado este al Pique Principal Marsa, (ver Cuadro N° 42, y N° 43 y N° 44).

TABLA GEOMECANICA PARA CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

|  TABLA GEOMECAÁNICA SEGUN GSI | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|----|---|--|---|--|--|--|--|--|---|--|
| <p>Los códigos de letra que describen la estructura del macizo rocoso son referencialmente la combinación entre la estructura y la condición superficial y/o resistencia de éstas.</p> <p>Para estimar la clasificación del GSI, primero se tiene que determinarse el número de fracturas por metro cuadrado en el punto de mapeo, luego se determina la condición superficial de las estructuras contadas (Resistencia)</p> <p>Con esta información se hace la interpolación en esta tabla, por ejemplo, si se cuenta 21 fracturas/metro cuadrado y la condición de estas estructuras deja una huella superficial y no existe filtración de agua, entonces esta intersección clasificará al macizo rocoso como Intensamente Fracturada / Regular (IF/R) y el valor del RMR = 40 - 50 (color amarillo).</p> <p style="text-align: center;">  ESTRUCTURA  </p> | | CONDICION SUPERFICIAL (RESISTENCIA) | | SE ROMPE CON 3 O MAS GOLPES DE PICOTA O SE ASTILLA CON LA BARRETILLA MUY BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA) (MB) | | SE ROMPE CON 1 - 2 GOLPES DE PICOTA O SE FRACTURA CON LA BARRETILLA BUENA (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) (B) | | HUELLA SUPERFICIAL CON PICOTA / BARRETILLA REGULAR (MODERADAMENTE RESISTENTE, MODERADAMENTE ALTERADA) (R) | | HUELLA MAS DE 5mm CON PICOTA / BARRETILLA MALA (BLANDA, MUY ALTERADA) (M) | | SE DISGREGA CON LA PICOTA / BARRETILLA MUY MALA (EXTREMADAMENTE ALTERADA) (MM) | |
|  | LEVEMENTE FRACTURADA (LF) (2 - 6 Fract./ metro cuadrado). Tres a menos familias de discontinuidades muy espaciadas entre si. | RMR: 90 | 80 | | | | | | | | | | |
|  | MOD. FRACTURADA (F) (7 - 12 Fract./ metro cuadrado). Muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres familias de discontinuidades ortogonales. | 70 | 60 | | | | | | | | | | |
|  | MUY FRACTURADA (MF) (13 - 20 Fract./metro cuadrado) Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, formados por 4 ó más familia de discontinuidades. | 60 | 50 | | | | | | | | | | |
|  | INT. FRACTURADA (IF) (más de 20 Fract./metro cuadrado) Plegamiento y/o fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando bloques angulosos e irregulares. | 50 | 40 | | | | | | | | | | |
|  | TRITURADA O BRECHADA (T) Ligeramente trabada, masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados. | 40 | 30 | | | | | | | | | | |
| | | 30 | 20 | | | | | | | | | | |

TRABADA: Cuando existen fracturas que forman cuñas que se auto-sostienen entre si.
 ZONA A: No considerar la franja amarilla.
 ZONA B: No considerar la franja naranja

Cuadro N° 42: Tabla Geomecánica Según GSI.

| RECOMENDACIÓN DE SOSTENIMIENTO POR TIPO DE ROCA Y TIPO DE LABOR | | | | |
|---|--------------|-------|--|---|
| RMR | CALIDAD | TIPO | LABORES DE AVANCE | LABORES DE EXPLOTACION |
| 71 - 80 | BUENA "A" | II-A | Sin sostenimiento | Sin sostenimiento |
| 61 - 70 | BUENA "B" | II-B | Sostenimiento puntual | Tajo convencional: Puntales en línea de 18 cm a 23 cm de diámetro con Jack pot de Ø 183 mm puntualmente. Tajo mecanizado: Perno de fricción de 1.5 m puntualmente |
| 51 - 60 | REGULAR "A" | III-A | En labores menores o iguales a 3.5 m x 3.5 m: Pernos de roca y/o fricción de 1.5 m de largo, espaciados de 1.2 m a 1.5 m. En intersecciones usar Pernos de 2.1 m. En Subnivel o Chimenea sin sostenimiento. En labores mayores o iguales a 4.0 m x 4.0 m: Colocar pernos de roca sistemáticos de 2.4 m de largo, espaciados de 1.2 m a 1.5 m (Ocasionalmente malla electro-soldada). En intersecciones usar Pernos de 3.0 m. | Tajo convencional: Puntales en línea de 18 cm a 23 cm de diámetro con Jack pot de Ø 183 mm espaciados a 1.5 m x 1.5 m. Tajo mecanizado: Perno de fricción de 1.5 m espaciados de 1.0 m a 1.2 m. |
| 41 - 50 | REGULAR "B" | III-B | En labores menores o iguales a 3.5 m x 3.5 m: Pernos de roca y/o fricción de 1.5 m de largo, espaciados de 1.0 m a 1.2 m; más malla electro-soldada en corona (ocasionalmente malla electro-soldada hasta la gradiente). En intersecciones usar Pernos de 2.1 m. En Subnivel o Chimenea. Split set de 1.2 m y/o Puntal en línea de 18 cm a 23 cm de diámetro con Jack pot de Ø 183 mm espaciados a 1.50 m. En labores mayores o iguales a 4.0 m x 4.0 m: Perno de roca de 2.4 m de largo espaciados de 1.2 m a 1.5 m con malla electro-soldada. Reforzar con shotcrete de espesor mayor o igual a 5.00 cm (según evaluación geomecánica). En intersecciones usar Pernos de 3.0 m. | Tajo convencional: Puntales en línea de 18 cm a 23 cm de diámetro con Jack pot de Ø 183 mm espaciados de 1.2 a 1.4 m tanto en el eje vertical como horizontal. Tajo mecanizado: Colocar perno de fricción de 1.5 m, espaciados a 1.0 m a 1.2 m; más malla electro-soldada en corona. |
| 31 - 40 | MALA "A" | IV-A | En labores menores o iguales a 3.5 m x 3.5 m: Perno de roca y/o fricción de 1.5 m de largo, espaciados de 1.2 m a 1.5 m más malla electro-soldada. Reforzar con shotcrete de 5.00 cm de espesor (según evaluación geomecánica). En intersecciones usar Pernos de 2.1 m. En Subniveles, Chimeneas o Galerías, cuadros de madera de 18 cm a 23 cm de diámetro, espaciados de 1.40 m a 1.50 m, con enrejado (según evaluación geomecánica), encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. En las labores que forman la intersección espaciar de 1.0 m a 1.2 m. En labores mayores o iguales a 4.0 m x 4.0 m: Colocar perno de roca de 2.40 m de largo espaciados de 1.2 m a 1.5 m con malla electro-soldada reforzado con shotcrete de espesor mayor o igual a 5.00 cm, previamente lanzar una capa de shotcrete de 2.5 cm de espesor con 20 Kg de fibra/m3. En intersecciones usar Pernos de 3.0 m. | Tajo convencional: Cuadros de madera de 18 cm a 23 cm de diámetro espaciados de 1.4 a 1.6 m encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. Previa instalación de guardacabeza. Tajo mecanizado: Colocar pernos de fricción de 1.5 m, espaciados de 1.0 m a 1.2 m más malla electro-soldada, opcionalmente shotcrete de 5.00 cm de espesor. |
| 21 - 30 | MALA "B" | IV-B | En labores menores o iguales a 3.5 m x 3.5 m: Cimbras metálicas espaciadas de 1.1 m a 1.5 m con planchas acanaladas y/o tablas de 7.5 cm de espesor (en corona) y tablas de 7.5 cm en hastiales espaciadas a 20 cm, topear y encribar. En las labores que forman la intersección espaciar de 0.8 m a 1.0 m. En Subniveles, Chimeneas o Galerías, cuadros de madera de 18 cm a 23 cm de diámetro, espaciados de 1.0 m a 1.2 m con enrejado (según evaluación geomecánica), encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. En las labores que forman la intersección espaciar de 0.6 m a 0.8 m. En labores mayores o iguales a 4.0 m x 4.0 m: Cimbras metálicas espaciadas de 1.1 m a 1.3 m con planchas acanaladas topeados con bolsas de detritus o encribado. En intersecciones espaciar de 0.8 m a 1.0 m. | Tajo convencional: Colocar cuadros de madera de 18 cm a 23 cm de diámetro, espaciados de 1.0 m a 1.2 m encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. Previa instalación de guardacabeza. Tajo mecanizado: Cuadros de madera de 18 cm a 23 cm de diámetro, espaciados de 1.4 m a 1.6 m con enrejado (según evaluación geomecánica), encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. |
| 0 - 20 | MUY MALA "A" | V | En labores menores o iguales a 3.5 m x 3.5 m: Cimbras metálicas espaciadas de 0.8 m a 1.0 m con planchas acanaladas y/o tablas de 7.5 cm de espesor (en corona) y tablas de 7.5 cm en hastiales espaciadas a 20 cm. Topear y encribar. Previamente una capa de shotcrete de 2.5 cm de espesor con 20 kg de fibra/m3 o marchavantes con guardacabeza. En las labores que forman la intersección espaciar de 0.5 m a 0.7 m. En Subniveles o Chimeneas, cuadros de madera de 18 cm a 23 cm de diámetro, espaciados de 0.8 m a 1.0 m con enrejado (según evaluación geomecánica), encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. Previamente una capa de shotcrete de 2.5 cm de espesor con 20 kg de fibra/m3 y/o marchavantes. En las labores que forman la intersección espaciar de 0.5 m a 0.7 m. En labores mayores o iguales a 4.0 m x 4.0 m: Cimbras metálicas espaciadas de 0.8 m a 1.0 m con planchas acanaladas topeados con bolsas de detritus o encribado. Previamente una capa de shotcrete de 2.5 cm de espesor con 20 kg de fibra/m3 y/o marchavantes con guardacabeza. En las labores que forman la intersección espaciar de 0.5 m a 0.7 m. | Tajo convencional: Colocar cuadros de madera de 18 cm a 23 cm de diámetro, espaciado de 0.8 a 1.0 m encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. Previa instalación de guardacabeza. Tajo mecanizado: Cuadros de madera de 18 cm a 23 cm de diámetro, espaciado de 1.0 m a 1.2 m con enrejado (según evaluación geomecánica), encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. Previamente colocar marchavantes. |

Cuadro N° 43: Sostenimiento por Tipo de Roca y Tipo de Labor.

5.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS

Para determinar la prueba de hipótesis, se realizó mediante lo siguiente:

1. En un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones, conceptos o variables y se mide cada una de ellas independientemente una de la otra, con el fin, precisamente, de describirlas.

| NIVEL | LABOR | LITOLOGIA | CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE ROCA | CANTIDAD DE MAPEOS REPORTADA POR LABOR | OBSERVACIONES |
|------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------------------|--|----------------------|
| COLUMNA DE PIQUE | | GR-GRANO-DIO-TONAL | III - B "Regular B" | 60 | Eje del pique |
| | | GR-GRANO-DIO-TONAL | IV - A "Mala A" | 195 | Eje del pique |
| | | GR-GRANO-DIO-TONAL | IV - B "Mala B" | 45 | Eje del pique |
| 3220 | CHI 3 PIQUE (XC 10260-W) | GR - DIO | III - B "Regular B" | 8 | Bolsillos |
| 3220 | CHI 4 PIQUE (XC 10260-W) | GRANO - DIO | III - B "Regular B" | 9 | Bolsillos |
| 3220 | CAM 10178 (XC 10177-SE(CAM6)) | MICRO - DIO | IV - A "Mala A" | 2 | Acceso a la Cámara |
| 3220 | CAM 10172 (XC 10171-E(XC-SE)) | DIO - GRA | IV - A "Mala A" | 3 | Acceso a la Cámara |
| 3175 | XC 10194-N (XC 10250-S (XC-W)) | GRA | IV - A "Mala A" | 4 | Acceso a la Estación |
| 3025 | XC 10165-NE (EST CC5B-P1) | GRAN - MICRO | IV - A "Mala A" | 4 | Acceso a la Estación |
| 2950 | CH RB1-PQ PRIN (EST 10194-N(RP)) | GR - DIO | IV - A "Mala A" | 4 | Acceso a la Estación |
| 2870 | XC 10194-N (XC 10271-S (EST)) | DIO - GRANO | IV - A "Mala A" | 4 | Acceso a la Estación |
| 2770 | GAL 10308-S (XC 10313-NE-P2) | DIO | IV - A "Mala A" | 4 | Acceso a la Estación |
| 2720 | XC 10320-SE (RP 10313-NE-P2) | GR - DIO | IV - A "Mala A" | 4 | Acceso a la Estación |
| 2670 | XC 10194-N (BP 10209-SW) | GR - DIO | IV - A "Mala A" | 4 | Acceso a la Estación |
| 2620 | XC 10194-N (BP 10109-E(XC-SE)) | DIO - MICRO | IV - A "Mala A" | 4 | Acceso a la Estación |
| 2570 | XC 10194-N (XC 10171-N(RPPAT)) | | IV - A "Mala A" | 4 | Acceso a la Estación |
| 2520 | EST 10356-1W (XC 10356-E(RPPAT)) | GR - DIO | IV - A "Mala A" | 4 | Acceso a RP |
| 2520 | EST 1 (XC 10356-E(RPPAT)) | GR - DIO | III - B "Regular B" | 4 | Unidad Hidráulica |
| 2520 | EST 2 (XC 10356-E(RPPAT)) | GRANO - DIO | IV - A "Mala A" | 3 | Unidad Hidráulica |
| 2520 | EST 3 (XC 10356-E(RPPAT)) | GRA | III - B "Regular B" | 4 | Unidad Hidráulica |
| 2520 | EST 4 (XC 10356-E(RPPAT)) | GRA - MICRO | III - B "Regular B" | 3 | Unidad Hidráulica |
| 2520 | EST 5 (XC 10356-E(RPPAT)) | GR - DIO | III - B "Regular B" | 3 | Unidad Hidráulica |
| 2520 | CH 10280-3 (XC 10356-E(RPPAT)) | GRANO - DIO | IV - A "Mala A" | 15 | Colectores |
| 2520 | CH 10280-2 (XC 10356-E(RPPAT)) | MICRO - DIO | IV - A "Mala A" | 15 | Colectores |
| 2520 | CH 10280-1 (XC 10356-E(RPPAT)) | DIO - GRA | IV - A "Mala A" | 13 | Colectores |
| 2520 | XC 10356-E (RP PA TRICK3(RP-W)) | GRA | IV - A "Mala A" | 4 | Crucero de Fajas |
| 2520 | XC 10356-E (RP PA TRICK3(RP-W)) | GR - DIO | IV - A "Mala A" | 5 | Loading Pocket |

Cuadro N° 45: Mapeos reportados en base a la valoración del macizo rocoso (R.M.R)

En cuadro de N°46, se tiene en resumen de la cantidad 431 mapeos reportados en base a la valoración del macizo rocoso (R.M.R), ello definido en porcentaje de "Clasificación Geomecanica" de la masa rocosa a nivel de "dominios geomecanicos" .

Mapeo Reportados = Parámetros considerados: Resistencia de la compresión, RQD, Espaciamiento, persistencia, apertura, rugosidad, relleno, alteración, agua subterránea, ajuste por orientación.

Dominios Geomecanicos = Se consideró la litología, descripción de las condiciones listoestructurales de masa rocosa, ver Cuadro N° 46.

| Clasificación del Tipo de roca | Cantidad de Mapeos Reportados | % de Calidad RMR |
|--------------------------------|-------------------------------|------------------|
| III - B "Regular B" | 91 | 20% |
| IV - A "Mala A" | 290 | 60.0% |
| IV - B "Mala B" | 45 | 20.0% |
| V "Muy Mala" | 10 | 5.0% |

Cuadro N° 46: Clasificación del Tipo de roca (% de RMR).

Procedemos a sacar el coeficiente de correlación de Parson, para determinar la medida de la relación entre dos variables.

| | |
|----------------------------|----------|
| Coeficiente de Correlación | 0.985381 |
|----------------------------|----------|

Las reacciones lineales entre variables pueden ser expresadas por parámetros estadísticos conocidos como coeficientes de correlación. La medida de correlación que indicaremos es el coeficiente de correlación de Pearson (Txy). El valor que este coeficiente puede asumir varía de +1 a -1, siendo de la siguiente manera:

| Coeficiente de Correlación de Pearson | |
|---------------------------------------|--|
| Valor de -1 | Indica una relación lineal negativa perfecta. |
| Valor de +1 | Indica una relación lineal positivo perfecta. |
| Valor de 0 | Indica que hay ausencia total de relación lineal entre las dos variables |

Cuadro N° 47: Coeficiente de correlaciona numérica (+1,-1 y 0)

La relación será representada mediante una distribución bidimensional, sobre una población se observa las dos variables X e Y, dicha distribución y tiene como objetivo del análisis bidimensional, y determinar si son independientes o por lo contrario si existe una relación entre la asociación o relación de las variables X y Y, se representa mediante una barra de dispersión, Ver Gráfico N° 05.

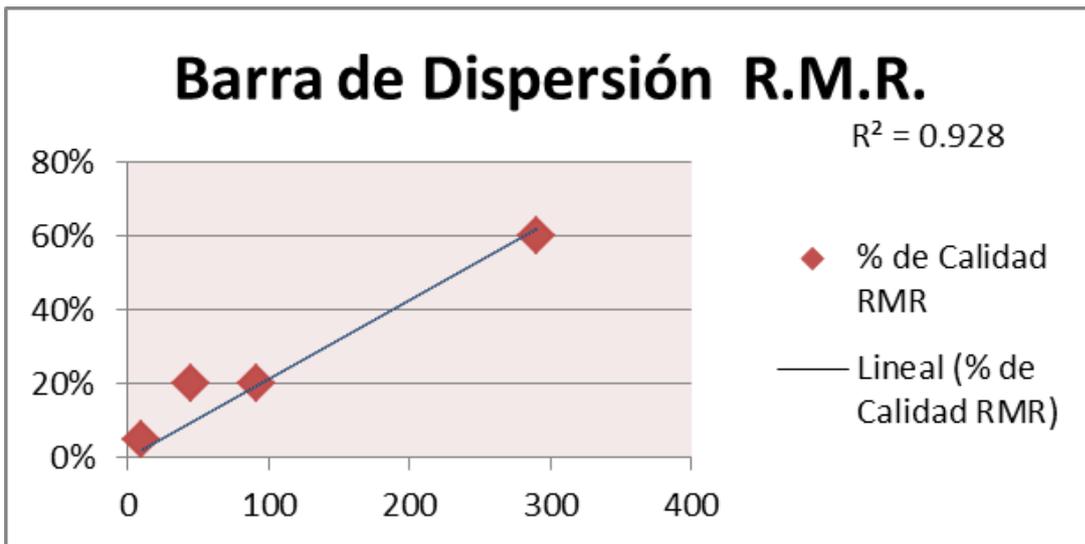


Grafico N° 05: Barra de dispersión R.M.R.

Se interpreta que las reacciones lineales, están determinadas por las variables de mapeo geomecanico (X) y dominio geomecanico (Y), son positivos debido que la línea de tendencia es creciente desde el punto inicial 0, en tanto la dispersión de puntos está relacionada en dirección de la línea de tendencia. Si $R=1$, existe una relación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada relación directa: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante. Si $0 < r < 1$, existe una relación positiva.

2. El tipo de investigación descriptiva, consiste en recolectar en dos o más muestras con el propósito de observar el comportamiento de una variable, ello mediante un diagrama estadísticos, denomina comparativa.

Para este caso se va utilizar la información de la población del GSI y el RMR, tomado en cuenta las características litológicas, la descripción de las condiciones litoestratigráficas de la masa rocosa, presente en el proyecto principal pique MARSÁ, ver Cuadro N° 48.

| LITOLOGIA | CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE ROCA | RMR | GSI |
|--------------|--------------------------------|-----|-----|
| Granito | III - B "Regular B" | 45 | 40 |
| Granodiorita | IV - A "Mala A" | 35 | 30 |
| Diorita | IV - B "Mala B" | 25 | 20 |

Cuadro N° 48: Resumen del R.M.R. y EL G.S.I.

Procedemos a sacar el coeficiente de correlación de Parson, para determinar la medida de la relación entre dos variables.

| | |
|-----------------------------------|-----------------|
| Coeficiente de Correlación | 1.000000 |
|-----------------------------------|-----------------|

La relación será representada mediante una distribución bidimensional, sobre una población se observa las dos variables X (RMR) e Y (GSI), dicha distribución y tiene como objetivo siendo el más importante es que las dos variables tratadas son medidas (sin ser manipuladas) y los resultados son ciertos independientemente del tipo de variable, se representa mediante una barra de dispersión, Ver Gráfico N° 06.

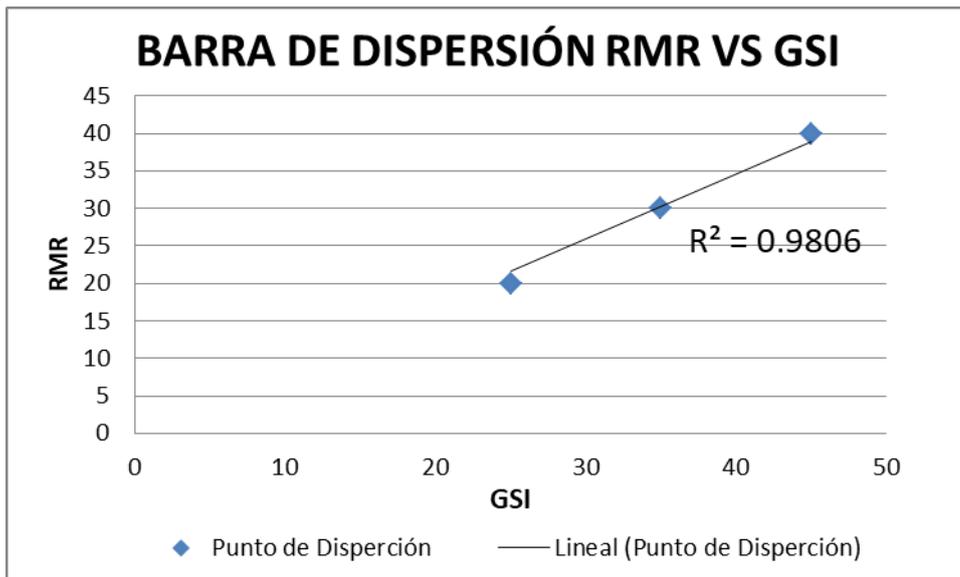


Gráfico N° 06: Barra de dispersión R.M.R. vs G.S.I.

Se interpreta que las reacciones lineales, mediante la medida de correlación que indicaremos es el coeficiente de correlación de Pearson (Txy). El valor que este coeficiente puede asumir varía de +1 (siendo una relaciona lineal

de valor positivo perfecto), y -1 (siendo una relación lineal de valor negativo perfecto), estas variables de R.M.R. (X) y G.S.I. (Y), son positivas debido que la línea de tendencia es creciente desde la dirección punto inicial 0, en tanto la dispersión de puntos coincide con la dirección de la línea de tendencia. Si $R=1$, existe una relación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada relación directa: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante. Si $0 < r < 1$, existe una relación positiva.

Habiendo demostrado, la relación lineal de las variables, mediante un valor numérico (+1 y -1), damos por aceptado la hipótesis de que: Determinando los índices geomecánicos RMR y GSI se podrá detectar su influencia en la construcción del proyecto Pique Principal MARSA.

Debido a que sin determinar los índices geomecánicos RMR y GSI, NO SE PODRÍA EJECUTAR LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO PIQUE PRINCIPAL MARSA.

Así mismo, se acepta las hipótesis específicas dando como:

- Si es posible realizar el mapeo geomecánico correspondiente.
- Se logró clasificar el macizo rocoso determinando los índices geomecánicos.
- Se logró calcular los índices RMR y GSI
- Se comenzó a extraer mineral y desmonte de los Niveles Inferiores a través del Pique Principal MARSA.

5.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La evaluación se direcciona a suministrar recomendaciones de

sostenimiento e instrumentación geotécnica en el eje del Pique y en el diseño de las cámaras. Determinando los índices geomecánicos RMR y GSI, Para ello ha sido necesario llevar a cabo investigaciones geomecánicas básicas de la masa rocosa y un número de análisis para evaluar las condiciones de estabilidad de las excavaciones en el Pique y en las cámaras, aplicando tecnologías adecuadas.

Como parte de las investigaciones geomecánicas realizadas, se ha caracterizado, clasificado y zonificado a la masa rocosa de la zona evaluada y se ha determinado sus propiedades de resistencia; asimismo, se ha evaluado las condiciones del agua subterránea y de los esfuerzos.

Del estudio geomecánico realizado, se determinó que las rocas circundantes al Proyecto Pique Principal MARSA, se hallan intensamente fracturadas debido a los múltiples eventos tectónicos según la dirección de los esfuerzos, dando como resultado rocas de tipos III (Regular A y B), IV (Mala A y B) y V (Muy Mala).

La determinación de los Índices Geomecánicos, trajo como resultado el determinar el macizo rocoso y el tipo de Sostenimiento a aplicar, a fin de ejecutar correspondientemente el Pique Principal MARSA.

Se logró determinar la Influencia de los índices geomecánicos RMR y GSI en la construcción del Proyecto Pique Principal MARSA, en la unidad minera San Andrés, de la Empresa Minera Aurífera Retamas Sociedad Anónima.

CONCLUSIONES

1. La zona donde se realizó el proyecto Principal Pique Marsa se encuentra ubicada en la Minera Aurífera Retamas S.A. – Marsa, cuya geología está constituida por más de una facie plutónica; una facie de granito – granodiorita y la otra facie de tonalita – diorita. mostrándose la primera como la más favorable para emplazamiento y desarrollo de estructuras mineralizadas.
2. La clasificación geomecánica RMR, fueron determinados a partir del mapeo geotécnico de los testigos de las perforaciones diamantinas, determinado en el eje del pique y en las excavaciones cercanas al pique prevalece en mayor porcentaje la Roca Tipo III (45.1%) y Roca Tipo IV (54.2%).
3. La construcción del pique se realizó aplicando el método de excavación con chimenea piloto, Raise Borer y Raise Climber.
4. La masa rocosa evaluada presente un rango de calidades de roca, según la escala de valoración RMR₈₉, estos rangos van desde rocas regulares – malas y eventualmente muy malas en presencia de zonas de corte y agua subterránea.
5. Para el desarrollo de la tesis, que permita la ejecución del Pique Marsa, se realizaron ensayos de mecánica de rocas, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica Laboratorio de Mecánica de Rocas.
6. La influencia de agua (subterránea y /o agua de filtración) acelera los procesos de inestabilización.
7. Para estimar el sostenimiento en el eje del pique y en las cámaras, se

utilizó el diseño de sostenimiento en base a las evaluaciones de las clasificaciones geomecánicas del RMR y GSI.

8. Los resultados del análisis debido a esfuerzos de las labores conexas al Pique Marsa, se ha evaluado un antes y después del colocado del sostenimiento; evidenciando que estas labores se encuentran estables con F.S. mayores a 1.5.
9. Al realizarse los cálculos de factores de seguridad de los diferentes elementos de sostenimiento recomendados, estos se encuentran con F.S. mayores a 1.1.

RECOMENDACIONES

1. Validar el modelo inicial de diseño y adaptarlo a las nuevas condiciones.
2. Si el riesgo no puede ser mitigado, se colocarán barreras para aislar la zona peligrosa.
3. Será importante que, después de las inspecciones, se realice un seguimiento de los planes de acción que se han tomado (inmediatos o futuros).
4. Se sugiere que, entre otros, estos procedimientos puedan considerar la mitigación del riesgo, sólo si el personal es competente y está capacitado para hacer frente al peligro.
5. Se realizarán periódicamente auditorías formales con participación del personal de geomecánica, acompañados por personal competente seleccionado (ej. reguladores, consultores, supervisores/jefaturas de primera línea).
6. Se deberán establecer inspecciones geomecánicas periódicas en conjunto con las jefaturas de las demás áreas operativas, donde deben intervenir las jefaturas de geomecánica, las jefaturas de la operación, la jefatura de seguridad minera y las superintendencias operativas, incluyendo la subgerencia y gerencia operativa.
7. Se debe contar con procedimientos bien definidos para tomar las medidas adecuadas cuando se reconozcan riesgos por caída de rocas.
8. Predecir tendencias futuras de los parámetros monitoreados.
9. Obtener información del comportamiento del macizo.
10. Medir el comportamiento del sostenimiento durante y después de la

excavación.

11. Los métodos de evaluación de riesgo deben implicar la descripción de los mecanismos típicos de las condiciones sub estándares en un libro de campo (cuaderno de observaciones), una lista de verificación (check list) de los peligros potenciales y la integración de la información en el sistema de seguridad.
12. Las inspecciones geomecánicas son proactivas y pueden realizarse como inspecciones rutinarias en la mina, adelantándose a la que realizarán los supervisores de línea.
13. Implementar un sistema de alerta ante evidencias de inseguridad.
14. Controlar la ejecución de la excavación.
15. Comunicar a las personas apropiadas y notificar las observaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta; Quispe, J; Rivera, R; Valencia, M; Chirif, H; Huanacuni,D ;Rodríguez ,I .(Año 2010).Mapa Metalogenetico del Oro en el Peru. Página 23-24.
- Haerberli,Y.; Morits, R.; Fontboté,L.: (Año 2009) Late Paleozoic Orogenic Gold Deposits in the Central Andes. Página 12.
- Milton Camino Ramos. (Año 2010). Ocurrencia de cuerpos mineralizados en yacimientos vetiforme del batolito de patas. Página 13-16
- H.Mendieta E., F.Arias Arias, W.Salas Marroquin, E. Nikaido Hokoma, N. Curi Ayala. (mayo 2017). Guía de criterios geomecanicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas, OSINERGMIN. Página 58-68.
- Gaither de la Sota; Juan Manzanedo; Miguel Chávez. (enero 2010). Evaluación Geomecanica de Proyecto Pique. Página 31-32.
- Córdova Rojas David. Lima Perú (Año 2001). “Curso de Mecánica de Rocas en Minería y Obras Civiles”. UNI. Página 58-68.
- Hernández Sampieri, R.; Fernandez Collado, C; Baptista Lucio, P. (Año 2006), Metodología de la Investigación ((4a. ed.). Mexico: McGraw-Hill. Página 31-32-39-73-81-88.
- Hoek, E. and Brown, E.T. (Año 1980). “Excavaciones subterráneas en roca” Mc Graw-Hill. Raise Boer y Raise Climber. Página 34.
- Hoek, E. and Diederichs, M.S. (Año 2006) “Empirical estimation of rock mass modulus” Int. J. of Rock Mech. and Min. Página 89-90.
- Ing. Basilio Ponce Pio (10 septiembre 2015). Pique Principal MARSA-

Master Shaft. Página 139-141.

- IINTERCADE. (Año 2007). “Piques y chimeneas diseño y construcción” – segundo módulo. Lima - Perú. Página 139-141.
- Laubscher, D. H., (Año 1990). “A Geomechanics Classification System for the Rating of Rock Mass in Mine Design”. Journal of the South African Institute of Mining Metallurgy, Vol 90, No 10. Página 82-84.
- Laubscher, D.H., 1981 “Selection of mass underground mining methods in design and operation of caving and sublevel stoping mines” Stewart, D.R. (ed) N.Y. Soc. Min. Engrs. Am. Soc. Min. Metall. Petrolm. Engrs. 34-35.
- Ramirez, de la Cuadra, Lajo Huerta y Grijalva. (Año 2012). “Mecánica de Rocas aplicado a la minería metálica subterránea”. Instituto Geológico y Minero de España. Página 43-49.
- Raulin, G. &. (2013). Graziano & Raulin Research Methods (8th edition). Obtenido de Example of Correlational Research: graziano-raulin.com. Página 55-56.
- Price, P. C., Jhangiani, R. S., & Chiang, I.-C. A. (2017). Correlational Research. ¿Obtenido de What Is Correlational Research?: opentextbc.ca. Página 55-56.

ANEXOS 1

REPORTE DE LOGUEO

GEOTÉCNICO

REPORTE DE LOGEO GEOTECNICO

COMPAÑIA MINERA: MINERA AURIFERA RETAMAS S.A. - MARSAS
 PROYECTO: PIQUE - MARSAS (MARSAS SHAFT)
 UBICACION: CHILCAS - Nivel 3220, CX 10194 NW
 CONTRATISTA: GEOTECNIA PERUANA
 EQUIPOS USADOS: LG - 44

Boring Nro.:
DDH-09-001

Orientación de Perf.

Vertical
 Horizontal
 Inclinado Ang.

DATOS

Trabajo Nro.: 1
 Página Nro.: 1/1
 Localización: Nv. 3220
 Elevación: 42.00
 Fecha Inicio: 09/2009
 Fecha Final: 10/2009
 Perforista: J.M. & M.Ch.
 Preparado por: J.M. & M.Ch.
 Observaciones: Perforación inicial realizada en línea HQ
 Dibujado por: M. Ch. M.

| Prof. (m) | Descripción y Litología | Simb. Graf | % Rec. | I.C.P (MPa) | R.C.S. (MPa) | Dist. Logeo (m) | Frac. | ESTRUCTURAS | | | | AGUA | R.Q.D. | | RMR | OBSERVACIONES |
|-----------|-------------------------|------------|--------|-------------|--------------|-----------------|-------|-----------------|------|------|-------------------|------|--------|----|-----|--------------------------|
| | | | | | | | | Esp. Junt. (cm) | Alt. | Rug. | Relleno Esp. (mm) | | Tipo | 25 | | |
| 0 | Grd. (Met.) | | | | 9 | 1.60 | 6 | 6 | 3 | 3 | 4 | 10 | 3 | 2 | 43 | |
| 1.60 | Grd. (Met.) | | | | 9 | 2.00 | 6 | 5 | 1 | 4 | 1 | 10 | 8 | 2 | 43 | |
| 3.60 | Grd. (Met.) | | | | 6 | 4.10 | 5 | 5 | 3 | 4 | 4 | 10 | 6 | 2 | 42 | |
| 5 | Grd. (Met.) | | | | 3 | 1.60 | 3 | 3 | 1 | 0 | 0 | 10 | 3 | 2 | 21 | Zona Fallada, Dique |
| 7.70 | Grd. (Met.) | | | | 6 | 5.30 | 8 | 5 | 3 | 4 | 4 | 10 | 3 | 2 | 42 | |
| 9.30 | Grd. (Met.) | | | | 6 | 1.00 | 3 | 3 | 3 | 0 | 4 | 10 | 3 | 2 | 32 | Veta |
| 10 | Grd. (Met.) | | | | 9 | 0.70 | 5 | 5 | 3 | 0 | 4 | 10 | 6 | 2 | 41 | Dique Sub vertical |
| 15.14 | Grd. (Met.) | | | | 3 | 0.70 | 3 | 3 | 1 | 4 | 4 | 10 | 3 | 3 | 31 | |
| 15.60 | Grd. (Met.) | | | | 9 | 2.70 | 5 | 5 | 3 | 1 | 4 | 10 | 6 | 2 | 42 | |
| 16.30 | Grd. (Met.) | | | | 3 | 0.70 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 10 | 3 | 2 | 23 | Veta |
| 17.00 | Grd. (Met.) | | | | 6 | 0.40 | 5 | 5 | 5 | 3 | 4 | 10 | 10 | 2 | 48 | |
| 20.19 | Grd. (Met.) | | | | 6 | 6.30 | 5 | 3 | 3 | 2 | 1 | 10 | 3 | 2 | 32 | |
| 20.80 | Grd. (Met.) | | | | 6 | 2.80 | 3 | 5 | 3 | 4 | 4 | 10 | 3 | 2 | 36 | |
| 25 | Grd. (Met.) | | | | 7 | 3.70 | 5 | 3 | 3 | 1 | 0 | 10 | 3 | 2 | 31 | |
| 27.10 | Grd. (Met.) | | | | 6 | 7.70 | 3 | 5 | 3 | 3 | 1 | 10 | 3 | 2 | 33 | |
| 30.99 | Grd. (Met.) | | | | 3 | 2.70 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 10 | 3 | 2 | 21 | Zona disturbada, fallada |
| 33.60 | Grd. (Met.) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 35 | Grd. (Met.) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40 | Grd. (Met.) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 41.30 | Grd. (Met.) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 44.00 | Grd. (Met.) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 45 | Grd. (Met.) | | | | | | | | | | | | | | | |

ANEXO 2

REGISTRÓ DE MAPEO

GEOMECÁNICO

COMPLEMENTARIO

Apellido y Nombre: _____ Fecha: _____ Año: 2017

Sección: Nivel: 2520 Labor: Ch Cód. De Labor: _____ Litología: Granito

Registro Nº: Refer. Topog: Azimut Labor: 90 ° Dimensión de la Labor: _____ Diámetro 4.8

Veta: Buzamiento Veta: _____

Correlativo: _____

| VAL | PARAMETRO | 4. CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES | | | | | | | | | | 5. AGUA SUBTERRÁNEA | 6. AJUSTE POR ORIENTACIÓN |
|--|---|--------------------------------------|----|--------|----|----------------------|----|--------------|----------|-----------|---------|---------------------|---------------------------|
| | | 1. RESISTENCIA A LA COMPRESION (Mpa) | | 2. RQD | | 3. ESPACIAMIENTO (m) | | Persistencia | Apertura | Rugosidad | Relleno | | |
| 15 | 1.- > 250 Mpa | 20 | 17 | 20 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 15 | 0 | |
| 12 | 2.- 100-250 Mpa | 17 | 13 | 15 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 10 | -2 | |
| 7 | 3.- 50-100 Mpa | 13 | 8 | 10 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 7 | -5 | |
| 4 | 4.- 25-50 Mpa | 8 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | -10 | |
| 2 | 5.- < 25 Mpa | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -12 | |
| 20 | 1.- 90-100% | 20 | 17 | 20 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 15 | 0 | |
| 17 | 2.- 75-90% | 17 | 13 | 15 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 10 | -2 | |
| 13 | 3.- 50-75% | 13 | 8 | 10 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 7 | -5 | |
| 8 | 4.- 25-50% | 8 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | -10 | |
| 3 | 5.- < 25% | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -12 | |
| 20 | 1.- > 2m | 20 | 17 | 20 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 15 | 0 | |
| 15 | 2.- 0.6-2m | 15 | 10 | 10 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 10 | -2 | |
| 10 | 3.- 200-600 mm | 10 | 5 | 5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 7 | -5 | |
| 8 | 4.- 60-200 mm | 8 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | -10 | |
| 5 | 5.- < 60 mm | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -12 | |
| 6 | 1.- < 1m | 6 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 6 | 0 | |
| 4 | 2.- 1-3 m | 4 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | -2 | |
| 2 | 3.- 3-10 m | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | -5 | |
| 1 | 4.- 10-20 m | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | -10 | |
| 0 | 5.- > 20 m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -12 | |
| 6 | 1.- Cerrada 0 mm | 6 | 5 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 6 | 0 | |
| 5 | 2.- Muy Angosta < 0.1 mm | 5 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 5 | -2 | |
| 4 | 3.- Angosta 0.1 - 1.0 mm | 4 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | -5 | |
| 1 | 4.- Abierta 1.0 - 5.0 mm | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | -10 | |
| 0 | 5.- Muy abierta > 5.0 mm | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -12 | |
| 6 | 1.- Muy rugoso | 6 | 5 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 6 | 0 | |
| 2 | 2.- Rugoso | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | -2 | |
| 3 | 3.- Ligeramente rugosa | 3 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | -5 | |
| 1 | 4.- Lisas | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | -10 | |
| 0 | 5.- Muy lisas | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -12 | |
| 6 | 1.- Ninguna | 6 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 6 | 0 | |
| 4 | 2.- Relleno duro <5mm | 4 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | -2 | |
| 2 | 3.- Relleno duro >5mm | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | -5 | |
| 1 | 4.- Relleno blando <5mm | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | -10 | |
| 0 | 5.- Relleno blando >5mm | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -12 | |
| 6 | 1.- No meteorizada | 6 | 5 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 6 | 0 | |
| 5 | 2.- Ligeramente meteorizada | 5 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 5 | -2 | |
| 3 | 3.- Moderadamente meteorizada | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | -5 | |
| 1 | 4.- Atenuada meteorizada | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | -10 | |
| 0 | 5.- Descompuesta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -12 | |
| 15 | 1.- Completamente seco | 15 | 10 | 10 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 15 | 0 | |
| 10 | 2.- Húmedo | 10 | 7 | 7 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 10 | -2 | |
| 7 | 3.- Mojado | 7 | 4 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 7 | -5 | |
| 4 | 4.- Gotoso | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | -10 | |
| 0 | 5.- Flujoso | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -12 | |
| 0 | 1.- Muy favorable | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 2 | 2.- Favorable | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | -2 | |
| 3 | 3.- Regular | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | -5 | |
| 5 | 4.- Desfavorable | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | -10 | |
| 10 | 5.- Muy desfavorable | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | -12 | |
| 34 | VALOR TOTAL RMR BASICO (Suma de valoración 1 a 5) | 34 | 32 | 34 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 34 | 0 | |
| 32 | VALOR TOTAL RMR AJUSTADO (Suma de valoración 1 a 6) | 32 | 30 | 32 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 32 | -2 | |
| REFERENCIA TOPOGRAFICA + DISTANCIA (M) | | | | | | | | | | | | | |

CROQUIS DE LA ZONA MAPEADA

Firma Téc. Geomecánico _____ Firma Ing. Geomecánico _____

| ITEM | TIPO DE ESTRUCTURA | BUZAMIENTO | DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO | ESPACIAMIENTO | RELLENO TIPO | ESPESOR | COMENTARIOS |
|------|--------------------|------------|-------------------------|---------------|--------------|---------|-------------|
| 1 | DIACLASA | 72° | S 32°W | 10 cm | Py | 2 mm | |
| 2 | DIACLASA | 70° | S 22°W | 5 cm | Cb | 3 mm | |
| 3 | DIACLASA | 7° | S 20°E | 10 cm | Cb | 1 mm | |
| 4 | DIACLASA | 50° | S 13°E | 8 cm | Py | 2 mm | |
| 5 | DIACLASA | 72° | S 14°E | 11 cm | Cb | 4 mm | |
| 6 | DIACLASA | 68° | S 29°E | 5 cm | Py | 3 mm | |

| TIPO DE ROCA | RMR Bieniawski | CLASIFICACIÓN DE LA ROCA | LITOLOGÍA | # Disco/ m | A: RQD % | |
|--|----------------|--------------------------|--|--|---|----|
| II | II-A | 71 - 80 | BUENA "A" | GRANITO - PÓRFIDO GRANÍTICO | 1 | 70 |
| | II-B | 61 - 70 | BUENA "B" | GRANODIORITA - PÓRFIDO GRANODORÍTICO | 2 | 69 |
| III | III-A | 51 - 60 | REGULAR "A" | TONALITA - PÓRFIDO TONALÍTICO | 3 | 67 |
| | III-B | 41 - 50 | REGULAR "B" | DIORITA - PÓRFIDO DIORÍTICO | 4 | 66 |
| IV | IV-A | 31 - 40 | MALA "A" | MICRODIORITA | 5 | 64 |
| | IV-B | 21 - 30 | MALA "B" | ESQUISTO - PIZARRAS | 6 | 61 |
| V | V-A | 0 - 20 | MUY MALA | DIQUE SUBVOLCÁNICO | 7 | 59 |
| | | | | DIQUE VOLCÁNICO | 8 | 57 |
| GRADO | | | | DESCRIPCIÓN, ÍNDICE DE ALTERACIÓN | ABREVIACIÓN DEL TIPO DE RELLENO | # |
| I. SANA | | | | Ningún signo de alteración en el material rocoso. Quizás lig. decoloración sobre superficies de discontinuidades principales | Ox | 11 |
| II. LIGERO | | | | La decoloración indica alteración del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso descolorido extremadamente es más débil que en su condición sana. | Arc | 14 |
| III. MODERADA | | | | Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompuesto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso | Cb | 39 |
| IV. MUY ALTERADA | | | | Más de la mitad del mat. rocoso esta descompuesto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como núcleo rocoso. | Pz | 37 |
| V. DESCOMPUESTO | | | | Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta. | Py | 35 |
| GRADO | | | | ÍNDICE DE RESISTENCIAS - IDENTIFICACIÓN DE CAMPO | RANGO RESIST. | 31 |
| R1 | | | | Deleznable con golpes firmes con la punta del martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla | 1.0 - 5.0 MPa | 44 |
| R2 | | | | Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta) | 5.0 - 25 MPa | 41 |
| R3 | | | | No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con un golpe firme del martillo | 25 - 50 MPa | 39 |
| R4 | | | | La muestra se rompe con más de un golpe del martillo. | 50 - 100 MPa | 9 |
| R5 | | | | Se requiere varios golpes del martillo para romper la muestra | 100 - 250 MPa | 8 |
| R6 | | | | Sólo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo | >250 MPa | 7 |
| EFECTO DE LA ORIENTACIÓN DEL RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN TÚNELES | | | | | | |
| Rumbo perpendicular al eje del túnel | | | Rumbo paralelo al eje del túnel | | | |
| Excavación hacia el buzamiento. Buz 45 - 90 | | | Excavación hacia el buzamiento. Buz 20 - 45 | | Buzamiento 45 - 90 | |
| Muy Favorable | | | Favorable | | Muy Desfavorable | |
| Excavación contra el buzamiento. Buz 45 - 90 | | | Excavación contra el Buzamiento. Buz 20 - 45 | | Buzamiento de 0 - 20. Independiente del rumbo | |
| Regular | | | Desfavorable | | Regular | |

ANEXO 3

ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA

POR NIVEL

ANEXO 4

ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL EJE DEL PIQUE MARSA

PROCEDIMIENTO INSTALACION DE PERNOS HELICOIDALES

- Remojar los cartuchos de cemento en un recipiente con agua limpia de acuerdo a la cantidad del número de taladros por espacio de 10 minutos como mínimo hasta que deje de burbujear los cartuchos.
- Insertar con un atacador de madera:
- Para pernos de 8 pies: 2 cartucho de resina y 7 cartuchos de cemento.
- Empujar manualmente perno dentro del taladro hasta hacer contacto con los cartuchos.
- Colocar el adaptador (spanner) en la bodega, alinear e introducir el perno en adaptador y girar a máxima rotación por un período de tiempo de 10-20 seg. aproximadamente.
- Utilizar los cuentes y lentes de seguridad.
- Esperar el tiempo de fragua de la resina rápida (5 minutos).
- Descender la máquina perforadora cerrando la manilla de paso de aire cuando el spanner este emboquillado.
- Colocar la placa y tuercas y ajustar la tuercas con el torqueador hasta que la placa se adhiera firmemente contra la superficie rocosa.
- Posicionarse correctamente durante el ajuste: pararse con las piernas separadas alineadas a la altura del hombro.

ESTANDAR DE LANZADO DE SHOCRETE SEGUN D.5-095-2010 EM

-APLICAR PARAMETROS GEOMECANICOS E-MIN-33 ESTIMACION DE CALIDAD MACIZO ROCOSO SEGUN TIPO DE SOSTENIMIENTO
 -CUMPLIR CON ESPESOR DE ACUERDO A RECOMENDACION DE GEOMECANICA Y PARA ESO UTILIZAR CALIBRADOR DE ALAMBRES
 -LA PRESION DE AIRE COMPRIMIDO NO DEBE SER MENOR A 4.5 BARES DURANTE LA APLICACION DE SHOCRETE
 -SE DEBE HIDRATAR EL CONCRETO (CURAR) PASADA LAS 4 HRS DE FRAGA POR 10 MINUTOS DURANTE 2 DIAS PARA ALCANZAR UNA RESISTENCIA A LA COMPRESION MAYOR A 200 Kg/cm2.

DISEÑO DE MEZCLA PARA SHOCRETE

| | |
|---|---------------------|
| RESISTENCIA DE CONCRETO A 28 DIAS MAYOR O IGUAL A 200 Kg/cm2. | |
| 01 m3 DE AGREGADO | 1.450 Kg A 1550 Kg. |
| CEMENTO | 425 kg(10BOLSAS) |
| AGUA | 145 L a 170 L |
| PLASTIFICANTE (Vn húmeda) | 4 L a 8 L |
| ESTABILIZADOR (Vn húmeda y emergencia) | 1 L a 2.5 L |

ESPECIFICACIONES DEL ESTANDAR PARAMETROS GEOMECANICOS

4.1 Aplicar el E-MIN-33 Estimación de la Calidad del Macizo Rocoso para el Tipo de Sostenimiento.

4.2 Este tipo de sostenimiento está anclado en el contorno de la excavación mediante Pernos de Roca y elementos de sujeción del Arco Noruego (Cubos).

4.3 Para la construcción de los elementos de sujeción, Cubos y Estribos, usar varillas corrugadas de 1.27 cm. (1/2") y de 0.32 cm (1/8") respectivamente. Ver fig. 1.

4.4 Para el armado de la estructura, que conforma la excavación, usar varillas corrugadas de 1.27 cm (1/2") ó 1.90 cm (3/4") de acuerdo a la Recomendación Geomecánica, estas deben ser aseguradas a los elementos de sujeción con alambre N 16.

ESPECIFICACIONES TECNICAS DE SOSTENIMIENTO A APLICAR

INSTALACION DE CABLE BOLTING

- PESO UNITARIO DEL CABLE: 1.10 Kg./m
- LONGITUD DE CABLE: 5 m. 10 m.
- DIAMETRO DEL CABLE: 5/8" x 7 Hebras.
- TIPO DE CABLE: Bulbed Strand (Filamento De Bulbed)
- Cable Destrenzado
- (Incrementar la Capacidad de Transferencia de Carga)

PARAMETROS

P: Resistencia Tensiva al Deslizamiento (10MPa)
 D: Diámetro Para Cada Interfase (pulg)
 L: Longitud del Cable Cementado (m.)
 S: Fuerza Cohesiva De La pasta de cemento (MPa.)

ECUACION
 $P = 0,08 D \cdot L \cdot S$

INFORMACION ADICIONAL
 Re: Resistencia a La Compresión Uniaxial De La Pasta De Cemento (MPa.)...42 MPa

Reemplazando:
 S = 1/10 Rc = 42 MPa
 D1 = 2" (Interfase Roca - Pasta de Cemento)
 D2 = 5/8" (Interfase Cable - Pasta de Cemento)
 L = 5 m.

CÁLCULO

PARAMETROS DE INYECCION DE CABLE BOLTING

- Evitar Suciedad en la superficie del cable
- Tipo de cable
- Sistema de bombeo de la pasta (Putzmaister)
- Relación Agua/ Cemento (13 lt/bolsa cemento)
- Tipo de Cemento (Tipo MS)

PERFORACION DE TALADROS

DIAMETRO : 2.3/4" 55.0 mm
 LONGITUD : 5 m.
 MALLA : 2.5 m x 2.5 m (Para Roca Tipo II) RMR 60-80
 2.0 m x 2.0 m (Para Roca Tipo III) RMR 40 - 60

INCLINACION : 0°, 20°, 45°, 60°

EQUIPO : Long Hole

CAPACIDAD DE LOS ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO

PERNO HELICOIDAL 19 mm : 6.6 t/m
 PERNO SPLIT SET : 3.3 t/m.
 MALLA ELECTROSOLDADA : 1000-1300 kg/cm2
 SHOCRETE : 280 kg/cm2
 CIMBRAS OMEGA M-21 SECCION 2.40X2.70 : 12 t/m2
 ARCO NORUEGO : 20 ton/m.
 CABLE BOLTING : 3"
 CAPA DE SHOCRETE A APLICAR : 3"

MAPEO GEOMECANICO DEL PROYECTO PIQUE

| TIPO | RMRlogueo | RMRGeneral |
|----------|----------------|------------|
| BUENA | II-B = 0.30% | 0.30 % |
| REGULAR | III-A = 13.50% | 45.1 % |
| MALA | IV-A = 48.40% | 54.2 % |
| MUY MALA | V = 0.40% | 0.40 % |

LEYENDA

EJES DE PROYECTO A EJECUTAR

PROYECTO EN EJECUCION

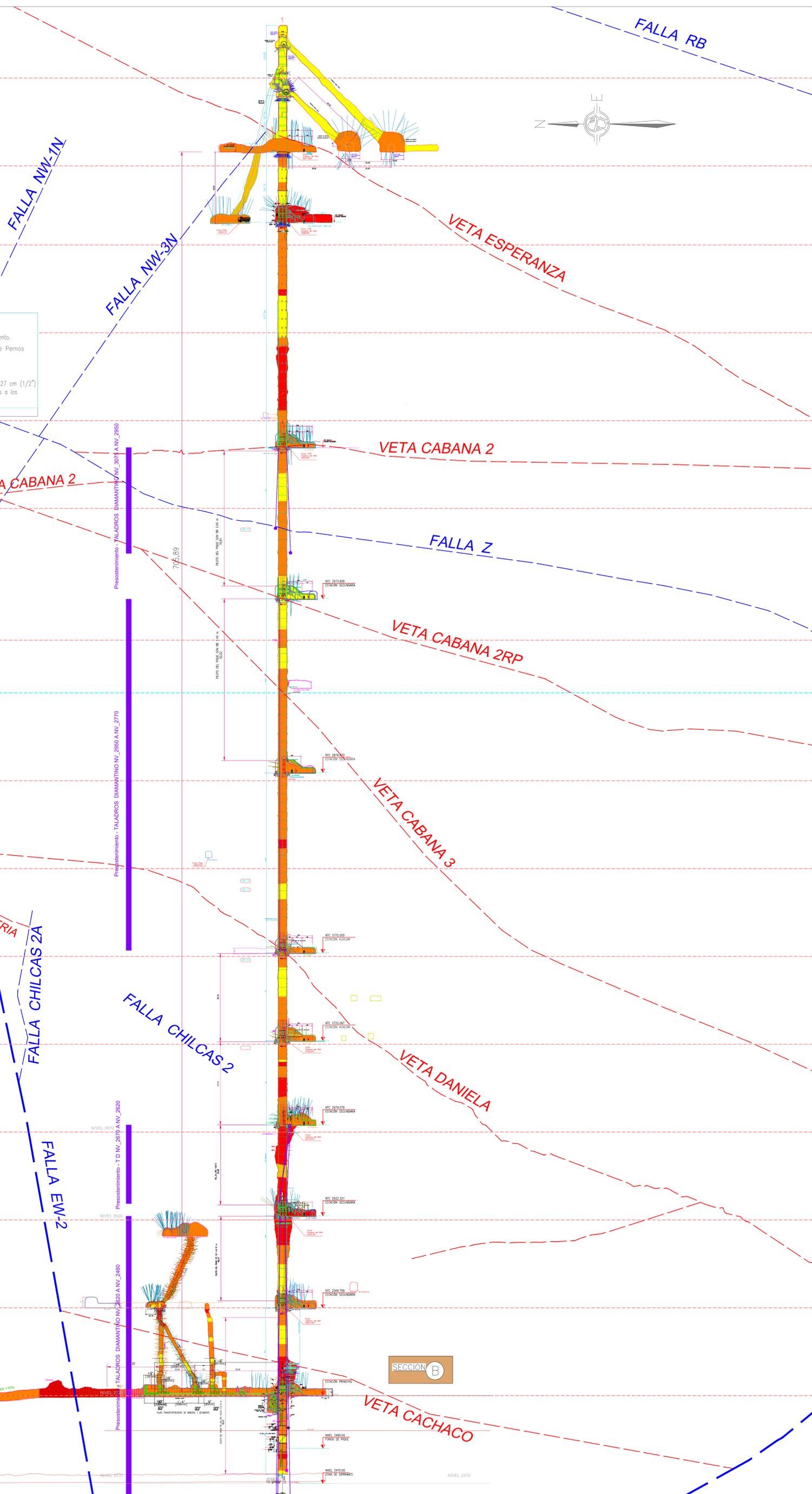
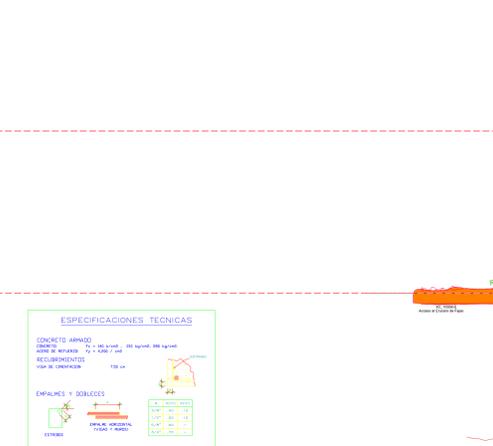
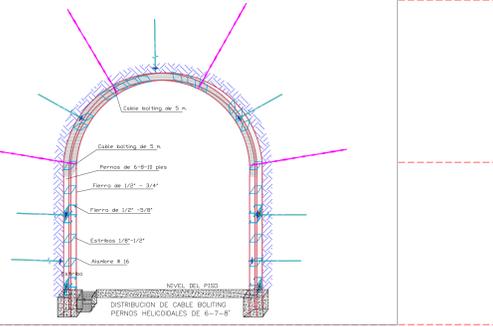
PERNOS HELICOIDALES DE 8"-7"

PROYECTO CABLE BOLTING DE 5m.

CENTRO DEL PIQUE

CABLE BOLTING ANTIGUOS

CABLE BOLTING EN PROYECTO OCT_15



REVISADO: **ING. M. MONAGO ALVAREZ JEFE DE GEOMECANICA**

LEYENDA

- Fallas
- Fractura
- Sistema de Juntas

NOMENCLATURA DE CALIDAD DE LA MASA ROCOSA

| TIPO DE ROCA | CLASE | R.M.R. | TIPO DE ROCA | CLASE | R.M.R. |
|--------------|---------|--------|--------------|-------|--------|
| BUENA A | I - A | 71-80 | MALA-A | IV-A | 31-40 |
| BUENA B | II - B | 61-70 | MALA-B | IV-B | 21-30 |
| REGULAR-A | III - A | 51-60 | MUY MALA | V | 0-20 |
| REGULAR-B | III - B | 41-50 | | | |

V" B" **ING. RAUL GAMARRA BECERRA**

UNDAC
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

ANEXO 05 **FECHA: FEBRERO - 2016** **ESCALA 1/750**

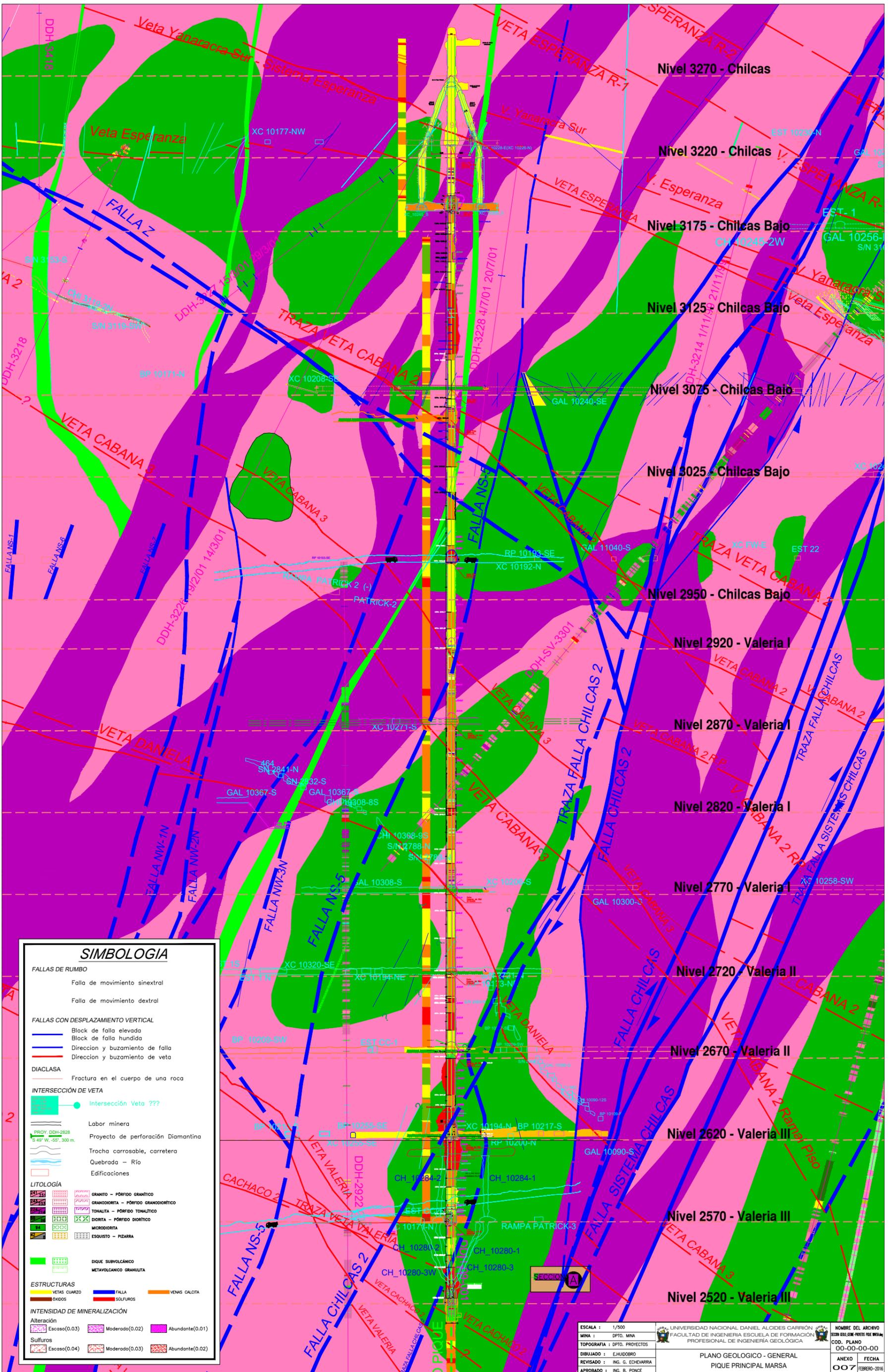
PLANO GEOMECANICO PIQUE MARSA PLANO SECCION PIQUE Nv. 3220 - 2470

ANEXO 5

PLANO SECCIÓN_GEOLÓGICO

PIQUE MARSA

Nv-3220 AL Nv-2470

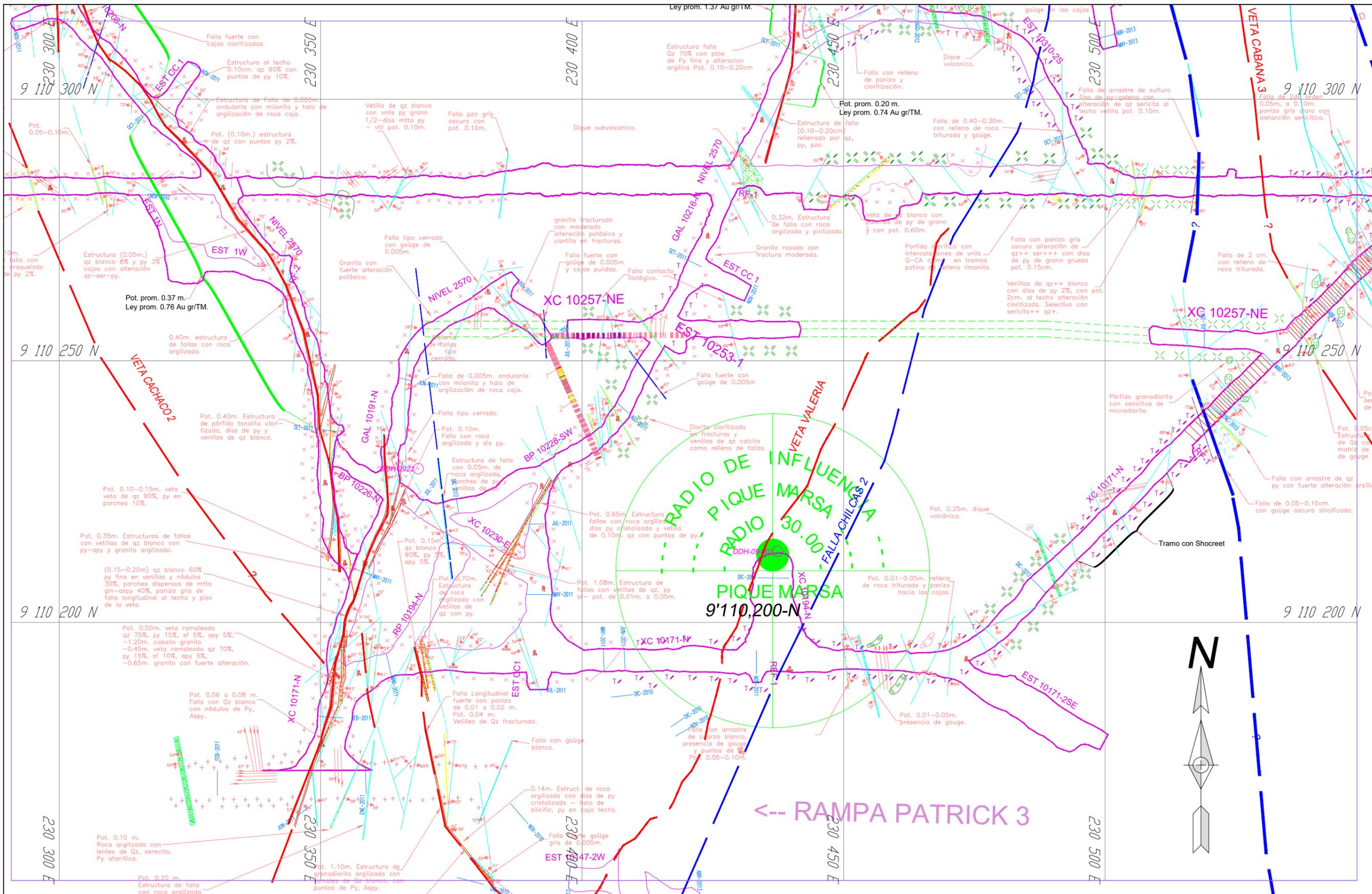


SIMBOLOGIA

| | |
|---|---------------------------------------|
| FALLAS DE RUMBO | |
| [Symbol] | Falla de movimiento sinistral |
| [Symbol] | Falla de movimiento dextral |
| FALLAS CON DESPLAZAMIENTO VERTICAL | |
| [Symbol] | Block de falla elevada |
| [Symbol] | Block de falla hundida |
| [Symbol] | Dirección y buzamiento de falla |
| [Symbol] | Dirección y buzamiento de veta |
| DIACLASA | |
| [Symbol] | Fractura en el cuerpo de una roca |
| INTERSECCIÓN DE VETA | |
| [Symbol] | Intersección Veta ??? |
| [Symbol] | Labor minera |
| [Symbol] | Proyecto de perforación Diamantina |
| [Symbol] | Trocha carrozable, carretera |
| [Symbol] | Quebrada - Río |
| [Symbol] | Edificaciones |
| LITOLOGÍA | |
| [Symbol] | GRANITO - PORFIDO GRANITICO |
| [Symbol] | GRANODIORITA - PORFIDO GRANODIORITICO |
| [Symbol] | TONALITA - PORFIDO TONALITICO |
| [Symbol] | DIORITA - PORFIDO DIORITICO |
| [Symbol] | MICRODIORITA |
| [Symbol] | ESQUISTO - PIZARRA |
| [Symbol] | DIQUE SUBVOLCANICO |
| [Symbol] | METAVOLCANICO GRANULITA |
| ESTRUCTURAS | |
| [Symbol] | VETA CUARZO |
| [Symbol] | VETA SOLFUROS |
| [Symbol] | VETA CALCITA |
| [Symbol] | FALLA |
| [Symbol] | VETA VALERIA |
| [Symbol] | VETA CACHACO |
| [Symbol] | VETA CABANA |
| [Symbol] | VETA ESPERANZA |
| [Symbol] | VETA YANARACA |
| [Symbol] | VETA DANIELA |
| [Symbol] | VETA CHILCAS |
| [Symbol] | VETA SISTEMA |
| [Symbol] | VETA CABANA 2 |
| [Symbol] | VETA CABANA 3 |
| [Symbol] | VETA CABANA 4 |
| [Symbol] | VETA CABANA 5 |
| [Symbol] | VETA CABANA 6 |
| [Symbol] | VETA CABANA 7 |
| [Symbol] | VETA CABANA 8 |
| [Symbol] | VETA CABANA 9 |
| [Symbol] | VETA CABANA 10 |
| [Symbol] | VETA CABANA 11 |
| [Symbol] | VETA CABANA 12 |
| [Symbol] | VETA CABANA 13 |
| [Symbol] | VETA CABANA 14 |
| [Symbol] | VETA CABANA 15 |
| [Symbol] | VETA CABANA 16 |
| [Symbol] | VETA CABANA 17 |
| [Symbol] | VETA CABANA 18 |
| [Symbol] | VETA CABANA 19 |
| [Symbol] | VETA CABANA 20 |
| [Symbol] | VETA CABANA 21 |
| [Symbol] | VETA CABANA 22 |
| [Symbol] | VETA CABANA 23 |
| [Symbol] | VETA CABANA 24 |
| [Symbol] | VETA CABANA 25 |
| [Symbol] | VETA CABANA 26 |
| [Symbol] | VETA CABANA 27 |
| [Symbol] | VETA CABANA 28 |
| [Symbol] | VETA CABANA 29 |
| [Symbol] | VETA CABANA 30 |
| [Symbol] | VETA CABANA 31 |
| [Symbol] | VETA CABANA 32 |
| [Symbol] | VETA CABANA 33 |
| [Symbol] | VETA CABANA 34 |
| [Symbol] | VETA CABANA 35 |
| [Symbol] | VETA CABANA 36 |
| [Symbol] | VETA CABANA 37 |
| [Symbol] | VETA CABANA 38 |
| [Symbol] | VETA CABANA 39 |
| [Symbol] | VETA CABANA 40 |
| [Symbol] | VETA CABANA 41 |
| [Symbol] | VETA CABANA 42 |
| [Symbol] | VETA CABANA 43 |
| [Symbol] | VETA CABANA 44 |
| [Symbol] | VETA CABANA 45 |
| [Symbol] | VETA CABANA 46 |
| [Symbol] | VETA CABANA 47 |
| [Symbol] | VETA CABANA 48 |
| [Symbol] | VETA CABANA 49 |
| [Symbol] | VETA CABANA 50 |
| [Symbol] | VETA CABANA 51 |
| [Symbol] | VETA CABANA 52 |
| [Symbol] | VETA CABANA 53 |
| [Symbol] | VETA CABANA 54 |
| [Symbol] | VETA CABANA 55 |
| [Symbol] | VETA CABANA 56 |
| [Symbol] | VETA CABANA 57 |
| [Symbol] | VETA CABANA 58 |
| [Symbol] | VETA CABANA 59 |
| [Symbol] | VETA CABANA 60 |
| [Symbol] | VETA CABANA 61 |
| [Symbol] | VETA CABANA 62 |
| [Symbol] | VETA CABANA 63 |
| [Symbol] | VETA CABANA 64 |
| [Symbol] | VETA CABANA 65 |
| [Symbol] | VETA CABANA 66 |
| [Symbol] | VETA CABANA 67 |
| [Symbol] | VETA CABANA 68 |
| [Symbol] | VETA CABANA 69 |
| [Symbol] | VETA CABANA 70 |
| [Symbol] | VETA CABANA 71 |
| [Symbol] | VETA CABANA 72 |
| [Symbol] | VETA CABANA 73 |
| [Symbol] | VETA CABANA 74 |
| [Symbol] | VETA CABANA 75 |
| [Symbol] | VETA CABANA 76 |
| [Symbol] | VETA CABANA 77 |
| [Symbol] | VETA CABANA 78 |
| [Symbol] | VETA CABANA 79 |
| [Symbol] | VETA CABANA 80 |
| [Symbol] | VETA CABANA 81 |
| [Symbol] | VETA CABANA 82 |
| [Symbol] | VETA CABANA 83 |
| [Symbol] | VETA CABANA 84 |
| [Symbol] | VETA CABANA 85 |
| [Symbol] | VETA CABANA 86 |
| [Symbol] | VETA CABANA 87 |
| [Symbol] | VETA CABANA 88 |
| [Symbol] | VETA CABANA 89 |
| [Symbol] | VETA CABANA 90 |
| [Symbol] | VETA CABANA 91 |
| [Symbol] | VETA CABANA 92 |
| [Symbol] | VETA CABANA 93 |
| [Symbol] | VETA CABANA 94 |
| [Symbol] | VETA CABANA 95 |
| [Symbol] | VETA CABANA 96 |
| [Symbol] | VETA CABANA 97 |
| [Symbol] | VETA CABANA 98 |
| [Symbol] | VETA CABANA 99 |
| [Symbol] | VETA CABANA 100 |
| INTENSIDAD DE MINERALIZACIÓN | |
| [Symbol] | Alteración Escasa(0.03) |
| [Symbol] | Moderada(0.02) |
| [Symbol] | Abundante(0.01) |
| [Symbol] | Sulfuros Escaso(0.04) |
| [Symbol] | Moderado(0.03) |
| [Symbol] | Abundante(0.02) |

ANEXO 6

PLANO DE ESTRUTURA GEOLÓGICA POR NIVEL



| | | | |
|------------|------------------|-------|------------|
| ESCALA : | 1-1000 | FECHA | |
| GEOLOGIA : | DPTO. GEOLOGIA | | 10/06/2018 |
| DISEÑADO : | PLANEAMIENTO | | 10/06/2018 |
| DIBUJADO : | Dpto. Ingeniería | | 10/06/2018 |
| REVISADO : | Dpto. Ingeniería | | 10/06/2018 |
| APROBADO : | Dpto. Ingeniería | | 10/06/2018 |



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE FORMACIÓN
PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA



ANEXO 07

PROYECTO PIQUE PRINCIPAL MARSA
NIVEL: 2570
PLANO DE ESTRUCTURA GEOLÓGICA

FECHA
Enero - 2018

ANEXO 7

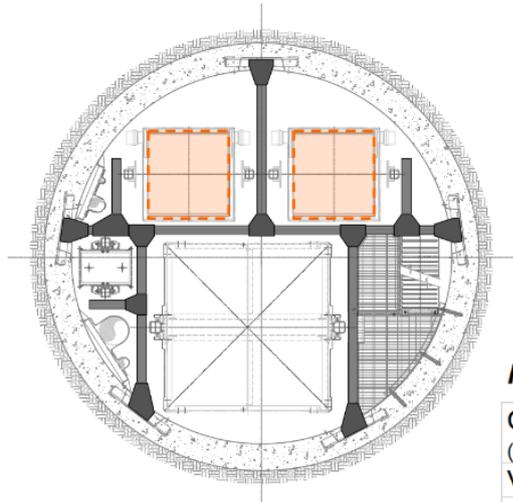
CONFIGURACIÓN DEL

PROYECTO PRINCIPAL PIQUE

MARSA

PARÁMETROS DE DISEÑO

Producción



VISTA EN PLANTA



MARSA

Parámetros operacionales

| | Unid. | Cant. |
|---|-------------|-------|
| Capacidad de Izaje (mineral y desmote) | T / día | 3,800 |
| Velocidad | m/s | 9.14 |
| Longitud de Izaje | m | 770 |
| Horas de operación al día | horas / día | 17.5 |
| Capacidad del Skip | T | 8.2 |

T: Tonelada métrica

(*) Con la posibilidad de incrementar velocidad hasta 12 m/s.

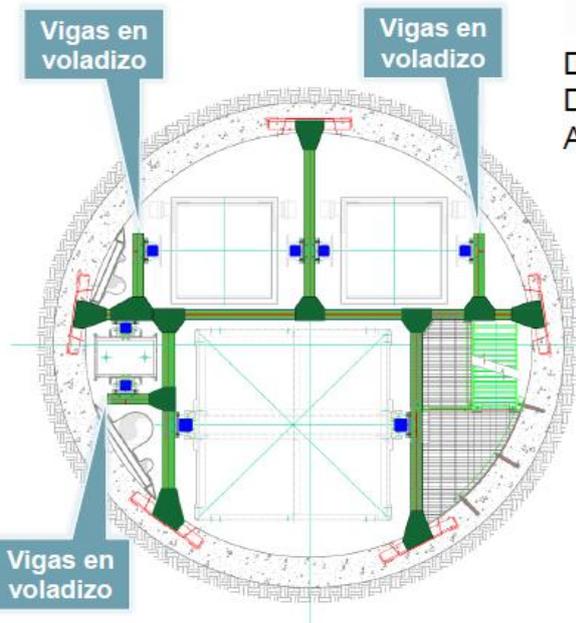
PARÁMETROS DE DISEÑO

MARSA

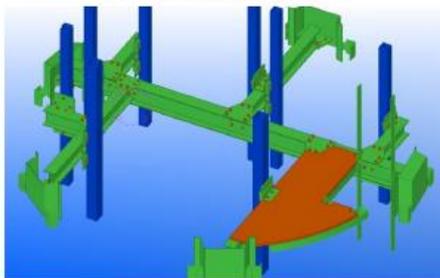
- Sets Metálicos -

Dimensiones Generales

| | |
|-------------------------|-------|
| Diámetro de excavación: | 4.8 m |
| Diámetro útil: | 4.2 m |
| Anillo de concreto: | 0.3 m |



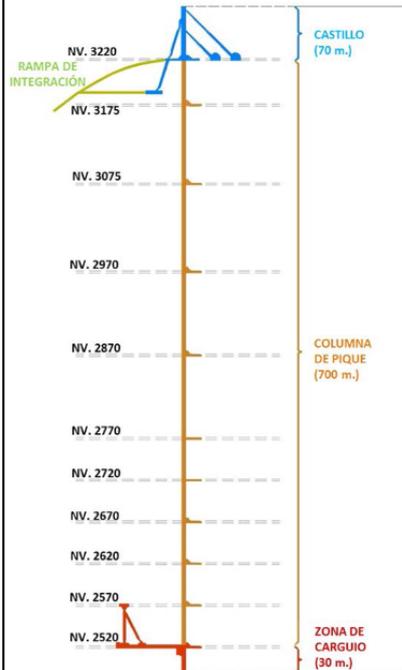
Vista Isométrica



(*) Acero ASTM-A572 grado 50

CONFIGURACIÓN DEL PROYECTO

MARSA



Zona del Castillo

Alberga los equipos más importantes y costosos del proyecto, los **Winches de Izaje** (de 1er uso).

Columna de Pique

Excavación tipo pozo circular, de 700 m de profundidad, con 11 estaciones.

Zona de Carguío

Zona que recepciona el mineral a través del sistema de echaderos y faja; el material es depositado en el dosificador, para alimentar a los skips.

Rampa Integración y accesos

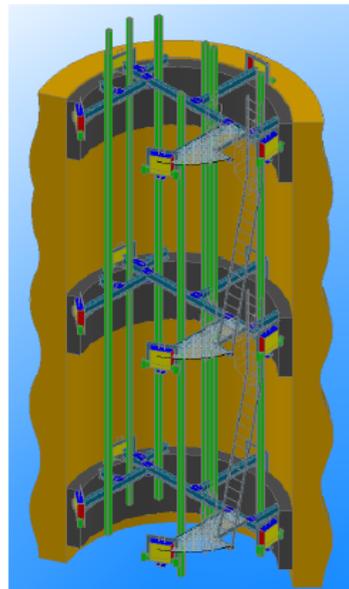
La rampa de integración une el Pique con Rampa Patrick, tiene una longitud de 1.3 km.

PARÁMETROS DE DISEÑO

MARSA

- Guías Metálicas -

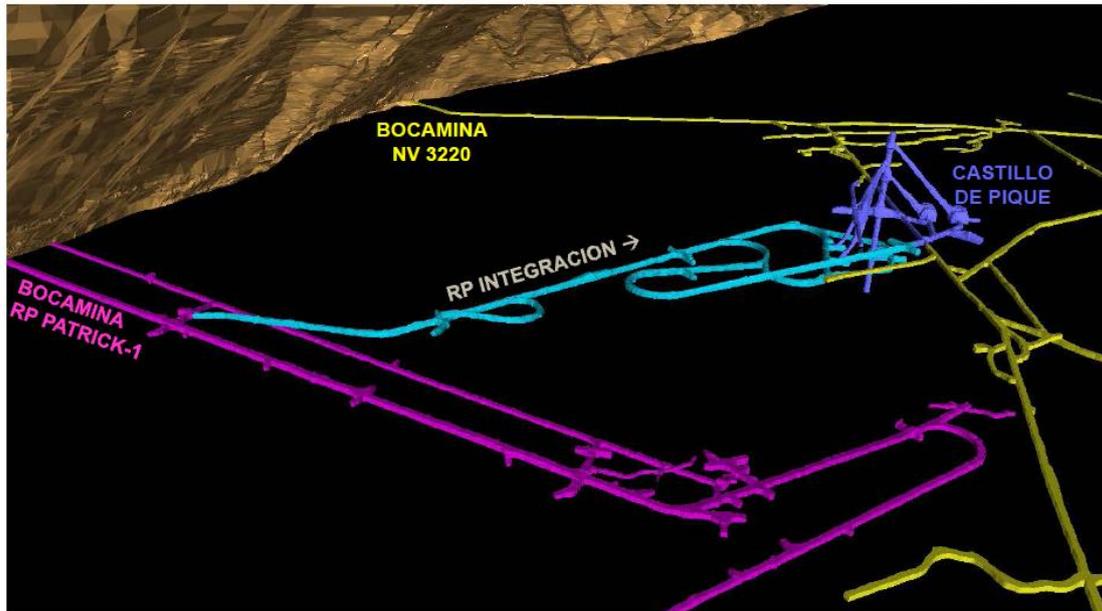
- Las guías tanto para los skips, jaula y contrapeso son metálicas.
- Se optó por poner **guías metálicas** para la **jaula** en vez de las tradicionales de madera, con la finalidad de conseguir una mayor velocidad izaje de hasta **9m/s**.
- Teniendo en cuenta todas las medidas de seguridad se adquirió el sistema de frenado de emergencia **E-FAS de HORNE**.



Vista Isométrica

RAMPA DE INTEGRACIÓN

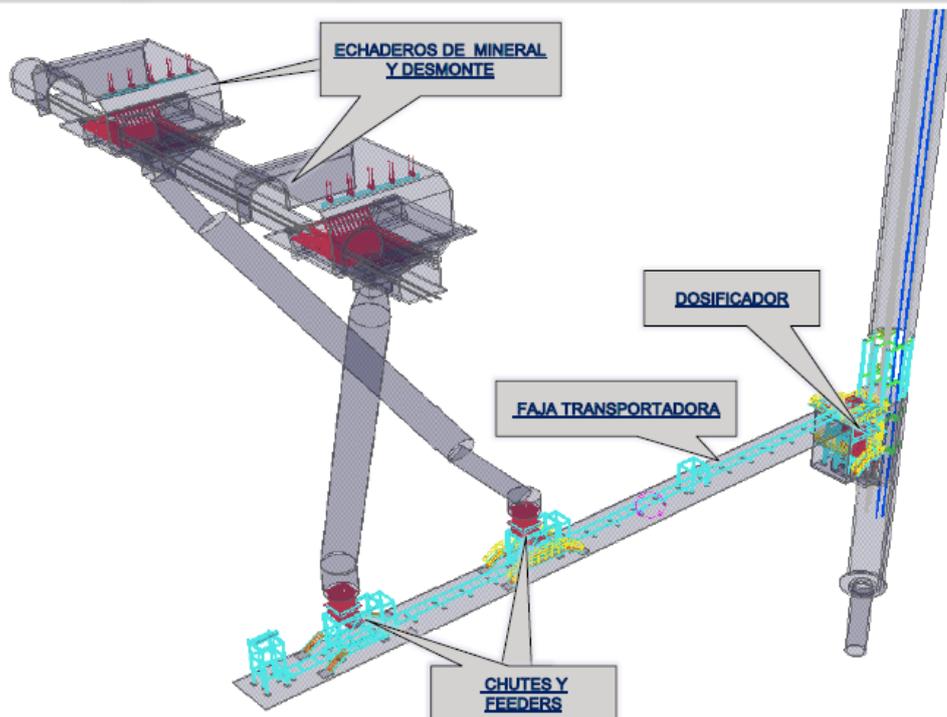
MARSA



- Longitud de Rampa: 1,313 m (incluye rampa, cámaras y estocadas)
- Sección de 4.00 m x 4.00 m.

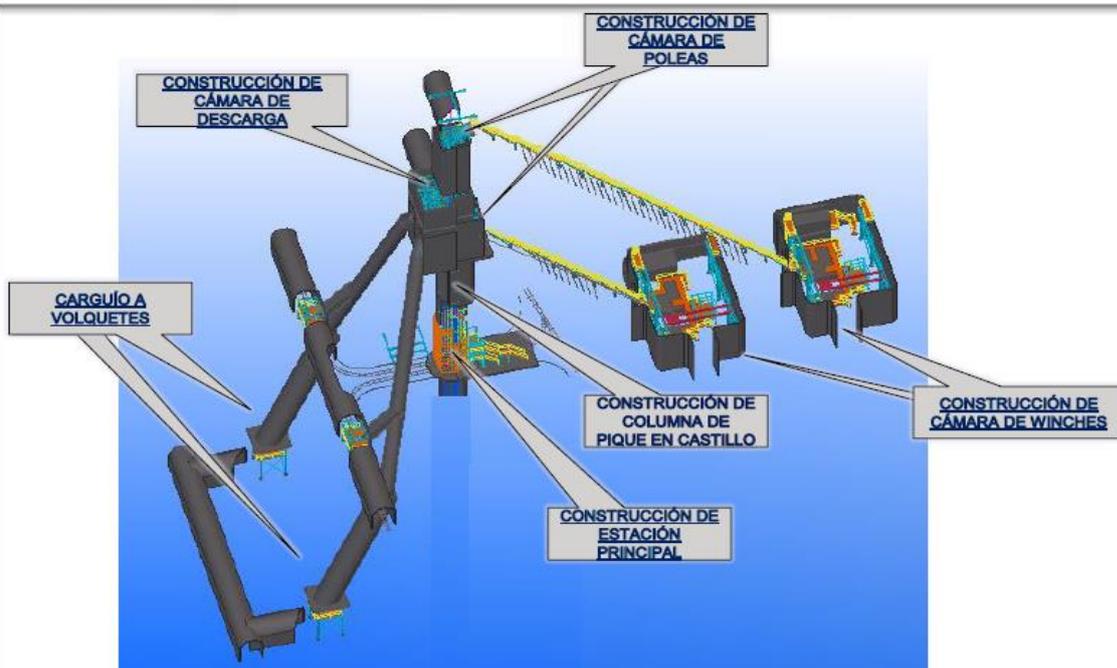
ZONA DE CARGUÍO

MARSA



ZONA DEL CASTILLO

MARSA



COMISIONAMIENTO

MARSA

- El comisionamiento es la etapa final del Proyecto, es un proceso de control de calidad, con las siguientes etapas:

| | |
|---|---|
|  | COLUMNA DE PIQUE <ul style="list-style-type: none">• CONTRATISTA DE PIQUE• DICIEMBRE 2015 |
|  | EQUIPOS DE CARGUÍO <ul style="list-style-type: none">• FABRICANTE (USA)• MARZO 2016 |
|  | WINCHES DE IZAJE <ul style="list-style-type: none">• FABRICANTE (INGLATERRA)• MARZO 2016 |

- Para el aseguramiento de calidad del comisionamiento, se esta contratando a una empresa supervisora externa especialista en piques.