

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Estudio geomecánico del crucero XC850 - Nivel 4025,
mediante la aplicación del gráfico múltiple GDE - Mina
Codiciada, Compañía Minera Argentum**

Diego Gustavo Gavilan Ruiz

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Ing. Javier Córdova Blancas

AGRADECIMIENTO

A Dios. Al ingeniero Carlos Vallejo Cortez, por el respaldo y la oportunidad que me dio para desarrollar y liderar este gran proyecto, y por compartir su conocimiento y su experiencia. Al ingeniero Javier Carlos Córdova Blancas, por aceptar asesorarme en la presente tesina, por su orientación, dedicación y por respaldar este proyecto. Al ingeniero Ricardo Valderrama, por el apoyo que me brindó en mi vida profesional. Al ingeniero Carlos Chacón, por sus enseñanzas en el inicio y el presente de esta linda carrera. A esta prestigiosa Universidad, por las enseñanzas compartidas, para que hoy pueda demostrarlas en mi día a día como profesional.

Diego Gustavo Gavilan Ruiz

DEDICATORIA

A las personas que más amo en esta vida:

A mis hijos Diogo, Micaela y mi esposa Claudia, por su amor y comprensión que me motivan a seguir adelante cada día. A mis adorados padres, Deisy y Gustavo, y a mis hermanos Dagner, Kevin y Gerson, por su amor, apoyo y cariño incondicional.

A mi primo hermano Antonio Mosquera que desde el cielo me cuida.

Diego Gustavo Gavilan Ruiz

ÍNDICE

PORTADA.....	I
ASESOR	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE	V
LISTA DE TABLAS	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XVI
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	18
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.2. OBJETIVOS	20
1.2.1. OBJETIVO PRINCIPAL.....	20
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	20
1.3.1. JUSTIFICACIÓN SOCIAL - PRÁCTICA.....	20
1.3.2. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA.....	21
1.3.3. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	21
1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	22
1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	22
1.5. MATRIZ DE CONSISTENCIA	23
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	25
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	25
2.2. GENERALIDADES DE LA MINA CODICIADA	27
2.2.1. UBICACIÓN, ACCESIBILIDAD Y GENERALIDADES.....	27
2.2.2. CLIMA.....	28
2.3. GEOLOGÍA.....	28
2.3.1. GEOLOGÍA REGIONAL.....	29
2.3.2. GEOLOGÍA LOCAL.....	34
2.3.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	37
2.4. GEOMECAÁNICA.....	38
2.4.1. CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICO DE LOS MACISOS ROCOSOS	38
2.4.2. CLASIFICACIÓN DE DEERE – RQD (1967).....	39
2.4.3. CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI O RMR (1973, 1976, 1967).....	41
2.4.4. CLASIFICACIONES DE BARTON O ÍNDICE Q (1974).....	45
2.4.5. CLASIFICACIÓN DE WICKHAM, TIEDMAN Y SKINNER (RSR)	48
2.4.6. CLASIFICACIÓN GSI (GEOLOGICAL STRENGTH INDEX).....	49
2.4.7. CLASIFICACIÓN RMI	52
2.4.8. CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO.....	54
2.4.9. GEOMECAÁNICA EN LA MINA MOROCOCHA.....	55
2.4.10. CRITERIOS DE EVALUACIÓN GEOMECAÁNICA DE MOROCOCHA.....	55
2.4.11. DESCRIPCIÓN GEOMECAÁNICA – LITOLÓGICA DE MOROCOCHA	55
2.5. MÉTODO DE MINADO UTILIZADO EN LA UNIDAD MINERA ARGENTUM	56
2.5.1. MÉTODO GRÁFICO DE ESTABILIDAD DE MATHEWS	57
2.6. BASES TEÓRICAS	59
2.6.1. DESCRIPCIÓN DEL GRÁFICO MULTIPLE GDE	59
2.6.2. SECTOR I: VALORACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA MASA ROCOSA	

2.6.3.	SECTOR II: VALORACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL MASA ROCOSA	63
2.6.4.	SECTOR III: VALORACIÓN DE LA COMPETENCIA DEL MASA ROCOSA.....	64
2.6.5.	SECTOR IV: VALORACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL MASA ROCOSA EN LA EXCAVACIÓN.....	66
2.6.6.	TIPOS DE ROTURA.....	67
2.7.	INVESTIGACIÓN DEL CRUCERO XC 850	71
2.7.1.	GENERALIDADES	71
2.7.2.	GEOLOGÍA EN EL EJE DEL CRUCERO XC850	72
2.7.3.	CARACTERIZACIÓN DE LA MASA ROCOSA DEL CRUCERO 850	74
2.7.4.	ESTEREOGRAFÍA DEL CRUCERO 850 Y SU ENTORNO	76
2.7.5.	ASPECTOS ESTRUCTURALES	80
2.7.6.	CLASIFICACIÓN DE LA MASA ROCOSA.....	82
2.7.7.	TIPOS DE MACIZO ROCOSO.....	83
2.7.8.	RESISTENCIA DE LA MASA ROCOSA	88
2.7.9.	CONDICIONES DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	91
2.7.10.	ESFUERZOS IN-SITU.....	92
2.8.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	93
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		96
3.1.	MÉTODO Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	96
3.1.1.	MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN	96
3.1.2.	ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	97
3.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	98
3.2.1.	TIPO DE DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	98
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA	98
3.3.1.	POBLACIÓN.....	98
3.3.2.	MUESTRA	98
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN		99
4.1.	RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	99
4.1.1.	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA APLICANDO EL GRÁFICO MULTIPLE GDE EN EL CRUCERO XC850.....	99
4.1.2.	ANÁLISIS DE DISEÑO DE SOSTENIMIENTO Y EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD.....	101
4.1.3.	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	109
CONCLUSIONES.....		114
RECOMENDACIONES		119
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		120
ANEXOS		121

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Matriz de consistencia.....	23
Tabla 2: Ruta.....	27
Tabla 3: Estimación de las resistencias medias de ciertas rocas según Bieniawski, 1973.....	42
Tabla 4: Clasificación de Deere (1967) del espaciado de las juntas.....	43
Tabla 5: Orientaciones relativas entre las juntas y el eje de la cavidad.....	44
Tabla 6: Clasificación RMR y sus valores.....	44
Tabla 7: Orientación de las discontinuidades.....	45
Tabla 8: Clasificación Q y sus valores.....	46
Tabla 9: Clasificación RSR y sus valores.....	48
Tabla 10: Índice de resistencia geológica (GSI) (Hoek y Marinos, 2000).....	50
Tabla 11: Clasificación GSI, Compañía Minera Argentum Dpto. de Geomecánica (2018).....	51
Tabla 12: Valores y valoraciones de los parámetros de entrada al RMI.....	53
Tabla 13: Valoraciones de los factores de ajuste para la estimación del sostenimiento de rocas.....	54
Tabla 14: Flujograma para la caracterización y clasificación del macizo rocoso.....	54
Tabla 15: Valoración de los parámetros j_L ; j_R , j_A y determinación del bloque (V_b).....	62
Tabla 16: Sistemas de familias por orientaciones.....	77
Tabla 17: Criterio para la clasificación de la masa rocosa.....	82
Tabla 18: Calidad de la masa rocosa por tipo de roca.....	83
Tabla 19: Clases de tipo de roca, valorización Índice RMR.....	84
Tabla 20: Parámetros del índice Q, condición de roca y valoración.....	84
Tabla 21: Zonificación Geomecánica y calidades de la masa rocosa.....	88
Tabla 22: Resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta.....	89
Tabla 23: Ensayos de carga puntual.....	89
Tabla 24: Ensayos de tracción indirecta.....	90
Tabla 25: Ensayos de compresión triaxial.....	90
Tabla 26: Ensayos de corte directo.....	91
Tabla 27: Resultado de ocurrencias de rotura mediante el “Grafico Múltiple”.....	100
Tabla 28: Aberturas máximas de las excavaciones permanentes.....	102
Tabla 29: Sostenimiento para labores de avance permanentes.....	103
Tabla 30: Tipos de macizo rocoso (TMR) y tipos de sostenimiento – Grafico Múltiple GDE.....	106
Tabla 31: Distribución del sostenimiento - Grafico Múltiple GDE.....	108
Tabla 32: Precio Unitario por tipos de soporte - Grafico Múltiple GDE.....	110
Tabla 33: Presupuesto de Tesis.....	111
Tabla 34: Cronograma de actividades de tesis.....	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa del distrito de Morococha (Compañía Minera Argentum)	28
Figura2: Vista de la compañía minera Argentum S.A. (Morococha).....	29
Figura3: Plano geológico regional del Distrito de Morococha.....	30
Figura 4: Columna estratigráfica generalizada de la región.	33
Figura 5: Columna estratigráfica distrito minero de Morococha	34
Figura 6: Puede observarse las características de la geología local de la Unidad Morococha.	35
Figura 7: Modelo geológico Argentum, mirando al Norte.....	35
Figura 8: Valoración del R.Q.D. a partir de testigos de perforación.	40
Figura 9: Índice volumétrico del Jv y clasificación del tamaño de bloque en función de espaciados de juntas y número de familias.	41
Figura 10: Resistencia del macizo rocoso en función del espaciado de las juntas y de la resistencia a compresión simple de la roca (Bieniawski, 1976).	43
Figura11: Relación entre el MRMR y el Radio Hidráulico, Laubscher (1990).	57
Figura12: Gráfico de estabilidad modificado, Potvin y Nickson (1992).....	59
Figura13: Gráfico Múltiple GDE	60
Figura14: Sector I: Estimación de las características del macizo rocoso	61
Figura15: Sector II: Estimación de la resistencia del macizo rocoso	64
Figura 16: Sector III: Estimación de la competencia del macizo rocoso	65
Figura 17: Estimación del comportamiento del macizo rocoso en la excavación.....	67
Figura 18: Rotura del macizo rocoso por lajamiento (spalling) del hastial derecho de un túnel en andesitas levemente fracturadas ($3 < \sigma_c / \sigma_1 < 5$).	68
Figura 19: Rotura del macizo rocoso masivo por estallido de rocas (rock burst) del hastial izquierdo de un túnel ($\sigma_c / \sigma_1 < 3$).	69
Figura 20: Rotura del macizo rocoso por cuñas inestables debido a intersección de fracturas desfavorables a la orientación de la excavación.	69
Figura 21: Rotura del macizo rocoso en la bóveda por deformación plástica moderada (squeezing)	70
Figura 22: Rotura del macizo rocoso en el frente de avance por deformación plástica severa (severe squeezing)	70
Figura 23: XC 850, Nivel 025, Mina Codiciada. Vista de perfil y planta del Crucero 850.....	71
Figura 24: Plano geológico de la mina Morococha	72
Figura 25: Perfil geológico inferido en el eje del crucero 850 de dirección EW según plano geológico local de la unidad minera Morococha.....	73
Figura 26: Plano topográfico y ubicación de sondajes diamantinos del final de la excavación del Crucero 850.	75
Figura 27: Identificación de zonas de fracturas Plano topográfico y ubicación de sondajes diamantinos del final de la excavación del Crucero 850.	75
Figura 28: Plano Topográfico y ubicación de sondajes diamantinos en 3D del Crucero 850.	76
Figura 29: Estereografía de contornos de volcánico (Andesitas) del crucero 850.	77
Figura 30: Estereografía de contornos de planos mayores de roca volcánica (Andesitas) del crucero 850.	78
Figura 31: Diagrama de roseta de discontinuidades del volcánico (Andesitas) del crucero 850. ..	78
Figura32: Estereografía de contornos de calizas del crucero 850.....	79
Figura33: Diagrama estereográfico de planos mayores de calizas del crucero 850.	80
Figura34: Diagrama de roseta de discontinuidades de calizas del crucero 850.	80
Figura35: XC850, Nivel 4025, Mina Codiciada. Se encuentra excavado en rocas andesíticas, moderadamente fracturadas, buena (F/B).....	81
Figura 36: Procedimiento para la identificación de los tipos de macizo rocoso (Poschl, Kleberger, 2006)	85
Figura 37: Tabla GSI – RMR y tipos de trocas en la excavación del Crucero Xc 850	87
Figura 38: Vista de la pared izquierda del crucero 850. Se observa la excavación lateral ejecutada para emplazar la cuneta de drenaje, la cual se está ejecutando posterior al avance y origina la presencia de lajamiento en la pared, según fractura N20°E/78°SE.	92
Figura 39: Vista de la pared izquierda de un tramo del crucero 850 donde se observa la presencia de lajas que han sido sostenidas con pernos y malla.	93

Figura 40: Análisis de rotura del macizo rocoso en el cruce 850, según el Grafico Múltiple (G. Russo, 2014).....	101
Figura 41: Guía para el sostenimiento de excavaciones permanentes (Según Grimstad y Barton, 1993).....	103

RESUMEN

La Compañía Minera Argentum S.A. nace el 26 de noviembre de 2003. Subsidiaria de Pan American Silver Perú S.A.C., quien adquirió el 92.014% de las acciones comunes tomando total control administrativo y operacional de los activos de la empresa, tiene una trayectoria minera muy importante en los andes centrales del Perú. La Compañía Minera Argentum S.A. está conformada por Unidades Económicas Administrativas (U.E.A.). La UEA de Manuelita, Anticona y Morococha. La Compañía Minera Argentum S.A. es una de las minas que se encuentra ubicada en la parte central del distrito minero Morococha y abarca una extensión de 10 kilómetros cuadrados. La producción anual del 2018 de los 4 sectores generaron 730,000.00 TMS, con leyes de Ag 134 g., Cu 0.99%, Pb 1.01% y Zn 3.35%, con un ancho de veta promedio de 1.8 metros, una potencia de minado de 2.7 metros y un valor de mineral de 145 US\$/ton y una producción de 2000 tpd, proveniente de tajeos minados mediante sub level stoping con taladros largos y corte y relleno ascendente en menor proporción.

Uno de los factores que influye directamente en los altos costos y, por ende, en la disminución de la productividad es un inadecuado modelo geomecánico que afecta directamente al tipo de sostenimiento, programa de avances, afectando el plan minero. Por lo que el presente estudio permitió el uso de un modelo geomecánico predictivo que controla la incertidumbre en el diseño y desarrollo de labores subterráneas, identificando los peligros que se presentan en la explotación de los laboreos mineros debido a los distintos tipos de rotura que presenta la roca, aplicando el gráfico múltiple en el crucero XC850 – Nivel 4025 de la Unidad Minera Codiciada de la Compañía Minera Argentum S. A.

Este enfoque de evaluación del comportamiento del macizo rocoso en una excavación subterránea correlaciona las diferentes clasificaciones geomecánicas (RMi, GSI y RMR) con el objeto de obtener un índice de competencia (IC), que al relacionarlo con las tensiones in-situ, producto de la profundidad de la excavación, nos permita identificar en forma preliminar los diferentes tipos de rotura del macizo rocoso que puedan presentarse durante la excavación.

El método empleado en la investigación es el método inductivo - deductivo. Este método está orientado a observar e investigar a fondo los parámetros del comportamiento del macizo rocoso aplicando el “Método Gráfico Múltiple GDE” para evaluar los resultados. Las evaluaciones de los parámetros técnicos económicos sirvieron para llegar a determinar de

qué manera mejora la productividad de las operaciones mineras (avance, sostenimiento) en la explotación del Crucero 850 del nivel 4025 en la Zona de Codiciada.

El cruceo XC850 - Nivel 4025, de la UEA Anticona, se ha proyectado con el objeto de unir las zonas de Codiciada y Alapampa, para luego drenar las aguas de infiltración que se presentan en la mina Alapampa. Tendrá una longitud aproximada de 1,410 m., con una sección de 4.5 m. de ancho y 4.0 m. de altura, con una cuneta de 1.0 m de ancho y 0.5 m de profundidad, diseñada para un caudal máximo de 0.5 m³/s.

El cruceo 850 será excavado en rocas andesíticas del volcánico Santa Catalina o formación Yauli (Grupo Mitu) y rocas sedimentarias, calizas y anhidritas de formación Pucará con un encampane promedio de 600 m ($\sigma_v = 15.6$ MPa). De acuerdo con la zonificación geomecánica, se ha obtenido la siguiente distribución del tipo de macizo rocoso (TMR) y de sostenimiento:

Tipo de macizo rocoso (TMR)	Tipo de sostenimiento
Roca Tipo I y II = 53%	Soporte Tipo A-B= 53%
Roca Tipo III = 25%	Soporte Tipo C = 25%
Roca Tipo IV = 16%	Soporte Tipo D = 16%
Roca Tipo V = 3%	Soporte Tipo E = 3%

La distribución de tipos de roca y soporte del cruceo 850 se ha obtenido tomando en cuenta los criterios de roca prevalente (60%), roca subordinada (30%) y roca opcional (10%), que pueden presentarse por tramos según las condiciones geomecánicas del macizo rocoso.

La distribución de los tipos de rotura que se puedan presentar a lo largo del túnel, según las condiciones geomecánicas y de acuerdo al gráfico múltiple - GDE (Russo, 2014), es la siguiente:

Tipo de rotura del macizo rocoso	%
Estable	20
Lajamiento	13
Cuñas	34
Desprendimiento	20
Deformación	13

Finalmente, tomando en cuenta el análisis comparativo entre la zonificación geomecánica y los distintos tipos de rotura de la masa rocosa que se puede presentar a lo largo del crucero XC850, se estima que el sostenimiento final es el siguiente:

Tipo de sostenimiento	%
Soporte Tipo A	20
Soporte Tipo B	40
Soporte Tipo C	20
Soporte Tipo D	15
Soporte Tipo E	5

El resultado de la investigación concluye con el conocimiento de las calidades del macizo rocoso del proyecto, a partir de ahí se establecieron parámetros en voladura, sostenimiento, logística, productividad.

ABSTRACT

Compañía Minera Argentum S.A., a subsidiary of Pan American Silver Peru SAC, has a very important mining history in the central Andes of Peru. The Argentum Mining Company is made up of a group of mines that are distributed within an area of approximately 60 square kilometers. The Unit of Manuelita, Coveted, Sulfurous and Yacumin. The Manuelita mine is one of the mines that is located in the central part of the Morococha mining district and covers an area of 10 square kilometers. The 2018 annual production of the 4 sectors generated 730,000.00 TMS, with laws of Ag @ 134 ppm, Cu@0.99%, Pb@1.01% and Zn@3.35%, with an average grain width of 1.8 meters, a width of mined of 2.7 meters and a mineral value of 145 US \$ / ton and a production of 2000 tpd, coming from mines cut by sublevel stoping with long drills and cut and fill up in smaller proportion.

One of the factors that directly influences the high costs and therefore the decrease in productivity is an inadequate geomechanical model that directly affects the type of support, progress program, affecting the mining plan. Therefore, the present study allowed the use of a predictive geomechanical model that controls the uncertainty in the design and development of underground workings, identifying the risks that may arise during its excavation due to the different types of breakage that the rock mass presents, applying the multiple graph on the XC850 cruise - Level 4025 of the Coined Mining Unit of Compañía Minera Argentum.

This approach to assess the behavior of the rock mass in an underground excavation correlating the different geometric classifications (RMI, GSI and RMR) in order to obtain a competition index (IC), which when related to the stresses in situ, product of the depth of the excavation allows us to identify in a preliminary way the different types of rock mass breakage that may occur during the excavation.

The XC850 - Level 4025 cruiser, from the Greed Mining Unit, has been designed to unite the areas of Codiciada and Alapampa, and then drain the infiltration waters that occur at the Alapampa mine. It will have an approximate length of 1,410 m with a section 4.5 m wide and 4.0 m high with a gutter of 1.0 m wide and 0.5 m deep, designed for a maximum flow of 0.5 m³ / s.

Cruise 850 will be excavated in andesitic rocks of the Santa Catalina volcano or Yauli formation (Mitu Group) and sedimentary, limestone and anhydrite rocks of Pucara formation with an average of 600 m ($\sigma_v = 15.6$ MPa). According to the geomechanical zoning, the following distribution of the type of rock mass (TMR) and support has been obtained:

Tipo de macizo rocoso (TMR)	Tipo de sostenimiento
Roca Tipo I y II = 53%	Soporte Tipo A-B= 53%
Roca Tipo III = 25%	Soporte Tipo C = 25%
Roca Tipo IV = 16%	Soporte Tipo D = 16%
Roca Tipo V = 3%	Soporte Tipo E = 3%

The distribution of rock types and support of cruise 850 was obtained taking into account the criteria of prevalent rock (60%), subordinate rock (30%) and optional rock (10%) that can be presented by sections according to the geomechanical conditions of the massif rocky.

The distribution of the types of breakage that may occur along the tunnel, according to the geomechanical conditions and according to the multiple graph - GDE (Russo, 2014), is as follows:

Tipo de rotura del macizo rocoso	%
Estable	20
Lajamiento	13
Cuñas	34
Desprendimiento	20
Deformación	13

Finally, taking into account the comparative analysis between the geomechanical zoning and the types of rock mass breakage that may occur along the XC850 cruise, it is estimated that the final support is as follows:

Tipo de sostenimiento	%
Soporte Tipo A	20
Soporte Tipo B	40
Soporte Tipo C	20
Soporte Tipo D	15
Soporte Tipo E	5

The result of the investigation concludes with the knowledge of the qualities of the rock mass of the project, from there parameters were established in blasting, maintenance, logistics, productivity.

INTRODUCCIÓN

La aplicación de los modelos geomecánicos en el diseño geotécnico de labores subterráneas es una tarea que representa un grado de complejidad especial, esto debido a la dificultad de caracterizar íntegramente los componentes del terreno y predecir su comportamiento frente a las excavaciones. Los factores geológicos, geomecánicos e hidrogeológicos, más que ningún otro factor, determinan el grado de dificultad y costos de construcción en obras subterráneas, esto debido a que, al momento de diseñar una labor subterránea, se debe estar consciente de la necesidad de contar con las herramientas adecuadas para enfrentar todas las variables que intervienen en el comportamiento geomecánico del terreno en el cual se proyectará la labor subterránea. Este conjunto de herramientas está constituido por la caracterización e investigación geológica-geotécnica, los sistemas de clasificación, los métodos numéricos y, por último, los análisis retrospectivos del comportamiento del terreno, llamado también "back analysis", permitirán mitigar el nivel de riesgo que se pueda presentar durante su excavación.

La presente tesis muestra la principal incertidumbre en túneles y excavaciones mineras que está vinculada con el reconocimiento de los riesgos que se presentarán durante la explotación de los laboreos mineros debido a los distintos tipos de rotura que presenta la masa rocosa.

Las inseguridades se refieren, en primer lugar, a la dificultad de poder realizar investigaciones o estudios a detalle antes de las excavaciones mineras, y a lo complejo que resulta a partir del conocimiento de los procesos evolutivos de la geología (formación de la masa rocosa) que han influido en las características presentes, por lo que el pronóstico del comportamiento de la excavación al ser explotada es uno de los puntos referentes en los diseños de un laboreo minero (túnel); la dedicación de los estudiosos en mecánica de rocas trajo consigo esfuerzos con el fin de ampliar la fiabilidad de las investigaciones para conseguir las probables respuestas de la masa rocosa. Este análisis de estimar una de las distintas clasificaciones geomecánicas (RMI, GSI y RMR), dando, así como objetivo el hallar el índice de competencia (IC), el que, cuando se relaciona con las tensiones verticales, nos permita identificar en forma de preámbulo los distintos tipos de rotura de la masa rocosa que suelen mostrarse durante la excavación.

Se llevaron a cabo las evaluaciones, siendo necesario realizar y ejecutar investigaciones geomecánicas correspondientes al reconocimiento litológico, mapeos y logueo geomecánico-geotécnicos y pruebas de laboratorio, que concedieron representar la masa

rocosa y asentar un patrón geomecánico; asimismo, se evaluó y diagnosticó las condiciones de esfuerzos in-situ.

Para el desarrollo de la presente tesis, nos basamos en clasificaciones geomecánicas que se iniciaron en tunelería civil con Terzaghi (1946) y que fueron evolucionando con el pasar de los años, llegándose a adaptar a excavaciones mineras subterráneas. Es aquí donde surge el Gráfico Múltiple planteado por el Dr. G. Russo, 2007 (Geodata SpA, Turin, Italy) titulado "Un enfoque racional simplificado para la evaluación preliminar del comportamiento de las excavaciones de túneles en roca", así como su actualización propuesta en el año 2014 y publicada en la revista *Tunnelling and Underground Space Technology* 41 (2014) 74-81 titulado "Actualización del Gráfico Múltiple - GDE para su aplicación en la evaluación preliminar del comportamiento del macizo rocoso en túneles" de Mathews (1981), para el diseño y dimensionamiento.

La investigación proporcionará grandes beneficios en el sector minero, como sustentar la inversión de proyectos mineros y establecer un ambiente favorable al incremento de utilidades bajo parámetros operacionales. Otro objetivo para desarrollar la investigación es mejorar la productividad en los avances operativos mediante el uso de la clasificación geomecánica "Gráfico Múltiple GDE" en el desarrollo de Crucero XC850 – Mina Codiciada.

En la actualidad, la mejora en la productividad en áreas de extracción de mineral se ha convertido en un eje fundamental dentro de la gestión de costos, ya que garantiza la estabilidad de una empresa y permite que logre sus objetivos de lineamiento corporativo en base a condiciones de mejora continua.

La aplicación de este método se llevó a cabo en la Mina Codiciada de Compañía Minera Argentum S.A. en el crucero XC850 – Nivel 4025 y consta de la investigación para el adecuado comportamiento de las excavaciones tuneleras y mineras donde se expone la experiencia y resultados obtenidos a partir del uso del "Gráfico Múltiple – GDE".

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sector de minería del Perú es uno de los sostenes de la economía peruana producto de las ventas de los minerales (exportación). La minería contribuye en un 20% de los ingresos fiscales, contribuye alrededor del 15% del Producto Bruto Interno (PBI) y el 60% de las exportaciones. La disminución de la productividad en las distintas áreas unitarias incrementa el costo de operación en un proyecto minero.

Este incremento en el costo de operación se debe principalmente en el desarrollo de profundización de labores de interior mina, lo cual permite a las distintas unidades mineras aplicar nuevas técnicas de investigación para mejorar la productividad en las distintas áreas operacionales. Esta mejora de la productividad obliga el uso de técnicas modernas aplicadas a los modelos geomecánicos, geometalúrgicos, etc.

La aplicación de los modelos geomecánicos en el diseño geotécnico de labores subterráneas es una tarea que representa un grado de complejidad especial, esto debido a la dificultad de caracterizar íntegramente los componentes del terreno y predecir su comportamiento frente a las excavaciones. Los factores geológicos, geomecánicos e hidrogeológicos, más que ningún otro factor, determinan el grado de dificultad y costos de construcción en obras subterráneas; es debido a esto que, al momento de diseñar una labor subterránea, se debe estar consciente de la

necesidad de contar con las herramientas adecuadas para enfrentar todas las variables que intervienen en el comportamiento geomecánico del terreno en el cual se proyectará la labor subterránea. Este conjunto de herramientas está constituido por la caracterización e investigación geológica- geotécnica, los sistemas de clasificación, los métodos numéricos y, por último, los análisis retrospectivos del comportamiento del terreno llamado también “back analysis”, permitirán mitigar el nivel de riesgo que se pueda presentar durante su excavación. (Diseño de Obras Subterráneas).

La principal inseguridad en las excavaciones mineras está en relación al reconocimiento de los peligros que se presentan durante la explotación del laboreo minero debido a los distintos tipos de rotura que muestra la masa rocosa. Esta inseguridad se debe, en primer lugar, a la dificultad de realizar estudios detallados previo a las excavaciones y a la complejidad de los eventos de las formaciones de la masa rocosa que han intervenido en sus características, por lo que el pronóstico del comportamiento de la excavación al ser explotada es uno de los puntos referentes en los diseños de un laboreo minero (túnel), ; la dedicación de los estudios en mecánica de rocas trajo consigo esfuerzos con el fin de ampliar la fiabilidad de las investigaciones para conseguir las probables respuestas de la masa rocosa. (Geodata SpA, Turin, Italy, 2007).

Una de las causas que intervienen directamente en los altos costos y, por ende, en la disminución de la productividad es un inadecuado modelo geomecánico que afecta directamente al tipo de sostenimiento, programa de avances, afectando el plan minero. En tal sentido, se propone aplicar el estudio geomecánico del crucero XC850 – Nivel 4025, mediante la aplicación del gráfico múltiple GDE en la mina Codiciada, generando un modelo geomecánico predictivo.

1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

- **Problema general**

¿Cuál es la influencia de la aplicación del “Gráfico Múltiple GDE” en la reducción de costos y optimización del programa de avance del Crucero XC850 – Nivel 4025, Mina Codiciada de Compañía Minera Argentum?

- **Problemas específicos**

¿Cuál es la influencia de las variables geomecánicas RMR, GSI y RMI y su aplicación en el “Gráfico Múltiple GDE” en la reducción de costos en el programa de avance del Crucero XC850 – Nivel 4025, Mina Codiciada de Compañía Minera Argentum?

¿Cuál es la influencia de la aplicación de las variables geomecánicas RMR, GSI y RMI en el “Gráfico Múltiple GDE” en la optimización del programa de avance del Crucero XC850 – Nivel 4025, Mina Codiciada de Compañía Minera Argentum?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO PRINCIPAL

Determinar la influencia de la aplicación del “Gráfico Múltiple GDE” en la reducción de costos y optimización del programa de avance del Crucero XC850 – Nivel 4025, Mina Codiciada de Compañía Minera Argentum.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la influencia de las variables geomecánicas RMR, GSI y RMI , y su aplicación en el “Gráfico Múltiple GDE” en la reducción de costos en el programa de avance del Crucero XC850 – Nivel 4025, Mina Codiciada de Compañía Minera Argentum.
- Determinar la influencia de la aplicación de las variables geomecánicas RMR, GSI y RMI en el “Gráfico Múltiple GDE” en la optimización del programa de avance del Crucero XC850 – Nivel 4025, Mina Codiciada de Compañía Minera Argentum.

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

1.3.1. JUSTIFICACIÓN SOCIAL - PRÁCTICA

El estudio traerá consigo grandes beneficios en el sector minero, ya que se podrá sustentar inversiones de proyectos mineros y establecer un entorno positivo al incremento de utilidades bajo parámetros operacionales. Otro objetivo para

desarrollar la investigación es mejorar la productividad en los avances operativos mediante el uso de la clasificación geomecánica “Gráfico Múltiple GDE” en el desarrollo de Crucero XC850 – Mina Codiciada.

En el presente, el avance de la productividad en los ciclos de extracción de los minerales se ha convertido en el pilar principal dentro de la dirección de costos, ya que respalda y avala la estabilidad y rentabilidad de las compañías mineras permitiendo el logro de sus objetivos de visión corporativo en base a condiciones de mejora continua.

El desarrollo de obras mineras se realiza en macizos rocosos de diversas calidades geomecánicas; el uso de técnicas modernas de clasificación geomecánica , como “Gráfico Múltiple GDE”, permite optimizar las excavaciones, manteniendo en equilibrio la estabilidad del macizo rocoso, dimensionamiento adecuado, diseño y distribución del sostenimiento, mejorando la productividad, reduciendo los costos y optimizando el tiempo de minado.

1.3.2. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA

El presente estudio generará con su desarrollo un nuevo modelo de establecer la mejora en la rentabilidad económica de la empresa incorporando un nuevo método de clasificación geomecánica, generando mejora en la productividad y, por ende, en la reducción de costos del ciclo minero.

Se espera que las empresas mineras, en colaboración con el Estado y la sociedad, busquen el desarrollo sostenible y progresivo, cumpliendo con las normas ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001 Y DS 0232017 EM.

1.3.3. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

El presente estudio propone mejorar la productividad integrando la aplicación del modelo geomecánico “Gráfico Múltiple GDE” con la finalidad de optimizar el tipo de sostenimiento, el cumplimiento del programa de avances en el progreso de labores mineras y optimizando la estructura de costos en el área de operación mina.

1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

La aplicación de las variables geomecánicas RMR, GSI y RMI, mediante el “Gráfico Múltiple GDE”, influye positivamente en la reducción de costos y optimización del programa de avance del Crucero XC850 – Nivel 4025, Mina Codiciada de Compañía Minera Argentum.

1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

La consolidación de las variables geomecánicas RMR, GSI y RMI, mediante la aplicación del “Grafico Múltiple GDE”, influye positivamente en la reducción de costos en el programa de avance del Crucero XC850 – Nivel 4025, Mina Codiciada de Compañía Minera Argentum.

El cumplimiento de los programas de avances, mediante la aplicación de las variables geomecánicas RMR, GSI y RMI en el “Gráfico Múltiple GDE”, influye positivamente en mejorar la optimización en el desarrollo del Crucero XC850 – Nivel 4025, Mina Codiciada de Compañía Minera Argentum. Variables independientes y dependientes.

1.5. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 1: Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS
PROBLEMA PRINCIPAL	OBJETIVO PRINCIPAL	HIPOTESIS PRINCIPAL
¿Cuál es el resultado de incorporar la Clasificación Geomecánica "Gráfico Múltiple GDE", en el desarrollo del Crucero XC850 – Nivel 4025, Mina Codiciada de Compañía Minera Argentum?	Determinar el resultado de incorporar la Clasificación Geomecánica "Gráfico Múltiple GDE", en el desarrollo del Crucero XC850 – Nivel 4025, Mina Codiciada de Compañía Minera Argentum.	La aplicación de las variables geomecánicas mediante el "Gráfico Múltiple GDE" influye positivamente en la mejora de la productividad en las áreas de sostenimiento y por lo tanto en la mejora en el cumplimiento del programa de avances en el desarrollo del Crucero XC850 – Mina Codiciada.
PROBLEMAS SECUNDARIOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS SECUNDARIOS
1. ¿Cómo aplicar los criterios técnicos económicos en la clasificación Geomecánica "Gráfico Múltiple GDE" para el desarrollo del Crucero XC850 – Nivel 4025, Mina Codiciada, de Compañía Minera Argentum?	1. Determinar los criterios técnicos económicos en la clasificación Geomecánica "Gráfico Múltiple GDE" para el desarrollo del Crucero XC850 – Nivel 4025, Mina Codiciada, de Compañía Minera Argentum.	1. La consolidación de los criterios técnicos económicos en la clasificación Geomecánica "Gráfico Múltiple GDE" permitirá el cumplimiento en el desarrollo del Crucero XC850 – Nivel 4025, Mina Codiciada, de Compañía Minera Argentum?.
2. ¿Cómo mejorar la productividad en el programa de avances del Crucero XC850 – Nivel 4025, Mina Codiciada de Compañía Minera Argentum?	2. Determinar la productividad en el programa de avances del Crucero XC850 – Nivel 4025, Mina Codiciada de Compañía Minera Argentum.	2. El cumplimiento de los programas de avances permitirá mejorar los índices de productividad en el programa de avance del Crucero XC850 – Nivel 4025, Mina Codiciada de Compañía Minera Argentum?.

VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES	METODO
VARIABLE INDEPENDIENTE	<p>Se desarrollará una investigación aplicada a un nivel explicativo, logrando la mejora del desarrollo de la excavación en la explotación del Crucero 850 del nivel 4025 en la Zona de Codiciada.</p> <p>El método que se desarrolla es inductivo-deductivo, ya que se inicia de casos particulares a generales para luego interpretarlas. Siendo el resultado un método que mejore la viabilidad del proyecto.</p> <p>Este método está orientado a observar e investigar a fondo los parámetros del comportamiento del macizo rocoso aplicando el "Método Grafico Múltiple GDE" para evaluar los resultados.</p> <p>Las evaluaciones de los parámetros técnicos económicos, servirán para llegar a determinar de qué manera mejorar la productividad de las operaciones mineras (avance, sostenimiento) en la explotación del Crucero 850 del nivel 4025 en la Zona de Codiciada.</p> <p>Se realizará el trabajo de campo con las observaciones pertinentes de mapeos estructurales (geológico-línea de detalle), Logueo Geomecánico, medición de resistencias, sacado de muestras para laboratorio para el análisis del "Método Grafico Múltiple GDE".</p>
X = Aplicación del Grafico Múltiple GDE	
Dimensiones:	
X1 = Caracterización del Macizo Rocosó	
X2 = Resistencia del macizo rocoso	
X3 = Índice de Competencia	
X4 = Comportamiento de la excavación	
Indicadores:	
X 1.1 = (Volumen de bloque + condición de discontinuidades)	
X 2.1 = (Resistencia de la roca intacta + caracterización del macizo rocoso)	
X 3.1 = (Resistencia del macizo rocoso + condición tensional in-situ)	
X 4.1 = (Índice de competencia + condición de autosoporte)	
VARIABLE DEPENDIENTE	
Y = Clasificaciones Geomecánicas	
Dimensiones:	
Y1 = Evaluaciones Geológicas	
Y2 = Evaluaciones y Clasificaciones Geomecánicas	
Y3 = Zonificación Geomecánicas	
Indicadores:	
X 1.1 = Evaluaciones de controles Litológicos y estructurales	
X 2.1 = Evaluaciones de propiedades del Macizo Rocosó	
X 3.1 = Clasificación del Macizo rocoso mediante RMI, GSI y RMR	

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

- El empleo de los modelos geomecánicos en el diseño geomecánico de labores subterráneas es una tarea que representa un grado de complejidad especial, esto debido a la dificultad de caracterizar íntegramente los componentes del terreno y predecir su comportamiento frente a la explotación de las labores mineras. Los factores geomecánicos, a partir de la parte geológica del terreno y los aspectos hidrogeológicos, determinan los costos de construcción a partir del grado de dificultad en la explotación del laboreo subterráneo; es debido a esto que, al momento de proyectar una labor minera, debemos ser conscientes de la exigencia de contar con los mecanismos adecuados para encarar todos los factores que participan en el comportamiento de la masa rocosa en la cual se proyectará la labor minera. Este conglomerado de herramientas nace a partir de la caracterización e investigación geológica-geomecánica, las clasificaciones, los métodos numéricos y, por último, los análisis retrospectivos del comportamiento de la masa rocosa llamado también “back analysis”, permiten controlar el nivel de riesgo que se pueda presentar durante la explotación de la labor minera.
- Anna Laura L. S. Nunes, 2000. “Algunas metodologías vienen siendo empleadas para la evaluación de la estabilidad y el comportamiento de taludes, como por ejemplo métodos de clasificación de macizos rocosos, método de equilibrio límite, métodos numéricos, análisis probabilísticos e instrumentación geotécnica (monitoreos). De todas estas categorías, existe una significativa cantidad de trabajos que abordan la estabilidad a partir de métodos de equilibrio límite a pesar de que los

factores de seguridad son sensibles a pequeños cambios de los parámetros de resistencia y de que este tipo de metodología no lleva en cuenta el estado de tensiones iniciales ni el mecanismo de rotura ni la variación de tensiones a lo largo de la superficie potencial de rotura.

- Ríos (2017), tesis de pregrado que lleva como título: “Geomecánica en el minado subterráneo caso Mina Arequipa-M de la Compañía Minera Caudalosa S.A. de Espiritu S. M.A”, donde se determina las condiciones geomecánicas del laboreo minero, calcula los parámetros geomecánicos a nivel de la masa rocosa, define el método de explotación, establece las aberturas máximas en función a la calidad de la masa rocosa y define los tipos de sostenimiento. Optimizando el sostenimiento permanente y temporal aplicando el método de análisis mecánico estructural en U.E.A. Poracota de Cía. de Minas Buenaventura S.A.A.

ANTECEDENTES INTERNACIONALES

- Becerra A. (2017), tesis de pregrado que lleva como título: “Estudio geomecánico para las minas Esperanza y Zarzal, pertenecientes a la concesión minera Fiu-151, municipio de Gameza, Boyacá” – Universidad de Chile. El objetivo del autor es estudiar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso de las minas Esperanza y Zarzal pertenecientes a la concesión Minera FUI-151 en el Municipio de Gameza, vereda San Antonio para establecer la calidad del macizo y su aptitud en trabajos de sostenimiento.
- Egaña M. (2008), autor de la tesis de pregrado que lleva como título: “Geoestadística aplicada a parámetros geotécnicos” – Universidad de Chile, el investigador busca realizar una interpretación geoestadística de algunos parámetros geotécnicos de interés para el proyecto Chuquicamata Subterráneo, de modo de generar un modelo geotécnico confiable de la zona de estudio. Las técnicas que se utilizarán debieran entregar buenas medidas de la incertidumbre asociada a la estimación.

2.2. GENERALIDADES DE LA MINA CODICIADA

2.2.1. UBICACIÓN, ACCESIBILIDAD Y GENERALIDADES

La Unidad Morococha es una de las minas que opera Pan American Silver Corporación, con su subsidiaria Argentum. La Unidad Minera Morococha se ubica alrededor del pórfido cuprífero de Toromocho y de la mina Austria Duvaz, operados respectivamente por las empresas Minera Chinalco Perú S.A. y Sociedad Minera Austria Duvaz S.A.C. Otra empresa ubicada al SE del distrito lo constituye Volcán Compañía Minera S.A.A.

El distrito Morococha se ubica en el flanco este de la Cordillera Occidental de los Andes del Centro del Perú, a 142 Kilómetros al Este de Lima y a 8 kilómetros de Ticlio. Distrito de Morococha, Provincia de Yauli, Departamento de Junín.

El área de Morococha es accesible desde la ciudad de Lima por la carretera Central. Las coordenadas geográficas de la zona son: 76° 08' Longitud Oeste y 11° 36' Latitud Sur.

La mina de Morococha es asequible por la siguiente ruta:

Tabla 2: Ruta

Ruta	Carretera	Km.
Lima - Ticlio – Morococha	Carretera Central Asfaltada (De oeste a este)	142

Fuente: Elaboración propia

Figura 1: Mapa del distrito de Morococha (Compañía Minera Argentum)



Fuente: Departamento de Geología

2.2.2. CLIMA

El clima de Morococha es frígido durante todo el año; marcado por dos estaciones: la húmeda, con precipitaciones de nevada y granizo; y la seca, con frío más intenso y precipitaciones esporádicas. La temperatura de verano varía de 3° a 20° C y en invierno de -4°C a 14°C.

2.3. GEOLOGÍA

El distrito de Morococha se encuentra en un área de relieve topográfico abrupto, tipo alpino, con elevaciones entre los 4,400 y 5,200 m.s.n.m. siendo la cumbre más alta el Yanashinga con 5,480 m.s.n.m.

La topografía es abrupta por la intrusión del cuerpo Potosí (Freiberg), que forma parte de la estructura regional del domo de Yauli que afectó la posición de las rocas, la erosión influyó mucho en la forma del terreno.

Figura 2: Vista de la compañía minera Argentum S.A. (Morococha)



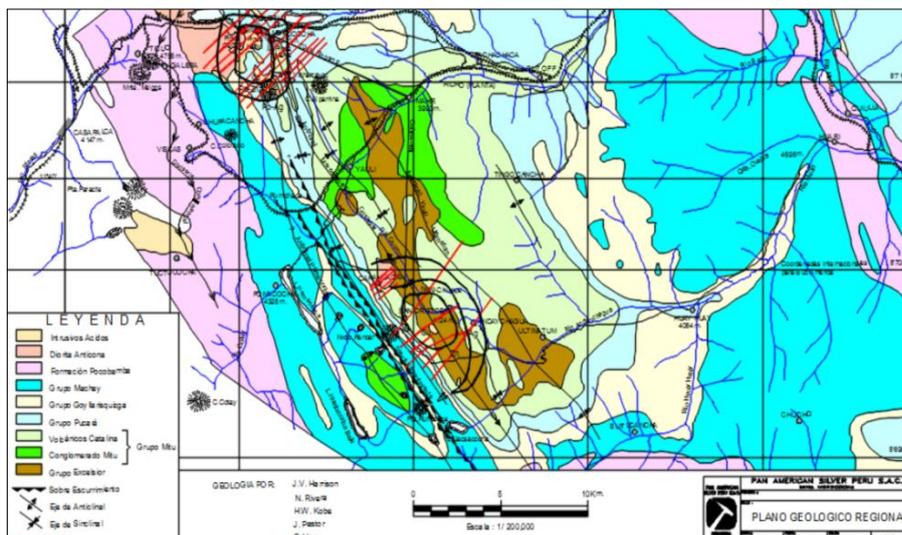
Fuente: Área de Geología

2.3.1. GEOLOGÍA REGIONAL

El rasgo geológico-estructural más importante del área de Morococha es un anticlinal complejo de rumbo NW-SE y cuyo eje tiene una inclinación de 10° - 15° al NW. Este anticlinal, que localmente se denomina anticlinal Morococha, forma la parte Norte de una estructura regional mayor, que es el domo de Yauli.

En el distrito minero de Morococha, afloran principalmente rocas volcánico-sedimentarias e ígneas de edad paleozoica y mesozoica.

Figura3: Plano geológico regional del Distrito de Morococha.



Fuente: Área de Geología

Estratigrafías

a. Grupo Excelsior (devónico)

Son las rocas más antiguas conocidas en la región; afloran fuera del distrito de Morococha, en Yauli, Carahuacra, San Cristóbal y Andaychagua, donde forman el núcleo del domo de Yauli, en el nivel 1700 de la mina Morococha a lo largo del túnel Kingsmill, se han encontrado algunas exposiciones de este tipo de roca. La potencia total del grupo Excelsior es desconocida; J. V. Harrison (1943) determinó una potencia de 1800 metros, para una secuencia equivalente en los alrededores de Tarma.

Está constituido por lutitas y filitas negras a verde olivo con algunos horizontes de calizas y derrames lávicos, están fuertemente plegadas, foliadas y cortadas por lentes irregulares de cuarzo lechoso, como resultado de un metamorfismo regional.

b. Grupo Mitu (pernico)

El Grupo Mitu está representado en el distrito minero de Morococha por los Volcánicos Catalina (Formación Yauli), los cuales están considerados como la fase volcánica de dicho grupo. Los Volcánicos Catalina forman el Núcleo del Anticlinal Morococha, desde superficie hasta el Nivel 1700 (Túnel

Kingsmill). Estos volcánicos afloran en la parte Sur del distrito (área de Cajoncillo) a lo largo del eje del anticlinal, pero en forma más amplia en Yauli y San Cristóbal. Los Volcánicos Catalina yacen en discordancia angular sobre las filitas Excelsior. Vetas bien definidas y persistentes de rumbo N50°-70°E, que contienen minerales de cobre, plata, plomo y zinc se encuentran en los Volcánicos Catalina.

- **Conglomerado Mitu**

Rocas de origen sedimentario y de ambiente continental, constituido principalmente de conglomerados y areniscas color rojizo, acompañados de algunas brechas volcánicas y calcáreas, que sólo llega a 60 m de potencia aproximadamente; faltando gran parte del conglomerado de la base.

- **Volcánico catalina**

El Grupo Mitu está representado en el distrito minero de Morococha por los Volcánicos Catalina (Formación Yauli), los cuales están considerados como la fase volcánica de dicho grupo.

Los Volcánicos Catalina forman el Núcleo del Anticlinal Morococha, desde superficie hasta el nivel 1700 (túnel Kingsmill). Estos volcánicos afloran en la parte Sur del distrito (área de Cajoncillo) a lo largo del eje del anticlinal, pero en forma más amplia en Yauli y San Cristóbal. Los Volcánicos Catalina yacen en discordancia angular sobre las filitas Excelsior. Vetas bien definidas y persistentes de rumbo N 50°-70° E, que contienen minerales de cobre, plata, plomo y zinc se encuentran en los Volcánicos Catalina. Según D.H. Mc Laughlin (1924) la potencia de la formación es estimada en 760 metros en el distrito de Morococha, pero según A. J. Terrones (1949) la potencia es estimada en 300 metros.

Grupo Pucará (triásico-jurásico)

El grupo Pucará ha sido subdividido en tres formaciones:

- Formación Chambara.
- Formación Aramachay.
- Formación Condorsinga.

Las calizas Pucará contienen vetas, mantos y cuerpos mineralizados.

Así mismo, J. Terrones (1949) supone que la formación Condorsinga es la que está presente en Morocochoa,; Terrones ha subdividido las calizas Pucará en 13 horizontes. Estos horizontes que van del techo a la base y son los siguientes:

- Horizonte "A".
- Brecha Churruca Superior.
- Horizonte "B".
- Brecha Churruca Inferior.
- Horizonte "C".
- Basalto Montero.
- Horizonte "D".
- Laura Superior.
- Traquita Sacracancha.
- Laura Inferior.
- Horizonte "E".
- Horizonte "F".
- Capas Rojas Potosí.
- Complejo Anhidrita.

c. Grupo Goyllarisquizga (cretáceo – inferior)

El Grupo Goyllarisquizga se representa por una secuencia constituida por un conglomerado rojo basal en aparente concordancia sobre la caliza Pucará, luego le suceden areniscas y lutitas rojas, capas de cuarcita y capas de caliza gris interestratificada con derrames lávicos o diques-capas de diabasa y basalto.

d. Grupo Machay (cretácico medio – superior)

El Grupo Machay está representado por una interestratificación de calizas que están expuestas en las afueras del distrito, al Suroeste y Oeste, en las áreas de Buenaventura, Galera y Ticlio. El Grupo Machay, yace en concordancia sobre el Grupo Goyllarisquizga, consiste de una caliza gris azulada masiva, con restos de fósiles en la parte inferior, luego viene una caliza gris clara que contiene horizontes de caliza carbonosa, lutácea, margosa y caliza fosfatada.

Figura 4: Columna estratigráfica generalizada de la región.

ERA	SISTEMA	UNIDADES ESTRATIGRÁFICA	ROCAS INTRUSIVAS	SIMBOLOGÍA
Cenozoico	Cuaternario	Dep. aluviales		
		Dep. Glaciares		
		Dep. fluvio-glaciares		
		Dep coluviales		
	Terciario	Mz/granod.		
Mesozoico	Cretáceo	Fm Jumasha	Diorita	
		Fm Pariatambo		
		Fm Chúlec		
		Grupo Goyllarisquizga		
	Triásico-Jurásico	Grupo Pucará		
Paleozoico	Pérmico-Triásico	Grupo Mitú		
	Devoniano	Grupo Excélsior		

Fuente: Área de Geología

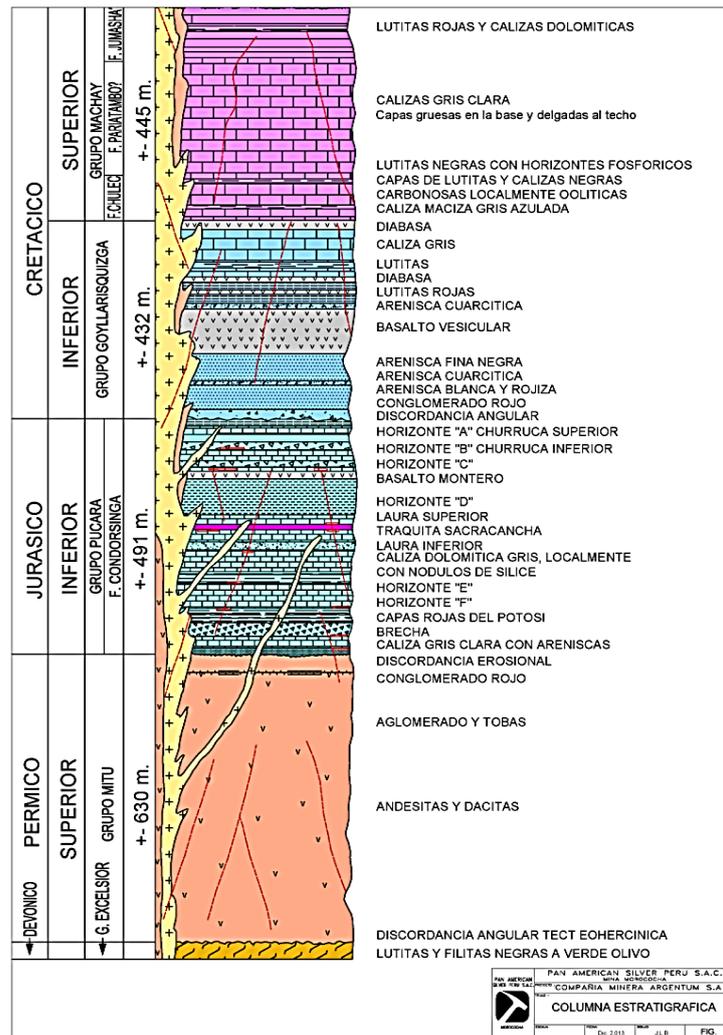
Rocas Intrusivas (terciario). Las andesitas y dacitas de los volcánicos Catalina son las rocas ígneas más antiguas del distrito.

Diorita Anticona. Es la roca intrusiva más antigua del Terciario; es una roca de color verde oscuro a gris, de textura porfírica.

Monzonita Cuarcifera. Localizada en la parte central del distrito. Cuatro stocks principales han sido reconocidos, los cuales son: el stock San Francisco, Gertrudis; Potosí y Yantac.

Pórfido Cuarcifero. Es la roca intrusiva más reciente conocida en el distrito. Un pequeño stock y algunos diques han sido reconocidos en la parte central.

Figura 5: Columna estratigráfica distrito minero de Morococha



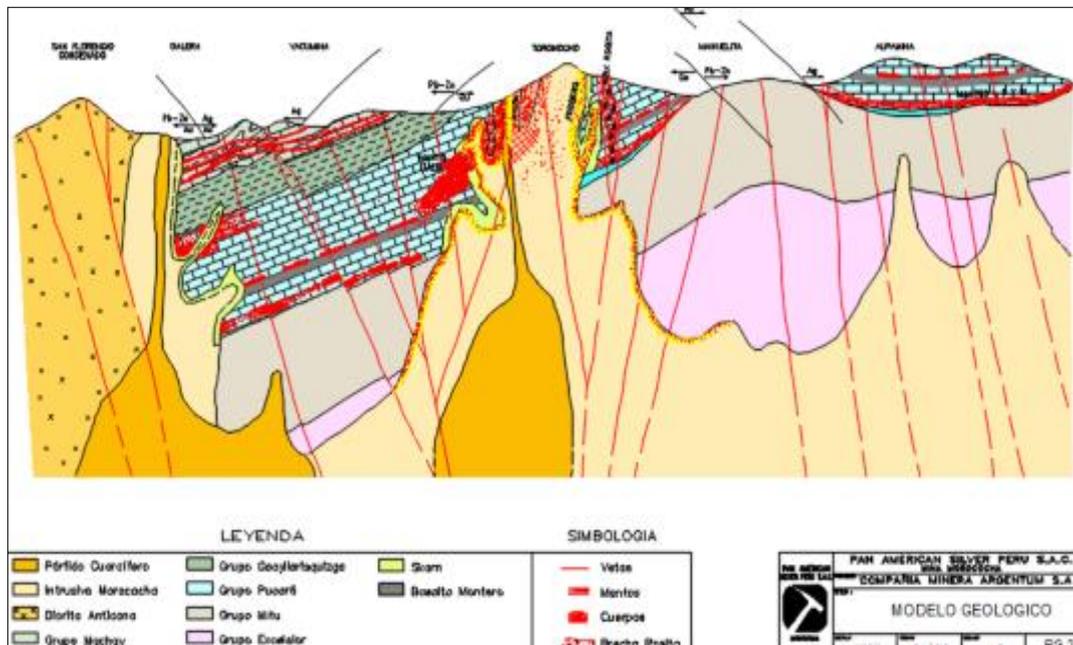
Fuente: Área de Geología

2.3.2. GEOLOGÍA LOCAL

Hay diferentes ensambles mineralógicos para diferentes zonas dentro del distrito. Los stocks San Francisco y Gertrudis en la zona del centro y alrededor de ellos en

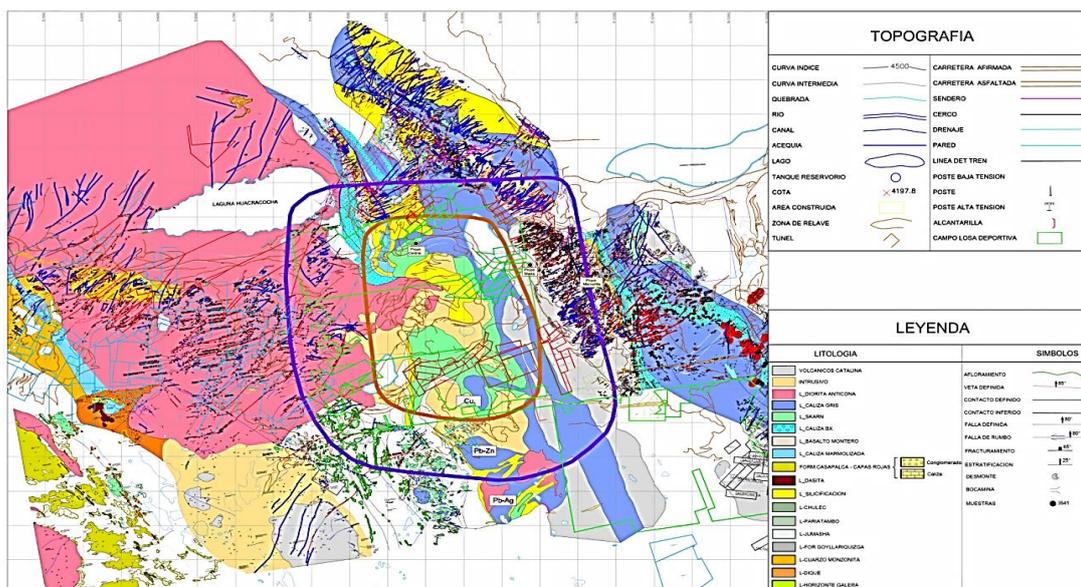
zonas de contacto con la caliza alterada, existe principalmente mineralización de cobre.

Figura 6: Puede observarse las características de la geología local de la Unidad Morococha.



Fuente: Área de Geología

Figura 7: Modelo geológico Argentum, mirando al Norte



Fuente: Área de Geología

Existen vetas y diseminación en las zonas de contacto con la caliza existen cuerpos irregulares. Los minerales de cobre son los siguientes: enargita, calcopirita y tetraedrita, la esfalerita y galena son raras en la zona central. Los minerales de ganga más abundantes son: pirita y magnetita.

En la zona intermedia hay mineralización de zinc-plomo. Los minerales son esfalerita, galena, calcopirita. Los minerales de ganga más comunes son los siguientes: pirita, cuarzo, rodocrosita y calcita.

En la zona exterior, contiene mineralización de plomo- plata. Los minerales presentes son: galena, argentífera y freibergita con un contenido de plata hasta de 240 gr. También se tiene esfalerita. Como minerales de ganga tenemos rodocrosita, calcita, baritina y cuarzo.

a. Estratigrafía

Toldo Jirca (grupo pucara: fm Condorsinga superior)

La secuencia estratigráfica del cerro Toldo Jirca del piso al techo es:

- Caliza Gris. Caliza de grano fino, color gris claro en superficie intemperada y gris oscuro en superficie fresca, moderadamente silicificada, con nódulos de cuarzo y pequeños lentes de chert, venillas de calcita; está formado por paquetes medianos a grandes, moderadamente fracturado.
- Caliza Dolomítica. Caliza de color marrón claro, algo silicificada, formado por paquetes pequeños, esta caliza es de poca potencia.
- Caliza Silicificada. Caliza de color gris claro, fuertemente silicificada, con pequeños lentes de chert, formación de poca potencia (4 a 6 m)
- Basalto Montero. Roca volcánica de color gris oscuro – verde oscuro a negro, de grano medio, con diseminación de pirita, la roca es algo magnética.
- Caliza - Manto. Capa de roca alterada, silicificada, muy oxidada (OxMn).
- Brecha Churruca. Roca formada por clastos angulosos medianos a pequeños de caliza gris y caliza marrón, en una matriz calcárea fina marrón claro con arcillas y óxidos de hierro.

- Caliza Marrón con Chert. Caliza de grano mediano a grueso, algo arcilloso y fracturado, formado por pequeños paquetes, venillas de cuarzo y calcita, intercalado con paquetes de chert gris oscuro a marrón oscuro.
- Manto Aurífero. Afloramiento de poca extensión, esta erosionado, el material está muy silicificado y oxidado (alterado), está brechado y contiene arcillas.
- Arenisca Calcárea. Arenisca de color marrón claro, de granos finos y redondeados de sílice en una matriz fina de composición calcárea, formación de poca potencia.
- Cobertura Cuaternaria. Material coluvial de grano medio a fino, compuesto por arenas y arcillas.

La deposición de minerales en Morococha ha estado sujeta principalmente a controles estructurales, litológicos, mineralógicos y fisicoquímicos.

2.3.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

a. Plegamiento

La estructura regional dominante es el Domo de Yauli, el rumbo promedio de esta estructura es N40° W; es asimétrico. El Domo de Yauli está formado por tres anticlinales: el anticlinal de Pomacocha, San Cristóbal - Morococha y el Ultimátum.

b. Fracturamiento

Fuerzas de compresión de dirección E-W comenzaron a formar el anticlinal Morococha (Plegamiento "peruano"). A medida que las fuerzas de compresión aumentaban de intensidad durante el plegamiento "Incaico", las rocas cedieron por ruptura y se formaron dos fallas inversas importantes, paralelas al rumbo general de la estratificación.

c. Estructura Mineralizada

Los cuerpos mineralizados se encuentran localizados en los alrededores de los stocks San Francisco y Gertrudis en contacto con la caliza Pucará, la cual se encuentra fuertemente alterada a silicatos hidratados.

d. Vetas

Las vetas mineralizadas fueron formadas a lo largo de las fracturas de tensión. Las fallas de cizalla, por contener mucho panizo, fueron pobremente mineralizadas. Las fracturas de tensión están desarrolladas en los Volcánicos Catalina, donde han formado vetas persistentes en longitud y profundidad y uniformes en mineralización.

e. Diseminaciones

Este tipo de mineralización, en el conocido "Proyecto Complejo Cuprífero de Toromocho", es diseminación de cobre porfirítico, mineralización que parece estar genéticamente relacionada con el Pórfido Cuarcífero.

f. Mantos y Cuerpos

Los mantos y cuerpos se encuentran localizados en la caliza Pucará. Los mantos que siguen la estratificación de la caliza mayormente se tratan de cuerpos irregulares.

Un manto importante está conformado por Italia y Victoria, emplazados en calizas en un sinclinal apretado en la zona de San Antonio. El Manto Esperanza pertenece a este tipo de estructuras mineralizadas.

2.4. GEOMECÁNICA

2.4.1. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICO DE LOS MACISOS ROCOSOS

Las clasificaciones geomecánicas, hoy en día, son bastante utilizadas en las excavaciones mineras, también en las investigaciones geomecánicas o geotécnicas de las excavaciones, pero es importante que sean aplicadas no olvidando los datos que estas fundamentan.

Las clasificaciones de las masas rocosas tienen por fin hallar sus parámetros para determinar de forma cuantitativa su calidad. El término "macizo rocoso" se refiere a un conjunto de tipos de rocas atravesados por plano de discontinuidad en el que se crea la excavación minera (ingeniería). Su caracterización requiere el conocimiento de los siguientes parámetros:

- Resistencia de la masa rocosa.

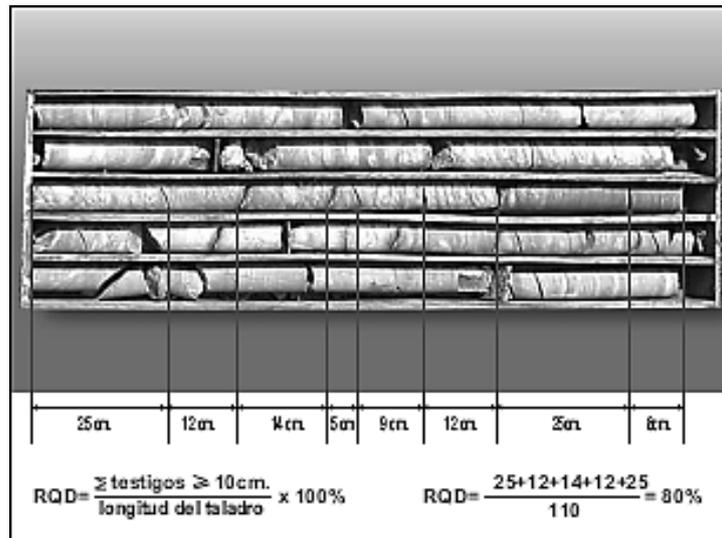
- Familias de discontinuidades.
- Espaciado de discontinuidades y fractura de la masa rocosa.
- Caracteres geomecánicos de las discontinuidades: persistencia, rugosidad, abertura y resistencia, alteración y relleno.
- Agua.
- Tensiones in situ.
- Alteraciones producto de la voladura

Los principios de clasificación deberán ser consistentes y con claridad para que no existan equivocaciones o incertidumbres cuando sean aplicados y los rangos que se dispongan deben ser mutuamente excluyentes, de manera que no sea posible designar o clasificar un tipo de masa rocosa dos categorías o rangos distintos. Por otro lado, se ganará en veracidad cuando se defina la calidad de una masa rocosa si se tiene índices mediante dos o más clasificaciones que se puedan correlacionar entre sí.

2.4.2. CLASIFICACIÓN DE DEERE – RQD (1967)

Deere, en 1967, propuso un sistema de diseño de sostenimientos basado en el RQD. Este parámetro se obtiene a partir del porcentaje de trozos de testigo mayores de 10 cm recuperado en un sondeo.

Figura 8: Valoración del R.Q.D. a partir de testigos de perforación.



Fuente: Fotografía y montaje, David Córdova

El RQD se debe tomar con ciertas precauciones, ya que muchas veces el valor asignado no solo va a depender de las fracturas sino también de otros factores, como la técnica de perforación, la dirección y el diámetro.

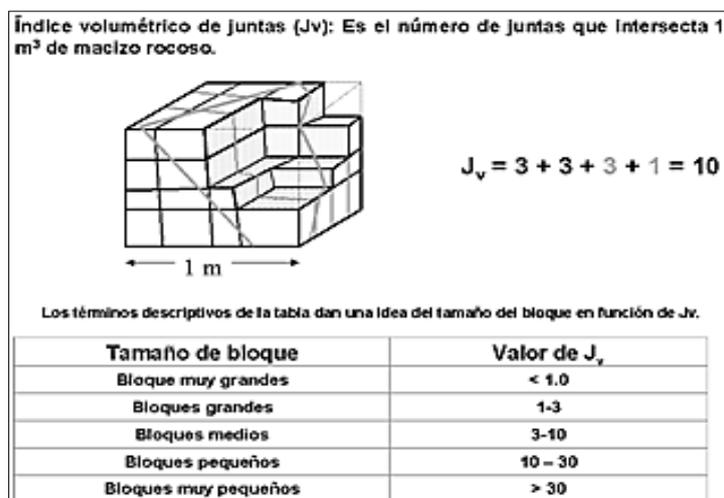
Muchas veces se suele estimar el RQD a partir de los afloramientos, al no disponer de perforaciones. En estos casos, se puede utilizar la siguiente relación (Palmstrom, 2005), aunque su precisión no es superior a la que puede proporcionar una mera estimación visual (Bieniawski, 2003):

$$RQD = 110 - 2,5 \times J_v$$

Donde:

J_v es el índice volumétrico de juntas o número de juntas por metro cúbico.

Figura 9: Índice volumétrico del J_v y clasificación del tamaño de bloque en función de espaciados de juntas y número de familias.



Fuente: Departamento de Geomecánica.

2.4.3. CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI O RMR (1973, 1976, 1967)

La clasificación geomecánica de Bieniawski o clasificación RMR fue desarrollada en 1973, actualizada en 1979 y 1989, la clasificación consiste de una metodología de clasificación de la masa rocosa que da lugar a relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos de la masa rocosa, sectores de excavación y soporte.

El RMR es una de las clasificaciones más usadas en la minería peruana.

La clasificación RMR tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

La resistencia uniaxial.

RQD.

El espaciamiento

Las condiciones de las discontinuidades.

Condiciones hidrogeológicas.

La orientación de las discontinuidades.

En conjunto el efecto de los parámetros geomecánicos sobre el comportamiento del macizo rocoso se expresa mediante el índice de calidad RMR (rock mass rating), este índice varía de 0 a 100 y expresa la calidad de la roca para su uso en obras de ingeniería civil.

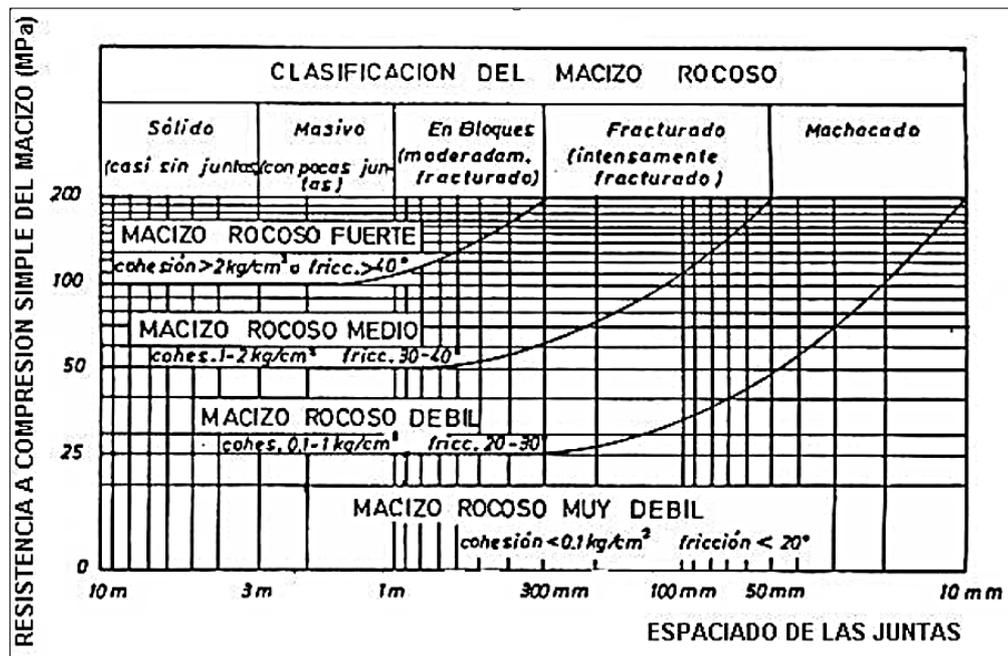
La resistencia del macizo rocoso se va reduciendo al aumentar el número de juntas, o sea, cuando disminuyen los espaciados de cada familia. Existen muchas clasificaciones del espaciado de las juntas. La utilizada por Bieniawski es la propuesta por Deere en su clasificación de 1967.

Tabla 3: Estimación de las resistencias medias de ciertas rocas según Bieniawski, 1973

Tipo de roca	Resistencia a compresión simple (MPa)		
	Mínima	Máxima	Media
Creta	1	2	1,5
Sal	15	29	22
Carbón	13	41	31
Limolita	25	38	32
Esquisto	31	70	43
Pizarra	33	150	70
Lutita	36	172	95
Arenisca	40	179	95
Marga	52	152	99
Mármol	60	140	112
Caliza	69	180	121
Dolomía	83	165	127
Andesita	127	138	128
Granito	153	233	188
Gneis	159	256	195
Basalto	168	359	252
Cuarcita	200	304	252
Dolerita	227	319	280
Gabro	290	326	298
Taconita	425	475	450
Sílice	587	683	635

Fuente: Departamento de Geomecánica.

Figura 10: Resistencia del macizo rocoso en función del espaciado de las juntas y de la resistencia a compresión simple de la roca (Bieniawski, 1976).



Fuente: Departamento de Geomecánica.

Tabla 4: Clasificación de Deere (1967) del espaciado de las juntas

Descripción	Espaciado de las juntas	Tipo de macizo rocoso
Muy ancho	>3 m	Sólido
Ancho	1-3 m	Masivo
Moderadamente cerrado	0,3-1 m	En bloques
Cerrado	50-300 mm	Fracturado
Muy cerrado	<50 mm	Machacado

Fuente: Departamento de Geomecánica.

Presencia de agua. En un macizo rocoso diaclasado, el agua tiene mucha influencia en su comportamiento, debiendo estimarse el flujo de agua en litros/min. cada 10 m de túnel. La descripción utilizada es la siguiente: completamente seco, húmedo, agua a presión moderada y agua a presión fuerte.

Orientación de las discontinuidades. La orientación de las discontinuidades respecto al eje de la estructura subterránea es un factor de suma importancia para determinar el sostenimiento necesario. La correcta orientación de la cavidad puede hacer descender claramente las necesidades de entibación.

La clasificación dada por Bieniawski referente a orientaciones relativas entre las discontinuidades y el eje de la cavidad se presenta en la tabla:

Tabla 5: Orientaciones relativas entre las juntas y el eje de la cavidad.

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Buzamiento
Dirección según buzamiento		Dirección contra buzamiento				0°-20° (Independiente del rumbo)
Buzamiento 45°-90°	Buzamiento 20°-45°	Buzamiento 45°-90°	Buzamiento 20°-45°	Buzamiento 45°-90°	Buzamiento 20°-45°	
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy favorable	Regular	Desfavorable

Fuente: Departamento de Geomecánica.

Tabla 6: Clasificación RMR y sus valores

A. PARAMETROS DE CLASIFICACIÓN Y SU VALUACIÓN.									
PARAMETROS			RANGOS DE VALORES						
1	R.C.S. de la Matriz	Ensaye de carga de punto	>8 Mpa	4 - 8 Mpa	2 - 4 Mpa	1 - 2 Mpa	Usar compresión Uniaxial		
		Resistencia a la compresión simple	>200 Mpa	100 - 200 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	10 - 25 Mpa	3 - 10 Mpa	1 - 3 Mpa
	Valuación	15	12	7	4	2	1	0	
2	R.Q.D.	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	<25%			
	Valuación	20	17	13	8	3			
3	Espaciamiento de fracturas	>3m.	1 - 3m.	0.3 - 1m.	50 - 300mm.	<50mm.			
	Valuación	30	25	20	10	5			
4	Condición de fracturas	Superficies muy rugosas sin continuidad, sin separación. Paredes de roca dura.	Superficies algo rugosas. Separación <1 mm. paredes de roca dura.	Superficie ligeramente rugosas. Separación <1 mm. paredes de roc:roca suave.	Superficie lisa o pulida o relleno <5 mm. de espesor a fracturas abiertas 1-5 mm. fracfracturas continuas	Relleno >5 mm. de espesor a fracturas abiertas >5 mm. continuos.			
	Valuación	25	20	12	6	0			
5	Flujo en 10 m de túnel (Lts/min)	Nulo			<25 Lts/min.	25 - 125 Lts./min.	>125 Lts./min.		
	Presión de agua	0			0.0 - 0.2	0.2 - 0.5	>0.5		
	Razón sobre fracturas Esfuer. ppal mayor	Completamente seco			Solo húmedo (intersticios)	Presencia moderada	Severos problemas		
	Condiciones generales								
Valuación	10			7	4	0			

Fuente: Departamento de Geomecánica.

Tabla 7: Orientación de las discontinuidades.

B. AJUSTE EN LA VALUACIÓN POR ORIENTACIÓN DE FRACTURAS.						
Orientación de rumbo y echado de fracturas		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Valuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Fundaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60
C. CLASES DE MACIZOS ROCOSOS EN FUNCION DE LA VALUACIÓN TOTAL						
Valuación	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<20	
Clase N°	I	II	III	IV	V	
Descripción	Roca muy buena	Roca buena	Roca regular	Roca mala	Roca muy mala	
D. SIGNIFICADO DE LA CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO						
Clase N°	I	II	III	IV	V	
Tiempo medio de estabilidad de la labor	10 años para 5 m de luz	6 meses para 4m de luz	1sem. para 3 m de luz	5hrs. para 1.5m de luz	10min. para 0.5m. de luz	
Cohesión del macizo rocoso	>300KPa	200 - 300KPa.	150 - 200 KPa.	100 - 150 KPa.	<100 KPa.	
Angulo de fricción del macizo rocoso	>45°	40° - 45°	35° - 40°	30° - 35°	<30°	

Fuente: Departamento de Geomecánica.

2.4.4. CLASIFICACIONES DE BARTON O ÍNDICE Q (1974)

Barton, Lien y Lunde (1974) desarrollaron la Clasificación de macizos rocosos del Instituto Noruego de Ingeniería Geotécnica llamada índice Q. Esta clasificación relató una evaluación numérica de la calidad del macizo rocoso a los requerimientos de apoyo previstos en diferentes tramos de túneles (Tabla 11).

El índice Q se obtiene mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

RQD: Índice de calidad de la roca

J_n: Número de familias de discontinuidad

J_r: Rugosidad de las juntas

J_a: Alteración de las juntas

J_w: Agua en juntas

SRF: Factor asociado al estado tensional de la excavación.

La asociación de factores permite dar un sentido físico a cada uno de ellos:

RQD/Jn: Tamaño del bloque medio.

Jr/Ja: Resistencia al corte entre bloques.

Jw/SRF: Tensión activa o eficaz.

Tabla 8: Clasificación Q y sus valores

INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA		NUMERO DE DISCONTINUIDADES		FACTOR DE RUGOSIDAD DE LAS DISCONTINUIDADES	
Descripción	RQD	Descripción	Jn	Descripción	Jr
Muy pobre	0 – 25	Masiva o con muy pocas discontinuidades	0.5 a 1.0	A Diaclasas discontinuas	4
Pobre	25 – 50	Un sistema de discontinuidades	2	B Rugosas e irregulares, ondulantes	2
Regular	50 – 75	Un sistema principal y uno secundario	3	C Lisas, ondulantes	2
Buena	75 – 90	Dos sistemas de discontinuidades	4	D Lustrosas, ondulantes	1.5
Excelente	90 – 100	Dos sistemas principales y uno secundario	6	E Rugosas o irregulares, planares	1.5
[Notas: Estimar el RQD con + 5 % de aproximación. Cuando no se disponga de los testigos: $RQD = 115 - 3.3 J_w$ Siendo J_w número de diaclasas por metro cúbico. Si RQD = 10, emplear un valor nominal de 10.		Tres sistemas de discontinuidades	9	F Lisas, planares	1.0
		Tres sistemas principales y uno secundario	12	G Lustrosas, planares	0.5
		Cuatro sistemas de discontinuidades o más (roca muy fracturada)	15	H Zona conteniendo arcilla en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que delimitan la discontinuidad	1.0
		Roca triturada	20	J Zona de material arenoso en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la discontinuidad	
		Notas: Para intersecciones emplear $(3.0 \times J_n)$		Notas: En los grupos A hasta G, el contacto entre las superficies de discontinuidad se logra con desplazamientos de cizalla inferiores a los 1.0 cm. En los grupos H y J, no se produce contacto entre las superficies al ocurrir desplazamientos de cizalla. Agregar 1.0 cuando el espaciamiento medio de las diaclasas fuera superior a 3 m.	
		Para portales emplear $(2.0 \times J_n)$			

FACTOR DE ALTERACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES		FACTOR DE REDUCCIÓN POR CONTENIDO DE AGUA EN DISCONTINUIDADES		
Descripción		Ja	Descripción	Jw
A	Ajustadas, rellenas con material compacto, impermeable e inestable (cuarzo o epidota)	0.75	Secas o flujos bajos (< 5 l/min)	1
B	Superficies inalteradas, ligeras manchas de oxidación.	1	Flujos a presiones medias que ocasionen erosión del material de relleno.	0.66
C	Superficies ligeramente alteradas, cubiertas con material granular no arcilloso, producto de la desintegración de la roca.	2		
D	Capas superficiales de material limoso o arcillo-arenoso con una pequeña fracción cohesiva.	3	Flujos a presiones altas en roca competente con diaclasas.	0.5
E	Capas superficiales de arcilla (caolinita, mica, clorita, etc). Cantidades pequeñas de arcilla expansiva en capas de 1-2 mm de espesor.	4	Flujos a presiones altas con erosión considerable del material de relleno.	0.33
F	Relleno granular no cohesivo. Roca desintegrada libre de partículas arcillosas.	4	Flujos o presiones excepcionalmente altas luego del disparo, disminuyendo con el tiempo.	0.2 a 0.1
G	Material con alto grado de sobre consolidación, relleno continuo (hasta de 5 mm de espesor) de material arcilloso compacto.	6	Flujos o presiones excepcionalmente altas, sin que ocurra una disminución con el tiempo.	0.1 a 0.05
H, I	Relleno continuo (hasta de 5 mm de espesor) de material arcilloso compacto con bajo grado de sobre consolidación.	8	Notas: Grupos A a E: <u>contacto</u> entre las superficies.	
J	Relleno continuo de arcillas expansivas (montmorillonita). El valor de Ja dependerá del 1 % de expansión, el tamaño de las partículas arcillosas, la accesibilidad del agua, etc.	8 - 12	Grupos F a J: <u>Contacto</u> entre las superficies para desplazamientos de cizalla < 10 cm.	
K, L, M	Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcilla (ver G, H y J para la descripción de los tipos de arcillas).	6 - 8 o 8 - 12	Grupos K a R: <u>no</u> se produce contacto entre las superficies al ocurrir desplazamientos de cizalla.	
N	Zonas de arcilla limosa o arenosa.	5		
O, P, R	Zonas potentes y continuas de arcilla (ver G, H y J para la descripción de los tipos de arcilla)	10 - 13 o 13 - 20		

FACTOR DE REDUCCIÓN POR TENSIONES		
	DESCRIPCIÓN	SRF
A	Muchas zonas débiles de arcillas con evidencias de desintegración química. Rocas circundantes muy suelta. Cualquier profundidad	10
B	Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada. Profundidad de excavación < 50 ml.	5
C	Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada. Profundidad de excavación > 50 ml.	2.5
D	Muchas zonas de falla en roca competente. Roca circundante suelta. Cualquier profundidad.	7.5
E	Zona de falla aislada en roca competente. Profundidad de la excavación < 50 ml.	5
F	Zona de falla aislada en roca competente. Profundidad de excavación > 50 ml.	2.5
G	Diaclasas abiertas y sueltas. Roca intensamente fracturada.	5
H	Tensiones bajas. Poca profundidad.	2.5
J	Tensiones moderadas.	1
K	Tensiones altas. Estructura ajustada. Podría presentar problemas de estabilidad.	0.5 a 2
L	Estallidos de roca moderados en roca masiva.	5 a 10
M	Estallidos de roca severos en roca masiva.	10 a 20
N	Presión moderada de roca con tendencia Extrusiva.	5 a 10
O	Presión alta de roca con tendencia Extrusiva.	10 a 20
P	Presión moderada de roca con tendencia expansiva.	5 a 10
R	Presión alta de roca con tendencia expansiva.	10 a 15

Nota:

Redúzcanse estos valores SRF de 25 a 50 % si las zonas de fracturas sólo interesan pero no cruzan la excavación.

Las zonas de debilidad de los grupos A a G se refieren a aquellas que interceptan a la excavación y que podría causar un aflojamiento de la roca circundante.

Grupos H a M: Roca competente en la que se presenta problemas de tensiones.

Grupos N a O: Rocas con tendencia Extrusiva, flujo plástico o incompetencia causada por presiones altas.

Grupos P a R: Rocas expansivas en las que la presencia de agua representa un factor importante.

Fuente: Departamento de Geomecánica.

2.4.5. CLASIFICACIÓN DE WICKHAM, TIEDMAN Y SKINNER (RSR)

Wickham, Tiedeman y Skinner, en 1971, desarrollaron la calificación de estructura de roca (RSR). El modelo RSR se desarrolló, principalmente, para el diseño de excavaciones con cerchas metálicas, aunque se intentó aplicarlo a túneles con bulonado y hormigón proyectado.

El cálculo se realizaba sumando tres factores (A, B y C): relación con aspectos geológicos generales (A), fracturación y dirección del avance (B) y las condiciones de agua y de las juntas (C)

Tabla 9: Clasificación RSR y sus valores

PARÁMETRO A: GEOLOGÍA DE LA ZONA								
TIPO DE TERRENO	MASIVA	ESTRUCTURA						
		LIGERAMENTE PLEGADA O FALLADA	MÓDERADAMENTE PLEGADA O FALLADA	INTENSAMENTE PLEGADA O FALLADA				
Ígneo	30	26	15	10				
sedimentario	24	20	12	8				
metamórfico	27	22	14	9				

PARÁMETRO B: INFLUENCIA DEL DIACLASADO								
SEPARACIÓN MEDIA DE DIACLASAS (m)	RUMBO PERPENDICULAR EJE					RUMBO PARALELO AL EJE		
	DIRECCIÓN DE AVANCE							
	AMBAS	SEGÚN BUZAMIENTO		CONTRA EL BUZAMIENTO		AMBAS		
		BUZAMIENTO DE DIACLASAS PRINCIPALES						
	1	2	3	2	3	1	2	3
< 0,15	14	17	20	16	18	14	15	12
0,15 - 0,30	24	26	30	20	24	24	24	20
0,30 - 0,60	32	34	38	27	30	32	30	25
0,60 - 1,20	40	42	44	36	39	40	37	30
> 1,20	45	48	50	42	45	45	42	36

PARÁMETRO C: EFECTO DEL AGUA						
FLUJO DE AGUA PREVISTO (l/min/m)	SUMA A + B					
	20 - 45			46 - 80		
	ESTADO DE LAS DIACLASAS*					
	1	2	3	1	2	3
Nula	18	15	10	20	18	14
Ligera (< 2,5 l/min/m)	17	12	7	19	15	10
Media (2,5 - 12,5 l/min/m)	12	9	6	18	12	8
Alta (> 12,5 l/min/m)	8	6	5	14	10	6

*1 = < 20°
2 = 20° - 50°
3 = 50° - 90°

*1 = cerradas o cementadas
2 = ligeramente alteradas
3 = abiertas o muy alteradas

Fuente: Departamento de Geomecánica

La clasificación se basa en 49 historias clínicas de los túneles y ha alcanzado una amplia aceptación en el campo de la ingeniería de rocas.

2.4.6. CLASIFICACIÓN GSI (GEOLOGICAL STRENGTH INDEX)

El GSI es un índice de calidad de macizos rocosos que ha sido desarrollado para poder estimar los parámetros m_b y s de la clasificación de Hoek-Brown (1980). Dichos autores pensaron que un criterio de rotura de macizos rocosos no podía considerarse sólido si no se relacionaba con una clasificación geomecánica. Aunque cuando se desarrolló este criterio de rotura existían ya las clasificaciones RMR (Bieniawski, 1973) y Q (Barton et al., 1973) Hoek y Brown consideraron que éstas habían sido creadas para estimar el sostenimiento de túneles y excavaciones subterráneas, por lo que incluyen parámetros que no son necesarios para estimar las propiedades de un macizo rocoso que deben ser incluidas en un criterio de rotura.

La clasificación GSI se basa en una observación del macizo rocoso y, por consiguiente, es esencialmente cualitativa. Este índice incorpora la estructura de este y las características geomecánicas de las superficies de discontinuidad existentes en él y se obtiene a partir de un examen visual del macizo rocoso en afloramientos y sondeos.

Tabla 10: Índice de resistencia geológica (GSI) (Hoek y Marinos, 2000).

ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO	CONDICIONES DE LOS LABIOS DE LAS DISCONTINUIDADES				
	MUY BUENA	BUENA	MEDIA	MALA	MUY MALA
CALIDAD DECRECIENTE DE LOS LABIOS DE LAS DISCONTINUIDADES ⇒					
 <p>INTACTO O MASIVO Muestras intactas de roca o macizos rocosos masivos con pocas discontinuidades muy espaciadas.</p>	90			N/A	N/A
 <p>FORMADO POR BLOQUES Macizo rocoso consistente en bloques cúbicos delimitados por tres familias de discontinuidades, con los bloques bien encajados.</p>	80	70			
 <p>FORMADO POR MUCHOS BLOQUES Macizo rocoso formado por bloques angulares de muchas caras delimitados por cuatro o más familias de discontinuidades. Los bloques están encajados pero sólo parcialmente.</p>		60	50		
 <p>FORMADO POR MUCHOS BLOQUES, DISTORSIONADO Y BANDEADO Plegado con muchos bloques angulares formados por la intersección de muchas familias de discontinuidades. Planos de estratificación o de esquistosidad persistentes.</p>			40	30	
 <p>DESINTEGRADO Macizo rocoso muy fracturado con una mezcla de bloques angulares y redondeados débilmente encajados.</p>				20	
 <p>LAMINADO Y CIZALLADO Debido a la existencia de numerosos planos débiles muy próximos de esquistosidad o de cizalla, no existen bloques.</p>	N/A	N/A			10

Fuente: Departamento de Geomecánica.

Tabla 11: Clasificación GSI, Compañía Minera Argentum Dpto. de Geomecánica (2018).

COMPANHIA MINERA ARGENTUM S.A. CARTILLA GEOMECANICA		CONDICION SUPERFICIAL		CONDICION ESTRUCTURA		CONDICION DE LABOR																																																																	
<p>CLASIFICACION GSI/RMR</p> <p>Sostenimiento Inmediato Metro Avanzado Metro Sostenido</p> <table border="1"> <tr><th>Tipo Roca</th><th>RMR</th></tr> <tr><td>I</td><td>> 81</td></tr> <tr><td>II</td><td>61 - 80</td></tr> <tr><td>III - A</td><td>51 - 60</td></tr> <tr><td>III - B</td><td>41 - 50</td></tr> <tr><td>IV - A</td><td>31 - 40</td></tr> <tr><td>IV - B</td><td>21 - 30</td></tr> <tr><td>V</td><td>0 - 20</td></tr> </table>		Tipo Roca	RMR	I	> 81	II	61 - 80	III - A	51 - 60	III - B	41 - 50	IV - A	31 - 40	IV - B	21 - 30	V	0 - 20	<p>(B) BUENA, MUY RESISTENTE, LIGERAMENTE ALTERADA (SE ROMPE CON VARIOS GOLPES DE LA PICKA)</p> <p>(R) REGULAR (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE LA PICKA)</p> <p>(P) POBRE (MODERADAMENTE RESISTENTE, LEVEMENTE ALTO SUPERFICIE PULIDA O CON ESTRUCIONES, MUY ALTERADA) (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE LA PICKA)</p> <p>(MP) MUY POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA) (SE DESMORSA O INCENTA PROFUNDAMENTE)</p>		<p>(LF) LEVEMENTE FRACTURADA (TRES A MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI (RQD 75 - 90) (2 A 5 FRACT. POR METRO))</p> <p>(F) FRACTURADA (MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA BLOQUES CUBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOSONALES (RQD 50 - 75) (7 A 12 FRACT. POR METRO))</p> <p>(MF) MUY FRACTURADA (MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MAS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES (RQD 25 - 50) (13 A 20 FRACT. POR METRO))</p> <p>(IF) INTENSAMENTE FRACTURADA (PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO, MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES (MAS DE 20 FRACT. POR METRO))</p> <p>(T) TRITURADA O RELLENO LIGERAMENTE TRABADA, MASA ROCOSA EXTREMADAMENTE ROTA CON UNA MEZCLA DE FRAGMENTOS FACILMENTE DISREGABLES, ANGULOSOS Y REDONDEADOS. (SIN RQD)</p>		<p>MARTILLO DE GEOLOGO</p> <p>FLEXOMETRO</p>		<p>LABOR PERMANENTE</p> <table border="1"> <tr><th>Tipo Roca</th><th>Clasificación GSI</th><th>Condición superficial</th><th>Hasta 3.50m</th><th>Hasta 4.50m</th></tr> <tr><td>I</td><td>MUY BUENA I</td><td>LFB</td><td>PO</td><td>PO</td></tr> <tr><td>II</td><td>BUENA II</td><td>FB - LFR</td><td>PO</td><td>P1</td></tr> <tr><td>III - A</td><td>REGULAR III - A</td><td>FR - MFB</td><td>P1</td><td>P+M</td></tr> <tr><td>III - B</td><td>REGULAR III - B</td><td>FR - MFR</td><td>P+M</td><td>SH2 + E</td></tr> <tr><td>IV - A</td><td>MALA IV - A</td><td>MF/FR - LFR</td><td>SH2 + E</td><td>SH3 + E</td></tr> <tr><td>IV - B</td><td>MALA IV - B</td><td>MF/FR - FR</td><td>SH3 + E</td><td>M+SH4+E - CB H-O</td></tr> <tr><td>V</td><td>MUY MALA V</td><td>MF/MP - T/MP</td><td>CB H - O</td><td>NO APLICA</td></tr> </table>		Tipo Roca	Clasificación GSI	Condición superficial	Hasta 3.50m	Hasta 4.50m	I	MUY BUENA I	LFB	PO	PO	II	BUENA II	FB - LFR	PO	P1	III - A	REGULAR III - A	FR - MFB	P1	P+M	III - B	REGULAR III - B	FR - MFR	P+M	SH2 + E	IV - A	MALA IV - A	MF/FR - LFR	SH2 + E	SH3 + E	IV - B	MALA IV - B	MF/FR - FR	SH3 + E	M+SH4+E - CB H-O	V	MUY MALA V	MF/MP - T/MP	CB H - O	NO APLICA						
Tipo Roca	RMR																																																																						
I	> 81																																																																						
II	61 - 80																																																																						
III - A	51 - 60																																																																						
III - B	41 - 50																																																																						
IV - A	31 - 40																																																																						
IV - B	21 - 30																																																																						
V	0 - 20																																																																						
Tipo Roca	Clasificación GSI	Condición superficial	Hasta 3.50m	Hasta 4.50m																																																																			
I	MUY BUENA I	LFB	PO	PO																																																																			
II	BUENA II	FB - LFR	PO	P1																																																																			
III - A	REGULAR III - A	FR - MFB	P1	P+M																																																																			
III - B	REGULAR III - B	FR - MFR	P+M	SH2 + E																																																																			
IV - A	MALA IV - A	MF/FR - LFR	SH2 + E	SH3 + E																																																																			
IV - B	MALA IV - B	MF/FR - FR	SH3 + E	M+SH4+E - CB H-O																																																																			
V	MUY MALA V	MF/MP - T/MP	CB H - O	NO APLICA																																																																			
		<p>LABOR TEMPORAL</p> <table border="1"> <tr><th>Tipo Roca</th><th>Clasificación GSI</th><th>Condición Estructura</th><th>Hasta 3.50m</th><th>Hasta 4.50m</th></tr> <tr><td>I</td><td>MUY BUENA I</td><td>LFB</td><td>SO</td><td>SO</td></tr> <tr><td>II</td><td>BUENA II</td><td>FB - LFR</td><td>SO</td><td>S1</td></tr> <tr><td>III - A</td><td>REGULAR III - A</td><td>FR - MFB</td><td>S1</td><td>S + M</td></tr> <tr><td>III - B</td><td>REGULAR III - B</td><td>FR - MFR</td><td>S + M</td><td>SH + S</td></tr> <tr><td>IV - A</td><td>MALA IV - A</td><td>MF/FR - LFR</td><td>SH + S</td><td>SH2 + E</td></tr> <tr><td>IV - B</td><td>MALA IV - B</td><td>MF/FR - FR</td><td>SH3 + E</td><td>M + SH4 + E</td></tr> <tr><td>V</td><td>MUY MALA V</td><td>MF/MP - T/MP</td><td>M+SH4+E - CB H-O</td><td>NO APLICA</td></tr> </table>		Tipo Roca	Clasificación GSI	Condición Estructura	Hasta 3.50m	Hasta 4.50m	I	MUY BUENA I	LFB	SO	SO	II	BUENA II	FB - LFR	SO	S1	III - A	REGULAR III - A	FR - MFB	S1	S + M	III - B	REGULAR III - B	FR - MFR	S + M	SH + S	IV - A	MALA IV - A	MF/FR - LFR	SH + S	SH2 + E	IV - B	MALA IV - B	MF/FR - FR	SH3 + E	M + SH4 + E	V	MUY MALA V	MF/MP - T/MP	M+SH4+E - CB H-O	NO APLICA	<p>Tipo de Sostenimiento</p> <table border="1"> <tr><th>Cod.</th><th>Descripción del Sostenimiento</th></tr> <tr><td>PO</td><td>Perno Swellex - Hydrabolt 7" sistemático 2.00m x 2.00m</td></tr> <tr><td>P1</td><td>Perno Swellex - Hydrabolt sistemático 1.50m x 1.50m</td></tr> <tr><td>P+M</td><td>Perno Swellex - Hydrabolt sistemático + malla 1.20m x 1.20m</td></tr> <tr><td>SO</td><td>Split set sistemático 2.00m x 2.00m.</td></tr> <tr><td>S1</td><td>Split set sistemático 1.50m x 1.50 m.</td></tr> <tr><td>S + M</td><td>Split set sist + malla 1.20m x 1.20 m</td></tr> <tr><td>SH + S</td><td>Shotcrete 2" fibra met. (20 Kg/m3)+P. Split set 1.20m x 1.20m</td></tr> <tr><td>SH + E</td><td>Shotcrete 2" fibra met. (20Kg/m3)+P. Swell-Hydra. 1.20m x 1.20m</td></tr> <tr><td>SH2 + E</td><td>Shotcrete 4" fibra met. (20Kg/m3)+P. Split set 1.00m x 1.00m</td></tr> <tr><td>SH3 + E</td><td>Shotcrete 4" fibra met. (40Kg/m3)+P. Swell-Hydra. 1.00 m x 1.00m</td></tr> <tr><td>M + SH4</td><td>Micropilotes de 14" 0.40m en la corona + Shotcrete 4" fibra met. + E (40Kg/m3)+P. Swellex-Hydrabolt 1.00m x 1.00m.</td></tr> <tr><td>CB H-O</td><td>Combras metálicas Tipo H6 - Omega TH 21 espaciados 1.00m</td></tr> </table> <p>La longitud de los pernos esta en función a la recomendación geomecánica de acuerdo a la sección de cada labor, para labores superiores a 4.50m se realizará la evaluación y recomendación de sostenimiento.</p> <p>IMPORTANTE: Cualquier modificación o combinación del sostenimiento se realizará bajo evaluación y recomendación del Área de Geomecánica.</p>		Cod.	Descripción del Sostenimiento	PO	Perno Swellex - Hydrabolt 7" sistemático 2.00m x 2.00m	P1	Perno Swellex - Hydrabolt sistemático 1.50m x 1.50m	P+M	Perno Swellex - Hydrabolt sistemático + malla 1.20m x 1.20m	SO	Split set sistemático 2.00m x 2.00m.	S1	Split set sistemático 1.50m x 1.50 m.	S + M	Split set sist + malla 1.20m x 1.20 m	SH + S	Shotcrete 2" fibra met. (20 Kg/m3)+P. Split set 1.20m x 1.20m	SH + E	Shotcrete 2" fibra met. (20Kg/m3)+P. Swell-Hydra. 1.20m x 1.20m	SH2 + E	Shotcrete 4" fibra met. (20Kg/m3)+P. Split set 1.00m x 1.00m	SH3 + E	Shotcrete 4" fibra met. (40Kg/m3)+P. Swell-Hydra. 1.00 m x 1.00m	M + SH4	Micropilotes de 14" 0.40m en la corona + Shotcrete 4" fibra met. + E (40Kg/m3)+P. Swellex-Hydrabolt 1.00m x 1.00m.	CB H-O	Combras metálicas Tipo H6 - Omega TH 21 espaciados 1.00m
Tipo Roca	Clasificación GSI	Condición Estructura	Hasta 3.50m	Hasta 4.50m																																																																			
I	MUY BUENA I	LFB	SO	SO																																																																			
II	BUENA II	FB - LFR	SO	S1																																																																			
III - A	REGULAR III - A	FR - MFB	S1	S + M																																																																			
III - B	REGULAR III - B	FR - MFR	S + M	SH + S																																																																			
IV - A	MALA IV - A	MF/FR - LFR	SH + S	SH2 + E																																																																			
IV - B	MALA IV - B	MF/FR - FR	SH3 + E	M + SH4 + E																																																																			
V	MUY MALA V	MF/MP - T/MP	M+SH4+E - CB H-O	NO APLICA																																																																			
Cod.	Descripción del Sostenimiento																																																																						
PO	Perno Swellex - Hydrabolt 7" sistemático 2.00m x 2.00m																																																																						
P1	Perno Swellex - Hydrabolt sistemático 1.50m x 1.50m																																																																						
P+M	Perno Swellex - Hydrabolt sistemático + malla 1.20m x 1.20m																																																																						
SO	Split set sistemático 2.00m x 2.00m.																																																																						
S1	Split set sistemático 1.50m x 1.50 m.																																																																						
S + M	Split set sist + malla 1.20m x 1.20 m																																																																						
SH + S	Shotcrete 2" fibra met. (20 Kg/m3)+P. Split set 1.20m x 1.20m																																																																						
SH + E	Shotcrete 2" fibra met. (20Kg/m3)+P. Swell-Hydra. 1.20m x 1.20m																																																																						
SH2 + E	Shotcrete 4" fibra met. (20Kg/m3)+P. Split set 1.00m x 1.00m																																																																						
SH3 + E	Shotcrete 4" fibra met. (40Kg/m3)+P. Swell-Hydra. 1.00 m x 1.00m																																																																						
M + SH4	Micropilotes de 14" 0.40m en la corona + Shotcrete 4" fibra met. + E (40Kg/m3)+P. Swellex-Hydrabolt 1.00m x 1.00m.																																																																						
CB H-O	Combras metálicas Tipo H6 - Omega TH 21 espaciados 1.00m																																																																						
		<p>FACTORES INFLUYENTES</p> <p>FLUJO DE AGUA ESFUERZOS INDUCIDOS VOLADURA DEFICIENTE PRESENCIA DE FALLAS</p> <p>CON FACTORES INFLUYENTES</p>		<p>CONDICION DE LABOR</p> <p>CON FACTORES INFLUYENTES</p>																																																																			

Fuente: Departamento de Geomecánica.

Esta nueva clasificación fue expuesta por primera vez por Hoek et al. en 1992 y desarrollada posteriormente por Hoek (1994), Hoek et al. (1995) y Hoek y Brown (1997), pero en esta primera época su campo de aplicación se restringía a macizos rocosos relativamente resistentes y no incluía los macizos rocosos más débiles. Últimamente en varias publicaciones de Hoek y Marinos (Hoek et al. 1998; Marinos y Hoek 2000, 2001 y 2005) se ha ampliado la clasificación GSI para abarcar un tipo más de macizos rocosos: los laminados y cizallados. En esta tabla, cuando se considera que la resistencia al corte de las discontinuidades puede sufrir un deterioro como consecuencia de los cambios de humedad, si existe agua en las discontinuidades, debe atribuirse a la calidad de las superficies de las discontinuidades un grado inmediatamente inferior al que aparentemente poseen.

En la etapa inicial del GSI, los creadores de esta clasificación propusieron (Hoek y Brown, 1997) estimar el GSI a partir del RMR y Q, realizando algunas correcciones en estos índices. Actualmente se considera que esta forma de proceder puede resultar correcta solamente en los macizos rocosos de mejor calidad pero que

puede carecer de sentido en los de calidad baja. No se recomienda (Marinos et al., 2005) utilizar la correlación que se presenta a continuación en macizos rocosos débiles y heterogéneos, con GSI <35. En los macizos rocosos de mejor calidad el GSI se puede estimar directamente a partir de la versión de 1976 del RMR, pero valorando con un 10 (macizo rocoso seco) el parámetro correspondiente al agua y con un cero el que recoge el efecto de la orientación de las discontinuidades (orientación muy favorable). Si se utiliza la versión de 1989 del RMR de Bieniawski, $GSI=RMR'89-5$, habiendo asignado un valor de 15 al parámetro que representan la influencia del agua y de cero, como cuando se utiliza el RMR'76, al de orientación de las juntas.

2.4.7. CLASIFICACIÓN RMI

El sistema RMI (Índice del macizo rocoso) pide como datos de entrada el tamaño del bloque, características del diaclasamiento y la resistencia de la roca intacta para expresar la resistencia a la compresión uniaxial del macizo rocoso. A partir de su uso práctico, por más de 5 años, el método de sostenimiento en rocas RMI ha sido más desarrollado. Es ahora más fácil y favorable de aprender su uso. La estimación del sostenimiento primario puede hacerse a partir de la entrada de los datos del tamaño de bloque y del tamaño del túnel; en aquellas situaciones cuando el conocimiento disponible de las condiciones del terreno es limitado. Luego, cuando sea disponible más información del terreno, puede realizarse una estimación del sostenimiento más precisa. Se presentan las tablas y ábacos del sostenimiento, junto con varios ejemplos. Se dan instrucciones de cómo preparar una hoja de cálculo para el ordenador con la cual se puede fácilmente calcular el RMI y los parámetros del sostenimiento. Para un uso apropiado del RMI, como para todos los sistemas geomecánicos que evalúan el sostenimiento de la roca, es muy importante el conocimiento de la geología del área investigada y de las condiciones en el sitio del terreno.

Tabla 12: Valores y valoraciones de los parámetros de entrada al RMI.

PARÁMETROS DE ENTRADA AL RMI						
RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE, ϵ_c de la roca intacta		valor (en MPa)		Obtenidos de ensayos de laboratorio (o asumidos de las tablas de manuales)		
VOLUMEN DEL BLOQUE, V_b		value (in m ³)		Medido visualmente en el sitio (o estimado de testigos de sondeos)		
FACTOR DE ESTADO (CONDICIÓN) DE LAS DIACLASAS, j_C		$j_C = j_R \times j_L / j_A$		Debajo, en las tablas se presentan las valoraciones de j_R, j_A y j_L		
FACTOR DE RUGOSIDAD DE LAS JUNTAS (j_R) (las valoraciones de j_R están basadas en J_r del sistema Q)						
(Las valoraciones resaltadas en Itálico son similares a J_r)		Ondulación del plano diaclasado a gran escala				
		Planar	Ligeramente ondulado	Ondulado	Altamente ondulado	Escalonado o entrelazado
Suavidad del plano de junta a pequeña escala	Muy rugoso	2	3	4	6	6
	<i>Rugoso</i>	<i>1,5</i>	2	<i>3</i>	4,5	6
	<i>Suave</i>	<i>1</i>	1,5	<i>2</i>	3	4
	Pulido o espejo de falla*)	<i>0,5</i>	1	<i>1,5</i>	2	3
Para diaclasas (Juntas) rellenas $j_R=1$ Para diaclasas irregulares se sugiere una valoración $j_R=5$						
*)Aplicar estas valoraciones a espejos de falla con posibles movimientos a través de estrías.						
FACTOR DE ALTERACIÓN DE JUNTAS (j_A) (las valoraciones de j_A se basan en J_a del sistema Q)						
Contacto entre las paredes de la junta	CARACTERÍSTICAS DE LAS PAREDES DE LAS JUNTAS		Condición		Contacto entre paredes	
	DIACLASAS (JUNTAS) LIMPIAS:	Pegadas o soldadas	relleno de cuarzo, epidota, etc.		0,75	
		Roca inalterada (fresca)	sin cubierta o relleno, excepto decoloración (pátina de óxido)		1	
		Superficies alteradas	un grado más de alteración que la roca		2	
	CUBIERTOS O RELLENOS DE POCO ESPESOR	Materiales de fricción	arenas, limo, calcita, etc. sin contenido de arcilla		3	
Materiales cohesivos		arcilla, clorita, talco, etc.		4		
Paredes de la junta con contacto parcial o sin contacto	RELLENOS DE:		Tipo		Contacto parcial entre paredes / No contacto entre paredes	
	Material friccional		arena, limo, calcita, etc. (sin reblandecimiento)	4	8	
	Materiales duros y cohesivos		relleno compactado de arcilla, clorita, talco, etc.	6	6 - 10	
	Materiales blandos y cohesivos		arcillas de media a baja sobreconsolidación, clorita, talco, etc.	8	12	
	Materiales expansivos y arcillosos		materiales de relleno que exhiben propiedades expansivas	8 - 12	13 - 20	
FACTOR DE TAMAÑO Y CONTINUIDAD DE LAS DIACLASAS (JUNTAS) (j_L)						
TIPO		Longitud	Tamaño	Juntas continuas	Juntas discontinuas *	
División de la estratificación o foliación		< 0.5 m	muy corto	3	6	
Diaclasas o juntas		0.1 - 1 m	corto o pequeño	2	4	
		1 - 10 m	mediano	1	2	
		10 - 30 m	grande o largo	0,75	1,5	
Junta (sellada), dique o cizalla **)		> 30 m	muy grande o largo	0,5	1	
*) Las juntas discontinuas acaban en roca masiva			**) Frecuentemente son una singularidad y deben en este caso ser tratadas por separado.			

Fuente: Departamento de Geomecánica.

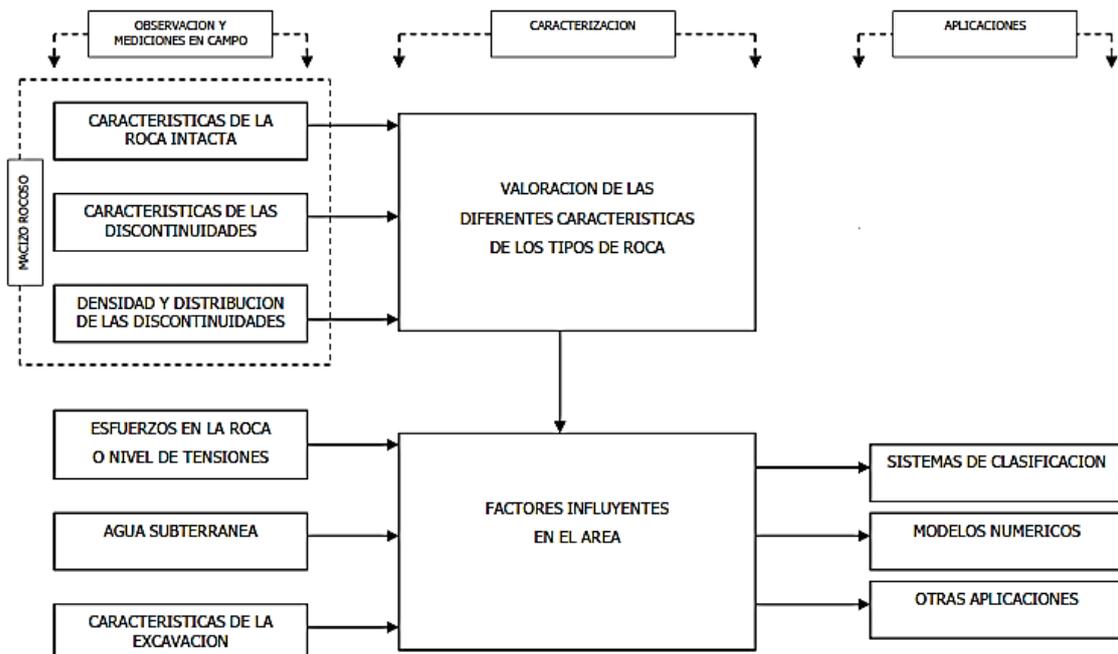
Tabla 13: Valoraciones de los factores de ajuste para la estimación del sostenimiento de rocas.

FACTORES DE AJUSTE PARA EL SOSTENIMIENTO EN ROCA								
NIVEL DE TENSIONES			Recubrimiento aproximado	Valoración SL	NÚMERO DE FAMILIAS DE JUNTAS ^{*)}	Valoración Nj	NÚMERO DE FAMILIAS DE JUNTAS ^{*)}	Valoración Nj
Muy bajo (en portales, etc.)			< 10 m	0,1	Una familia	3	Tres familias	1
Bajo			10 - 35 m	0,5	Una familia + aleatorias	2	Tres familias+aleatorias	0,85
Moderado			35 - 350 m	1	Dos familias	1,5	Cuatro familias	0,75
Alto			> 350 m	1,5 ^{*)}	Dos familias+ aleatorias	1,2	Cuatro familias+aleatorias	0,65
*) Un alto nivel de tensiones puede ser desfavorable para la estabilidad de hastiales altos. Valoración posible SL= 0,5-0,75					*) Significa el número de familias de juntas dentro del sitio de observación. (no el número de juntas observadas dentro de una gran área)			
ORIENTACIÓN DE LAS JUNTAS (en relación al eje del túnel)					Valoración Co y Co _s		INCLINACIÓN DE TECHOS O HASTIALES	
EN HASTIALES		EN TECHO		TÉRMINO	Valoración Co y Co _s	INCLINACIÓN DE TECHOS O HASTIALES		Valoración C
para rumbos > 30°	para rumbos < 30°	para cualquier rumbo				Horizontal (techo)		
buzamiento < 30°	buzamiento < 20°	buzamiento > 60°		favorable	1	30° inclinación	1,5	
buzamiento = 30 - 60°	buzamiento = 20 - 45°	buzamiento = 45 - 60°		admisible	1,5	45° inclinación	2,2	
buzamiento > 60°	buzamiento = 45 - 60°	buzamiento = 20 - 45°		desfavorable	2	60° inclinación	3	
-	buzamiento > 60°	buzamiento < 20°		muy desfavorable	3	Vertical (hastiales)	5	

Fuente: Departamento de Geomecánica.

2.4.8. CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

Tabla 14: Flujoograma para la caracterización y clasificación del macizo rocoso



Fuente: Elaboración propia.

2.4.9. GEOMECÁNICA EN LA MINA MOROCOCHA

El papel de la Geomecánica está orientado a conocer el comportamiento físico y mecánico del macizo rocoso, para la determinación del método de explotación y el sistema de sostenimiento de la mina. Los estudios para este trabajo fueron realizados en la unidad Minera Argentum, Mina Morococha y en laboratorios especializados de la mina y Lima, la misma que en este documento se pone a consideración.

2.4.10. CRITERIOS DE EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE MOROCOCHA.

Para evaluar de la excavación minera, se considerará los siguientes principios y metodologías: Evaluación de las propiedades Físico Mecánicas de las Rocas (Módulo de Young, Poisson, Cohesión, Índice de Fricción, Resistencia a la Compresión, Resistencia a la Tracción). Evaluación de las propiedades Geológico e Ingeniería. Calificación de la roca mediante la aplicación de los sistemas de Clasificación Geomecánica (RMR, Q, GSI). Determinación del diseño, dimensionamiento y tipo de Soporte.

2.4.11. DESCRIPCIÓN GEOMECÁNICA – LITOLÓGICA DE MOROCOCHA

En la Mina Argentum se encuentran las rocas volcánicas del grupo Mitu y las rocas sedimentarias del grupo Pucara, las rocas volcánicas levemente fracturada y ligeramente alteradas por acción meteórica e hidrotermal, con excavaciones subterráneas que superan una profundidad de 600 m.

El terreno es competente; de acuerdo con las evaluaciones geomecánicas, se presentan rocas de buena calidad, lo que hace que nuestra principal preocupación sea el riesgo de estallido de rocas, reacomodo, lajamientos; con labores de explotación (tajeos) de 10m. de ancho, 20m. de alto y 400m. de largo; por lo que asegurar la estabilidad de las labores tiene alta prioridad.

La Vetas que se encuentran en el Volcanico Catalina tiene estructura de cuarzo y piritita con potencia de 1.7m a 0.3m, rumbo N 40-55° E y buzamiento 75° SE, presenta mineralización de calcopiritita, marmatita y galena en venillas y

diseminación, la roca caja está conformada por volcánicos andesíticos con ligera alteración clorítica. Las estructuras están reconocidas en una longitud de 200 m. a 700m., se presenta muy fracturada a intensamente fracturada, de regular a pobre (MF-IF/R-P) con un RQD de 40 - 45 y espaciamiento de fracturas de 10 a 20cm.

Las cajas piso y techo se presentan moderadamente fracturadas, buena (F/B), muy resistentes (100 - 140 MPa) con un RQD de 50 a 70. Las fracturas se encuentran cerradas a ligeramente abiertas con relleno de calcita y sericita. El índice Q' varia de 3.0 a 20.0 y el índice RMR' varían de 60 a 70.

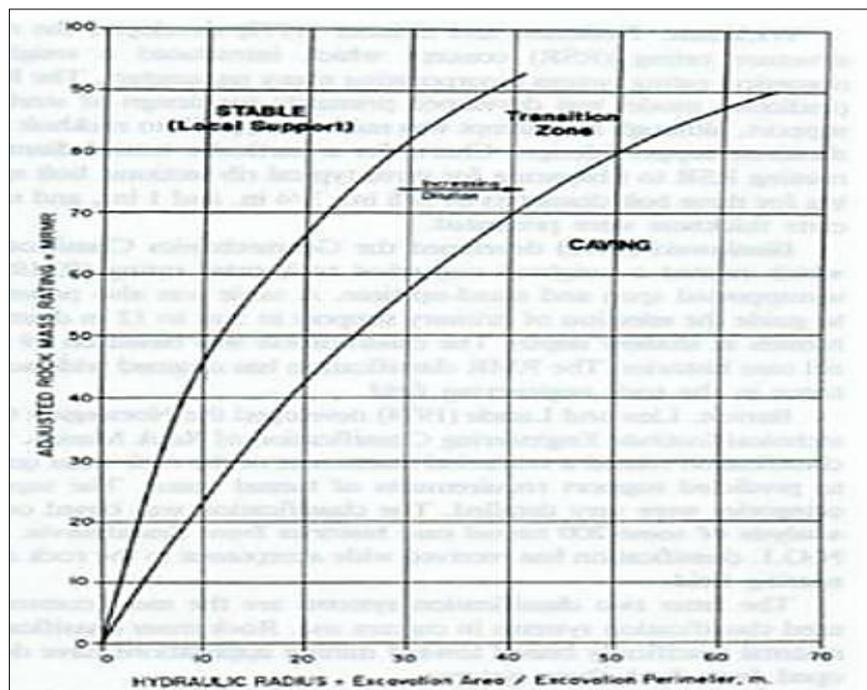
Para el control y estabilización usamos Pernos de fricción de 7 pies tipo swellex, malla electrosoldada combinado con pernos de fricción de 7 pies de tipo Split set o 2" de Shotcrete lanzado, como sostenimiento temporal y como sostenimiento permanente pernos de compresión y fricción de 7 pies tipo swellex combinado con shotcrete de 2 o 4" o hasta cimbras metálicas para confinar la roca.

2.5. MÉTODO DE MINADO UTILIZADO EN LA UNIDAD MINERA ARGENTUM

La primera clasificación geomecánica usada en la minería se desarrolló a base del RMR por Laubscher y Taylor (1976). Esta clasificación que ahora se conoce como la clasificación del macizo rocoso en minería (MRMR), se ajusta más a tener en cuenta las tensiones inducidas por el estrés; que se producen debido a un cambio a las aberturas y los efectos de la voladura. La calificación ajustada se utilizó para predecir los requerimientos de soporte en las excavaciones de desarrollo. Los datos iniciales se basaron en la experiencia de excavaciones mineras subterráneas y las aplicaciones en este sentido.

Laubscher (1984, 1990) introdujo el concepto de diseño de resistencia de la masa rocosa que se une con la resistencia a compresión uniaxial del laboratorio, utilizado para determinar el valor del MRMR. Una relación entre índice de estabilidad MRMR y el radio hidráulico se presentó en la figura 12. En este gráfico se distingue las zonas: "estable - apoyo local"; "zona de transición"; y "hundimiento / colapso". Los ejemplos utilizados en este gráfico provenían principalmente de las minas que emplearon métodos de hundimiento en sus operaciones.

Figura11: Relación entre el MRMR y el Radio Hidráulico, Laubscher (1990).



Fuente: Departamento de Geomecánica.

Mathews, Hoek, Wyllie y Stewart (1981) desarrollaron el Método Gráfico de Estabilidad de Mathew para el diseño de bancos abiertos o caserones.

2.5.1. MÉTODO GRÁFICO DE ESTABILIDAD DE MATHEWS

Nace para diseñar bancos abiertos, fue propuesto en 1981 para la minería a profundidades mayores de 1000 m. De ahí en adelante varios autores han recopilado nuevos datos para ampliar y dar mayor validación al método; los cambios propuestos se relacionan al número de estabilidad y a la posición de las zonas de estabilidad en el gráfico.

El grafico original de Mathews (1981) contenía 3 zonas: “Zona Estable”, “Zona Potencialmente Inestable” y “Zona Potencial de Colapso”; estos a su vez separados por 2 zonas de transición y estaba basado en 50 casos históricos (Fig.13). El método original se ha ampliado con el aumento significativo de casos para la base de datos, la cual contiene más de 400 casos históricos.

Potvin et al. (1988) modificaron el Gráfico de Estabilidad de Mathews (1981), mediante la redefinición de la calificación en algunos de los factores de ajuste; La

modificación se basó en la recolección de un gran número de casos históricos. Su gráfico de estabilidad modificado se encuentra relacionado con el número de estabilidad modificado (N) versus el Radio Hidráulico (S) y tiene dos zonas: "Estable y Colapso", separados por una estrecha zona de "Transición"; a esta variante del método original se le conoce como el Método Gráfico de Estabilidad Modificada de Potvin. La elección de la palabra "Cedió o Colapso" para representar lo que es esencialmente una zona inestable fue impugnada por Stewart y Forsyth, que señalaron que el término tiene un significado fijo en la terminología minera, de a la que el Gráfico Modificado de Potvin no parece acercarse.

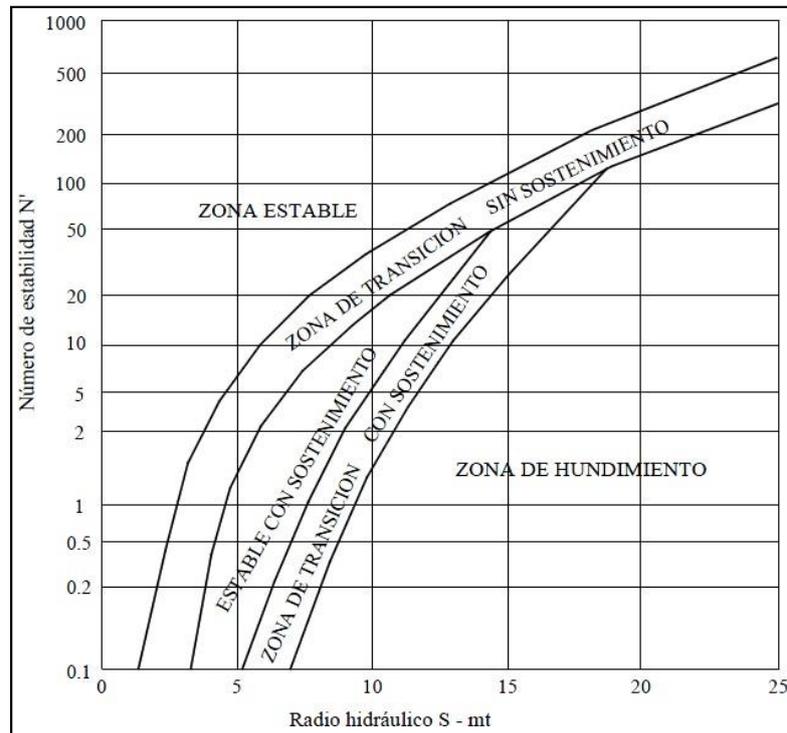
En 1992, Potvin et al. Introdujeron una "línea de pernos cable" a la modificación del gráfico original.

En 1995 Stewart y Forsyth actualizaron el Gráfico de Estabilidad de Mathews y propusieron cuatro zonas de estabilidad (potencialmente estable, potencial de falla mayor, potencialmente inestable y el potencial de colapso), estas separadas por tres transiciones.

La determinación del número de estabilidad N y los factores de ajuste han seguido hasta aquí con el método original. Los casos adicionales incluyen caserones de mayor dimensión a los ya conocidos, estos contienen radios hidráulicos de 55m en comparación de los 23m que se tenía anteriormente; a su vez cubre un espectro mayor de las características del macizo rocoso y los esfuerzos locales con números de estabilidad en un rango de 0,005 a 700.

Históricamente la ubicación de las zonas de estabilidad en el Gráfico de Mathews (1981) fue definida subjetivamente. Nickson fue el primero en tratar de determinar la posición de los límites de estabilidad estadísticamente. Un análisis de regresión logística se llevó a cabo para determinar las zonas de estabilidad y delimitar los contornos de isoprobabilidad entre cada zona.

Figura12: Gráfico de estabilidad modificado, Potvin y Nickson (1992).



Fuente: Departamento de Geomecánica.

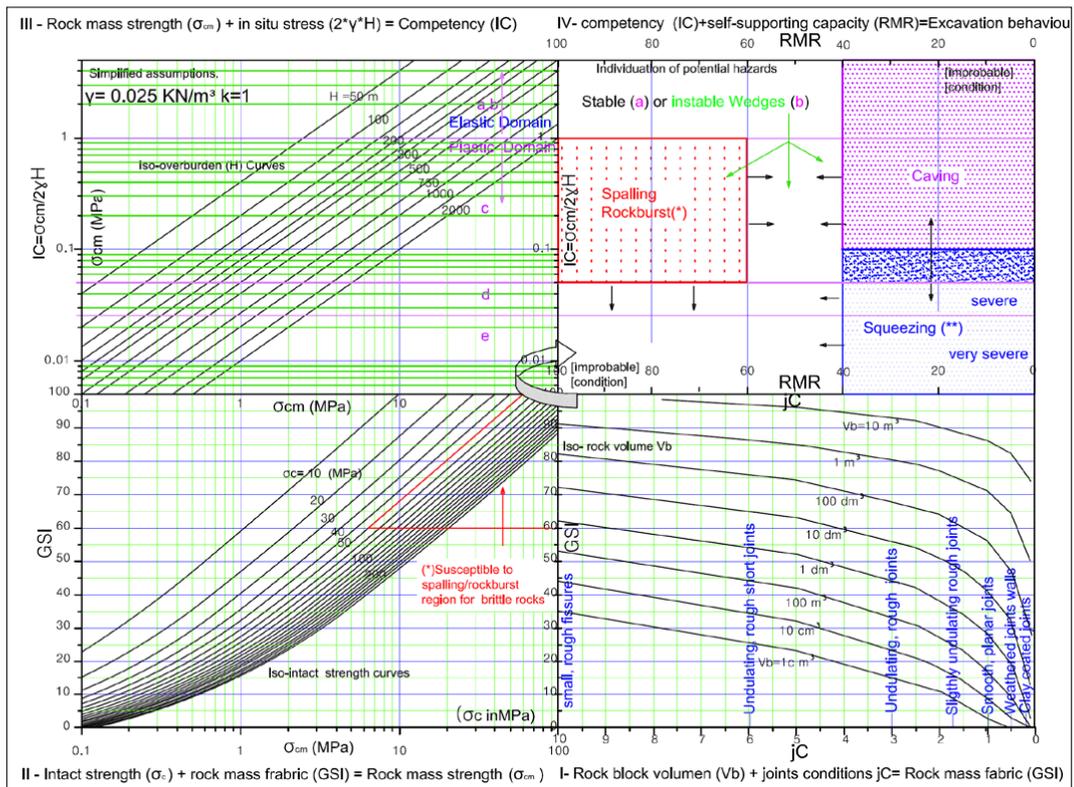
2.6. BASES TEÓRICAS

2.6.1. DESCRIPCIÓN DEL GRÁFICO MULTIPLE GDE

La nueva Clasificación de Grafico Múltiple (Russo, 2014) está compuesto por cuatro sectores, habiéndose elaborado en cada uno ellos un uso sencillo de la cuantificación de las propiedades del macizo rocoso. A continuación, se presenta los sectores:

- Sector I: Caracterización de la masa rocosa (Volumen de bloque + condición de discontinuidades).
- Sector II: Resistencia de la masa rocosa (Resistencia de la roca intacta + Caracterización del macizo rocoso).
- Sector III: Índice de Competencia (Resistencia del macizo rocoso + Condición tensional in-situ).
- Sector IV: Comportamiento de la excavación (Índice de competencia + Condición de autosoporte).

Figura13: Gráfico Múltiple GDE



Fuente: Departamento de Geomecánica.

2.6.2. SECTOR I: VALORACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA MASA ROCOSA

En el sector I se correlaciona el parámetro de juntas (JP) del índice R_{Mi} obtenido a partir de la relación del volumen de bloque (V_b) y la condición de discontinuidades (jC) con el índice de caracterización del macizo rocoso (GSI, E. Hoek, 95).

La forma de correlacionar los sistemas de caracterización GSI y R_{Mi} es la siguiente:

$$R_{Mi} = \sigma_{ci} \cdot JP \approx \sigma_{cm}$$

Donde:

σ_{ci} = Resistencia de la roca intacta y $JP = V_b \cdot jC \approx GSI$

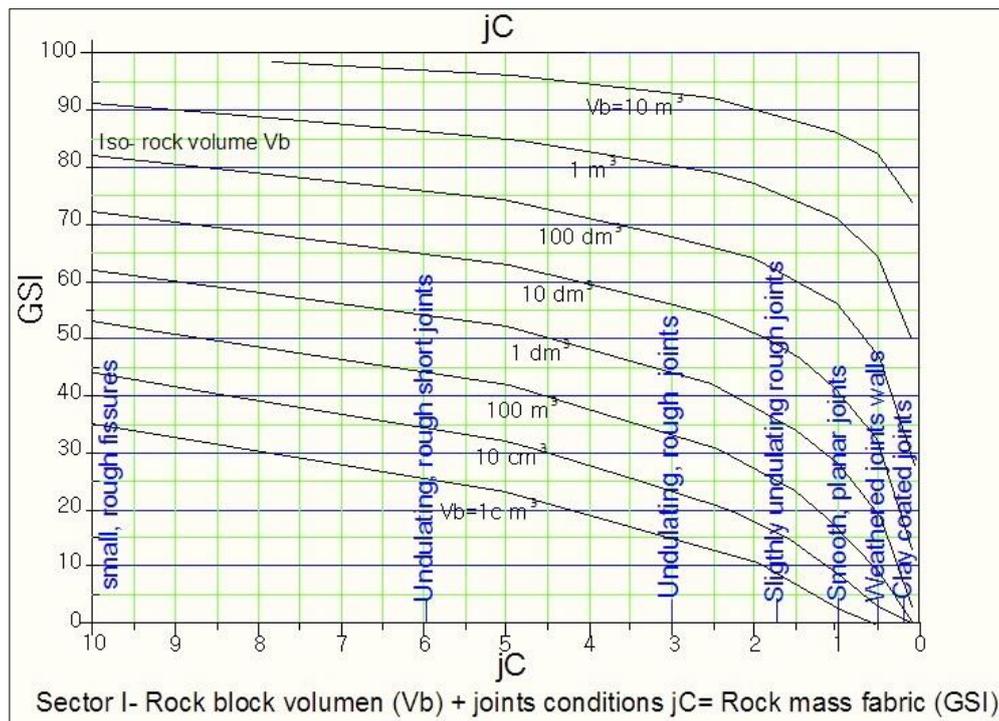
σ_{cm} = Resistencia del macizo rocoso

El volumen del bloque (V_b) se halla de la siguiente relación: $V_b = s_1 \cdot s_2 \cdot s_3$, donde s₁, s₂ y s₃ son los espaciados mínimos y máximos de los sistemas principales de

discontinuidades, por lo que se asume bloques formados por tres sistemas de fracturas principales ortogonales a sub-ortogonales entre sí.

La condición de discontinuidades (jC) se halla de la siguiente relación: $jC = jL \cdot (jR/jA)$, donde jL es el factor de longitud y continuidad de las discontinuidades, jR es el factor de rugosidad y jA es el factor de alteración de las discontinuidades.

Figura14: Sector I: Estimación de las características del macizo rocoso



Fuente: Departamento de Geomecánica.

Tabla 15: Valoración de los parámetros jL; jR, jA y determinación del bloque (Vb)

Valoración del parámetro jL:

Longitud de las diaclasas (m)	Termino	Tipo	jL	
			Diaclasas continuas	Diaclasas discontinuas
< 0.5	Muy corta	Foliación / Estratificación	3	6
0.1 – 1	Corta /Pequeña	Diaclasa	2	4
1 – 10	Media	Diaclasa	1	2
10 – 30	Larga / Media	Diaclasa	0.75	1.5
>30	Muy larga / Grande	Diaclasas rellenas, diques	1	1

Valoración del parámetro jR:

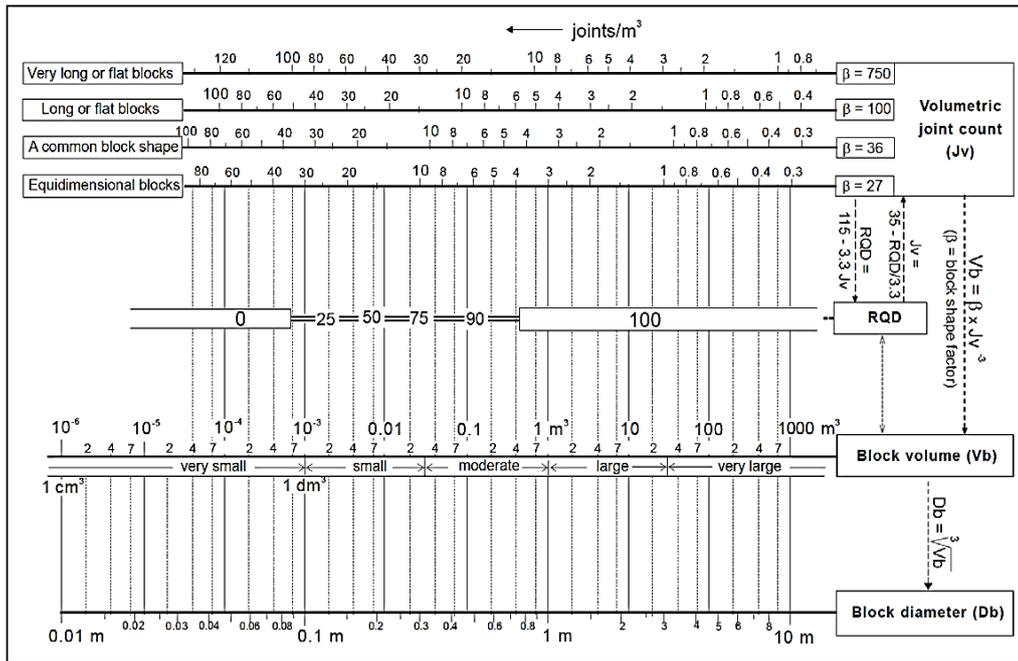
Rugosidad del plano de la diaclasa a pequeña escala	Ondulación del plano de diaclasado a gran escala				
	Planar	Ligeramente ondulado	Altamente ondulado	Escalonado	Entrelazado (a gran escala)
Muy Rugoso	3	4	6	7.5	9
Rugoso	2	3	4	5	6
Ligeramente rugoso	1.5	2	3	4	4.5
Uniforme	1	1.5	2	2.5	3
Pulido	0.75	1	1.5	2	2.5
Espejo de falla	0.6 - 1.5	1 - 2	1.5 - 3	2 - 4	2.5 - 5

Para diaclasas rellenas, jR=1. Para diaclasas irregulares, se sugiere jR=5

Valoración del parámetro jA:

A. Contacto entre las dos superficies de las paredes de la diaclasa			
Termino	Descripción	jA	
Diaclasas limpias			
<ul style="list-style-type: none"> Diaclasas "soldadas" o "pegadas" Paredes de roca inalterada Alteración de la pared de la diaclasa <ul style="list-style-type: none"> * 1 grado mas alterada * 2 grados mas alterada 	Relleno blando e impermeable (cuarzo, epidota) Superficies sin recubrimiento o relleno	0.75	1
	La superficie de la diaclasa presenta una categoría mas de alteración que la roca	2	
	La superficie de la diaclasa presenta dos categorías mas de alteración que la roca	4	
Diaclasas con recubrimiento o relleno fino			
<ul style="list-style-type: none"> Arenas, limos, calcita, etc Arcillas, cloritas, talco 	Recubrimiento de material friccional sin arcilla	3	
	Recubrimiento de material blando y cohesivo	4	
B. Diaclasas rellenas, con parcial o ningún contacto entre las superficies de las paredes			
Tipo de material de relleno	Descripción	Contacto parcial entre las Paredes Relleno fino (< 5mm) (jA)	Sin contacto entre las Paredes Relleno fino o milonita (jA)
• Arena, limos, calcita, etc.	Relleno con material friccional sin arcilla	4	8
• Materiales arcillosos compactados	Relleno duro proveniente de materiales blandos y cohesivos	6	10
• Materiales arcillosos blandos	Sobreconsolidación media a baja del relleno	8	12
• Materiales arcillosos expansivos	Material de relleno que exhibe claras propiedades expansivas	8 - 12	12 - 20

Determinación del volumen de bloque (Vb):



Fuente: Departamento de Geomecánica.

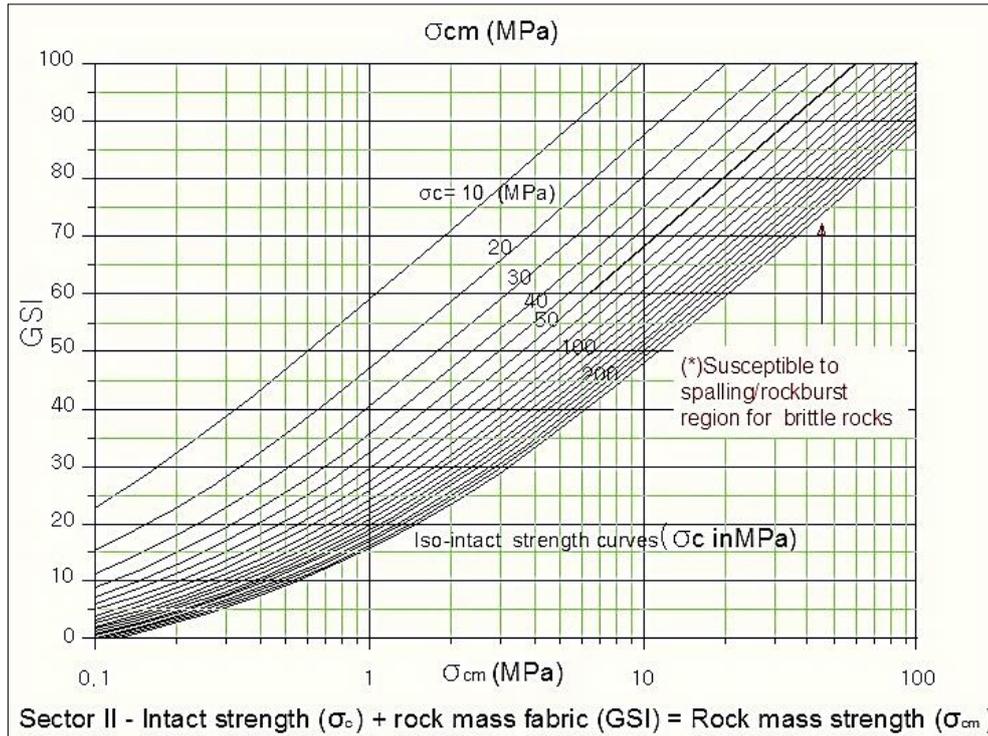
2.6.3. SECTOR II: VALORACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MASA ROCOSA

La relación básica es la siguiente: Caracterización del macizo rocoso (GSI) + Resistencia de la roca intacta (σ_c) = Resistencia del macizo rocoso (σ_{cm}).

La valoración de la resistencia de la masa rocosa se basa en las ecuaciones de Hoek (2002). En el sector II, obtenido por la intersección de las curvas de estimación del GSI y resistencia de roca intacta (σ_c). La certeza de la estimación de la resistencia de la masa rocosa está asociada con ambos parámetros.

Russo selecciona un área susceptible al lajamiento o estallido de rocas que está comprendido entre los intervalos de un GSI entre 60 a 100 y una resistencia de la roca intacta (σ_c) entre 80 a 400 MPa. Sin embargo, Diederichs (2004, 2005) toma en cuenta un GSI de 80 a 100 y una resistencia de la roca intacta (σ_c) entre 100 a 400 MPa. Así mismo, es necesario tomar en cuenta el índice de fragilidad ($IF = \sigma_c / \sigma_t$), donde σ_t es la resistencia a la tracción de la roca intacta. El IF para valores mayores a 8 corresponde a rocas frágiles.

Figura15: Sector II: Estimación de la resistencia del macizo rocoso



Fuente: Departamento de Geomecánica.

2.6.4. SECTOR III: VALORACIÓN DE LA COMPETENCIA DEL MASA ROCOSA

La relación básica es la siguiente: Resistencia del macizo rocoso (σ_{cm}) + Tensiones In-situ (σ_θ) = Competencia del macizo rocoso (IC).

En el sector III, el índice de competencia (IC) es definido como la relación entre la resistencia del macizo rocoso (σ_{cm}) y la tensión tangencial (σ_θ) en el contorno de la excavación.

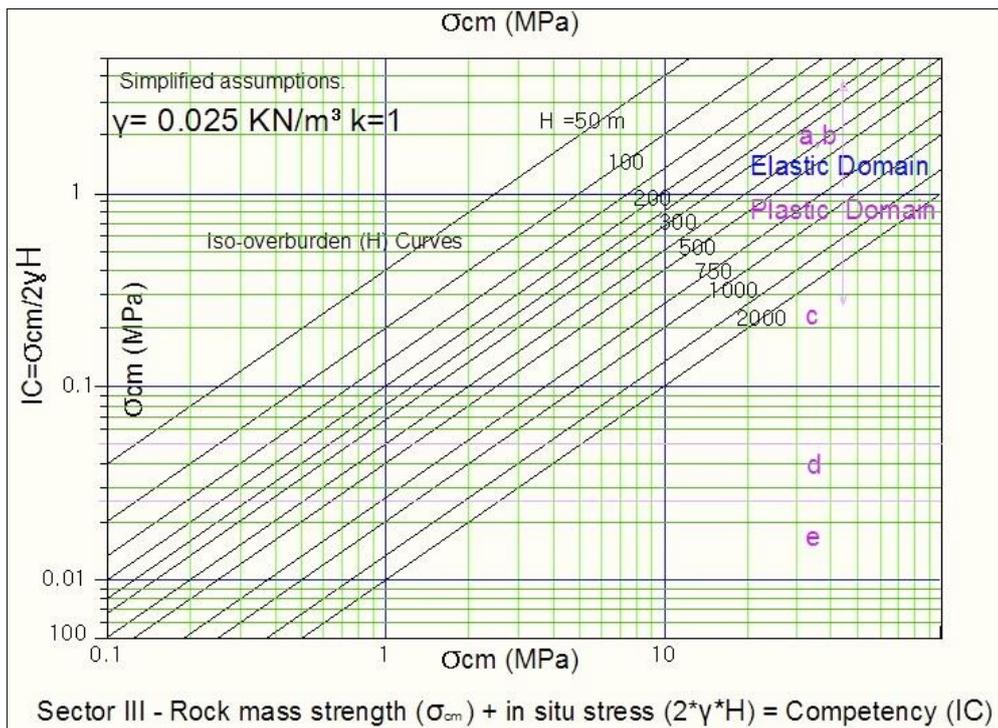
En este sector se adopta una suposición simplificada acerca de la tensión original in-situ, considerando un valor de $k=1$, donde k es la relación entre las tensiones principales in-situ (horizontal y vertical). En consecuencia, para un túnel circular se tiene $\sigma_\theta=2\gamma H$, donde γ = densidad del macizo rocoso (valor asumido = 0.025kN/m³) y H =sobrecarga (m). En el caso de $k\neq 1$, una aproximación razonable puede consistir en calcular la tensión máxima tangencial $\sigma_\theta \text{ máx.}=3\sigma_1-\sigma_3$ y, a continuación, dividirla por 2γ , a fin de derivar la sobrecarga ficticia, eso origina el mismo $\sigma_\theta=\sigma_\theta \text{ máx.}$ para $k=1$.

En este sector, el valor de $IC=1$ separa los dominios de deformación de la excavación en dominios elástico (arriba) y plástico (abajo) y están asociados al índice de fragilidad (IF).

Así mismo, en el sector III se considera una clasificación de cuatro clases en función de la deformación que pueda presentarse (a/b, c, d, e/f). La clase a/b pertenecen al dominio elástico y las clases c, d, e/f pertenecen al dominio plástico.

Además, se consideran dos distinciones adicionales: 1) en el caso de respuesta elástica (es decir, clase a/b) la clase "b" indicó un macizo rocoso discontinuo propenso a inestabilidad por cuñas; 2) en el caso de respuesta plástica (es decir, clase e/f), la clase "f" ha sido asociada a las condiciones del colapso inmediato de la cara de túnel.

Figura 16: Sector III: Estimación de la competencia del macizo rocoso



Fuente: Departamento de Geomecánica.

2.6.5. SECTOR IV: VALORACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL MASA ROCOSA EN LA EXCAVACIÓN

La relación básica es la siguiente: Competencia del macizo rocoso (IC) + Capacidad de autosoporte (RMR)=Comportamiento del macizo rocoso en la excavación (GD).

En este último sector del gráfico múltiple, la determinación del comportamiento integral del macizo rocoso se estima en forma aproximada mediante el uso del índice de competencia (IC) con el índice RMR obtenido a partir de la siguiente relación:

$$RMR = 0.65GSI + 5 + r1 + r5 + r6$$

Donde:

r1= Valoración de la resistencia de la roca intacta

r5=Valoración por presencia de agua

r6=Ajuste por orientación de discontinuidad

La rotura por lajamiento (spalling) o estallido de rocas (rockburst) está asociado a masas de roca muy buenos (masivos a levemente fracturados y muy resistentes) sometidos a altas tensiones (gravitacionales, tectónicas o inducidas). Según el RMR, corresponde a clases de roca Tipo I (Muy Buena) y roca Tipo II (Buena).

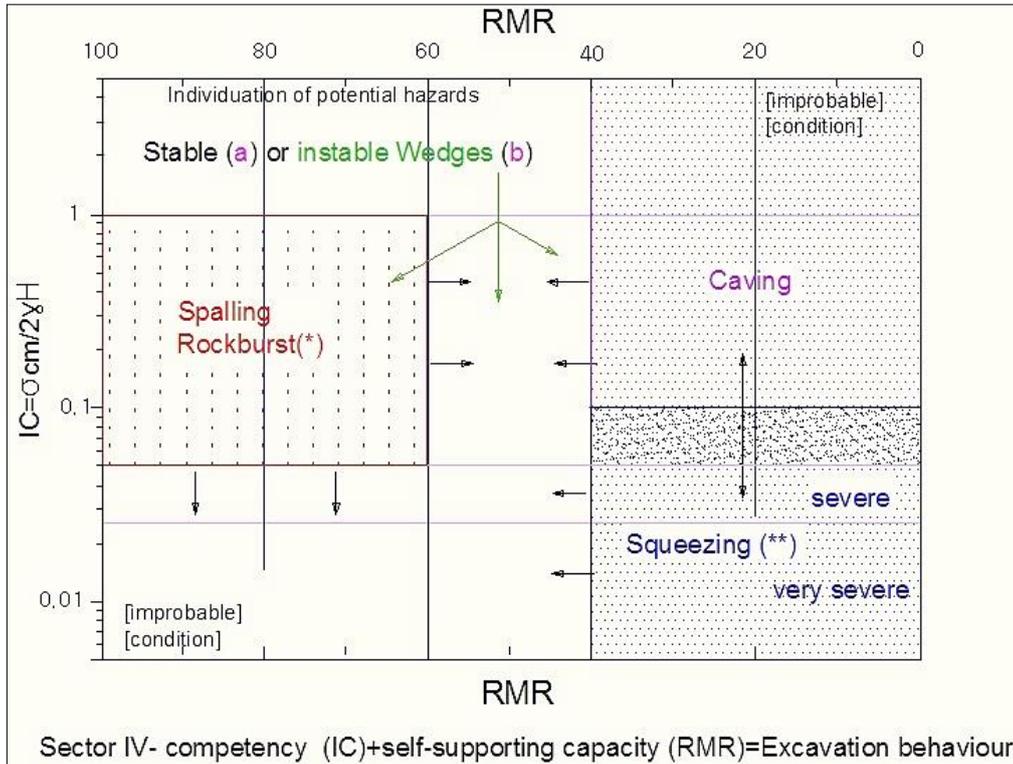
La rotura por cuñas inestables está asociado a masas de roca buenos a regulares sometidos a condiciones relativas de baja tensión, es decir, cuando predomina como respuesta de la excavación la resistencia de cizalla de discontinuidades, por lo que ocurre una falla estructuralmente controlada. Según el RMR, corresponde a clases de roca Tipo I y II (Muy Buena a Buena).

Las rocas Tipo IV y V sometidas a moderadas y altas presiones pueden presentar fluencia severa a fluencia muy severa y en algunos casos llegar al colapso inmediato. A bajas tensiones, en estos tipos de rocas se produce el desprendimiento (caving).

Una vez determinado el tipo de rotura, se puede proyectar los tipos de mitigación o estabilización de la excavación a nivel de estudios de factibilidad y posteriormente

durante la etapa constructiva. Estos tipos de mitigación consistirán el pre-soporte, soporte, control de drenaje, control de tensiones y control de voladura.

Figura 17: Estimación del comportamiento del macizo rocoso en la excavación



Fuente: Departamento de Geomecánica.

2.6.6. TIPOS DE ROTURA

La rotura por desprendimiento (caving) se genera por el colapso gravitacional de fragmentos de roca en la cavidad y/o cara del túnel de un macizo rocoso muy fracturado. Por lo tanto, dada su muy pobre capacidad de auto-soporte, el mayor riesgo de desprendimiento, según el RMR, está asociado a las clases de roca Tipo III y IV (Regular a Mala).

La rotura por fluencia severa (squeezing); Implica pronunciadas deformaciones que dependen del tiempo y está generalmente asociada a las rocas con baja resistencia y alta deformabilidad como, por ejemplo, filitas, esquistos, serpentinas, lodolitas, tobas, ciertos tipos de flysch y rocas ígneas químicamente alteradas. De no tener estas condiciones, deberán prevalecer deformaciones plásticas moderadas y desprendimientos (caving). Un análisis más detallado, estará basado en un

modelado más preciso de las propiedades geomecánicas que debe ser capaz de identificar el tipo de deformación. Según el RMR, corresponde a clases de roca Tipo IV y V (Mala a Muy Mala).

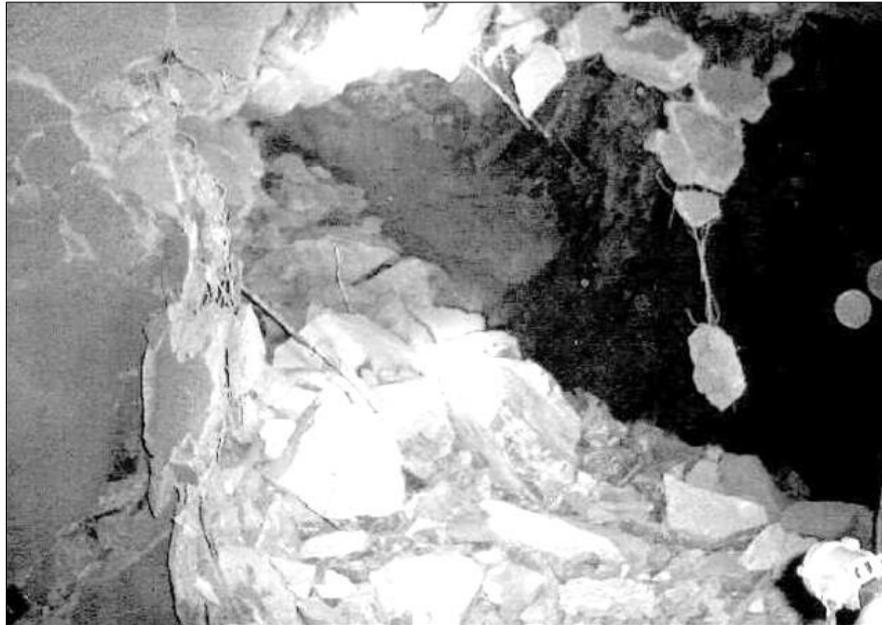
La rotura por fluencia severa y muy severa; ocurre por sobretensiones en macizos rocosos de comportamiento plástico a muy plástico. Según el RMR, está asociado a la clase de roca Tipo IV (Mala) y roca Tipo V (Muy Mala). En algunos casos se produce el colapso inmediato.

Figura 18: Rotura del macizo rocoso por lajamiento (spalling) del hastial derecho de un túnel en andesitas levemente fracturadas ($3 < \sigma_c / \sigma_1 < 5$).



Fuente: Toma propia

Figura 19: Rotura del macizo rocoso masivo por estallido de rocas (rock burst) del hastial izquierdo de un túnel ($\sigma_c / \sigma_1 < 3$).



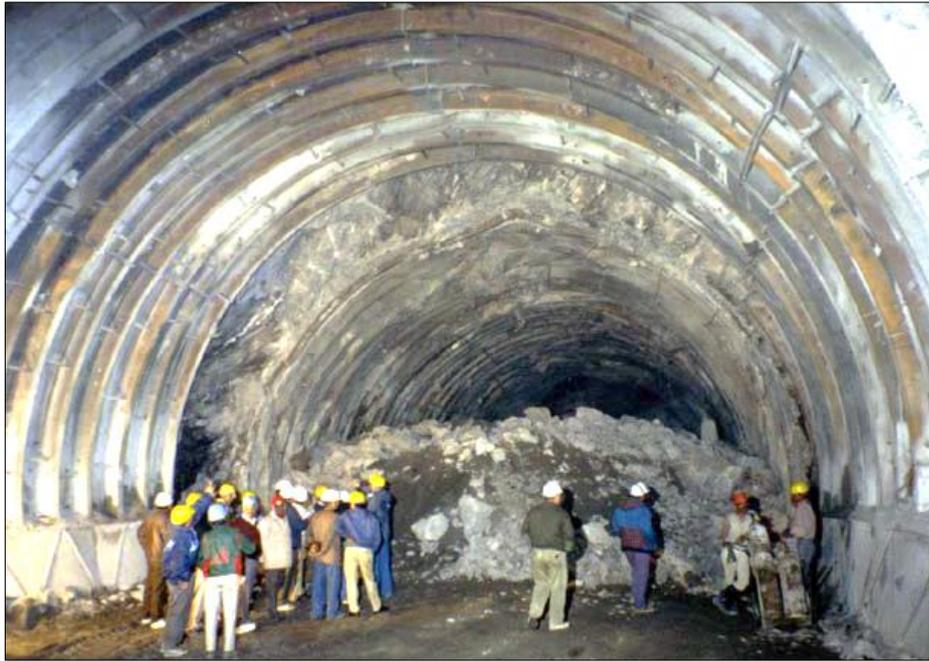
Fuente: Toma propia.

Figura 20: Rotura del macizo rocoso por cuñas inestables debido a intersección de fracturas desfavorables a la orientación de la excavación.



Fuente: Toma propia.

Figura 21: Rotura del macizo rocoso en la bóveda por deformación plástica moderada (squeezing)



Fuente: Toma propia.

Figura 22: Rotura del macizo rocoso en el frente de avance por deformación plástica severa (severe squeezing)



Fuente: Toma propia.

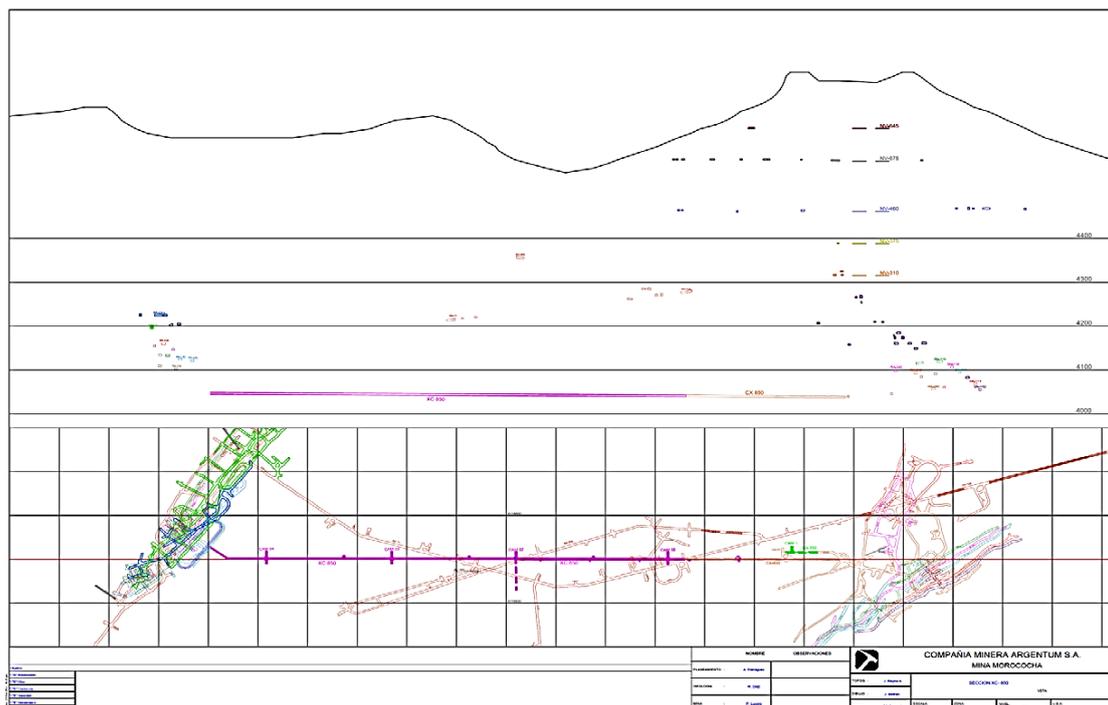
2.7. INVESTIGACIÓN DEL CRUCERO XC 850

2.7.1. GENERALIDADES

El crucero 850 está ubicado en el nivel 4025 de la mina Codiciada con un encampane promedio de 600 m, tendrá una longitud aproximada de 1 250 m, una orientación S70°W y una sección tipo baúl de 4.5 m de ancho y 4.0 m de altura. El objetivo principal del crucero es servir como túnel de drenaje y de comunicación con la mina Alapampa.

La excavación del crucero se llevará a cabo mediante un solo frente a partir del nivel 4025, para lo cual se ha proyectado 04 cámaras de carguío para la evacuación del desmonte espaciadas cada 250 m entre sí a lo largo del crucero, estas cámaras se irán excavando conforme se avance con el crucero y su objetivo principal será disminuir el tiempo de evacuación del desmonte.

Figura 23: XC 850, Nivel 025, Mina Codiciada. Vista de perfil y planta del Crucero 850.

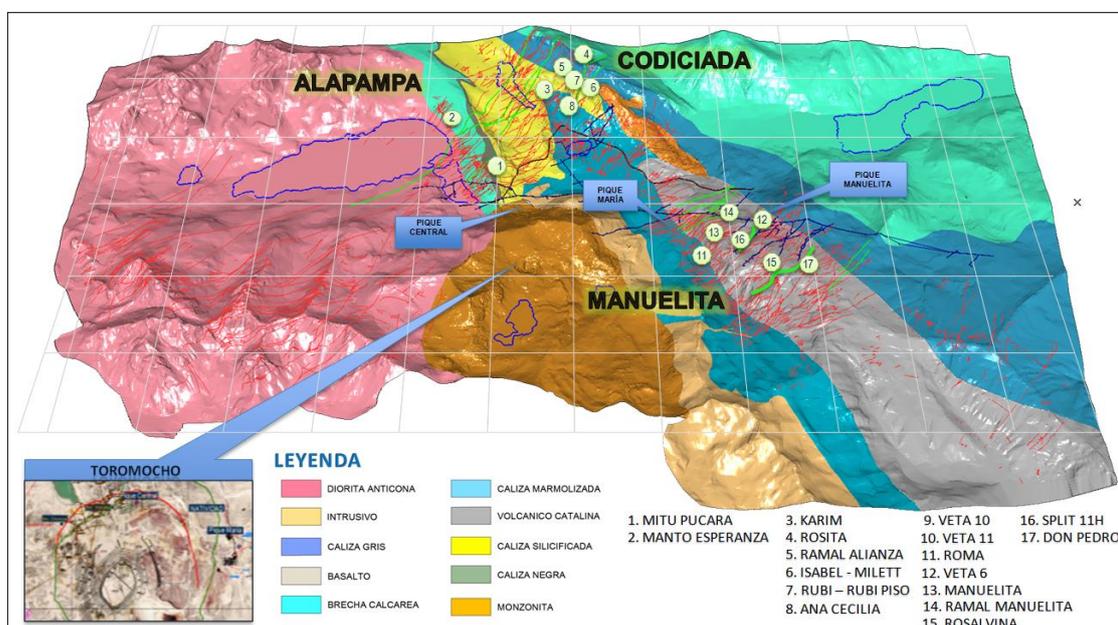


Fuente: Departamento de Planeamiento e Ingeniería

2.7.2. GEOLOGÍA EN EL EJE DEL CRUCERO XC850

El cruceo 850 se excavó principalmente en rocas andesíticas pertenecientes a la formación Volcánicos Catalina del Grupo Mitu consistente en intercalaciones de lavas andesíticas de textura afanítica y brechas andesíticas de textura porfírica con lentes ocasionales tufáceos. Se presenta leve a moderadamente fracturada, muy resistentes, leve a moderadamente afectados por alteración propilítica.

Figura 24: Plano geológico de la mina Morococha



Fuente: Departamento de Geología

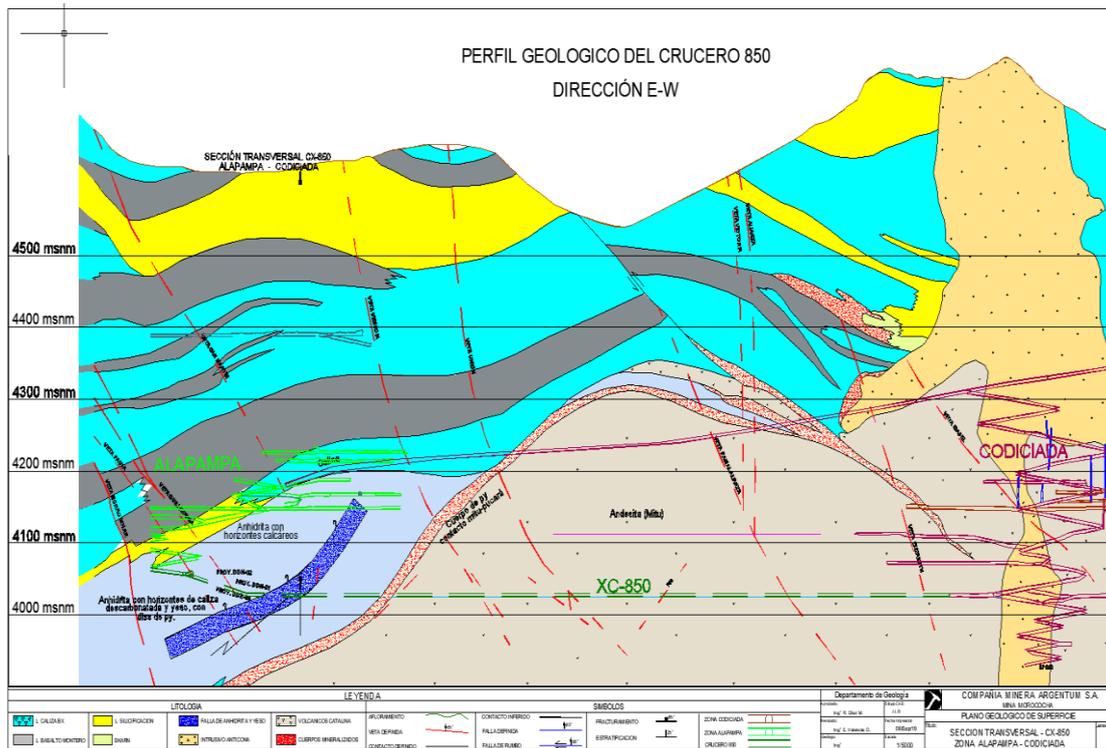
De acuerdo con la información geológica, a lo largo del eje del cruceo 850, se interceptaron las vetas Elizabeth, Ramal Alianza, Unión, Venecia, San Martín, Guillermina y Paula, las cuales presentan una orientación $N50^{\circ}-60^{\circ}E/65^{\circ}-75^{\circ}SE$. Así mismo, se interceptaron fallas locales de espesores menores a 30 cm. (subparalelas a las vetas), las cuales presentan relleno de cuarzo, sericita y pirita.

El cruceo 850 excavó también las rocas calizas grises-negros así como también el complejo anhidritico localizado en el contacto entre las rocas volcánicas del Grupo Mitu (Volcánicos Catalina) y las calizas Pucara correspondería a una zona de litoral somero donde se depositaron capas predominantemente de yeso intercaladas con capas de anhidrita y dolomita, posteriormente las capas de yeso por presión litostática, debido al hundimiento paulatino de la cuenca, se transformaron en

anhidrita con algunos lentes de yeso como remanentes. La transformación de yeso en anhidrita origina, por pérdida de agua del yeso, presiones hidrostáticas en las capas adyacentes originando fallas de cabalgamiento sub-horizontales.

El perfil longitudinal del túnel del túnel presentado en la Figura 29 se ha producido combinando los datos subsuperficiales recuperados por los pozos exploratorios y el mapeo geológico de campo. Para los primeros 900 m de su longitud, el túnel propuesto está cruzando los Volcanicos Catalina (condiciones geotécnicas generalmente más favorables). Un examen más detallado de las condiciones geotécnicas a lo largo de la ruta del túnel revela que los 1200 m de recorrido del túnel, la altura de la sobrecarga es 550-650 en promedio. En la sección restante de 300 m de largo de la ruta del túnel a través de la roca sedimentaria, las calizas de Pucará.

Figura 25: Perfil geológico inferido en el eje del crucero 850 de dirección EW según plano geológico local de la unidad minera Morococha.



Fuente: Departamento de Geología.

2.7.3. CARACTERIZACIÓN DE LA MASA ROCOSA DEL CRUCERO 850

Se realizó el mapeo geomecánico de las labores mineras en el crucero 850 en la zona Codiciada, Nivel 4025, haciendo un total de 03 estaciones de mapeo geomecánico.

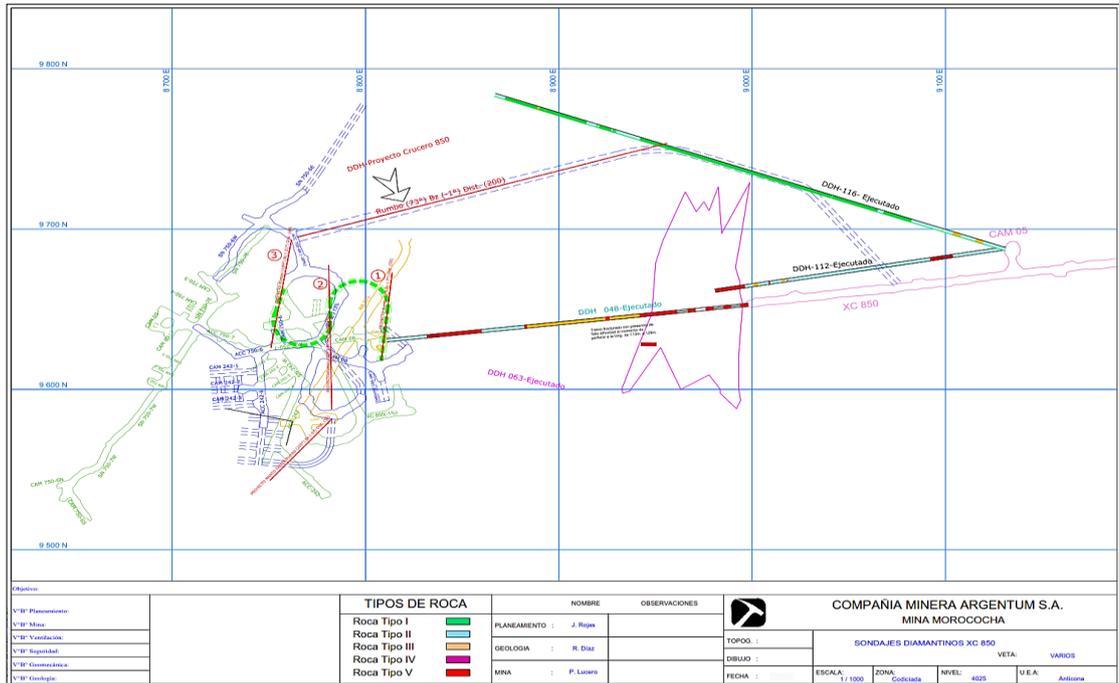
También se realizaron observaciones (el logueo geotécnico) de los testigos rocosos de algunos de los sondajes diamantinos ejecutados como parte de la exploración del crucero. También se tuvieron disponibles las fotografías de estos testigos observados.

Mapeo Geomecánico-Geotécnico

El mapeo geomecánico del laboreo minero se realizó utilizando el "método directo por celdas de detalle". Con este método se realizó las mediciones de las fracturas (discontinuidades) presentes en las paredes de la excavación.

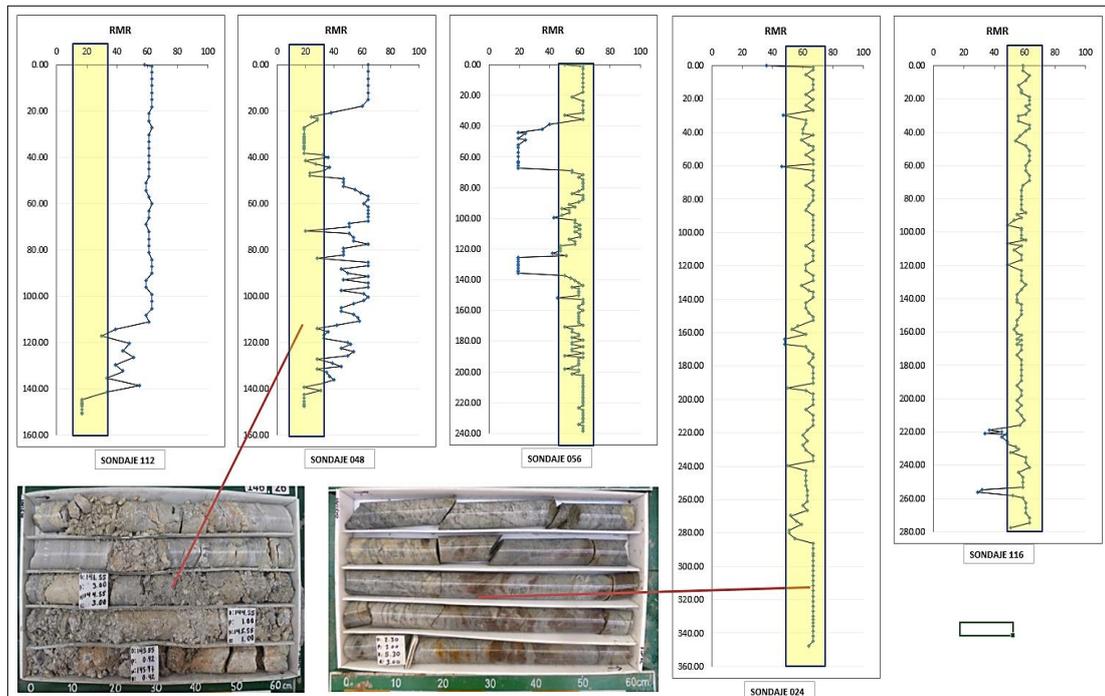
Los parámetros de observación y medición fueron hallados en tablas de registro diseñados para este propósito. Los parámetros fueron: tipo de roca, familia de discontinuidad, orientación, espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, tipo de relleno, espesor del relleno, alteración y presencia de agua. Adicionalmente se registraron datos de resistencia de la roca y grado de fracturamiento (RQD – Rock Quality Designation).

Figura 26: Plano topográfico y ubicación de sondajes diamantinos del final de la excavación del Crucero 850.



Fuente: Departamento de Planeamiento e Ingeniería.

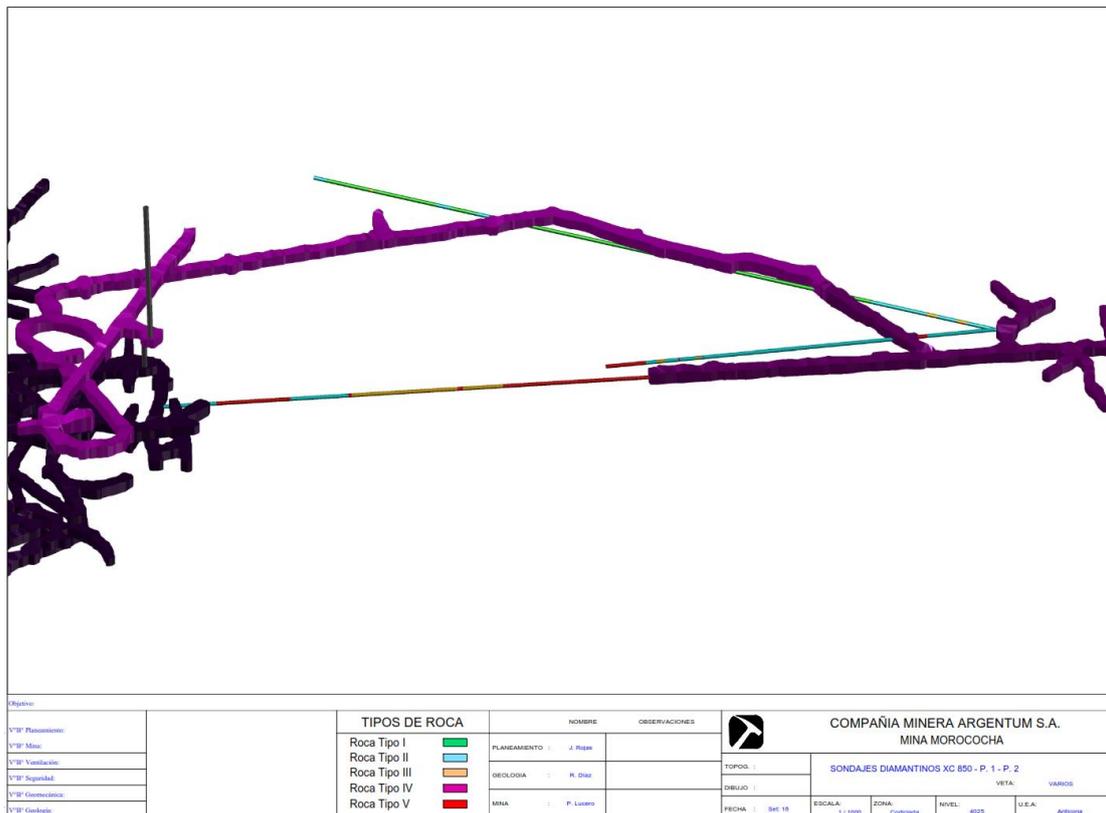
Figura 27: Identificación de zonas de fracturas Plano topográfico y ubicación de sondajes diamantinos del final de la excavación del Crucero 850.



Fuente: Departamento de Geomecánica.

En los testigos rocosos de las perforaciones diamantinas, se observaron los mismos parámetros señalados en el párrafo anterior, en total se reunió información de 05 sondajes, haciendo una longitud total de 1,170 m.

Figura 28: Plano Topográfico y ubicación de sondajes diamantinos en 3D del Crucero 850.



Fuente: Departamento de Geomecánica.

2.7.4. ESTEREOGRAFÍA DEL CRUCERO 850 Y SU ENTORNO

Distribución de discontinuidades

Para conocer las familias a las que pertenecen las discontinuidades, se procesaron los datos de buzamiento y dirección de buzamiento en las técnicas de proyección estereográfica, utilizando el programa de cómputo DIPS versión 7.0 de Rocscience Inc. (Jun 2016).

Las familias halladas de acuerdo con sus orientaciones son las siguientes:

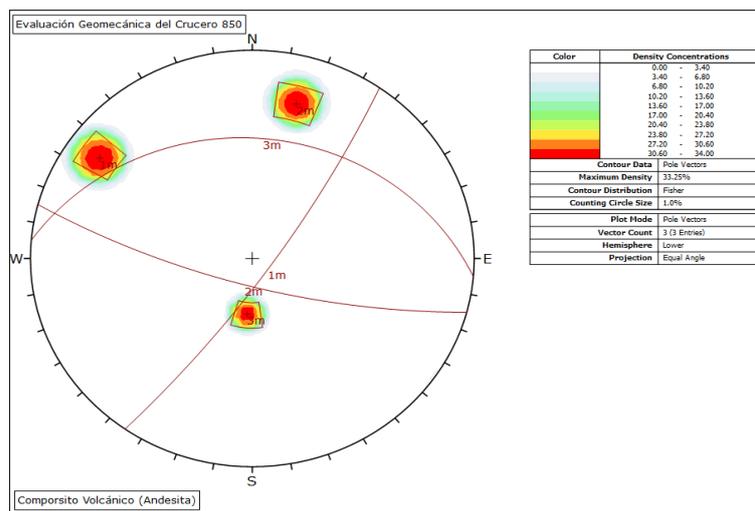
Tabla 16: Sistemas de familias por orientaciones

Litología	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Andesita (volcánico)	N85°W / 30°NE	N55°E / 80°SE	N75°W / 75°SW	—
	5° / 30°	125° / 80°	195° / 75°	—
Mineral	N45-50°W / 75-85°NE	—	—	—
	50°- 55° / 75°-85°	—	—	—
Caliza	N11°W / 68° NE	N68°E / 69°SE	N13°W / 63° SW	N70°E / 13°NW
	79° / 68°	158° / 69°	257 / 63°	340° - 13°

Fuente: Dpto. de Geomecánica.

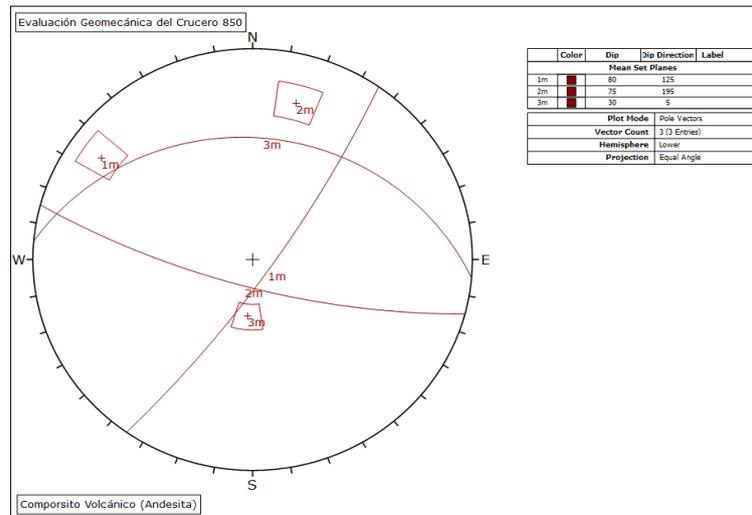
Durante el mapeo geomecánico llevado a cabo en las labores subterráneas del Nivel 4025, se han registrado datos de la roca. Se ha realizado un análisis de manera local y en modo compósito, resultando que desde el punto de vista estructural la masa rocosa presenta dos zonas estructurales, el compósito de la roca encajonante formado por las volcánico, calizas y el compósito del área mineralizada compuesto por las vetas que se cortó, atravesó con el cruceo 850. Según esto, las siguientes son las características del arreglo estructural de la masa rocosa:

Figura 29: Estereografía de contornos de volcánico (Andesitas) del cruceo 850.



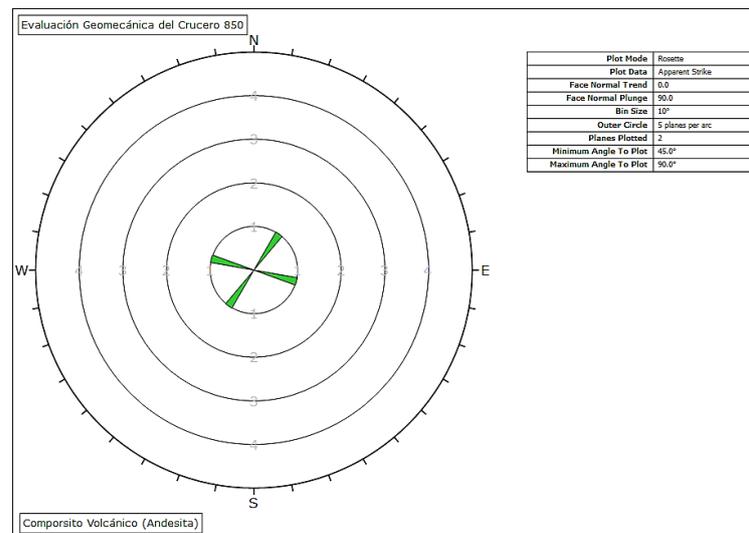
Fuente: Dpto. de Geomecánica.

Figura 30: Estereografía de contornos de planos mayores de roca volcánica (Andesitas) del crucero 850.



Fuente: Dpto. de Geomecánica.

Figura 31: Diagrama de roseta de discontinuidades del volcánico (Andesitas) del crucero 850.



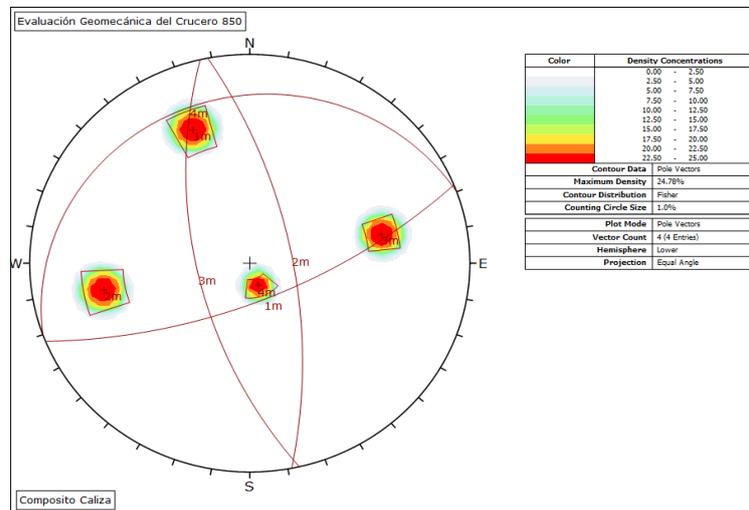
Fuente: Dpto. de Geomecánica.

Zona de Volcánicos y Calizas

Se presentan 4 familias de discontinuidades principales (Familias 1, 2 y 3) y 1 Familia alterna (4).

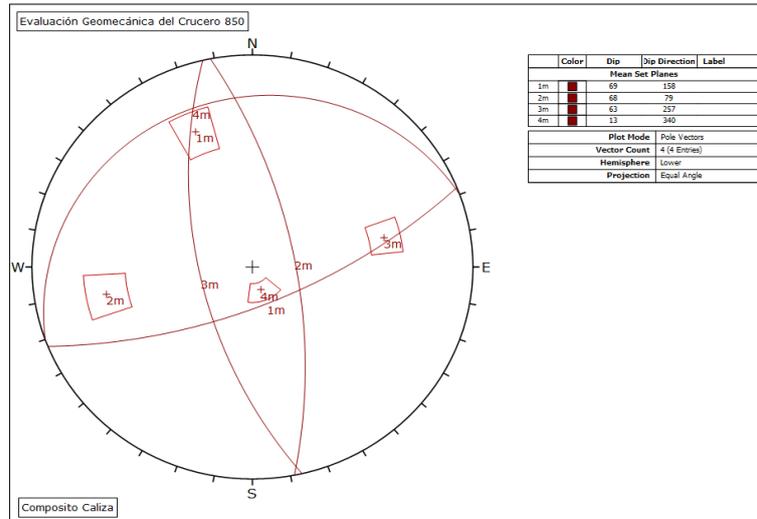
- La familia 1 tiene rumbos al NW y una inclinación Sub vertical y sub horizontal al NE. Está conformado mayormente por diaclasas.
- La familia 2 tiene rumbos NE e inclinación sub vertical al SE. Está formado principalmente por diaclasas.
- La familia 3 tiene rumbos NW y una inclinación sub vertical al SW. Está formado principalmente por diaclasas y las estructuras (vetas).
- La familia 4 tiene rumbos NE e inclinación sub horizontal al NW. Está conformado por estratos.
-

Figura32: Estereografía de contornos de calizas del crucero 850.



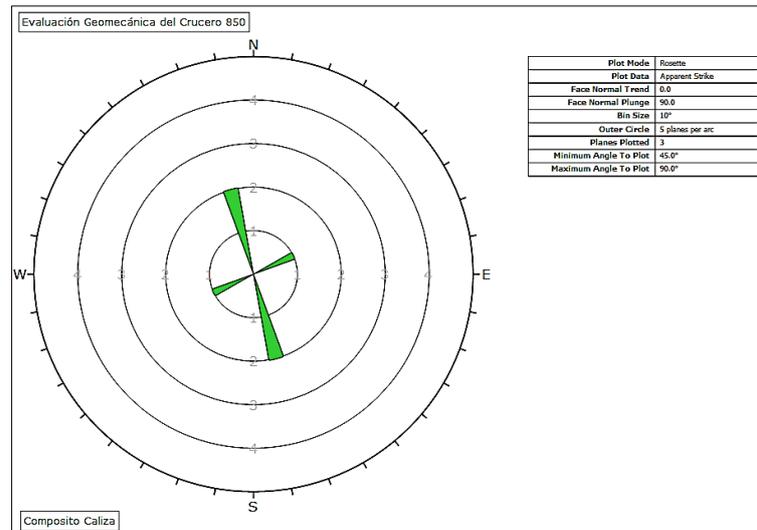
Fuente: Dpto. de Geomecánica.

Figura33: Diagrama estereográfico de planos mayores de calizas del crucero 850.



Fuente: Dpto. de Geomecánica.

Figura34: Diagrama de roseta de discontinuidades de calizas del crucero 850.



Fuente: Dpto. de Geomecánica.

2.7.5. ASPECTOS ESTRUCTURALES

Las propiedades de las estructuras de las con hallan mediante una evaluación estadística de la información hallada en los mapeos geomecánicos, la que se trató de que sean compatible con las observaciones en la labor minera. Según esto, las siguientes son las principales características estructurales de las discontinuidades:

Fallas:

Las fallas son espaciados por lo general mayores de 30 m, la persistencia mayor a 20m, la apertura es mayor de 5 mm, las caras de las fracturas son lisas con espejos de falla en ciertos casos y ligeramente onduladas. Las fracturas están rellenas con panizo, brechas, óxidos y arcillas, el espesor de los rellenos varía entre 5 y 20 cm. Las fallas constituyen lugares por donde ocurren las filtraciones de agua. Las áreas de influencia de las fallas son menores a 1 m de espesor.

Diaclasas:

Las diaclasas están espaciados entre 0.20 a 0.60 m y localmente de 0.6 a 0.30 m, persiste entre 3 a 10 m, la abertura es menor a 1 mm, la rugosidad de las fracturas son rugosas a ligeramente rugosas, relleno de juntas generalmente duro compuesto por materiales oxidados y piritita con espesores menores de 5 mm, las superficies de las discontinuidades están por lo general ligeramente alteradas a moderadamente alteradas, y las condiciones de agua subterránea generalmente secas con algunas zonas con superficies húmedas.

Figura35: XC850, Nivel 4025, Mina Codiciada. Se encuentra excavado en rocas andesíticas, moderadamente fracturadas, buena (F/B).



Fuente: Toma propia.

Estratos:

Los estratos tienen espaciamentos de 10 a 60 cm, la persistencia mayor a 20 m, apertura de 1 a 5 mm, las superficies ligeramente rugosas a rugosas y poco onduladas. Relleno mayormente con calcita y anhidrita y algunos estratos con relleno de arcillas, con espesor de 1 y 5 mm. Intemperización ligera a moderada. Condición de agua, húmeda.

2.7.6. CLASIFICACIÓN DE LA MASA ROCOSA

Para catalogar geomecánicamente al macizo rocoso, se llevó a cabo bajo con el RMR, según el siguiente cuadro:

Tabla 17: Criterio para la clasificación de la masa rocosa

Clase	Calidad	Valoración Índice RMR	Rango Q
Roca Tipo I	Muy Buena 65 - 90	65 – 90	> 5.92
Roca Tipo II	Buena 50 - 65	50 – 65	2.18 – 5.92
Roca Tipo III	Regular 35 - 50	35 – 50	0.30 – 2.18
Roca Tipo IV	Pobre 20 - 35	20 – 35	0.08 – 0.30
Roca Tipo V	Muy Pobre ≤ 20	≤ 20	< 0.08

Fuente: Departamento de Geomecánica.

Las fuentes de información para clasificar a la masa rocosa de las áreas de evaluación han sido las siguientes: el mapeo geomecánico realizado en la masa rocosa de las labores subterráneas y las observaciones realizadas en los testigos rocosos de los sondajes diamantinos ejecutados para la exploración del crucero 850.

En la siguiente tabla, se presenta un resumen de la calidad RMR de la masa rocosa según el registro geomecánico de sondajes y el mapeo geomecánico efectuado en las labores mineras subterráneas.

Tabla 18: Calidad de la masa rocosa por tipo de roca

Litología	Rango de RMR	Rango de Calidades
Andesita (volcánico)	50 – 65	III a I
Mineral	35 –50	IV a III
Calizas	35 - 65	IV a II
Anhidrita	≤ 20 - 40	V a III

Fuente: Departamento de Geomecánica.

Por otro lado, de las observaciones en los cores de los sondajes diamantinos, se puede concluir lo siguiente:

Tanto en las rocas de los Volcánicos (andesitas) como en las calizas y las estructuras mineralizadas se presentan masas rocosas en un rango amplio de calidades, variando desde Pobre (IV) hasta Buena (II), pasando por Regular (II).

En las rocas Anhidrita y zonas de falla como zonas de contacto, predominan la calidad Muy Pobre (V) y roca de calidad Pobre (IV), y una mínima cantidad de roca de calidad Regular (III).

2.7.7. TIPOS DE MACIZO ROCOSO

Zonificación Geomecánica de la masa rocosa

Para la clasificación geomecánica del macizo rocoso, durante el estudio definitivo del cruceo XC850, Mina Codiciada, se utilizaron los índices de clasificación geomecánica RMR14 (Bieniawski, 2014) y Q (Barton, 2002), por ser los más utilizados en las excavaciones subterráneas que se viene ejecutando en el País y su fácil aplicación para el control y mapeo geomecánico a ser llevado a cabo durante las excavaciones.

De acuerdo con la incidencia de los parámetros del índice RMR14 básico, se expresa la condición de la excavación cuya valoración varía de 0 a 100, siendo su calificación de la siguiente manera:

Tabla 19: Clases de tipo de roca, valorización Índice RMR.

Clase	Calidad	Valoración Índice RMR
Roca Tipo I	Muy Buena	100 - 81
Roca Tipo II	Buena	80 - 61
Roca Tipo III	Regular	60 - 41
Roca Tipo IV	Pobre	40 - 21
Roca Tipo V	Muy Pobre	≤ 20

Fuente: Departamento de Geomecánica.

El tamaño de bloque del macizo rocoso está asociado a la relación RQD/J_n , el factor de resistencia del bloque a lo largo de las discontinuidades está asociado a la relación J_r/J_a y el factor de influencia de agentes externos está asociado a la relación J_w/SRF .

De acuerdo con la incidencia de los parámetros del índice Q, se expresa la condición de la excavación cuya valoración es de 0.001 a 1000, siendo su calificación de la siguiente manera:

Tabla 20: Parámetros del índice Q, condición de roca y valoración

Clase de Roca	Valoración Índice Q
Excepcionalmente Buena	400 - 1000
Extremadamente Buena	100 - 400
Muy Buena	40 - 100
Buena	14885
Regular	43742
Mala	1.0 - 4
Muy Mala	0.1 - 1.0
Extremadamente Mala	0.01 - 0.1
Excepcionalmente Mala	0.001 - 0.1

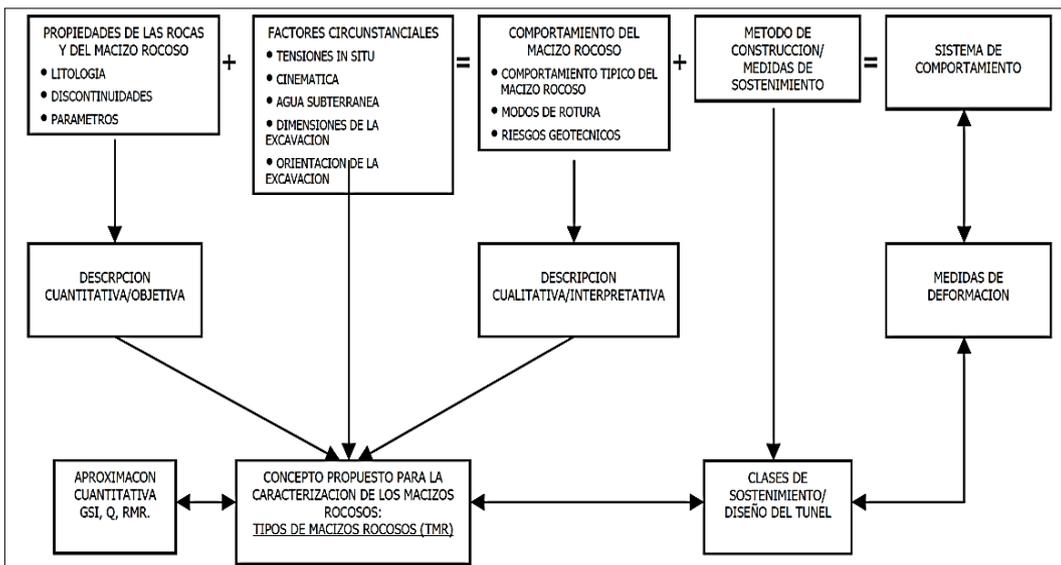
Fuente: Departamento de Geomecánica.

Los índices RMR14 y Q (2002) se correlacionan entre sí mediante la siguiente relación:

$$RMR = 15\text{Log}Q + 50$$

Para determinar los tipos de macizo rocoso (TMR) que serán tomados en cuenta en la zonificación geomecánica y la determinación del sostenimiento a lo largo del crucero 850 se utilizó el proceso de identificación para definir los diferentes tipos de macizo rocoso (TMR) para cada proyecto específico propuesto por Poschl y Kleberger (2006), basado en los índices de clasificación y caracterización geomecánica, así como el esperado comportamiento de la masa rocosa durante las explotación del laboreo minero.

Figura 36: Procedimiento para la identificación de los tipos de macizo rocoso (Poschl, Kleberger, 2006)



Fuente: Departamento de Geomecánica.

Dentro de estas propiedades: la litología, la alteración, el arreglo o modelo estructural del macizo rocoso y la calidad, son aspectos importantes que se debe tener en cuenta para zonificar la mina. En el caso del Crucero 850, el modelo estructural del macizo rocoso es compatible con la litología Volcánicos (andesita), caliza y zona mineralizada, con esta consideración los dominios estructurales estarán definidos por el tipo de roca y la calidad de la masa rocosa.

Las fuentes de información de la calidad de la masa rocosa del Crucero 850 fueron el mapeo geomecánico de labores subterránea y el logueo de cores de las perforaciones diamantinos que se hicieron para la exploración del crucero 850.

Para propósitos del presente estudio la zonificación geomecánica puede ser realizada considerando calidades de masa rocosa promedio tanto para las cajas como para el mineral.

Según la información disponible y lo observado en campo, se establecieron los siguientes tipos de macizos rocosos

Crucero 850:

- **Roca Tipo I:**

Índice $Q > 5$, Índice $RMR > 65$, $RQD > 75$ (menos de 2 f/ml). Se astilla o se rompe con varios golpes de picota. Fracturas cerradas a ligeramente abiertas, onduladas y rugosas, frescas a levemente alteradas. Resistencia > 150 MPa. Sin sobretensiones.

- **Roca Tipo II:**

Índice $1 < Q < 5$, Índice $50 < RMR < 65$, $60 < RQD < 75$ (2 – 6 f/ml). Se rompe con dos o más golpes de picota. Fracturas ligeramente abiertas, onduladas y rugosas, levemente, alteradas con oxidación y calcita, anhidrita en paredes. Resistencia entre 100-150 MPa. Se considera a la Roca Tipo I con presencia de goteos o flujos de agua o con influencia desfavorable a muy desfavorable por orientación de fracturas.

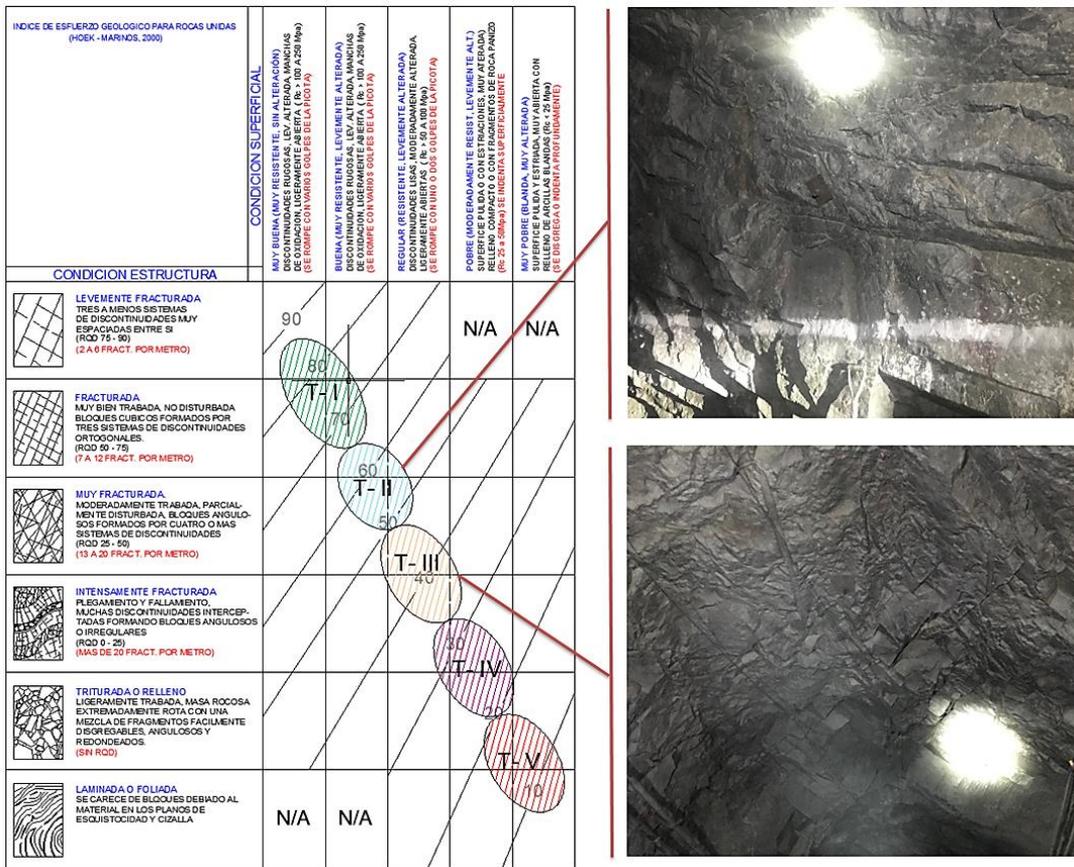
- **Roca Tipo III:**

Índice $0.1 < Q < 1$, Índice $35 < RMR < 50$, $40 < RQD < 60$ (6 – 12 f/ml). Se rompe con uno o dos golpes de picota. Fracturas abiertas, onduladas y lisas, alteradas con recubrimiento de sericita, anhidrita, epidota y oxidación en paredes. Resistencia entre 60-100 MPa. Se considera a la Roca Tipo II con presencia de goteos o flujos de agua o con influencia desfavorable a muy desfavorable por orientación de fracturas.

- Roca Tipo IV:**

Índice $0.01 < Q < 0.1$, Índice $20 < RMR < 35$, $20 < RQD < 40$ (12 - 20 f/ml). Se indenta superficialmente con la picota. Fracturas muy abiertas, planas y lisas, alteradas con recubrimiento y relleno de sericita, epidota y oxidación en paredes. Resistencia entre 30-60 MPa. Se considera a la Roca Tipo III con presencia de goteos o flujos de agua o con influencia desfavorable a muy desfavorable por orientación de fracturas.

Figura 37: Tabla GSI – RMR y tipos de trocas en la excavación del Crucero Xc 850



Fuente: Departamento de Geomecánica.

- Roca Tipo V:**

Índice $Q < 0.01$, Índice $RMR < 20$, $RQD < 20$ (mayor de 20 f/ml - triturado). Roca intensamente fracturada a triturada o brechada. Fracturas muy abiertas con rellenos blandos, presencia de estriaciones y material de falla. Resistencia

menor a 25 MPa. Se considera a la roca Tipo IV con presencia de agua o con influencia desfavorable a muy desfavorable por orientación de fracturas.

Desde luego que dentro de estos dominios existen rocas asociadas a zonas de falla, zonas de contacto y zonas de corte, pero que en el área de evaluación representan un mínimo porcentaje (5%) del total de la roca registrada geomecánicamente.

Para realizar los modelamientos numéricos que se presentan en el siguiente capítulo, es necesario establecer parámetros de resistencia de la masa roca que representen adecuadamente a las diferentes litologías, para ello se han considerado valores de calidad de la masa rocosa correspondientes al promedio ponderado indicados en el Cuadro 4.4 de acuerdo al criterio señalado en el párrafo anterior.

Tabla 21: Zonificación Geomecánica y calidades de la masa rocosa

Litología	Promedio RMR	Dominio
Andesita (volcánico)	60	De II
Mineral	40	De III
Calizas	50	De III
Anhidrita	25	De V

Fuente: Departamento de Geomecánica.

2.7.8. RESISTENCIA DE LA MASA ROCOSA

Resistencia de la roca intacta

Uno de los parámetros más importantes que se utiliza para evaluar el comportamiento mecánico de la masa rocosa es la resistencia compresiva no confinada de la roca intacta (σ_c).

Los valores de (σ_c) fueron obtenidos realizando ensayos de golpes con el martillo de geólogo según normas ISRM, efectuados durante el mapeo geomecánico de las labores subterráneas. Los resultados de estos ensayos están consignados directamente en los formatos del Anexo 1.

A fin de verificar los resultados de los ensayos de campo, se llevaron a cabo en el laboratorio de Mecánica de Rocas de la Pontificia Universidad Católica del Perú, ensayos de compresión simple, ensayos de compresión triaxial, ensayos de carga

puntual, ensayos de tracción indirecta sobre muestras rocosas obtenidas de bloques y testigos de sondajes, para las diferentes litologías presentes en el área de estudio. El reporte de los resultados de los ensayos ejecutados en laboratorio de mecánica de rocas es presentado en el Anexo 3 de este informe.

El cálculo de la resistencia compresiva de la roca intacta se ha obtenido a partir de ensayos de compresión uniaxial y ensayos de carga puntual. En la tabla 21, se presentan los resultados del ensayo de compresión uniaxial y la tabla 22, se presentan los resultados de los ensayos de carga puntual a partir de los cuales, fueron obtenidos también la resistencia compresiva de la roca intacta; adicionalmente, en la tabla 23, se presenta el resumen de los resultados de tracción indirecta.

Tabla 22: Resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta

Litología	Resistencia a compresión Uniaxial	
	Kg/cm ²	Mpa
Andesita (volcánico)	1368.7	134.2
Mineral	439.89	43.14
Calizas	307.96	30.14
Anhidrita	30.22	3.02

Fuente: Dpto. de Geomecánica.

Tabla 23: Ensayos de carga puntual

Litología	Is (50) (Mpa)	Resistencia Compresiva (Mpa)
Andesita (volcánico)	5.4	129.6
Mineral	3.1	74.4
Calizas	4.1	98.4
Anhidrita	0.5	12

Fuente: Dpto. de Geomecánica.

Tabla 24: Ensayos de tracción indirecta

Litología	Resistencia a Tracción Indirecta	
	Kg/cm2	Mpa
Andesita (volcánico)	82.35	8.3
Mineral	34.2	3.4
Calizas	68.0	6.7
Anhidrita	12.1	1.2

Fuente: Dpto. de Geomecánica.

Otro parámetro importante de la roca intacta es la constante “mi” del criterio de falla de Hoek & Brown (2002-2006), este parámetro fue obtenido de los ensayos de compresión triaxial (tabla 25).

Tabla 25: Ensayos de compresión triaxial

Litología	Constante mi
Andesita (volcánico)	19.4
Mineral	15.1
Calizas	11.9
Anhidrita	4.3

Fuente: Dpto. de Geomecánica.

Además, para la roca intacta, en la mina se han realizado una serie de ensayos de propiedades físicas y de ellos se han obtenido valores promedio de densidad para la pirita mineralizada de 4.0 t/m³, y para la roca encajonante formada por las calizas de 2.8 t/m, en promedio, así como para la roca Volcánicos (andesitas) 3.0 tn/m

Resistencia de las discontinuidades.

Desde el punto de vista de la estabilidad controlada por las discontinuidades estructurales, es importante conocer las características de resistencia al corte de las discontinuidades, ya que éstas constituyen superficies de debilidad de la masa rocosa y por tanto planos potenciales de falla.

La resistencia al corte en este caso está regida por los parámetros de fricción y cohesión del criterio de falla Mohr-Coulomb. En el presente estudio estos parámetros fueron determinados en laboratorio mediante ensayos de corte directo.

En el Cuadro 4.9, se presenta un resumen de los resultados de los ensayos de corte directo sobre superficies de discontinuidades inducidas.

Tabla 26: Ensayos de corte directo

Litología	Superficie de Ensayo	Angulo de Fricción Residual	Cohesión (Kpa)
Andesita (volcánico)	inducida	37.28	137
Mineral	inducida	30	85
Calizas	inducida	32.1	59
Anhidrita	inducida	–	–

Fuente: Dpto. de Geomecánica.

2.7.9. CONDICIONES DEL AGUA SUBTERRÁNEA

El agua en el macizo rocoso influye contrariamente en las condiciones de estabilidad del laboreo minero. El efecto principal del agua es que la presión que ejerce en las paredes de las fracturas baja la resistencia al corte y por ende baja el factor de seguridad o la estabilización del terreno es por eso que debe tener siempre en cuneta.

El Estudio Hidrogeológico Preliminar ejecutado por ITASCA S.A., en diciembre del 2003 a solicitud de Pan American Silver Corp, en sus conclusiones indica que la transmisión principal del flujo del agua es través de vetas, estructuras principales (estratos), y zonas de falla y en menor proporción a través de las discontinuidades y juntas de la masa rocosa. Durante los trabajos de campo se ha observado que la presencia del agua subterránea en la labor es subterránea del Crucero 850 se manifiesta en humedad, goteo y hasta pequeños flujos, este último se presentó durante la construcción del crucero al cortar las vetas y zonas de falla.

Actualmente, estas condiciones han disminuido por el abatimiento del nivel freático a causa de la ejecución de labores mineras como parte del desarrollo y preparación de las labores subterráneas. En general, las condiciones de agua subterránea en el área de estudio son de húmedas a mojadas.

2.7.10. ESFUERZOS IN-SITU

El esfuerzo vertical a partir del criterio de carga litostática, tomando en cuenta una profundidad mínima y máxima de la mineralización de 500 y 550 m respectivamente. El esfuerzo vertical in-situ mínimo y máximo sería 13.7 a 15.1 MPa. La constante “k” (relación de los esfuerzos horizontal a vertical) para determinar el esfuerzo in-situ horizontal se ha estimado utilizando el criterio de Sheorey(1994), según este “k” tendría un valor aproximado de 0.48 a 0.47. El análisis de la información proporcionada por el Mapa Mundial de Esfuerzos (Heidbach, 2009) en el área de Mina Morococha, se observa que el esfuerzo compresión al horizontal máximo es menor al esfuerzo vertical, siendo similar al criterio de Sheorey. El valor de “k” igual a 0.5.

Durante los trabajos de campo se ha podido observar signos de inestabilidad a través de juntas y estratos con relleno de anhidrita y yeso probablemente debido a un proceso combinado de inestabilidad estructuralmente controlado y sobreesfuerzos debido a que tanto el mineral como la roca de caja presentan resistencia media.

Figura 38: Vista de la pared izquierda del crucero 850. Se observa la excavación lateral ejecutada para emplazar la cuneta de drenaje, la cual se está ejecutando posterior al avance y origina la presencia de lajamiento en la pared, según fractura N20°E/78°SE.



Fuente: Toma propia.

Figura 39: Vista de la pared izquierda de un tramo del crucero 850 donde se observa la presencia de lajas que han sido sostenidas con pernos y malla.



Fuente: Toma propia.

2.8. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Afloramiento**

Lugar donde asoma a la superficie del terreno un mineral o una masa rocosa que se encuentra en el subsuelo. 2. Parte del estrato de roca, veta filón o capa que sobresale del terreno o se encuentra recubierta de depósitos superficiales. 3. Parte de una formación o una estructura geológica que se presenta en la superficie de la Tierra; también, el sustrato rocoso que está cubierto solamente por depósitos superficiales, tales como un aluvión.

- **Alteración**

Cambio en la composición química o mineralógica de una roca, producido generalmente por meteorización o por acción de soluciones hidrotermales. 2. En general, se refiere a cambios físicos o químicos sufridos por rocas y minerales después de su formación, promovidos por procesos exógenos tales como meteorización, o por procesos endógenos tales como magmatismo o fallamiento.

- **Buzamiento (geología general)**

Es el ángulo que forma el plano a medir con respecto a un plano horizontal, y debe ir acompañado por el sentido en el que el plano buza o baja.

- **Costo de inversión**

Costo equivalente a los intereses correspondientes al capital invertido en una maquinaria, Ruptura repentina y violenta, de una masa de roca, de las paredes de un túnel, galería, mina o cantera profunda; ocasionada por una falla repentina y liberación instantánea de la energía acumulada en el macizo de roca.

- **Estudio de factibilidad**

Comprende toda la información con la que se realiza la evaluación de un proyecto, que habilita para tomar la decisión definitiva sobre la realización o sobre el proyecto mismo. El estudio de factibilidad debe suministrar una base técnica económica y comercial para tomar la decisión sobre inversiones a realizarse en un proyecto minero industrial, lo mismo que sobre sus condiciones operativas y procedimientos asociados.

- **Estudio de prefactibilidad**

Es una evaluación preliminar sobre la idea de un proyecto. Es la definición de un plan sobre el cual trabajar, con cálculo de los costos, basado en datos físicos y experimentales limitados. En términos generales, este tipo de estudio consiste en realizar una evaluación más profunda de las alternativas encontradas viables y en determinar la bondad de ellas. Su principal finalidad es tomar la decisión sobre la viabilidad o no del proyecto, o sobre la necesidad de análisis más detallados.

- **Roca competente**

Roca que, debido a sus características físicas y geológicas, puede sostener aperturas, como túneles o galerías, sin ningún soporte estructural excepto paredes, pilares y respaldos dejados durante la explotación.

- **Rotura**

Raja o quiebra de un cuerpo sólido como roca o mineral, producido mecánica o naturalmente.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. MÉTODO Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

Se desarrollará una investigación aplicada a un nivel explicativo, logrando la mejora del desarrollo de la excavación en la explotación del Crucero 850 del nivel 4025 en la Zona de Codiciada. El método que se desarrolla es inductivo - deductivo, ya que se inicia de casos particulares a generales para luego interpretarlas. Siendo el resultado un método que mejore la viabilidad del proyecto (Crucero 850).

a. Método general

El método empleado en la investigación es el método inductivo - deductivo. Este método está orientado a observar e investigar a fondo los parámetros del comportamiento del macizo rocoso aplicando el “Método Grafico Múltiple GDE” para evaluar los resultados. Las evaluaciones de los parámetros técnicos económicos servirán para llegar a determinar de qué manera mejorar la productividad de las operaciones mineras (avance, sostenimiento) en la explotación del Crucero 850 del nivel 4025 en la Zona de Codiciada.

b. Métodos específicos

A continuación, se detalla el procedimiento de recolección y procesamiento de datos, donde determinamos el control de los KPI, haciendo uso del método general. Se realizará el análisis de los datos que se obtendrán en la observación directa de las variables.

- **Recopilación de informes anteriores.** Con la finalidad de poder entender el desarrollo de las actividades en la Unidad Minera, se recopilará toda la data de las áreas de geología, mina, planeamiento y geomecánica. Se interpretará los resultados de los informes de los meses anteriores.
- **Trabajo de campo.** Se realizará el trabajo de campo con las observaciones pertinentes de mapeos estructurales (geológico-línea de detalle), logueo geomecánico, medición de resistencias, sacado de muestras para laboratorio para el análisis del "Método Gráfico Múltiple GDE".
- **Trabajo de gabinete.** Se realizará los estudios operacionales, resultados, interpretación del trabajo desarrollado en campo.
- **Resultados.** Se realizará la evaluación de los resultados en términos de viabilidad o pre-factibilidad y factibilidad del proyecto haciendo uso del "Método Gráfico Múltiple GDE".

3.1.2. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

- a. **Tipo de Investigación.** De acuerdo a los diversos criterios, es considerada de tipo aplicada. La investigación hace utilización y aplicación de los conocimientos y teorías que ya se han desarrollado en las investigaciones básicas, porque de su uso depende los resultados y conclusiones que se van a obtener. Se fundamenta en las ciencias básicas, como geología, metalurgia, mecánica, economía y tecnología.

La investigación como ciencia aplicada se interesa en los estudios geológicos, metalúrgicos y geomecánicos.

- b. **Nivel.** El nivel de la investigación que se desarrollará es de tipo explicativo, porque se busca conocer un método que ayude a mejorar la productividad bajo criterios técnicos y económicos. Los estudios explicativos buscan nuevas respuestas que ayuden a mejorar ciertas deficiencias. Esto se sustentará porque la hipótesis será sometida a pruebas. La principal utilidad del nivel o alcance explicativo es saber cuál es el método que ayude a mejorar la productividad.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación consistirá en realizar la evaluación de los tipos de roca que desarrollará este proyecto (cruce 850) aplicando el “Método Gráfico Múltiple GDE” en el cruce 850 del nivel 4025 zona de Codiciada. Se desarrollará en un periodo de 03 meses y luego se analizarán para la obtención de resultados.

3.2.1. TIPO DE DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de diseño no experimental de corte longitudinal (evolutivo). Se realizará durante el periodo de 03 meses, se hará un control y registro de las variables, durante el estudio se visualizarán cambios a través del tiempo. En la investigación no se manipularán o tratarán de alterar a las variables. Solo nos enfocamos en investigar y observar los parámetros del macizo rocoso en la operación minera, luego analizamos su viabilidad de la explotación del Cruce 850.

GNO: 01 (T1, T2, T3, T4)

02 (T1, T2, T3, T4)

GNO: 01 y 02

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. POBLACIÓN

La población pertenece a la Compañía Minera Argentum S.A., en la zona de Codiciada-Alapampa en el nivel 4025, donde se quiere obtener la integración de ambas zonas.

3.3.2. MUESTRA

Se realizó un muestreo no probabilístico, intencionado y por conveniencia.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

4.1.1. EVALUACIÓN GEOMECÁNICA APLICANDO EL GRÁFICO MULTIPLE GDE EN EL CRUCERO XC850

Para estimar los tipos de rotura del macizo rocoso en las excavaciones subterráneas, se ha utilizado la tabla múltiple propuesta por G. Russo (2014), tal como se observa en la Figura 40, con la cual se determina los posibles tipos de rotura en una excavación subterránea, tomando en cuenta los siguientes parámetros:

a. Caracterización del macizo rocoso

(Volumen de bloque + condición de discontinuidades)

b. Resistencia del macizo rocoso

(Resistencia de la roca intacta + caracterización del macizo rocoso)

c. Índice de Competencia

(Resistencia del macizo rocoso + condición tensional in-situ)

d. Comportamiento de la excavación

(Índice de competencia + condición de autosoporte)

Se ha determinado las probables ocurrencias de rotura del macizo rocoso en el crucero XC850, tomando en cuenta una cobertura litostática de 600 m. para los diferentes tipos de roca, habiéndose determinado los tipos de rotura y sus

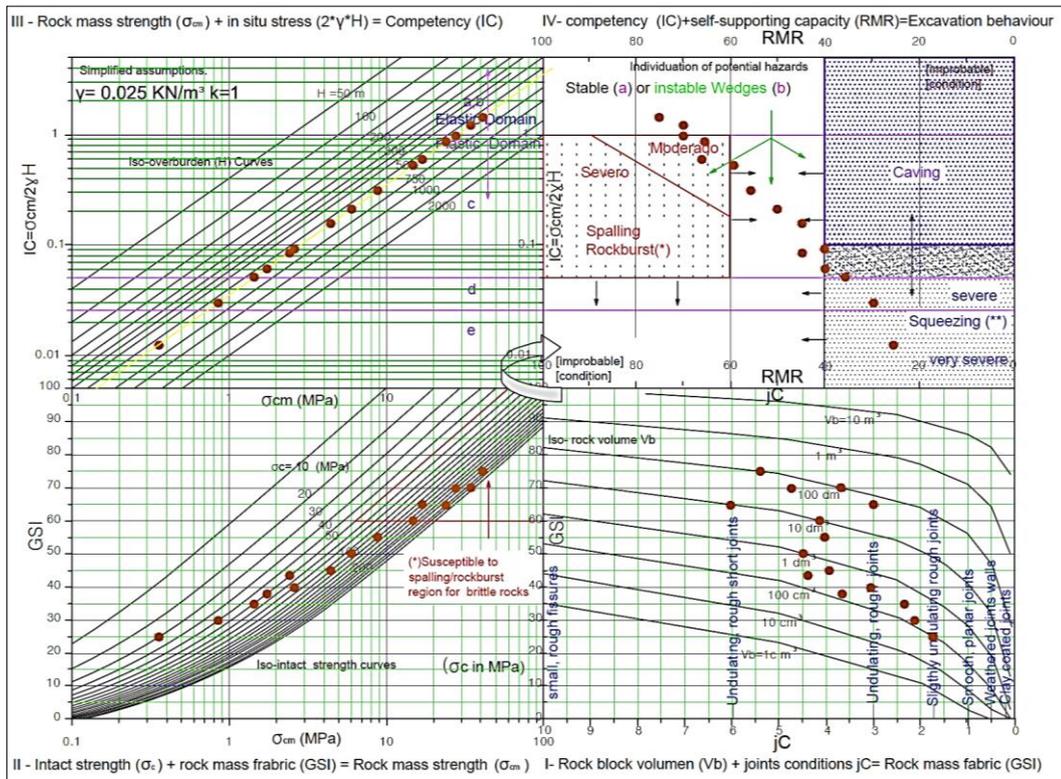
porcentajes, los cuales deberán ser tomados en cuenta para ajustar la determinación del sostenimiento de acuerdo con la zonificación geomecánica:

Tabla 27: Resultado de ocurrencias de rotura mediante el “Grafico Múltiple”

"Grafico Múltiple GDE"					
	Sector I (GSI)	Sector II (σ_{cm})	Sector III (IC)	Sector IV (RMR)	%
1	25	0.35	0.013	Deformación	13%
2	30	0.85	0.04	Deformación	
3	35	1.6	0.05	Desprendimiento	20%
4	38	1.8	0.06	Desprendimiento	
5	40	2.6	0.07	Desprendimiento	
6	44	2.5	0.08	Cuñas	34%
7	45	3.4	0.08	Cuñas	
8	50	5	0.2	Cuñas	
9	55	10.6	0.3	Cuñas	
10	60	10.7	0.5	Cuñas	
11	65	20.4	0.7	Lajamiento	13%
12	65	20.8	0.85	Lajamiento	
13	70	30.8	1	Estable	20%
14	70	30.5	1.3	Estable	
15	75	40.2	1.4	Estable	

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 40: Análisis de rotura del macizo rocoso en el crucero 850, según el Grafico Múltiple (G. Russo, 2014).



Fuente: Departamento de Geomecánica.

4.1.2. ANÁLISIS DE DISEÑO DE SOSTENIMIENTO Y EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD

En lo siguiente, se desarrolla los análisis de diseño para dar estabilidad de la excavación del crucero 850, uniendo todas las informaciones recabadas en los capítulos previos tomando en cuenta las secciones del laboreo minero.

- **Aberturas máximas y Soporte**

Para propósitos de esta evaluación, las excavaciones han sido divididas en una categoría: labores permanentes.

- **Labores permanentes**

Estas incluyen, por ejemplo: Crucero, estaciones de carguío.

En estas labores se emplea un soporte de tipo permanente (para varios muchos años de vida). Según los resultados de la clasificación y de la zonificación geomecánica del crucero 850, En donde hay masas rocosas de calidad Tipo I y Tipo II.

En la tabla 27, se indica las dimensiones, a partir de los rangos de RMR.

Tabla 28: Aberturas máximas de las excavaciones permanentes

Dominio	Rango RMR	Promedio RMR	Abertura Máxima
Roca Tipo I	Muy Buena 65 - 90	70	8.1
Roca Tipo II	Buena 50 - 65	60	5.2
Roca Tipo III	Regular 35 - 50	45	4.0
Roca Tipo IV	Pobre 20 - 35	25	3.0
Roca Tipo V	Muy Pobre \leq 20	\leq 20	NO RECOMENDABLE

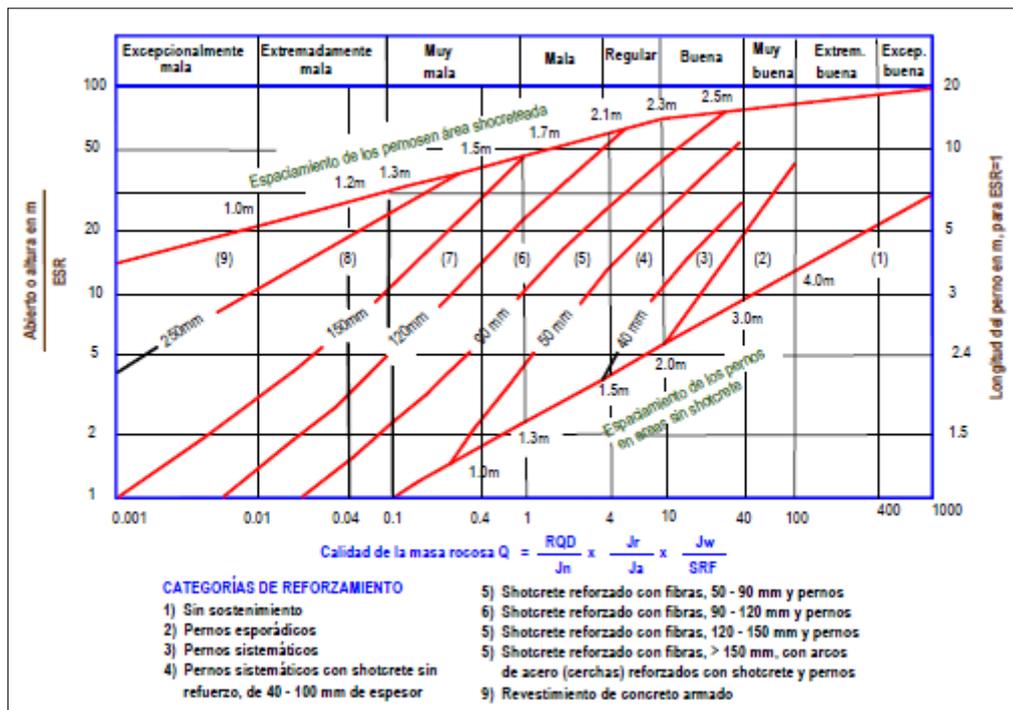
Fuente: Elaboración propia

Las aberturas máximas mostradas en el 27 son de laboreos sin sostenimiento sistemático, es decir, por ejemplo, de tener un RMR 60, aberturas de 5.2 m o menores necesitarán solo sostenimiento esporádico según lo requiera la roca localmente.

Las labores mineras permanentes más comunes son aquellas se oscilan entre 4.0 a 5 m de abertura máxima (rampas, cruceros y by pass), según esto, para el caso del Crucero 850, los sostenimientos recomendados para labores permanentes se presentan en la Tabla 28.

En este caso, los pernos de roca deberán ser de tipo swellex de 7 pies de longitud. Para labores de mayor o menor tamaño de deberá realizar evaluaciones para estimar el soporte de acuerdo a la guía de sostenimiento de la Figura 41.

Figura 41: Guía para el sostenimiento de excavaciones permanentes (Según Grimstad y Barton, 1993)



Fuente: Departamento de Geomecánica.

Tabla 29: Sostenimiento para labores de avance permanentes

Dominio	Rango RMR	Sostenimiento
Roca Tipo I	100 - 81	No requiere sostenimiento, sino solo esporádico
Roca Tipo II	80 - 61	Pernos sistemáticos de 7 pies de longitud, espaciado a 1.20 a 1.50m, esporádicamente cintas metálicas (straps) y/o malla metálica.
Roca Tipo III	60 - 41	Pernos sistemáticos de 7 pies de longitud, espaciado a 1.00 a 1.20 m + malla metálica electrosoldada o Pernos de 7 pies de longitud + shotcrete de 2" de espesor.
Roca Tipo IV	40 - 21	Pernos de forma sistemáticos de 7 pies de longitud, separados a 1.00 m + shotcrete de 4" de espesor. Alternativamente malla metálica electrosoldada + shotcrete de 1" de espesor.
Roca Tipo V	≤ 20	Cimbras Tipo TH-29 Omega, espaciadas a 1.0 m, como pre-soporte shotcrete de 4" de espesor. Avanzar el frente con micropilotes de fierro corrugado de 1" diámetro.

Fuente: Departamento de Geomecánica.

- **Zonificación Geomecánica y de Sostenimiento**

Tomando en cuenta los tipos de macizos rocosos (TMR) y la tabla de sostenimiento según el índice Q (Barton, 2002), tal como se muestra en la figura 4.3.1, y los tipos de rotura del macizo rocoso se diseñaron los siguientes tipos de sostenimiento para el crucero XC850:

- **Soporte Tipo A:**

Sin soporte o empernado ocasional-esporádico. Los pernos de 2.1 m de longitud, asociado a la roca Tipo I.

- **Soporte Tipo B:**

Empernado sistemático en reticulado de 1.20a 1.5m con pernos de fricción de 2.10 m de longitud y malla metálica ocasional en bóveda. Se colocará en roca Tipo II ó en roca tipo I con presencia de goteos o flujos de agua o presencia de discontinuidades muy desfavorables con respecto a la orientación del crucero.

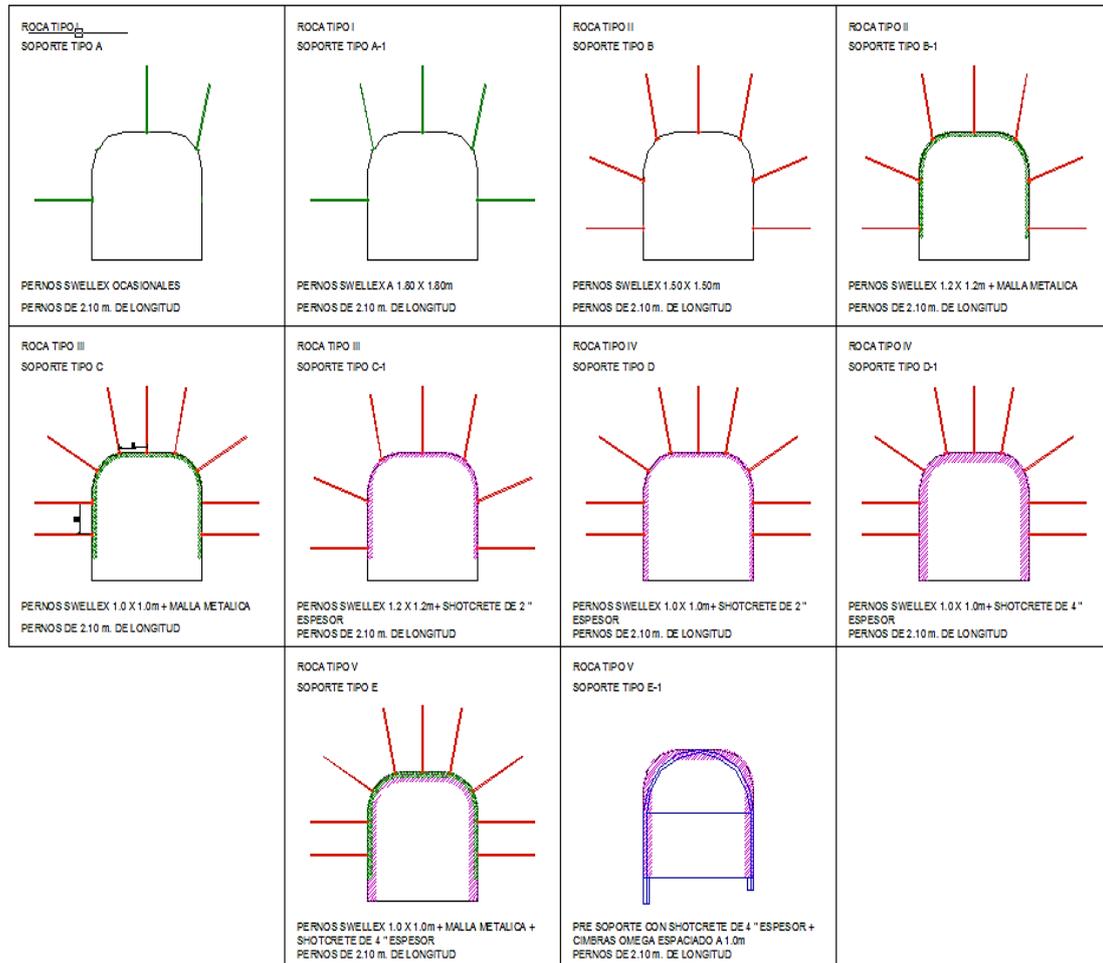
- **Soporte Tipo C:**

Empernado sistemático en reticulado de 1.0a 1.2 m. con pernos de fricción de 2.10m. de longitud y malla metálica en bóveda y hastiales. En forma ocasional concreto lanzado con fibra de 2'' de espesor en bóveda y hastiales. Se colocará en roca Tipo III ó en roca Tipo II con presencia de goteos o flujosde agua o presencia de discontinuidades muy desfavorables con respecto a la orientación del crucero.

- **Soporte Tipo D:**

Empernado sistemático en reticulado de 1.0 x 1.0 m, con pernos de fricción de 2.10 m de longitud y concreto lanzado con fibra de 4'' de espesor en toda la sección, alternativamente malla metálica electrosoldada con una capa más de shotcrete de 1" de espesor. Se colocará en roca Tipo IV o en roca tipo III con presencia de goteos o flujos de agua o presencia de discontinuidades muy desfavorables con respecto a la orientación del crucero.

Figura 42: Tipos de soporte por tipos de roca, secciones de distribución de pernos, malla, shotcrete y cimbra metálica.



Fuente: Departamento de Geomecánica.

- **Soporte Tipo E:**

Cimbras Tipo TH-29 Omega, espaciadas a 1.0 m, previamente una capa de shotcrete de 4" de espesor como preventivo. Avanzar el frente con spilling bar de fierro corrugado de 1" diámetro y/o de ser necesario avanzar con marchavantes. Se colocará en roca Tipo V o roca Tipo IV en presencia de goteo o flujos de agua o sobretensiones.

El riesgo de mayor importancia que se puede presentar durante la excavación del crucero 850 está relacionado con la intersección de fallas que en superficie interceptan la laguna Huacracocho originando infiltraciones de agua con caudales y presiones significativas hacia el

crucero, las cuales deberán ser controladas en forma inmediata con inyecciones de lechada de cemento a altas presiones.

Figura 43: Crucero XC 850, Nv 4025 Codiciada; Se observa las cañas de taladro en el techo y la colocación únicamente de empernado ocasional para el control de cuñas.



Fuente: Departamento de Geomecánica.

En base a los tipos de macizo rocoso (TMR) y de los tipos de sostenimiento se ha obtenido la siguiente zonificación geomecánica:

Tabla 30: Tipos de macizo rocoso (TMR) y tipos de sostenimiento – Grafico Múltiple GDE

Crucero 850					
Progresivas	0+000 – 0+100	0+100 – 0+140	0+140 – 0+340	0+340 – 0+380	0+380 – 0+720
Tramos (m)	100	40	200	40	340
Litología	Lavas y brechas andesíticas de la formación Santa Catalina				
RQD	50-60	30-50	50-60	30-50	50-60
Índice Q	0.1-10	0.01-1.0	0.1-10	0.01-1.0	0.1-10
Índice RMR	35-65	35-65	35-65	35-65	35-65
Índice GSI	F/B - MF/P	IF/P - MF/R	F/B - MF/P	IF/P - MF/R	F/B - MF/P
Resistencia (roca intacta) (MPa)	100 - 200	30 - 100	100 - 200	30 - 100	100 - 200

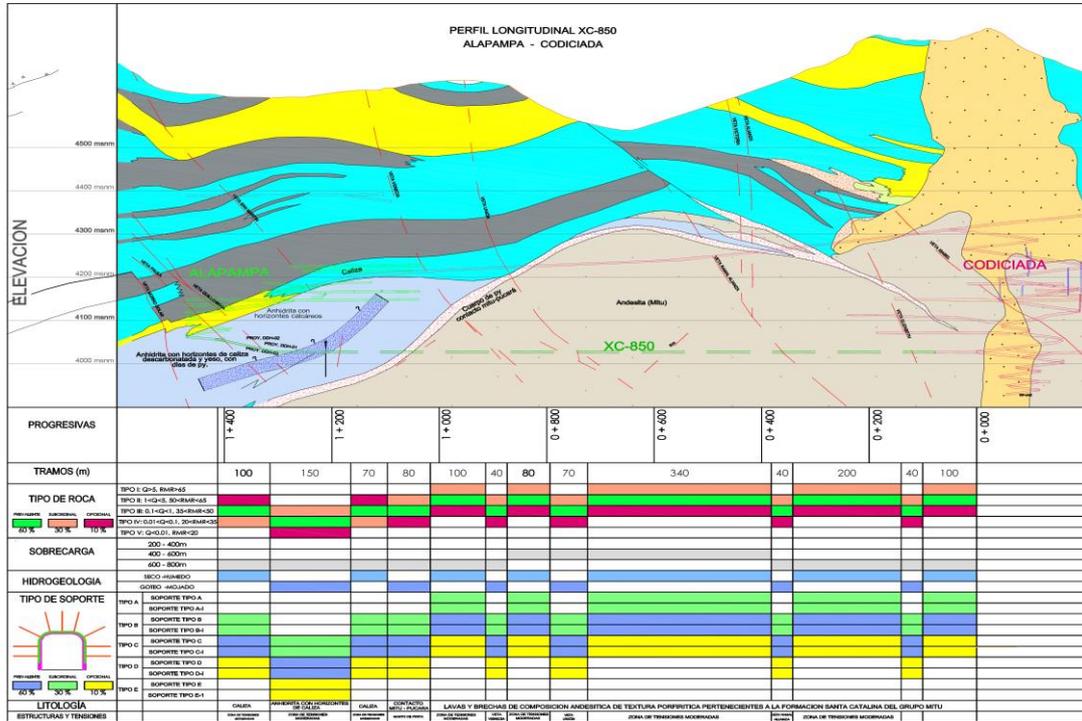
Resistencia (macizo rocoso) (MPa)	15 - 55	05 -- 30	15 - 55	05 -- 30	15 - 55
Sobrecarga prom(m)	600	600	600	600	600
Sostenimiento	30A-60B-10C	30B-60C-10D	30A-60B-10C	30B-60C-10D	30A-60B-10C

Crucero 850					
Progresivas	0+720–0+790	0+790 - 0+870	0+870 - 0+910	0+910 - 1+010	1+010 – 1+090
Tramos (m)	70	80	40	100	80
Litología	Lavas y brechas andesíticas de la formación Santa Catalina				
RQD	30-50	50-60	30-50	50-60	30-50
Índice Q	0.01-1.0	0.1-10	0.01-1.0	0.1-10	0.01-1.0
Índice RMR	35-65	35-65	35-65	35-65	35-65
Índice GSI	IF/P - MF/R	F/B - MF/P	IF/P - MF/R	F/B - MF/P	IF/P - MF/R
Resistencia (roca intacta) (MPa)	30 - 100	100 - 200	30 - 100	100 - 200	30 - 100
Resistencia (macizo rocoso) (MPa)	05 -- 30	15 - 55	05 -- 30	15 - 55	05 -- 30
Sobrecarga (m)	600	600	600	600	600
Sostenimiento	30B-60C-10D	30A-60B-10C	30B-60C-10D	30A-60B-10C	30B-60C-10D

Crucero 850				
Progresivas	1+090 - 1+160	1+160 - 1+310	1+310 - 1+410	
Tramos (m)	70	150	100	
Litología	Calizas, anhidritas y fallas de la formación Pucará			
RQD	30-50	20-35	30-50	
Índice Q	0.01-1.0	0.001-0.01	0.01-1.0	
Índice RMR	35-65	10-35.	35-65	
Índice GSI	IF/P - MF/R	IF/MP - MF/P	IF/P - MF/R	
Resistencia (roca intacta) (MPa)	30 - 100	25-50	30 - 100	
Resistencia (macizo rocoso) (MPa)	05 -- 30	0.03 - 10	05 -- 30	
Sobrecarga (m)	600	600	600	
Sostenimiento	30B-60C-10D	30C-60D-10E	30B-60C-10D	

Fuente: Dpto. de Geomecánica.

Figura 44: Cuadro de la distribución del sostenimiento de acuerdo a los criterios anteriormente mencionado - Grafico Múltiple GDE



Fuente: Departamento de Geomecánica.

Tabla 31: Distribución del sostenimiento - Grafico Múltiple GDE

TRAMOS	LONGITUD	TIPOS DE SOPORTE									
		A		B		C		D		E	
		Long.	%	Long.	%	Long.	%	Long.	%	Long.	%
0+000 – 0+100	100	0	-	90	90	10	10	0	-	0	-
0+100 – 0+140	40	0	-	0	-	30	75	10	25	0	-
0+140 – 0+340	200	0	-	180	90	20	10	0	-	0	-
0+340 – 0+380	40	0	-	0	-	30	75	10	25	0	-
0+380 – 0+720	340	0	-	320	95	20	5	0	-	0	-
0+720 – 0+790	70	0	-	0	-	50	75	20	25	0	-
0+790 – 0+870	80	0	-	70	85	10	15	0	-	0	-
0+870 – 0+910	40	0	-	0	-	30	75	10	25	0	-
0+910 – 1+010	100	0	-	90	90	10	10	0	-	0	-

1+010 – 1+090	80	0	-	0	-	60	75	20	20	0	-
1+090 - 1+160	70	0	-	0	-	50	75	20	25	0	-
1+160 - 1+310	150	0	-	0	-	0	-	115	75	35	25
1+310 - 1+410	100	0	-	0	-	75	75	25	25	0	-
TOTAL	1410	0	0	750	53	395	28	230	16	35	3

Fuente: Dpto. de Geomecánica.

Resumen:

Soporte B: 53% (750 m)

Soporte C: 25% (395 m)

Soporte D: 16% (230 m)

Soporte E: 3% (35 m)

De acuerdo al análisis de rotura según el gráfico múltiple, el porcentaje de soporte Tipo D y E puede aumentar debido a las sobretensiones generadas por el esfuerzo vertical (15.6 MPa) que superen la resistencia del macizo rocoso y un aumento de soporte Tipo C debido a la ocurrencia de lajamiento por sobretensiones, estimándose que la distribución del sostenimiento podría variar.

4.1.3. ANÁLISIS ECONÓMICO

En la etapa inicial del proyecto correspondiente al año 2018, se plantea como esquema general de preparación de la infraestructura futura de la Mina Morococha, en unir la zona de Alapampa y Codiciada en una primera fase, todo aquello en el Nivel 4025 y en una segunda fase la realización de cuneta para que sirva de drenaje de la zona de Alapampa y en tercera fase el minado de las estructuras mineralizadas que se cortaron con la realización del crucero.

Inversión Proyecto

La inversión del Proyecto A da un total de \$ 1,245229.65 tomando en consideración los tipos de soporte (%) en todo el metraje del Crucero 850. En un tiempo 08 meses.

Tabla 32: Precio Unitario por tipos de soporte - Grafico Múltiple GDE

PROYECTO XC 850 - SOPORTE A y B

PRECIO UNITARIO POR AVANCE LINEAL - ROCA TIPO I Y II – 750 mts.	
PARAMETROS PRINCIPALES	SUB TOTAL \$/ Metro Lineal
SUB TOTAL MANO DE OBRA	\$55.02
SUB TOTAL IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD	\$10.31
SUB TOTAL MATERIALES Y HERRAMIENTAS	\$49.57
SUB TOTAL EQUIPOS	\$173.61
SUB TOTAL ENERGIA ELECTRICA	\$48.87
SUB TOTAL TRASLADO	\$97.20
SUB TOTAL COSTO SOSTENIMIENTO (TIPO II)	\$77.31
TOTAL	\$561.22
TOTAL x ML - TIPO II	\$420,915.00

PROYECTO XC 850 - SOPORTE C

PRECIO UNITARIO POR AVANCE LINEAL - ROCA TIPO III - 350 mts.	
PARAMETROS PRINCIPALES	SUB TOTAL \$/ Metro Lineal
SUB TOTAL MANO DE OBRA	\$55.02
SUB TOTAL IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD	\$10.31
SUB TOTAL MATERIALES Y HERRAMIENTAS	\$49.57
SUB TOTAL EXPLOSIVOS	\$49.33
SUB TOTAL EQUIPOS	\$173.61
SUB TOTAL ENERGIA ELECTRICA	\$48.87
SUB TOTAL TRASLADO	\$97.20
SUB TOTAL COSTO SOSTENIMIENTO (TIPO III)	\$246.30
TOTAL	\$730.21
TOTAL x ML - TIPO III	\$288,432.95

PROYECTO XC 850 - SOPORTE D

PRECIO UNITARIO POR AVANCE LINEAL - ROCA TIPO IV - 230 mts.	
PARAMETROS PRINCIPALES	SUB TOTAL \$ / Metro Lineal
SUB TOTAL MANO DE OBRA	\$55.02
SUB TOTAL IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD	\$10.31
SUB TOTAL MATERIALES Y HERRAMIENTAS	\$49.57
SUB TOTAL EXPLOSIVOS	\$49.33
SUB TOTAL ENERGIA ELECTRICA	\$48.87
SUB TOTAL TRASLADO	\$97.20
SUB TOTAL COSTO SOSTENIMIENTO (TIPO V)	\$690.60
TOTAL	\$1,174.51
TOTAL x ML - TIPO IV	\$270,137.30

PROYECTO XC 850 - SOPORTE E

PRECIO UNITARIO POR AVANCE LINEAL - ROCA TIPO V	
PARAMETROS PRINCIPALES	SUB TOTAL \$ / Metro Lineal
SUB TOTAL MANO DE OBRA	\$55.02
SUB TOTAL IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD	\$10.31
SUB TOTAL MATERIALES Y HERRAMIENTAS	\$49.57
SUB TOTAL EXPLOSIVOS	\$49.33
SUB TOTAL EQUIPOS	\$173.61
SUB TOTAL ENERGIA ELECTRICA	\$48.87
SUB TOTAL TRASLADO	\$97.20
SUB TOTAL COSTO SOSTENIMIENTO (TIPO V)	\$1,230.57
TOTAL	\$1,714.48
TOTAL x ML - TIPO III	\$265,744.40

Inversión de Estudio

El presupuesto calculado a continuación no considera gastos por trámites y otros derechos que estipule la universidad.

Tabla 33: Presupuesto de Tesis

ACTIVIDAD	MATERIALES	UNIDAD	CANT.	COSTO UNITARIO	TOTAL \$
ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	Laptop	Unidad	1	800	800.00
	Material de escritorio	Paquete	2	20	40.00
	Impresiones	Unidad	300	0.1	30.00
	Espiralado	Unidad	10	3	30.00
MAPEO GEOMECÁNICO	Cuaderno de apuntes	Unidad	4	5	20.00
	Protactor	Unidad	2	5	10.00
	Brújula Brunton	Unidad	1	500	500.00
	Flexómetro	unidad	2	4	8.00
	Pintura Sprite	unidad	10	3	30.00
LOGUEO GEOTECNICO	Cámara fotográfica	unidad	1	100	100.00
	Plumón indeleble	unidad	8	1	8.00
SACADO DE MUESTRAS Y ENSAYOS DE LABORATORIO	Laboratorio	Estudios	3	1000	3000.00
	Movilidad	Viajes	3	200	600.00
	Refrigerios	Unidad	60	10	600.00
PROCESAMIENTO Y RESULTADOS	Especialista	Profesional	1	3500	3500.00
	Software	Unidad	1	200	200.00
ELABORACIÓN DEL INFORME FINAL	Impresión	Unidad	600	0.1	60.00
	Espiralado	Unidad	10	3	30.00
	Encuadernado	Unidad	10	6	60.00
TOTAL					9626.00

Fuente: Elaboración propia.

Cronograma

Actividades de desarrollo de la presente Tesis.

Tabla 34: Cronograma de actividades de tesis

		CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DE TESIS “ESTUDIO GEOMECANICO DEL CRUCERO XC850 – NIVEL 4025, MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL GRAFICO MULTIPLE GDE – MINA CODICIADA, COMPAÑIA MINERA ARGENTUM”																			
Ítem	LISTA DE ACTIVIDADES	Ene-19				Feb-19				Mar-19				Abr-19				Dic-19			
		01	02	03	04	01	02	03	04	01	02	03	04	01	02	03	04	01	02	03	04
1	Planteamiento del problema, objetivos y justificación		X	X																	
2	Construcción del marco teórico					X	X	X													
3	Formulación de hipótesis y marco metodológico								X	X	X										
4	Elaboración de actividades (mapeo geomecánico, Logueo geomecánico, toma de muestras)					X	X	X	X	X											
5	Recolección de datos								X	X	X										
6	Análisis de resultados y contrastación de hipótesis											X	X	X	X						
7	Formulación de conclusiones y recomendaciones													X	X						
8	Redactar el informe final														X	X	X				
9	Presentación del informe																	X			
10	Sustentación																				X

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. La presente investigación describe los procedimientos para la clasificación de la masa rocosa, la evaluación del comportamiento de la roca y el diseño del soporte, que se tuvo en el diseño del Crucero 850 de 1410 m de longitud, que se planeó dicho proyecto con el objetivo de unir las zonas de Codiciada y Alapampa a través del Grafico Múltiple GDE y a través de las formaciones de los volcánicos Catalina y las calizas de Pucará.
2. La principal incertidumbre en túneles está relacionada con la identificación de los riesgos que se puedan presentar durante su excavación, debido a los diferentes tipos de rotura que presenta el macizo rocoso. Esta incertidumbre se debe principalmente a la dificultad de realizar investigaciones detalladas, previas a las excavaciones, y a la complejidad de los procesos de formación del macizo rocoso que han intervenido en sus características actuales, por lo que la predicción del comportamiento de una excavación es un punto clave en los diseños de túneles, habiéndole dedicado los especialistas en mecánica de rocas muchos esfuerzos con el objetivo de aumentar la fiabilidad de las evaluaciones con el fin de obtener las posibles respuestas del macizo rocoso.
3. Las unidades geológicas dominantes son andesitas de resistencia buena a media con intercalaciones ocasionales de estructuras mineralizadas y calizas de resistencias de media a pobre, también con intercalaciones de anhidrita de resistencias de pobre a muy pobre. El enfoque de diseño que se siguió fue de centrar en la consideración de la sobreexpresión de roca modos de falla, en modos gravitacionales de falla impulsados por discontinuidades y otras características estructurales, así como en modos mixtos de falla (Grafico Múltiple GDE). En ese sentido, la caracterización del terreno se realizó mediante la implementación de masa de roca empírica índices de caracterización (GSI, RMR y RMi) que complementaban la descripción explícita de la estructura de la masa rocosa con las diferentes calidades y tipos de la masa rocosa y mediante la generación de redes discretas de fractura, compatible con estadísticas conjuntas. Los patrones conjuntos producidos por el último método se compararon con la redacción intuitiva de la masa rocosa y, en consecuencia, ambos fueron utilizados para evaluar con más confianza el potencial de modos de falla estructuralmente controlados.
4. La identificación de diferentes tipos de comportamiento de masas rocosas y el posterior diseño del soporte apropiado, se basó en métricas que comparan

resistencia a la masa rocosa y deformabilidad con el estado de tensión in situ, así como en las características de la estructura de la masa rocosa, asociados con modos de falla estructuralmente controlados y asistidos por cálculos de estabilidad de cuña. El proceso adoptado para evaluar el comportamiento masivo de la roca contribuye significativamente al diseño con confianza el proceso de túnel y apoyo para con fines de factibilidad.

5. El crucero 850 - Nivel 025, Mina Codiciada, se ha proyectado con el objeto de unir las zonas de Codiciada y Alapampa para luego drenar las aguas de infiltración que se presentan en la mina Alapampa. Tendrá una longitud aproximada de 1,410 m con una sección de 4.5 m de ancho y 4.0 m de altura con una cuneta de 1.0 m de ancho y 0.5 m de profundidad, diseñada para un caudal máximo de 0.5 m³/s.
6. El crucero 850 será excavada en rocas andesíticas del volcánico Santa Catalina o formación Yauli (Grupo Mitu) y rocas sedimentarias, calizas y anhidritas de formación Pucara con un encampane promedio de 600 m ($\sigma_v = 15.6$ MPa). De acuerdo a la zonificación geomecánica se ha obtenido la siguiente distribución del tipo de macizo rocoso (TMR) y de sostenimiento:

Tipo de macizo rocoso (TMR)	Tipo de sostenimiento
Roca Tipo I y II = 53%	Soporte Tipo A-B= 53%
Roca Tipo III = 25%	Soporte Tipo C = 25%
Roca Tipo IV = 16%	Soporte Tipo D = 16%
Roca Tipo V = 3%	Soporte Tipo E = 3%

7. La distribución de tipos de roca y soporte del crucero 850 se obtenido tomando en cuenta los criterios de roca prevalente (60%), roca subordinal (30%) y roca opcional (10%) que pueden presentarse por tramos según las condiciones geomecánicas del macizo rocoso.
8. La distribución de los distintos tipos de rotura que se puedan presentar a lo largo del túnel es identificada con este método que considera de manera general el efecto de la roca masiva, la fuerza, la competencia y la capacidad de autosoporte, teniendo

como base los índices GSI, RMR, así como la roca resistencia intacta y sobrecarga (encampane) del túnel.

9. En el Grafico Múltiple identifica y traza los cinco tipos de masa de rocosa (Roca I, Roca II, Roca III, Roca IV y Roca V) donde afloran las rocas andesíticas del volcánico Santa Catalina o formación Yauli (Grupo Mitu) y rocas sedimentarias, calizas y anhidritas de formación Pucara, en el gráfico múltiple, que da como resultado que el tipo de masa de roca más débil Roca IV y Roca V (anhidritas) bajo un alto estrés in situ en el área de sobrecarga más grande (600 m) puede encontrar condiciones de desprendimiento y deformación, mientras que para las tipos restantes se encontrara condiciones de lajamiento y cuñas. A continuación, se presenta el resultado de identificación de tipos de rotura con la clasificación Grafico Múltiple.

"Grafico Múltiple GDE"					
	Sector I (GSI)	Sector II (σ_{cm})	Sector III (IC)	Tipo de Rotura	%
1	25	0.35	0.013	Deformación	13%
2	30	0.85	0.04	Deformación	
3	35	1.6	0.05	Desprendimiento	20%
4	38	1.8	0.06	Desprendimiento	
5	40	2.6	0.07	Desprendimiento	
6	44	2.5	0.08	Cuñas	34%
7	45	3.4	0.08	Cuñas	
8	50	5	0.2	Cuñas	
9	55	10.6	0.3	Cuñas	
10	60	10.7	0.5	Cuñas	
11	65	20.4	0.7	Lajamiento	13%
12	65	20.8	0.85	Lajamiento	
13	70	30.8	1	Estable	20%
14	70	30.5	1.3	Estable	
15	75	40.2	1.4	Estable	

10. Tomando en cuenta el análisis comparativo entre la zonificación geomecánica y los tipos de rotura del macizo rocoso que se pueden presentar a lo largo del cruceo XC850, se estima que el sostenimiento final es el siguiente:

Tipo de sostenimiento	%
Soporte Tipo A	20
Soporte Tipo B	40

Soporte Tipo C	20
Soporte Tipo D	15
Soporte Tipo E	5

11. El grafico Múltiple toma en cuenta clasificaciones geomecánicas creados en 4 sectores, la unión de los parámetros utilizados da como resultado que se obtenga mayor precisión a la hora de tomar decisiones de dicho proyecto ya que da la certeza de que el proyecto sea factible tanto en la seguridad del personal ejecutor, en lo económico.
12. La nueva Clasificación de Grafico Múltiple (Russo, 2014) está compuesto por cuatro sectores, habiéndose elaborado en cada uno ellos un uso sencillo de la cuantificación de las propiedades del macizo rocoso.

En el sector I se correlaciona el parámetro de juntas (JP) del índice RMI obtenido a partir de la relación del volumen de bloque (Vb) y la condición de discontinuidades (JC) con el índice de caracterización del macizo rocoso (GSI, E. Hoek, 95).

En el sector II, la relación básica es la siguiente: Caracterización del macizo rocoso (GSI) + Resistencia de la roca intacta (σ_c) = Resistencia del macizo rocoso (σ_{cm}). La valoración de la resistencia de la masa rocosa se basa en las ecuaciones de Hoek (2002). En el sector II, obtenido por la intersección de las curvas de estimación del GSI y resistencia de roca intacta (σ_c). La certeza de la estimación de la resistencia de la masa rocosa está asociada con ambos parámetros.

En el sector III, la relación básica es la siguiente: Resistencia del macizo rocoso (σ_{cm}) + Tensiones In-situ (σ_θ) = Competencia del macizo rocoso (IC). El índice de competencia (IC) es definido como la relación entre la resistencia del macizo rocoso (σ_{cm}) y la tensión tangencial (σ_θ) en el contorno de la excavación.

En el sector IV, la relación básica es la siguiente: Competencia del macizo rocoso (IC) + Capacidad de auto-soporte (RMR)=Comportamiento del macizo rocoso en la excavación (GD). En este último sector del gráfico múltiple, la determinación del comportamiento integral del macizo rocoso se estima en forma aproximada mediante el uso del índice de competencia (IC) con el índice RMR obtenido a partir de la siguiente relación: $RMR = 0.65GSI + 5 + r_1 + r_5 + r_6$

13. En la obtención de los datos de campo se tomó en cuenta valores máximos y mínimos para cada parámetro involucrado (volumen de bloque, condición de discontinuidades, resistencia de la roca intacta y profundidad de la excavación), lo cual permitió obtener un rango de porcentajes estimados del comportamiento del macizo rocoso (condiciones estables, presencia de cuñas, lajamiento o estallido de rocas, desprendimientos, deformaciones moderadas y deformaciones severas).
14. La precisión que se obtiene al correlacionar las diferentes clasificaciones geomecánicas da mayor certeza de que el proyecto en mención se culmine de forma exitosa ya que da mayor precisión en la zonificación y el tipo de rotura del proyecto, con ello se tomaran las medidas de precauciones para ejecución del mismo.

RECOMENDACIONES

1. La aplicación del grafico múltiple, propuesto por G. Russo, 2007 y modificado en el 2014, se recomienda aplicarlo en estudios a nivel de pre-factibilidad y factibilidad de un proyecto. Los resultados obtenidos en la aplicación del grafico múltiple deberán modificarse ante la presencia de agua o tensiones in-situ, los cuales son únicamente detectados durante el desarrollo del laboreo minero.
2. La clasificación de “Grafico Múltiple” permite una rápida aproximación del comportamiento de la masa rocosa utilizando principalmente las mediciones de campo, ya que, en esta primera etapa de estudios no se tiene muchas veces acceso a mayores investigaciones.
3. Con la determinación del tipo de rotura del macizo rocoso mediante la aplicación del Grafico Múltiple GDE se estimará en forma más aproximada el tipo de soporte correspondiente a cada tipo de roca y su comportamiento a diferentes profundidades, con lo cual se estimaría a nivel de factibilidad un costo de excavación y sostenimiento más cercano a la realidad.
4. Cuanto más información geomecánica se obtenga de los afloramientos de roca en el área de estudio (mediciones de discontinuidades) con el objeto de determinar la zonificación geomecánica de un túnel se podrá determinar los porcentajes de tipos de roturas a lo largo del túnel, asociados a los tipos de calidad de roca y condiciones tensionales en base al encampane.
5. De acuerdo con lo observado en las excavaciones que se realizó en el crucero XC850 se debe mejorar el diseño de la voladura y la distribución de taladros para minimizar el daño por voladura al macizo rocoso que origina un incremento del soporte Tipo C y disminución del soporte Tipo B. Así mismo, se debe mejorar la metodología de excavación para la cuneta que se viene ejecutando y que origina un ensanchamiento en la pared izquierda del crucero y lajamiento por voladura que están requiriendo el uso adicional de pernos y malla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. A simplified rational approach for the preliminary assessment of the excavation behaviour in rock tunnelling - Giordano Russo Geodata SpA, Turin, Italy
2. Rock Mass Characterization and Assessment of Ground Behavior for the Trikokkia Railway Tunnel in Central Greece - Argyris Alexandris, Archirodon NV, Athens, Greece, Maria Abarioti, OTM SA, Athens, Greece; Irini Katsipi Griva, OTM SA, Athens, Greece.
3. Proceedings of the 11th Congress of International Society of Rock Mechanics, Lisbon, 9-13 July 2007, pp 979-982, on the classification of the rock mass excavation behavior in tunneling - G. Russo & P. Grasso Geodata SpA, Turin, Italy.
4. Identificación de Riesgos en Túneles y Labores Mineras Subterráneas mediante la Aplicación del Grafico Múltiple –GDE. Casos Prácticos - Carlos Vallejo Cortes – Ing. Geólogo Consultor (Servicios de Geología Aplicada EIRL).
5. Caracterización y Clasificación del Macizo Rocoso y Aplicaciones Prácticas - Carlos Vallejo Cortes – Ing. Geólogo Consultor (Servicios de Geología Aplicada EIRL).
6. Estudio geológico de la Mina Morococha – Compañía Minera Argentum S.A.
7. Informe Geomecánico Manto Esperanza, Mina Alapampa, Compañía Minera Argentum S.A. - DCR Ingenieros S.R.Ltda. Geomecánica en Minería y Obras Civiles MSc. - Ing. David Córdova Rojas
8. Hoek, E.; Carranza, C.; Corkum, B. (2002). "El criterio de rotura de Hoek Brown". Disponible en:
9. Gonzáles de Vallejo, L. et al (2002) "Ingeniería Geológica". pp. 508-514
10. Bieniawski, Z. T. (1989). Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. Wiley-Interscience. pp. 40-47. ISBN 0-471-60172-1.
11. ASTM, ed. (1988). «"Standard Guide for using the Rock Mass Rating (RMR) System (Geomechanics Classification) in Engineering Practices"». Am. Society for Testing and Materials, Book of Standards D5878-08 (en inglés) (Filadelfia, PA.). 04.09.
12. Lawson, A. (2013). «Critical assessment of RMR based tunnel design practices». Proc. RETC (en inglés). Washington DC: Soc. of Mining Engineers. pp. 180-198.

ANEXOS

ANEXO 1. RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS

DEPARTAMENTO
DE **INGENIERÍA**
Sección Ingeniería de Minas



ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA ENSAYOS DE CORTE DIRECTO ENSAYOS DE COMPRESIÓN TRIAXIAL ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL

Solicitado por:
Compañía Minera Argentum S.A.

Muestra:
Bloque de roca

Fecha:
Abril 22, 2019

Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (511) 626 2852

www.pucp.edu.pe/secc/minas

ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D2938-95. Los resultados son los siguientes:

<i>Muestra</i>	<i>Díámetro (cm)</i>	<i>Longitud (cm)</i>	<i>Carga (kg)</i>	<i>Resistencia a la Compresión Simple (kg/cm²)</i>	<i>Resistencia a la Compresión Simple (MPa)</i>
<i>Calizas</i>	6.30	12.40	9600.00	307.96	30.14
<i>Andesita</i>	5.37	11.54	31000.00	1368.7	134.2
<i>Mineral</i>	5.38	11.66	10000.00	439.89	43.14

ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA

Los resultados son los siguientes:

<i>Muestra</i>	<i>Sub-muestra</i>	<i>Díámetro (cm)</i>	<i>Longitud (cm)</i>	<i>Carga (kg)</i>	<i>Resistencia a la Tracción (Kg/cm²)</i>	<i>Resistencia a la Tracción (MPa)</i>
<i>Caja Techo</i>	<i>A</i>	6.30	3.48	3000.00	87.11	8.54
	<i>B</i>	6.30	3.85	2200.00	57.74	5.66
	<i>C</i>	6.30	3.57	2650.00	75.01	7.36
	<i>D</i>	6.30	3.54	2450.00	69.94	6.86
	<i>E</i>	6.30	3.52	1750.00	50.24	4.93
<i>Andesita</i>	<i>A</i>	5.38	2.93	1400.00	56.54	5.54
	<i>B</i>	5.38	2.95	2000.00	80.22	7.87
	<i>C</i>	5.38	2.91	2400.00	97.59	9.57
	<i>D</i>	5.38	2.73	1900.00	82.35	8.08
	<i>E</i>	5.38	3.74	2300.00	99.33	9.74

ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

Las muestras se ensayaron sobre discontinuidad inducida. Los ensayos fueron realizados siguiendo los procedimientos indicados en la norma ASTM D 5607-95

Los resultados son los siguientes:

<i>Muestra</i>	<i>Diámetro (cm)</i>	<i>Ángulo de Fricción (°)</i>	<i>Cohesión (MPa)</i>
<i>Calizas</i>	6.30	37.28°	0.059
<i>Andesita</i>	5.38	30.00°	0.137
<i>Mineral</i>	5.37	32.1°	0.085

ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA (continuación)

<i>Muestra</i>	<i>Sub-muestra</i>	<i>Diámetro (cm)</i>	<i>Longitud (cm)</i>	<i>Carga (kg)</i>	<i>Resistencia a la Tracción (Kg/cm²)</i>	<i>Resistencia a la Tracción (MPa)</i>
<i>Mineral</i>	<i>A</i>	5.37	2.95	1550.00	62.29	6.11
	<i>B</i>	5.37	2.90	2600.00	106.29	10.42
	<i>C</i>	5.37	2.93	2150.00	86.99	8.53
	<i>D</i>	5.37	2.92	3500.00	142.10	13.49
	<i>E</i>	5.37	2.74	1250.00	54.08	5.30

ENSAYOS DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Se ensayaron 4 probetas de las muestras de la caja techo y la caja piso y 9 probetas de la muestra de mineral. Los ensayos se realizaron según la norma ASTM 2664-95.

A continuación se presentan los resultados obtenidos:

<i>Muestra</i>	<i>Probeta</i>	<i>Diámetro (cm)</i>	<i>Longitud (cm)</i>	<i>Carga (Kg)</i>	σ_{1max} (MPa)	σ_3 (MPa)
<i>Caliza</i>	<i>A</i>	6.30	13.66	14600.00	45.93	2.50
	<i>B</i>	6.30	12.57	37000.00	116.40	5.00
	<i>C</i>	6.30	13.40	28000.00	88.09	7.50
	<i>D</i>	6.30	13.68	38000.00	119.55	10.00
<i>Andesita</i>	<i>A</i>	5.38	11.57	24200.00	104.4	1.50
	<i>B</i>	5.38	11.53	28000.00	120.79	2.00
	<i>C</i>	5.38	11.58	25000.00	107.85	4.00
	<i>D</i>	5.38	11.69	38400.00	165.65	8.00

ENSAYOS DE COMPRESIÓN TRIAXIAL (continuación)

<i>Muestra</i>	<i>Probeta</i>	<i>Diámetro (cm)</i>	<i>Longitud (cm)</i>	<i>Carga (Kg)</i>	σ_{1max} (MPa)	σ_3 (MPa)
<i>Mineral</i>	<i>A</i>	5.34	11.52	19000.00	83.20	1.00
	<i>B</i>	5.34	11.65	16000.00	70.06	3.00
	<i>C</i>	5.34	11.87	12400.00	54.30	5.00
	<i>D</i>	5.34	11.64	12800.00	56.05	7.00

ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL

Irregular:

El ensayo se realizó según la norma ASTM D 5731-02 (cargas puntuales irregulares), obteniéndose los siguientes resultados:

<i>Muestra</i>	<i>Sub-muestra</i>	<i>Distancia entre conos D (mm)</i>	<i>Ancho W (mm)</i>	<i>Carga P (kN)</i>	<i>De (mm)</i>	<i>Is₍₅₀₎ (MPa)</i>
<i>Caliza</i>	<i>A</i>	40.30	51.50	9.95	51.41	3.81
	<i>B</i>	35.60	52.00	11.07	48.55	4.63
	<i>C</i>	41.00	46.10	13.56	49.06	5.59
	<i>D</i>	42.50	46.70	14.71	50.27	5.84
	<i>E</i>	45.80	48.30	7.94	53.07	2.90

ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL (continuación)

Diametrales:

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D 5731-02 (cargas puntuales diametrales), obteniéndose los siguientes resultados:

<i>Muestra</i>	<i>Sub-muestra</i>	<i>Diametro D (mm)</i>	<i>Longitud L (mm)</i>	<i>Carga P (kN)</i>	<i>De (mm)</i>	<i>Is₍₅₀₎ (MPa)</i>
<i>Andesita</i>	<i>A</i>	53.50	60.90	7.03	53.50	2.53
	<i>B</i>	53.50	58.70	11.67	53.50	4.20
	<i>C</i>	53.50	61.20	12.16	53.50	4.38
	<i>D</i>	53.50	59.80	16.91	53.50	6.09
	<i>E</i>	53.50	55.60	6.84	53.50	2.46
<i>Mineral</i>	<i>A</i>	53.40	58.80	4.52	53.40	1.63
	<i>B</i>	53.40	61.50	15.25	53.40	5.51
	<i>C</i>	53.40	58.40	5.16	53.40	1.86
	<i>D</i>	53.40	58.20	10.14	53.40	3.66
	<i>E</i>	53.40	59.00	8.16	53.40	2.95

FOTOS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
Sección Ingeniería de Minas

VOLCÁNICOS
Antes:

Después:

Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (511) 626 2852
www.pucp.edu.pe/secc/minas

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
Sección Ingeniería de Minas

CALIZAS
Antes:

Después:

Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (511) 626 2852
www.pucp.edu.pe/secc/minas

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
Sección Ingeniería de Minas

MINERAL
Antes:

Después:

Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (511) 626 2852
www.pucp.edu.pe/secc/minas

FOTOS DE ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
Sección Ingeniería de Minas



CALIZAS

Antes:



Después:



Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (011) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (011) 626 2852
www.pucp.edu.pe/secc/minas

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
Sección Ingeniería de Minas



VOLCÁNICOS

Antes:



Después:



Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (011) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (011) 626 2852
www.pucp.edu.pe/secc/minas

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
Sección Ingeniería de Minas



MINERAL

Antes:



Después:



Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (011) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (011) 626 2852
www.pucp.edu.pe/secc/minas

FOTOS DE ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
Sección Ingeniería de Minas



CALIZAS

Antes:



Después:



Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (011) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (011) 626 2852
www.pucp.edu.pe/secc/minas

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
Sección Ingeniería de Minas



VOLCÁNICOS

Antes:



Después:



Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (011) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (011) 626 2852
www.pucp.edu.pe/secc/minas

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
Sección Ingeniería de Minas



MINERAL

Antes:



Después:



Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (011) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (011) 626 2852
www.pucp.edu.pe/secc/minas

FOTOS DE ENSAYOS DE COMPRESION TRIAXIAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
Sección Ingeniería de Minas

PUCP

CALIZAS
Antes:

Después:

Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (511) 626 2852
www.pucp.edu.pe/secc/minas

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
Sección Ingeniería de Minas

PUCP

VOLCÁNICOS
Antes:

Después:

Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (511) 626 2852
www.pucp.edu.pe/secc/minas

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
Sección Ingeniería de Minas

PUCP

MINERAL
Antes:

Después:

Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (511) 626 2852
www.pucp.edu.pe/secc/minas

FOTOS DE ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
Sección Ingeniería de Minas

VOLCÁNICOS
Antes:

Después:

Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (511) 626 2852
www.pucp.edu.pe/secc/minas

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
Sección Ingeniería de Minas

CALIZAS
Antes:

Después:

Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (511) 626 2852
www.pucp.edu.pe/secc/minas

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
Sección Ingeniería de Minas

MINERAL
Antes:

Después:

Universitaria N° 1801, San Miguel
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001
F: (511) 626 2852
www.pucp.edu.pe/secc/minas

ANEXO B: LOGUEO GEOTÉCNICO

SONDAJE DDH-024-U-18

SONDAJE		COORDENADAS		E :		10054.167		N :		9827.731		Cota :		4038.267		Realiz :		D. Gavilan		Hoja		Pág.			
DDH-024-U-18		ORIENTACION		Azimut :		319		Inclinación :		-22		Longitud :		350		Fecha :		29/10/2018							
Intervalo de Profundidad		Longitud del tramo		Litología		Grado de Alteración		Resistenc. Compres. Roca Intacta		RQD (%)		RC (1)		RQD (2)		Esp. (3)		Parámetros de RMR				RMR		Descripción	
Desde (m)		Hasta (m)		Longitud (RQD)		Litología		Grado de Alteración		RQD (%)		RC (1)		RQD (2)		Esp. (3)		Condicion de juntas (4)				RMR		Descripción	
																		Per Ap Rug Rel Alt				Agua (6) Total			
0.00	0.90	0.90	0.20	Volc	Mod	R4	22	7	3	8	4	0	5	2	3	4	36						Roca Tipo II		
0.90	2.30	1.40	1.30	Volc	Mod	R4	93	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67						Roca Tipo I		
2.30	5.30	3.00	2.90	Volc	Mod	R4	97	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67						Roca Tipo I		
5.30	8.35	3.05	2.80	Volc	Mod	R4	92	7	20	10	4	0	5	4	5	7	62						Roca Tipo II		
8.35	11.35	3.00	3.00	Volc	Mod	R4	100	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67						Roca Tipo I		
11.35	14.35	3.00	3.00	Volc	Mod	R4	100	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67						Roca Tipo I		
14.35	17.40	3.05	3.00	Volc	Mod	R4	98	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67						Roca Tipo I		
17.40	20.50	3.10	3.00	Volc	Mod	R4	97	7	20	10	4	0	5	4	5	7	62						Roca Tipo II		
20.50	23.60	3.10	3.05	Volc	Mod	R4	98	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67						Roca Tipo I		
23.60	26.60	3.00	3.00	Volc	Mod	R4	100	7	20	10	4	0	5	4	5	7	62						Roca Tipo II		
26.60	29.60	3.00	2.85	Volc	Mod	R4	95	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67						Roca Tipo I		
29.60	32.70	3.10	2.15	Veta	Lig	R3	69	4	13	10	4	0	5	4	3	4	47						Roca Tipo III		
32.70	34.90	2.20	2.20	Volc	Mod	R4	100	7	20	10	4	0	5	4	5	7	62						Roca Tipo II		
34.90	38.00	3.10	2.90	Volc	Mod	R4	94	7	20	10	4	0	5	4	5	7	62						Roca Tipo II		
38.00	40.40	2.40	2.05	Volc	Mod	R4	85	7	17	10	4	1	5	4	5	7	60						Roca Tipo II		
40.40	41.75	1.35	0.90	Volc	Mod	R4	67	7	13	10	4	5	5	4	5	7	60						Roca Tipo II		
41.75	44.80	3.05	3.00	Volc	Mod	R4	98	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67						Roca Tipo I		
44.80	47.80	3.00	2.60	Volc	Mod	R4	87	7	17	10	4	0	5	4	5	7	59						Roca Tipo II		
47.80	48.40	0.60	0.50	Volc	Mod	R4	83	7	17	10	4	5	5	4	5	7	64						Roca Tipo II		
48.40	50.60	2.20	2.10	Volc	Mod	R4	95	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67						Roca Tipo I		
50.60	53.60	3.00	2.90	Volc	Mod	R4	97	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67						Roca Tipo I		
53.60	56.70	3.10	3.05	Volc	Mod	R4	98	7	20	10	4	0	5	4	5	7	62						Roca Tipo II		
56.70	59.00	2.30	2.20	Volc	Mod	R4	96	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67						Roca Tipo I		
59.00	60.60	1.60	1.50	Volc	Mod	R4	94	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67						Roca Tipo I		
60.60	62.80	2.20	1.20	Veta	Lig	R3	55	4	13	8	4	0	5	2	3	7	46						Roca Tipo III		
62.80	65.80	3.00	3.00	Volc	Mod	R4	100	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67						Roca Tipo I		
65.80	68.80	3.00	3.00	Volc	Mod	R4	100	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67						Roca Tipo I		
68.80	71.80	3.00	3.00	Volc	Mod	R4	100	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67						Roca Tipo I		
71.80	74.80	3.00	3.00	Volc	Mod	R4	100	7	20	10	4	0	5	4	5	7	62						Roca Tipo II		
74.80	77.80	3.00	3.00	Volc	Mod	R4	100	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67						Roca Tipo I		
77.80	80.80	3.00	3.00	Volc	Mod	R4	100	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67						Roca Tipo I		
80.80	83.80	3.00	2.80	Volc	Mod	R4	93	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67						Roca Tipo I		
83.80	86.80	3.00	2.60	Volc	Mod	R4	87	7	17	10	4	5	5	4	5	7	64						Roca Tipo II		
86.80	89.80	3.00	2.90	Volc	Mod	R4	97	7	20	10	4	0	5	4	5	7	62						Roca Tipo II		
89.80	92.80	3.00	3.00	Volc	Mod	R4	100	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67						Roca Tipo I		
92.80	95.80	3.00	3.00	Volc	Mod	R4	100	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67						Roca Tipo I		
95.80	98.80	3.00	3.00	Volc	Mod	R4	100	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67						Roca Tipo I		
98.80	101.80	3.00	3.00	Volc	Mod	R4	100	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67						Roca Tipo I		

LITOLOGIA		RESISTENCIA A LA ROCA INTACTA		MPa	
Clz	Caliza		Deleznable con golpes firmes, se desconcha con una cuchilla.	1-5	
Anh	Anhidrita	R1	Se desconcha con un poco de cuchilla. Marcas no profundas	5-25	
Volc	Volcanico	R2	no se rompió desconcha con un poco de picota.	25-50	
Clz-Anh	Caliza con Anhidrita	R3	La muestra se rompe con mas de un golpe de picota.	50-100	
Anh-Clz	Anhidrita en Caliza	R4		100-250	
Falla	Falla	R5		>250	
San	Sano	R6			
Lig	Ligero				
Mod	Moderado				
Muy	Muy alterado				

RESIST. COMP. UNIAX. R Q D (%)		ESPACIAMIENTO		COND. DE JUNTAS		AGUA SUBTERRANEA	
>250	(15)	100-250	(12)	50-100	(7)	25-50	(4)
90-100	(20)	75-90	(17)	50-75	(13)	25-50	(8)
>2	(20)	0.6-2	(15)	0.2-0.8	(10)	0.05-0.2	(8)
Per	(8)	1-3 m Long	(4)	3-10 m	(2)	10-20 m	(1)
Ap	(8)	<1mm aper	(5)	0.1-1mm	(4)	1-5 mm	(1)
Rug	(8)	Rugosa	(5)	Lig Rugosa	(3)	Lisa	(1)
Rel	(8)	Duro<5mm	(4)	Duro<5mm	(2)	Suave<5 m	(1)
Alt	(16)	Lig Alter	(15)	Mod Alterada	(3)	Muy Alterada	(2)
Agua (6)	(15)	Húmedo	(10)	Mojado	(7)	Goteo	(4)
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0
DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	III Regular A	IV Regular B	V Mala A	VI MALA B	VII muy Mala

COMPANHIA MINERA — ARGENTUM S.A. —		LOGUEO GOTECNICO DE TESTIGOS ROCOSOS						PLANEAMIENTO DEPARTAMENTO DE GEOMECANICA																									
Proyecto:		Evaluación Geomecánica para el proyecto Crucero 850																															
SONDAJE		COORDENADAS		E :		10054.167		N :		9827.731		Cota :		4038.267		Realiz :		D. Gavilan		Hoja		Pág.											
DDH-024-U-18		ORIENTACION		Azimut :		319		Inclinación :		-22		Longitud :		350		Fecha :		29/10/2018															
Intervalo de Profundidad		Longitud del tramo		Litología		Grado de Alteracion		Resistenc. Compres. Roca Intacta		RQD		RC		RQD		Esp.		Parámetros de RMR		Condicion de juntas (4)		Agua		RMR		Descripción							
Desde (m)		Hasta (m)		Longitud (RQD)						RC (1)		RQD (2)		Esp. (3)				Per		Ap		Rug		Rel		Alt		Agua (5)		RMR Total			
101.80	104.80	3.00	2.85	Volc	Mod	R4	95	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67	Roca Tipo I															
104.80	107.80	3.00	2.90	Volc	Mod	R4	97	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67	Roca Tipo I															
107.80	110.80	3.00	2.90	Volc	Mod	R4	97	7	20	10	4	0	5	4	5	7	62	Roca Tipo II															
110.80	113.80	3.00	2.90	Volc	Mod	R4	97	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67	Roca Tipo I															
113.80	116.80	3.00	2.90	Volc	Mod	R4	97	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67	Roca Tipo I															
116.80	119.60	2.80	2.70	Volc	Mod	R4	96	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67	Roca Tipo I															
119.60	122.70	3.10	2.60	Volc	Mod	R4	84	7	17	8	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II															
122.70	125.80	3.10	3.00	Volc	Mod	R4	97	7	20	10	4	0	5	4	5	7	62	Roca Tipo II															
125.80	128.90	3.10	2.95	Volc	Mod	R4	95	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67	Roca Tipo I															
128.90	131.90	3.00	2.90	Volc	Mod	R4	97	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67	Roca Tipo I															
131.90	134.60	2.70	2.10	Volc	Mod	R4	78	7	17	10	4	0	5	4	5	7	59	Roca Tipo II															
134.60	135.90	1.30	1.00	Volc	Mod	R4	77	7	17	10	4	5	5	4	5	7	64	Roca Tipo II															
135.90	138.95	3.05	3.00	Volc	Mod	R4	98	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67	Roca Tipo I															
138.95	142.00	3.05	2.75	Volc	Mod	R4	90	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67	Roca Tipo I															
142.00	145.05	3.05	3.00	Volc	Mod	R4	98	7	20	10	4	0	5	4	5	7	62	Roca Tipo II															
145.05	148.15	3.10	2.85	Volc	Mod	R4	92	7	20	10	4	0	5	4	5	7	62	Roca Tipo II															
148.15	150.50	2.35	2.05	Volc	Mod	R4	87	7	17	10	4	5	5	4	5	7	64	Roca Tipo II															
150.50	152.80	2.30	2.15	Volc	Mod	R4	93	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67	Roca Tipo I															
152.80	155.80	3.00	2.80	Volc	Mod	R4	93	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67	Roca Tipo I															
155.80	158.10	2.30	2.00	Volc	Mod	R4	87	7	17	8	4	0	5	4	5	7	57	Roca Tipo II															
158.10	161.20	3.10	2.20	Volc	Mod	R4	71	7	13	8	4	0	5	4	5	7	53	Roca Tipo II															
161.20	164.20	3.00	2.50	Volc	Mod	R4	83	7	17	10	4	5	5	4	3	7	62	Roca Tipo II															
164.20	167.00	2.80	1.60	Vena	Lig	R3	57	4	13	8	4	0	5	4	3	7	48	Roca Tipo III															
167.00	168.60	1.60	1.10	Vena	Lig	R3	69	4	13	8	4	0	5	4	3	7	48	Roca Tipo III															
168.60	170.80	2.20	2.20	Volc	Mod	R4	100	7	20	10	4	0	5	4	5	7	62	Roca Tipo II															
170.80	173.10	2.30	1.80	Volc	Mod	R4	78	7	17	10	4	5	5	4	5	7	64	Roca Tipo II															
173.10	175.00	1.90	1.80	Volc	Mod	R4	95	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67	Roca Tipo I															
175.00	178.10	3.10	2.90	Volc	Mod	R4	94	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67	Roca Tipo I															
178.10	181.00	2.90	2.40	Volc	Mod	R4	83	7	17	10	4	5	5	4	5	7	64	Roca Tipo II															
181.00	184.05	3.05	3.00	Volc	Mod	R4	98	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67	Roca Tipo I															
184.05	187.15	3.10	3.05	Volc	Mod	R4	98	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67	Roca Tipo I															
187.15	190.25	3.10	3.05	Volc	Mod	R4	98	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67	Roca Tipo I															
190.25	193.35	3.10	3.05	Volc	Mod	R4	98	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67	Roca Tipo I															
193.35	194.55	1.20	0.30	Volc	Mod	R4	25	7	3	10	4	5	5	4	5	7	50	Roca Tipo III															
194.55	196.90	2.35	2.30	Volc	Mod	R4	98	7	20	10	4	0	5	4	5	7	62	Roca Tipo II															
196.90	200.00	3.10	2.85	Volc	Mod	R4	92	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67	Roca Tipo I															
200.00	203.00	3.00	3.00	Volc	Mod	R4	100	7	20	10	4	5	5	4	5	7	67	Roca Tipo I															
LITOLOGIA		RESISTENCIA A LA ROCA INTACTA		MPa		RESIST. COMP UNIAJ.		>250		(15) 100-250		(12) 50-100		(7) 25-50		(4) <(25) <5(1) <(0)		(0)		1													
Clz	Caliza	R1	Deleznable con golpes fines, se desmenuza con una cuchilla. Se desmenuza con un cincel.	1-5	ESPACIAMIENTO	>2		(20) 75-90		(17) 50-75		(13) 25-50		(8) <25		(3)		2															
Anh	Anhidrita					>2		(20) 0.6-2		(15) 0.2-0.6		(10) 0.06-0.2		(8) <0.05		(5)		3															
Volc	Volcanico	R2	No se rompe con un cincel. Marcas no profundas.	5-25	COND. DE JUNTAS	Persistencia		<1m long.		(4) 1-3 m Long.		(2) 10-20 m		(1) <20 m		(0)		4A															
Clz-Anh	Caliza en Anhidrita					Apertura		Cerrada		(6) <1mm aper.		(5) 0.1-1mm		(4) 1-5 mm		(1) >5mm		(0)		4B													
Falla	Falla	R3	No se rompe con un cincel. Se rompe con golpe firme de picota.	25-50	COND. DE JUNTAS	Rugosidad		Muy rugosa		(5) Lig. Rugosa		(3) Lisa		(1) Espejo Falla		(0)		4C															
San	Sano					Relleno		Limpia		(6) Duro <5mm		(4) Duro <5mm		(2) Suave < 5 m		(1) Suave < 5mm		(0)		4D													
Lig	Ligero	R4	La muestra se rompe con mas de un golpe de picota.	50-100	COND. DE JUNTAS	Alteración		Sana		(6) Lig. Alter		(5) Mod. Alterada		(3) Muy Alterada		(2) Descompuest.		(0)		4E													
Mod	Moderado					AGUA SUBTERRANEA		Seco		(15) Húmedo		(10) Mojado		(7) Goteo		(4) Flujo		(0)		5													
Muy	Muy alterado	R5	Se requiere varios golpes de la picota para romper la muestra.	100-250	RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0																					
		R6	Solo se rompe esquirlas c/ la picot.	>250	DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	III Regular A	IV Regular B	V Mala A	VI MALA B	VII muy Mala																					

SONDAJE DDH-048-U-18

COMPANÍA MINERA ARGENTUM S.A.		LOGUEO GOTECNICO DE TESTIGOS ROCOSOS										PLANEAMIENTO DEPARTAMENTO DE GEOMECANICA									
SONDAJE DDH-048-U-18		COORDENADAS		E :		8810.8415		N :		9629.8161		Cota :		4081.23		Realiz : D. Gavilan		Hoja		Pág.	
Intervalo de Profundidad		Longitud del tramo		Azimut :		4081.23		Inclinación :		-9.844592		Longitud :		149		Fecha : 23/10/2018					
Desde (m)	Hasta (m)	Longitud (m)	Longitud (RQD)	Litología	Grado de Alteracion	Resistenc. Compres. Roca Intacta	RQD (%)	RC (1)	RQD (2)	Esp. (3)	Parámetros de RMR					Agua (5)	RMR Total	Descripción			
											Condicion de juntas (4)										
											Per	Ap	Rug	Rel	Alt						
0.00	3.00	3.00	2.70	Anh	Moderado	R3	90	4	20	8	4	6	5	5	5	7	64	Roca Tipo II			
3.00	6.00	3.00	3.00	Clz Gr	Moderado	R3	100	4	20	8	4	6	5	5	5	7	64	Roca Tipo II			
6.00	8.95	2.95	2.95	Clz Lut, Anh	Moderado	R3	100	4	20	8	4	6	5	5	5	7	64	Roca Tipo II			
8.95	12.00	3.05	3.05	Anh	Moderado	R3	100	4	20	8	4	6	5	5	5	7	64	Roca Tipo II			
12.00	14.95	2.95	2.95	Anh	Moderado	R3	100	4	20	8	4	6	5	5	5	7	64	Roca Tipo II			
14.95	17.85	2.90	2.90	Anh	Moderado	R3	100	4	20	8	4	6	5	5	5	7	64	Roca Tipo II			
17.85	20.85	3.00	2.87	Anh, Clz, Lut	Moderado	R3	89	4	17	8	4	5	5	5	5	7	60	Roca Tipo II			
20.85	22.40	1.55	0.97	Clz Gris	Muy Aterado	R3	63	4	13	5	4	5	0	0	0	7	38	Roca Tipo III			
22.40	23.20	0.80	0.02	Clz Gris	Muy Aterado	R2	3	0	3	5	4	5	0	0	0	7	24	Roca Tipo IV			
23.20	24.00	0.80	0.24	Clz Gris	Muy Aterado	R3	30	4	8	5	4	0	0	0	0	7	28	Roca Tipo IV			
24.00	27.00	3.00	0.84	Clz Gris	Muy Aterado	R3	28	4	8	5	4	0	0	0	0	7	28	Roca Tipo IV			
27.00	28.00	1.00	0.00	Clz Gris	Muy Aterado	R2	0	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V			
28.00	30.00	2.00	0.00	Falla	Muy Aterado	R2	0	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V			
30.00	31.00	1.00	0.00	Clz Gris	Muy Aterado	R2	0	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V			
31.00	31.60	0.60	0.00	Clz Gris	Muy Aterado	R2	0	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V			
31.60	32.20	0.60	0.00	Clz Gris	Muy Aterado	R2	0	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V			
32.20	32.60	0.40	0.00	Clz Gris	Muy Aterado	R2	0	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V			
32.60	33.20	0.60	0.00	Falla	Muy Aterado	R2	0	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V			
33.20	33.50	0.30	0.00	Clz Gris	Muy Aterado	R2	0	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V			
33.50	34.10	0.60	0.00	Clz Gris	Muy Aterado	R2	0	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V			
34.10	35.00	0.90	0.00	Clz Gris	Muy Aterado	R2	0	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V			
35.00	35.40	0.40	0.00	Clz Gris	Muy Aterado	R2	0	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V			
35.40	36.20	0.80	0.00	Clz Gris	Muy Aterado	R2	0	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V			
36.20	36.60	0.40	0.00	Clz Gris	Muy Aterado	R2	0	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V			
36.60	38.10	1.50	0.00	Clz Gris	Muy Aterado	R2	0	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V			
38.10	38.80	0.70	0.00	Clz Gris	Muy Aterado	R2	0	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V			
38.80	39.90	1.10	0.44	Clz Gris	Muy Aterado	R3	40	4	8	5	4	1	0	0	3	7	32	Roca Tipo IV			
39.90	41.30	1.40	0.70	Clz Gris	Muy Aterado	R3	50	4	13	5	4	1	0	0	2	7	36	Roca Tipo III			
41.30	42.80	1.50	0.00	Clz Gris	Muy Aterado	R2	0	0	3	5	4	1	0	0	0	7	20	Roca Tipo V			
42.80	44.30	1.50	0.22	Clz Gris	Muy Aterado	R3	15	4	3	5	4	1	0	0	3	7	27	Roca Tipo IV			
44.30	45.80	1.50	0.76	Clz Gris	Muy Aterado	R3	52	4	13	5	4	1	0	0	3	7	37	Roca Tipo III			
45.80	46.80	1.00	0.67	Clz Gris	Muy Aterado	R3	67	4	13	5	4	0	0	0	0	7	33	Roca Tipo IV			
46.80	47.80	1.00	0.00	Clz Gris	Muy Aterado	R3	0	4	3	5	4	0	0	0	0	7	23	Roca Tipo IV			
47.80	49.40	1.60	0.00	Clz Gris	Muy Aterado	R3	0	4	3	5	4	0	0	0	0	7	23	Roca Tipo IV			
49.40	50.90	1.50	0.98	Clz Gris	Muy Aterado	R3	65	4	13	10	4	4	3	2	0	7	47	Roca Tipo III			
50.90	52.40	1.50	0.97	Clz Gris	Muy Aterado	R3	65	4	13	10	4	4	3	2	0	7	47	Roca Tipo III			
52.40	53.90	1.50	1.14	Anh	Muy Aterado	R3	76	4	13	10	4	4	3	2	0	7	47	Roca Tipo III			
53.90	55.40	1.50	0.96	Clz Gris	Moderado	R3	64	4	13	8	4	5	5	4	5	7	55	Roca Tipo II			
55.40	56.90	1.50	1.34	Clz Gris	Moderado	R3	89	4	17	8	4	5	5	4	5	7	59	Roca Tipo II			
56.90	58.40	1.50	1.41	Clz Gris	Moderado	R3	94	4	20	10	4	5	5	4	5	7	64	Roca Tipo II			
58.40	59.90	1.50	1.42	Clz Gris	Moderado	R3	95	4	20	10	4	5	5	4	5	7	64	Roca Tipo II			
59.90	61.40	1.50	1.27	Anh	Moderado	R3	85	4	17	10	4	5	5	4	5	7	61	Roca Tipo II			
61.40	62.90	1.50	1.50	Anh	Moderado	R3	100	4	20	10	4	5	5	4	5	7	64	Roca Tipo II			
62.90	64.40	1.50	1.43	Anh, Falla, Clz	Moderado	R3	95	4	20	10	4	5	5	4	5	7	64	Roca Tipo II			
64.40	65.90	1.50	1.44	Anh, Falla, Clz	Moderado	R3	96	4	20	10	4	5	5	4	5	7	64	Roca Tipo II			
65.90	67.40	1.50	1.41	Anh	Moderado	R3	94	4	20	10	4	5	5	4	5	7	64	Roca Tipo II			
67.40	68.60	1.20	1.11	Anh, falla	Moderado	R3	92	4	20	10	4	5	5	4	5	7	64	Roca Tipo II			
68.60	70.10	1.50	1.14	Clz Gris	Moderado	R3	76	4	17	10	4	4	3	2	0	7	51	Roca Tipo II			
LITOLOGIA		RESISTENCIA A LA ROCA INTACTA				MPa	RESIST. COMP UNIA. R O D (%)	>250	(15)	200-250	(12)	50-100	(7)	25-50	(4)	<(25) <(1) <(0)	(0)	1			
Clz	Caliza	R1	Deleznable con golpes firmes, se desmenuza con una cuchilla. Marcas no profundas			1-5	ESPACIAMIENTO											(3)	2		
Anh	Anhidrita	R2	No se rompen con golpes firmes. Se rompen con un cincel o cuchilla. Marcas no profundas			5-25	COND. DE JUNTAS											(5)	3		
Volc	Volcanico	R3	No se rompen con golpes firmes. Se rompen con un cincel o cuchillo. Se rompe con golpe firme en picota.			25-50	AGUA SUBTERRANEA											(4)	4A		
Clz-Anh	Caliza en Anhidrita	R4	La muestra se rompe con mas de un golpe de picota.			50-100	RMR											(1)	4B		
Anh-Clz	Anhidrita en Caliza	R5	Se requiere varios golpes de la picota para romper la muestra.			100-250	DESCRIPCION											(2)	4C		
Falla	Falla	R6	Solo se rompe esquinas c/ la picota			>250												(3)	4D		
San	Sano																	(4)	4E		
Lig	Ligero																	(5)	5		
Mod	Moderado																				
Muy	Muy alterado																				

COMPANÍA MINERA ARGENTUM S.A.		LOGUEO GOTECNICO DE TESTIGOS ROCOSOS										PLANEAMIENTO DEPARTAMENTO DE GEOMECANICA									
Proyecto:		Evaluación Geomecánica para el proyecto Crucero 850										D. Gavilan									
SONDAJE DDH-048-U-18		COORDENADAS		E :		8810.8415		N :		9629.8161		Cota :		4081.23		Realiz : 23/10/2018		Hoja		Pág.	
Intervalo de Profundidad		Longitud del tramo		Azimut :		4081.23		Inclinación :		149		Longitud :		149		Fecha :					
Desde (m)	Hasta (m)	Longitud (m)	Longitud (RQD)	Litología	Grado de Alteracion	Resistenc. Compres. Roca Intacta	RQD (%)	RC (1)	RQD (2)	Esp. (3)	Parámetros de RMR Condicion de juntas (4)					Agua (5)	RMR Total	Descripción			
Per	Ap	Rug	Rel	Alt																	
70.10	71.70	1.60	1.25	Anh	Moderado	R3	78	4	17	10	4	4	3	2	0	7	51	Roca Tipo II			
71.70	73.00	1.30	0.10	Falla	Moderado	R3	8	4		5	4	0	0	0	0	7	20	Roca Tipo V			
73.00	74.60	1.60	1.20	Anh	Moderado	R3	75	4	17	10	4	4	3	2	0	7	51	Roca Tipo II			
74.60	76.10	1.50	1.42	Anh	Moderado	R3	95	4	20	10	4	4	3	2	0	7	54	Roca Tipo II			
76.10	77.70	1.60	1.60	Anh	Moderado	R3	100	4	20	10	4	4	3	2	0	7	54	Roca Tipo II			
77.70	79.20	1.50	1.50	Anh	Moderado	R3	100	4	20	10	4	5	5	4	5	7	64	Roca Tipo II			
79.20	80.80	1.60	0.96	Ciz Gris Verdosa	Moderado	R3	60	4	13	10	4	4	3	2	0	7	47	Roca Tipo II			
80.80	82.10	1.30	0.86	Anh	Moderado	R3	66	4	13	10	4	4	3	2	0	7	47	Roca Tipo II			
82.10	83.70	1.60	1.03	Anh	Moderado	R3	64	4	13	10	4	4	3	2	0	7	47	Roca Tipo II			
83.70	85.30	1.60	0.50	Ciz	Moderado	R3	31	4	8	5	4	0	0	0	0	7	28	Roca Tipo IV			
85.30	86.90	1.60	1.60	Anh	Moderado	R3	100	4	20	10	4	5	5	4	5	7	64	Roca Tipo II			
86.90	88.40	1.50	1.50	Anh	Moderado	R3	100	4	20	10	4	5	5	4	5	7	64	Roca Tipo II			
88.40	89.90	1.50	0.70	Anh	Moderado	R3	47	4	8	10	4	4	3	2	3	7	45	Roca Tipo III			
89.90	91.40	1.50	0.93	Anh	Moderado	R3	62	4	13	10	4	4	3	2	3	7	50	Roca Tipo III			
91.40	92.90	1.50	1.38	Anh	Moderado	R3	92	4	20	10	4	5	5	4	5	7	64	Roca Tipo II			
92.90	94.40	1.50	1.09	Ciz	Moderado	R3	73	4	13	10	4	4	3	2	0	7	47	Roca Tipo II			
94.40	96.00	1.60	1.60	Ciz	Moderado	R3	100	4	20	10	4	5	5	4	5	7	64	Roca Tipo II			
96.00	97.40	1.40	1.40	Anh	Moderado	R3	100	4	20	10	4	5	5	4	5	7	64	Roca Tipo II			
97.40	98.90	1.50	0.66	Anh	Moderado	R3	44	4	8	10	4	4	3	2	3	7	45	Roca Tipo III			
98.90	100.40	1.50	1.19	Anh	Moderado	R3	79	4	17	10	4	5	5	4	5	7	61	Roca Tipo II			
100.40	102.00	1.60	1.45	Anh	Moderado	R3	91	4	20	10	4	5	5	4	5	7	64	Roca Tipo II			
102.00	103.40	1.40	1.24	Ciz Gris	Moderado	R3	89	4	17	10	4	5	5	4	5	7	61	Roca Tipo II			
103.40	105.00	1.60	1.20	Ciz Gris	Moderado	R3	75	4	17	10	4	4	3	2	3	7	54	Roca Tipo II			
105.00	106.40	1.40	0.60	Ciz Gris	Moderado	R3	43	4	8	10	4	4	3	2	3	7	45	Roca Tipo III			
106.40	108.00	1.60	0.70	Ciz Gris	Moderado	R3	44	4	8	10	4	4	3	2	3	7	45	Roca Tipo III			
108.00	109.40	1.40	1.10	Ciz Gris	Moderado	R3	79	4	17	10	4	4	3	2	3	7	54	Roca Tipo II			
109.40	110.90	1.50	0.82	Ciz Gris	Moderado	R3	55	4	13	10	4	5	5	4	5	7	57	Roca Tipo II			
110.90	112.40	1.50	1.50	Anh	Moderado	R3	100	4	20	10	4	5	5	3	3	7	58	Roca Tipo II			
112.40	113.90	1.50	1.28	Anh	Muy Aterado	R3	85	4	17	10	4	0	0	0	0	7	42	Roca Tipo II			
113.90	115.40	1.50	0.37	Ciz Gris	Muy Aterado	R3	25	4	8	5	4	0	0	0	0	7	28	Roca Tipo IV			
115.40	116.90	1.50	0.35	Anh	Muy Aterado	R3	23	4	3	5	4	5	3	2	3	7	36	Roca Tipo II			
116.90	118.40	1.50	0.65	Anh	Muy Aterado	R3	43	4	8	10	4	0	0	0	0	7	33	Roca Tipo IV			
118.40	119.90	1.50	1.10	Anh	Muy Aterado	R3	73	4	13	5	4	0	0	0	0	7	33	Roca Tipo IV			
119.90	120.90	1.00	0.80	Anh	Moderado	R3	80	4	17	5	4	5	3	2	3	7	50	Roca Tipo III			
120.90	122.50	1.60	1.30	Ciz Gris	Moderado	R3	81	4	17	10	4	5	3	2	0	7	52	Roca Tipo II			
122.50	124.10	1.60	0.60	Ciz Gris	Moderado	R3	37	4	8	10	4	4	3	2	3	7	45	Roca Tipo III			
124.10	125.70	1.60	1.27	Ciz Gris	Moderado	R3	79	4	17	10	4	4	3	2	3	7	54	Roca Tipo II			
125.70	127.30	1.60	1.05	Ciz Gris	Moderado	R3	66	4	13	10	4	4	3	2	3	7	50	Roca Tipo III			
127.30	128.90	1.60	0.78	Ciz Gris	Muy Aterado	R3	49	4	8	5	4	0	0	0	0	7	28	Roca Tipo III			
128.90	130.40	1.50	0.40	Ciz Gris	Moderado	R3	27	4	8	5	4	3	3	2	3	7	39	Roca Tipo III			
130.40	131.35	0.95	0.60	Ciz Gris	Moderado	R3	63	4	8	5	4	4	3	2	3	7	45	Roca Tipo III			
131.35	132.95	1.60	0.60	Ciz Gris	Muy Aterado	R3	37	4	8	5	4	0	0	0	0	7	28	Roca Tipo IV			
132.95	134.55	1.60	0.30	Ciz Gris	Muy Aterado	R3	19	4	3	5	4	4	3	2	3	7	35	Roca Tipo IV			
134.55	136.10	1.55	1.35	Ahn	Moderado	R3	87	4	17	5	4	0	0	0	0	7	37	Roca Tipo III			
136.10	137.70	1.60	0.47	Ahn	Moderado	R3	29	4	8	5	4	4	3	2	3	7	40	Roca Tipo III			
137.70	139.30	1.60	1.00	Ahn	Muy Aterado	R3	63	4	13	5	4	0	0	0	0	7	33	Roca Tipo IV			
139.30	140.90	1.60	0.10	Ahn	Muy Aterado	R2	6	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V			
140.90	142.40	1.50	0.60	Ahn	Muy Aterado	R4	40	7	8	5	4	0	0	0	0	7	31	Roca Tipo IV			
142.40	143.90	1.50	0.15	Ahn	Muy Aterado	R2	10	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V			
143.90	145.40	1.50	0.15	Falla	Muy Aterado	R2	10	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V			
145.40	146.40	1.00	0.00	Anh	Muy Aterado	R2	0	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V			
146.40	147.30	0.90	0.00	Anh	Muy Aterado	R2	0	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V			
147.30	147.70	0.40	0.00	Falla	Muy Aterado	R2	0	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V			
147.70	149.10	1.40	0.00	Ciz Gris	Muy Aterado	R2	0	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V			

LITOLOGIA	RESISTENCIA A LA ROCA INTACTA	MPa	RESIST. COMP. UNIA. R Q D (%)	>250	(15) 100-250	(12) 50-100	(7) 25-50	(4) <25	<(5) <(1) <(0)	(0)	1	
Ciz	Caliza	R1	Deleznable con golpes firmes, se desconcha con una cuchilla.	90-100	(20)	75-90	(17)	60-75	(13)	25-50	(3)	2
Anh	Anhidrita	R2	Se desconcha con cuchilla. Marcas no profundas	>2	(20)	0.6-2	(15)	0.2-0.6	(10)	0.06-0.2	(8)	<0.05
Volc	Volcanica	R3	No se rompe con golpes firmes	<1m long.	(6)	1-3 m Long.	(4)	3-10 m	(2)	10-20 m	(1)	<20 m
Ciz-Anh	Caliza en Anhidrita	R4	La muestra se rompe con mas de un golpe de picota	Cerrada	(6)	<1mm aper.	(5)	0.1-1mm	(4)	1-5 mm	(1)	> 5mm
Anh-Ciz	Anhidrita en Caliza	R5	Se requiere varios golpes de la picota para romper la muestra.	Muy rugosa	(6)	Rugosa	(5)	Lig. Rugosa	(3)	Lisa	(1)	Espesjo Falla
Falla	Falla	R6	Solo se rompe esquivas c/ la picota	Limpia	(6)	Duro-5mm	(4)	Duro-5mm	(2)	Suave < 5 m	(1)	Suave 5mm
San	Sano	R5		Sana	(6)	Lig. Ater.	(5)	Mod. Aterada	(3)	Muy Aterada	(2)	Descompuesta
Lig	Ligero	R5		Seco	(15)	Humedo	(10)	Mojado	(7)	Goteo	(4)	Flujo
Mod	Moderado	R5		RMR 100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0	0	0
Muy	Muy alterado	R6		DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	III Regular A	IV Regular B	V Mala A	VI MALA B	VII muy Mala	

COMPANIA MINERA ARGENTUM S.A.		LOGUEO GOTECNICO DE TESTIGOS ROCOSOS										PLANEAMIENTO DEPARTAMENTAL DE GEOMECANICA											
Proyecto:		Evaluación Geomecánica para el proyecto Cruceiro 850										Hoja											
SONDAJE DDH-056-U-18		COORDENADAS		E.L.		8810.8834		N.1		9820.8897		Cota 1		4081.951		Rebate 1		D. Clavon		Hoja		Pag.	
DESCRIPCION DE PROYECTO		DIRECCION		LONGITUD		ANCHO		RESISTENCIA		RESISTENCIA		RESISTENCIA		RESISTENCIA		RESISTENCIA		RESISTENCIA		RESISTENCIA		RESISTENCIA	
Desde		Hasta		Tramo		Litología		Grado de Alteración		RGO		RGO		RGO		RGO		RGO		RGO		RGO	
0.00		0.00		0.00		0.45		Cie		Moderado		R3		24		10		10		10		10	
0.00		2.00		2.00		0.00		Anh.Cie		Moderado		R3		100		4		20		0		4	
2.00		5.00		3.00		2.91		Anh.Cie		Moderado		R3		97		4		20		0		4	
5.00		8.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		100		4		20		0		4	
8.00		11.00		3.00		2.90		Anh.Cie		Moderado		R3		100		4		20		0		4	
11.00		14.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		97		4		20		0		4	
14.00		17.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		98		4		20		0		4	
17.00		20.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		100		4		20		0		4	
20.00		23.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		98		4		20		0		4	
23.00		26.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		100		4		20		0		4	
26.00		29.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		98		4		20		0		4	
29.00		32.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		100		4		20		0		4	
32.00		35.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		98		4		20		0		4	
35.00		38.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		98		4		20		0		4	
38.00		41.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		98		4		20		0		4	
41.00		44.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		97		4		20		0		4	
44.00		47.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		98		4		20		0		4	
47.00		50.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		98		4		20		0		4	
50.00		53.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		98		4		20		0		4	
53.00		56.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		98		4		20		0		4	
56.00		59.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		98		4		20		0		4	
59.00		62.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		98		4		20		0		4	
62.00		65.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		98		4		20		0		4	
65.00		68.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		98		4		20		0		4	
68.00		71.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		98		4		20		0		4	
71.00		74.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		98		4		20		0		4	
74.00		77.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		98		4		20		0		4	
77.00		80.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		98		4		20		0		4	
80.00		83.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		98		4		20		0		4	
83.00		86.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		98		4		20		0		4	
86.00		89.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		98		4		20		0		4	
89.00		92.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		98		4		20		0		4	
92.00		95.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		98		4		20		0		4	
95.00		98.00		3.00		3.00		Anh.Cie		Moderado		R3		98		4		20		0		4	

SONDAJE DDH-056-U-18

COMPANIA MINERA ARCELORMITTAL		LOGUEO GOTECNICO DE TESTIGOS ROCOSOS										PLANEAMIENTO DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA															
Proyecto:		Evaluación Geomecánica para el proyecto Cruceiro 850										D. Gavilan 2/11/2018															
SONDAJE DOH-066-U-18		COORDENADAS		E :		8810.6834		9629.8067		Cota :		4081.851		Realiz :		Hoja		Pág.									
Intervalo de Profundidad		ORIENTACION		Azimut :		83.00833		13.172992		Longitud :		262		Fecha :													
Desde (m)		Hasta (m)		Longitud del tramo (m)		Longitud (RGD)		Litología		Grado de Alteración		Resistencia Compres. Roca Intacta		Inclinación		Resistencia RGD		Resistencia Esp		Condiciones de juntas (4)		Permeabilidad		RMR		Descripción	
94.95	96.55	1.60	0.92	Ciz	Moderado	R3	57	4	13	8	4	5	5	4	3	7	53	Roca Tipo II									
96.55	98.15	1.60	1.00	Anh	Moderado	R3	63	4	13	8	4	5	5	4	3	7	53	Roca Tipo II									
98.15	99.75	1.60	0.55	Anh	Moderado	R3	34	4	8	8	4	5	5	4	3	7	48	Roca Tipo II									
99.75	101.30	1.55	0.10	Anh	Moderado	R3	6	4	3	8	4	5	5	4	3	7	43	Roca Tipo II									
101.30	102.80	1.50	1.15	Ciz	Moderado	R3	77	4	17	8	4	5	5	4	3	7	57	Roca Tipo II									
102.80	104.40	1.60	1.34	Anh	Moderado	R3	84	4	17	8	4	5	5	4	3	7	57	Roca Tipo II									
104.40	105.70	1.30	1.30	Anh	Moderado	R3	100	4	20	8	4	5	5	4	3	7	60	Roca Tipo II									
105.70	107.30	1.60	1.20	Anh	Moderado	R3	75	4	17	8	4	5	5	4	3	7	57	Roca Tipo II									
107.30	108.90	1.60	1.50	Anh	Moderado	R3	94	4	20	8	4	5	5	4	3	7	60	Roca Tipo II									
108.90	110.50	1.60	1.35	Anh	Moderado	R3	84	4	17	8	4	5	5	4	3	7	57	Roca Tipo II									
110.50	112.10	1.60	1.52	Anh	Moderado	R3	95	4	20	8	4	5	5	4	3	7	60	Roca Tipo II									
112.10	113.60	1.50	1.50	Anh	Moderado	R3	100	4	20	8	4	5	5	4	3	7	60	Roca Tipo II									
113.60	115.20	1.60	1.11	Anh	Moderado	R3	69	4	13	8	4	5	5	4	3	7	53	Roca Tipo II									
115.20	116.70	1.50	1.25	Anh	Moderado	R3	83	4	17	8	4	5	5	4	3	7	57	Roca Tipo II									
116.70	118.10	1.40	1.20	Anh	Moderado	R3	86	4	17	8	4	5	5	4	3	7	57	Roca Tipo II									
118.10	119.50	1.40	0.70	Anh	Moderado	R3	59	4	13	5	4	5	5	2	2	7	47	Roca Tipo II									
119.50	121.00	1.50	1.06	Anh	Moderado	R3	71	4	13	5	4	5	5	2	2	7	47	Roca Tipo II									
121.00	122.60	1.60	1.10	Anh	Moderado	R3	69	4	13	5	4	5	5	2	2	7	47	Roca Tipo II									
122.60	124.15	1.55	0.75	Anh	Moderado	R3	48	4	8	5	4	5	5	2	2	7	42	Roca Tipo II									
124.15	125.70	1.55	1.35	Anh	Moderado	R3	87	4	17	5	4	5	5	2	2	7	51	Roca Tipo II									
125.70	128.75	1.05	0.52	Anh	Muy Alterado	R2	50	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V									
128.75	128.35	1.60	0.66	Anh	Muy Alterado	R2	41	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V									
128.35	129.85	1.50	1.23	Anh	Muy Alterado	R2	82	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V									
129.85	131.05	1.20	0.51	Falla	Muy Alterado	R2	43	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V									
131.05	132.65	1.60	1.00	Marga Arcillosa	Muy Alterado	R2	62	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V									
132.65	134.25	1.60	0.43	Marga Arcillosa	Muy Alterado	R2	27	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V									
134.25	134.50	0.25	0.00	Marga Arcillosa	Muy Alterado	R2	0	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V									
134.50	135.90	1.40	1.08	Marga Arcillosa	Muy Alterado	R2	77	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V									
135.90	137.50	1.60	0.27	Falla	Muy Alterado	R2	17	0	3	5	4	0	0	0	0	7	19	Roca Tipo V									
137.50	138.85	1.35	0.95	Marga Arcillosa	Moderado	R3	70	4	13	8	4	5	5	2	3	7	50	Roca Tipo II									
138.85	140.45	1.60	1.23	Anh	Moderado	R3	77	4	17	8	4	5	5	2	3	7	54	Roca Tipo II									
140.45	141.90	1.45	1.45	Anh	Moderado	R3	100	4	20	8	4	5	5	2	3	7	57	Roca Tipo II									
141.90	143.50	1.60	1.30	Anh	Moderado	R3	81	4	17	8	4	5	5	4	5	7	59	Roca Tipo II									
143.50	144.80	1.30	1.30	Ciz	Moderado	R3	100	4	20	8	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II									
144.80	146.10	1.30	0.79	Ciz	Moderado	R3	61	4	13	8	4	5	5	4	5	7	55	Roca Tipo II									
146.10	147.30	1.20	1.01	Anh	Moderado	R3	84	4	17	8	4	5	5	4	5	7	59	Roca Tipo II									
147.30	148.85	1.55	1.48	Anh	Moderado	R3	95	4	17	8	4	5	5	4	5	7	59	Roca Tipo II									
148.85	150.35	1.50	1.44	Anh	Moderado	R3	96	4	17	8	4	5	5	4	5	7	59	Roca Tipo II									
150.35	151.65	1.30	1.22	Anh	Moderado	R3	94	4	17	8	4	5	5	4	5	7	59	Roca Tipo II									
151.65	153.00	1.35	0.30	Anh	Moderado	R3	22	4	3	8	4	5	5	4	5	7	45	Roca Tipo II									
153.00	154.40	1.40	1.35	Anh	Moderado	R3	98	4	20	8	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II									
154.40	155.75	1.35	1.35	Ciz Verduzca	Moderado	R3	100	4	20	8	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II									
155.75	157.05	1.30	1.30	Anh	Moderado	R3	100	4	20	8	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II									
157.05	158.55	1.50	1.22	Anh	Moderado	R3	81	4	17	8	4	5	5	4	5	7	59	Roca Tipo II									
158.55	159.80	1.25	0.90	Anh	Moderado	R3	72	4	17	8	4	5	5	4	5	7	59	Roca Tipo II									
159.80	161.30	1.50	1.50	Anh	Moderado	R3	100	4	20	8	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II									
161.30	162.30	1.00	0.80	Anh	Moderado	R3	80	4	17	8	4	5	5	4	5	7	59	Roca Tipo II									
162.30	163.85	1.55	1.38	Anh	Moderado	R3	89	4	17	8	4	5	5	4	5	7	59	Roca Tipo II									
163.85	165.25	1.40	1.20	Anh	Moderado	R3	86	4	17	8	4	5	5	4	5	7	59	Roca Tipo II									

LITOLOGIA		RESISTENCIA A LA ROCA INTACTA										MPa	
Ciz	Caliza	R1	Desmenuzable con golpes finos, se desmenuza con una cuchilla.	1-5	RESIST COMP UNIAK	>250	(15) 300-350	(13) 30-100	(7) 25-50	(4) <20	(50) <100	(9) 1	
Anh	Anhidrita	R1	Se desmenuza con golpes finos, se desmenuza con una cuchilla. Marcas no profundas.	1-5	R Q D (%)	90-100	(20) 75-90	(17) 50-75	(13) 25-50	(9) <25	(5) 2		
Volc	Volcanico	R2	Se desmenuza con golpes finos, se desmenuza con una cuchilla. Marcas no profundas.	5-25	ESPACIAMIENTO	>2	(20) 0.6-2	(15) 0.2-0.6	(10) 0.05-0.2	(8) <0.05	(5) 3		
Ciz-Anh	Caliza en Anhidrita	R3	Se desmenuza con golpes finos, se desmenuza con una cuchilla. Se rompe con golpe firme deacostado.	25-50	Peraltelecencia	<1m long	(6) <3 m Long	(4) 3-10 m	(2) 10-20 m	(1) <10 m	(9) 4A		
Anh-Ciz	Anhidrita en Caliza	R3	Se desmenuza con golpes finos, se desmenuza con una cuchilla. Se rompe con golpe firme deacostado.	25-50	COND DE Ruptura	Apertada	(6) <1mm apert	(5) 0.1-1mm	(4) <5mm	(1) <5mm	(9) 4B		
Falla	Falla	R3	La muestra se rompe con mas de un golpe de picota.	50-100	Releno	Limpia	(6) Duro<5mm	(4) Duro<5mm	(2) Suave< 5 m	(1) Suave< 5m	(9) 4D		
San	Sano	R4	Se requiere varios golpes de la picota para romper la muestra.	100-250	Alteración	Sana	(6) Lig Alter	(5) Mod Alterada	(3) Muy Alterada	(2) Descompuest	(9) 4E		
Lig	Ligero	R5	Se requiere varios golpes de la picota para romper la muestra.	100-250	AQUA SUBTERRANEA	Seco	(15) Humedo	(10) Mojado	(7) Gotico	(4) Fluj	(9) 5		
Mod	Moderado	R6	Solo se rompe esquivitas c/ la picota	>250	RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0	
Muy	Muy alterado	R6	Solo se rompe esquivitas c/ la picota	>250	DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	III Regular A	III Regular B	IV Mala A	IVB MALA B	V muy Mala	

COMPANHIA MINERA ARGENTUM S.A.		LOGUEO GOTECNICO DE TESTIGOS VERDES										PLANEAMIENTO DEPARTAMENTO DE GEOMECANICA																							
Proyecto:		Evaluación Geomecánica para el proyecto Cruceiro 850										Fecha: 2/11/2018																							
SONDAJE		COORDENADAS		E :		8510 6834		N :		9629 8067		Cota :		4081 851		Realtz :		D Gavilan		Hoja		Pág.													
DNI: 8510 11 18		ORIENTACION		Azimut :		83 500333		Inclinación :		13 172992		Longitud :		262		Fecha :																			
Intervalo de Profundidad		Longitud del tramo		Longitud (ROD)		Litología		Grado de Alteración		Resistenc. Compres. Roca Intacta		ROD (%)		RC (t)		ROD (t)		Esp (t)		Per		Ap		Rug		Rel		AT		Agua (t)		RMR Total		Descripción	
Desde (m)		Hasta (m)																																	
165.25	166.80	1.55	1.32	Anh	Moderado	R3	85	4	17	B	4	5	5	4	5	7	59	Roca Tipo II																	
166.80	168.05	1.25	1.09	Anh	Moderado	R3	87	4	17	B	4	5	5	4	5	7	59	Roca Tipo II																	
168.05	169.55	1.50	1.24	Anh	Moderado	R3	83	4	17	B	4	5	5	4	5	7	59	Roca Tipo II																	
169.55	170.80	1.25	1.09	Anh	Moderado	R3	86	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
170.80	172.40	1.50	0.86	Anh	Moderado	R3	44	4	8	B	4	5	5	4	5	7	50	Roca Tipo II																	
172.40	173.80	1.40	0.99	Anh	Moderado	R3	71	4	13	B	4	5	5	4	5	7	55	Roca Tipo II																	
173.80	175.25	1.45	1.06	Anh	Moderado	R3	73	4	13	B	4	5	5	4	5	7	55	Roca Tipo II																	
175.25	176.75	1.50	1.27	Anh	Moderado	R3	85	4	17	B	4	5	5	4	5	7	59	Roca Tipo II																	
176.75	177.65	0.90	0.70	Anh	Moderado	R3	78	4	17	B	4	5	5	4	5	7	59	Roca Tipo II																	
177.65	179.25	1.60	1.15	Anh	Moderado	R3	72	4	13	B	4	5	5	4	5	7	55	Roca Tipo II																	
179.25	180.65	1.40	1.40	Anh	Moderado	R3	100	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
180.65	182.15	1.50	1.15	Anh	Moderado	R3	77	4	13	B	4	5	5	4	5	7	55	Roca Tipo II																	
182.15	183.45	1.30	0.90	Anh	Moderado	R3	89	4	13	B	4	5	5	4	5	7	65	Roca Tipo II																	
183.45	184.95	1.50	1.40	Ciz	Moderado	R3	93	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
184.95	186.25	1.30	0.95	Anh	Moderado	R3	73	4	13	B	4	5	5	4	5	7	55	Roca Tipo II																	
186.25	187.75	1.50	0.95	Anh	Moderado	R3	63	4	13	B	4	5	5	4	5	7	55	Roca Tipo II																	
187.75	189.25	1.50	1.40	Anh	Moderado	R3	93	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
189.25	190.45	1.20	0.40	Anh	Moderado	R3	33	4	8	B	4	5	5	4	5	7	50	Roca Tipo II																	
190.45	191.25	0.80	0.74	Anh	Moderado	R3	93	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
191.25	192.75	1.50	1.15	Anh	Moderado	R3	77	4	17	B	4	5	5	4	5	7	59	Roca Tipo II																	
192.75	194.15	1.40	1.20	Anh	Moderado	R3	86	4	17	B	4	5	5	4	5	7	59	Roca Tipo II																	
194.15	195.50	1.35	1.20	Anh	Moderado	R3	89	4	17	B	4	5	5	4	5	7	59	Roca Tipo II																	
195.50	196.80	1.30	1.00	Anh	Moderado	R3	77	4	17	B	4	5	5	4	5	7	59	Roca Tipo II																	
196.80	198.30	1.50	0.95	Anh	Moderado	R3	63	4	13	B	4	5	5	4	5	7	55	Roca Tipo II																	
198.30	198.65	0.35	0.11	Ciz	Moderado	R3	31	4	8	B	4	5	5	4	5	7	50	Roca Tipo II																	
198.65	199.85	1.20	1.07	Ciz	Moderado	R3	89	4	17	B	4	5	5	4	5	7	59	Roca Tipo II																	
199.85	201.25	1.40	1.11	Ciz	Moderado	R3	79	4	17	B	4	5	5	4	5	7	59	Roca Tipo II																	
201.25	202.50	1.25	0.85	Anh	Moderado	R3	68	4	13	B	4	5	5	4	5	7	55	Roca Tipo II																	
202.50	204.00	1.50	1.35	Limos Arenosos	Moderado	R3	90	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
204.00	205.60	1.60	1.60	Limos Arenosos	Moderado	R3	100	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
205.60	207.20	1.60	1.60	Limos Arenosos	Moderado	R3	100	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
207.20	208.70	1.50	1.50	Ciz marmolizada	Moderado	R3	100	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
208.70	210.30	1.60	1.60	Ciz marmolizada	Moderado	R3	100	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
210.30	211.70	1.50	1.50	Ciz marmolizada	Moderado	R3	100	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
211.70	213.20	1.50	1.40	Limos Arenosos	Moderado	R3	93	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
213.20	214.70	1.50	1.41	Limos Arenosos	Moderado	R3	94	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
214.70	216.25	1.55	1.55	Limos Arenosos	Moderado	R3	100	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
216.25	217.60	1.35	1.35	Limos Arenosos	Moderado	R3	100	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
217.60	219.15	1.55	1.55	Limos Arenosos	Moderado	R3	100	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
219.15	220.45	1.30	1.30	Limos Arenosos	Moderado	R3	100	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
220.45	222.00	1.55	1.55	Anh	Moderado	R3	100	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
222.00	223.50	1.50	1.35	Anh	Moderado	R3	90	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
223.50	225.10	1.60	1.25	Limos Arenosos	Moderado	R3	78	4	17	B	4	5	5	4	5	7	59	Roca Tipo II																	
225.10	226.65	1.55	1.55	Anh	Moderado	R3	100	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
226.65	228.15	1.50	1.40	Anh	Moderado	R3	93	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
228.15	229.70	1.55	1.55	Anh	Moderado	R3	100	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
229.70	231.20	1.50	1.35	Anh	Moderado	R3	90	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
231.20	232.55	1.35	1.35	Anh	Moderado	R3	100	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
232.55	234.05	1.50	1.50	Anh	Moderado	R3	100	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
234.05	235.45	1.40	1.25	Anh	Moderado	R3	89	4	17	B	4	5	5	4	5	7	59	Roca Tipo II																	
235.45	236.95	1.50	1.43	Anh	Moderado	R3	95	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
236.95	238.25	1.30	0.85	Anh	Moderado	R3	65	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	
238.25	239.80	1.25	1.16	Anh	Moderado	R3	93	4	20	B	4	5	5	4	5	7	62	Roca Tipo II																	

LITOLOGIA		RESISTENCIA A LA ROCA INTACTA		MPa	
Ciz	Caliza	R1	Deleznable con golpes finos, se desmenuza con una cuchilla. Marcas no profundas	1-5	RESIST. COMP. UNIAXIAL R O D (%)
Anh	Anhidrita	R2	Perseccamenta o cuchillo. Marcas no profundas	5-25	ESPACIAMIENTO
Volc	Volcanico	R3	Perseccamenta o cuchillo. Se rompe con golpe firme	25-50	Perseccamenta
Ciz-Anh	Caliza en Anhidrita	R4	La muestra se rompe con mas de un golpe de picota.	50-100	COND DE JUNTAS
Anh-Ciz	Anhidrita en Caliza	R5	Se requiere varios golpes de la picota para romper la muestra.	100-250	Apertura
Fals	Falso	R6	Solo se rompe esquivas c/ la picota	>250	Rugosidad
San	Sano				Releno
Lig	Ligero				Alteración
Med	Moderado				Seco
Muy	Muy alterado				

SONDAJE		COORDENADAS		E :		N :		Cota :		4044.8883		Realiz :		D. Gavilan		Hoja		Pág.															
DDH-116-U-19		ORIENTACION		Azimut :		Inclinación :		Longitud :		280		Fecha :		29/03/2019																			
Intervalo de Profundidad		Longitud del tramo		Longitud (RGD)		Litología		Grado de Alteración		Resistencia Compres. Roca Intacta		RGD (%)		RC (1)		ROD (2)		Esp (3)		Condiciones de juntas (4)		Agua (5)		RMR Total		Descripción							
(m)		(m)		(m)																Per		Ap		Rug		Rel		Alt					
110.96	113.86	2.90	2.43	Do	Ligero	R4	84	7	17	8	4	0	3	2	5	7	53	Roca Tipo II															
113.86	116.94	3.08	3.00	Anh	Ligero	R4	97	7	20	10	4	0	3	2	5	7	58	Roca Tipo II															
116.94	119.89	2.95	2.85	Anh	Ligero	R4	97	7	20	10	4	0	3	2	5	7	58	Roca Tipo II															
119.89	122.94	3.05	1.80	Do	Ligero	R4	59	7	13	8	4	0	3	2	5	7	49	Roca Tipo II															
122.94	125.99	3.05	3.00	Do	Ligero	R4	98	7	20	10	4	0	3	2	5	7	58	Roca Tipo II															
125.99	128.94	2.95	2.80	Anh	Ligero	R4	95	7	20	10	4	0	3	2	5	7	58	Roca Tipo II															
128.94	131.84	2.90	2.85	Anh	Ligero	R4	98	7	20	10	4	0	3	2	5	7	58	Roca Tipo II															
131.84	134.71	2.87	2.85	Do	Ligero	R4	99	7	20	10	4	3	3	2	5	7	61	Roca Tipo II															
134.71	137.55	2.84	2.84	Anh	Ligero	R4	100	7	20	10	4	0	3	2	5	7	58	Roca Tipo II															
137.55	140.52	2.97	2.60	Do	Ligero	R4	88	7	17	10	4	0	3	2	5	7	55	Roca Tipo II															
140.52	142.02	1.50	1.30	Anh	Ligero	R4	87	7	17	10	4	0	3	2	5	7	55	Roca Tipo II															
142.02	143.76	1.74	1.44	Do	Ligero	R4	83	7	17	10	4	0	3	2	5	7	55	Roca Tipo II															
143.76	146.83	3.07	2.80	Do	Ligero	R4	91	7	20	10	4	0	3	2	5	7	58	Roca Tipo II															
146.83	149.69	2.86	2.80	Do	Ligero	R4	98	7	20	10	4	0	3	2	5	7	58	Roca Tipo II															
149.69	152.79	3.10	2.81	Anh	Ligero	R4	91	7	20	10	4	0	3	2	5	7	58	Roca Tipo II															
152.79	155.69	3.10	2.50	Do	Ligero	R4	81	7	17	10	4	0	3	2	5	7	55	Roca Tipo II															
155.69	158.50	2.61	2.30	Do	Ligero	R4	88	7	17	10	4	0	3	2	5	7	55	Roca Tipo II															
158.50	160.77	2.27	1.88	Do	Ligero	R4	83	7	17	8	4	0	3	2	5	7	53	Roca Tipo II															
160.77	161.69	0.92	0.79	Do	Ligero	R4	86	7	17	10	4	0	3	2	5	7	55	Roca Tipo II															
161.69	164.29	2.60	2.52	Anh	Ligero	R4	97	7	20	10	4	0	3	2	5	7	58	Roca Tipo II															
164.29	164.82	0.53	0.46	Do	Ligero	R4	87	7	17	10	4	0	3	2	5	7	55	Roca Tipo II															
164.82	167.32	2.50	2.38	Do	Ligero	R4	94	7	20	10	4	0	3	2	5	7	58	Roca Tipo II															
167.32	167.97	0.65	0.46	Anh	Ligero	R4	71	7	17	10	4	0	3	2	5	7	55	Roca Tipo II															
167.97	171.01	3.04	2.95	Anh	Ligero	R4	97	7	20	10	4	0	3	2	5	7	58	Roca Tipo II															
171.01	173.90	2.89	2.77	Anh	Ligero	R4	98	7	20	10	4	0	3	2	5	7	58	Roca Tipo II															
173.90	176.91	3.01	2.65	Do	Ligero	R4	88	7	17	10	4	0	3	2	5	7	55	Roca Tipo II															
176.91	179.99	3.08	2.91	Anh	Ligero	R4	94	7	20	10	4	0	3	2	5	7	58	Roca Tipo II															
179.99	182.99	3.00	2.82	Do	Ligero	R4	94	7	20	10	4	0	3	2	5	7	58	Roca Tipo II															
182.99	186.05	3.06	2.98	Anh	Ligero	R4	97	7	20	10	4	0	3	2	5	7	58	Roca Tipo II															
186.05	189.00	2.95	2.88	Anh	Ligero	R4	98	7	20	10	4	0	3	2	5	7	58	Roca Tipo II															
189.00	192.04	3.04	2.94	Anh	Ligero	R4	97	7	20	10	4	0	3	2	5	7	58	Roca Tipo II															
192.04	195.04	3.00	2.34	Do	Ligero	R4	78	7	17	10	4	0	3	2	5	7	55	Roca Tipo II															
195.04	198.09	3.05	2.88	Anh	Ligero	R4	94	7	20	10	4	0	3	2	5	7	58	Roca Tipo II															
198.09	201.09	3.00	2.94	Do	Ligero	R4	98	7	20	10	4	0	3	2	5	7	58	Roca Tipo II															
201.09	204.09	3.00	2.36	Do	Ligero	R4	79	7	17	10	4	0	3	2	5	7	55	Roca Tipo II															
204.09	207.11	3.02	2.83	Do	Ligero	R4	94	7	20	10	4	0	3	2	5	7	58	Roca Tipo II															
207.11	210.11	3.00	2.46	Anh	Ligero	R4	82	7	17	10	4	0	3	2	5	7	55	Roca Tipo II															
210.11	213.03	2.92	2.70	Anh	Ligero	R4	92	7	20	10	4	0	3	2	5	7	58	Roca Tipo II															
213.03	215.86	2.83	2.73	Do	Ligero	R4	96	7	20	10	4	0	3	4	5	7	60	Roca Tipo II															
215.86	218.90	3.04	2.74	Anh	Ligero	R4	90	7	17	10	4	0	3	4	5	7	57	Roca Tipo II															
218.90	220.10	1.20	0.38	Veta	Moderado	R3	32	4	6	8	4	0	3	2	3	7	37	Roca Tipo II															
220.10	221.16	1.06	0.58	Veta	Moderado	R3	55	4	13	8	4	1	3	2	3	7	45	Roca Tipo II															
221.16	221.46	0.30	0.00	Veta	Moderado	R3	0	4	3	8	4	0	3	4	1	7	34	Roca Tipo II															
221.46	222.79	1.33	1.00	Veta	Moderado	R3	75	4	17	8	4	0	3	4	1	7	48	Roca Tipo II															
222.79	225.89	3.10	2.12	Veta	Moderado	R3	68	4	13	8	4	1	3	2	3	7	45	Roca Tipo II															
225.89	227.21	1.32	1.07	Anh	Moderado	R3	81	4	17	8	4	1	3	2	3	7	49	Roca Tipo II															
227.21	229.06	1.85	1.50	Anh	Moderado	R3	81	4	17	8	4	1	3	2	3	7	49	Roca Tipo II															
229.06	230.68	1.62	1.24	Anh	Moderado	R4	77	7	17	8	4	1	3	2	5	7	54	Roca Tipo II															
LITOLOGIA		RESISTENCIA A LA ROCA INTACTA		MPa																													
Cic	Cabza	R1	Deleznable con golpes finos, se desmenuza con una cuchilla	1-5	RESIST COMP UNIAx.	≥250	✓	(16)	90-250	✓	(12)	50-100	✓	(7)	25-50	✓	(8)	10-25	✓	(10)	5-10	✓	(9)	1									
Anh	Anhidrita	R2	Deleznable con una cuchilla. Marcas no profundas	5-25	ESPACIAMIENTO	30-100	✓	(20)	75-90	✓	(12)	50-75	✓	(10)	25-50	✓	(8)	10-25	✓	(9)	5-10	✓	(12)	2									
Veta	Volcanico	R2	Deleznable con una cuchilla. Marcas no profundas	5-25	Persistencia	cm long	✓	(8)	1-3 m Long.	✓	(4)	3-10 m	✓	(12)	10-20 m	✓	(1)	<20 m	✓	(1)	<20 m	✓	(6)	4A									
Do	Dolomia	R3	Deleznable con una cuchilla. Se rompe con golpe firme	25-50	COND. DE JUNTAS	Apertura	✓	(6)	1mm apert.	✓	(5)	0.1-1mm	✓	(4)	15 mm	✓	(1)	5mm	✓	(1)	5mm	✓	(6)	4B									
Anh-Ciz	Amidrita en Caliza	R3	Deleznable con una cuchilla. Se rompe con golpe firme	25-50	Rugosidad	Mayores	✓	(6)	5mm	✓	(5)	Lig. Rugosa	✓	(1)	Lisa	✓	(1)	Espejo/Falta	✓	(1)	Espejo/Falta	✓	(6)	4C									
Falta	Falta	R4	La muestra se rompe con mas de un golpe de picota	50-100	Relleño	Limpia	✓	(6)	Duro<5mm	✓	(4)	Duro<5mm	✓	(2)	Suave<5 m	✓	(1)	Suave<5 m	✓	(1)	Descompuesta	✓	(6)	4D									
San	Sano	R5	Se requiere varios golpes de la picota para romper la muestra.	100-250	Alteración	Sana	✓	(6)	Lig. Alter	✓	(5)	Mod. Alterada	✓	(3)	Muy Alterada	✓	(2)	Descompuesta	✓	(2)	Flujo	✓	(0)	5									
Lig	Ligero	R5	Se requiere varios golpes de la picota para romper la muestra.	100-250	AGUA SUBTERRANEA	Seco	✓	(15)	Humedo	✓	(10)	Mojado	✓	(7)	Goteo	✓	(4)	Flujo	✓	(4)		✓	(0)	5									
Med	Moderado	R6	Solo se rompe esquinas c/ la picota	>250	RMR	80 - 81	✓	(10)	80 - 81	✓	(10)	60 - 81	✓	(5)	60 - 81	✓	(5)	40 - 31	✓	(7)	40 - 31	✓	(4)	30 - 21	20 - 0								
Muy	Muy alterado	R6	Solo se rompe esquinas c/ la picota	>250	DESCRIPCION	I Muy Buena	✓	(8)	I Buena	✓	(8)	II Buena	✓	(8)	III Regular A	✓	(8)	IV Regular B	✓	(8)	V Mala A	✓	(8)	IVB Mala B	V muy Mala								

SONDAJE		COORDENADAS		E :		N :		Cota :		4044.8863		Realiz :		D. Gavilan		Hoja		Pág.													
DDH-116-U-19		ORIENTACION		Azimut :		Inclinación :		Longitud :		280		Fecha :		29/03/2019																	
Intervalo de Profundidad		Longitud del tramo		Longitud (ROD)		Litología		Grado de Alteración		Resistenc. Compres. Roca Intacta		RQD (%)		RC (1)		RQD (2)		Esp (3)		Parámetros de RMR		Agua		RMR		Descripción					
Desde (m)		Hasta (m)																		Condición de juntas (4)		Total									
																				Per		Ap		Rug		Rel		Alt			
230.68	232.23	1.55	1.55	Do	Ligero	R4	100	7	20	8	4	0	3	2	5	7	56										Roca Tipo II				
232.23	235.23	3.00	2.47	Anh	Ligero	R4	82	7	17	8	4	0	3	2	3	7	51										Roca Tipo II				
235.23	238.23	3.00	2.96	Anh	Ligero	R4	99	7	20	10	4	3	3	2	5	7	61										Roca Tipo II				
238.23	241.23	3.00	2.90	Do	Ligero	R4	97	7	20	10	4	3	3	2	5	7	61										Roca Tipo II				
241.23	244.23	3.00	2.96	Do	Ligero	R4	99	7	20	10	4	5	3	2	5	7	63										Roca Tipo II				
244.23	247.21	2.98	2.62	Anh	Ligero	R4	88	7	17	10	4	1	3	2	5	7	56										Roca Tipo II				
247.21	250.13	2.92	2.83	Anh	Ligero	R4	97	7	20	10	4	1	3	2	5	7	59										Roca Tipo II				
250.13	253.17	3.04	2.92	Do	Ligero	R4	96	7	20	10	4	1	3	2	5	7	59										Roca Tipo II				
253.17	254.93	1.76	1.60	Anh	Ligero	R4	91	7	20	10	4	1	3	2	5	7	59										Roca Tipo II				
254.93	256.43	1.50	0.69	Falla	Moderado	R3	46	4	6	5	4	0	3	2	1	7	32										Roca Tipo IV				
256.43	258.13	1.70	0.23	Falla	Moderado	R3	14	4	3	5	4	0	3	2	1	7	29										Roca Tipo IV				
258.13	259.64	1.51	1.45	Do	Moderado	R3	96	4	20	8	4	1	3	2	3	7	52										Roca Tipo II				
259.64	262.66	3.02	2.98	Anh	Ligero	R4	99	7	20	10	4	1	3	2	5	7	59										Roca Tipo II				
262.66	265.76	3.10	3.10	Do	Ligero	R4	100	7	20	10	4	3	3	2	5	7	61										Roca Tipo II				
265.76	268.78	3.02	2.84	Do	Ligero	R4	94	7	20	10	4	3	3	2	5	7	61										Roca Tipo II				
268.78	271.78	3.00	2.93	Anh	Ligero	R4	98	7	20	10	4	3	3	2	5	7	61										Roca Tipo II				
271.78	274.78	3.00	3.00	Do	Ligero	R4	100	7	20	10	4	5	3	2	5	7	63										Roca Tipo II				
274.78	277.78	3.00	3.00	Anh	Ligero	R4	100	7	20	10	4	5	3	2	5	7	63										Roca Tipo II				
277.78	280.78	3.00	2.00	Do	Ligero	R4	67	7	17	8	4	0	3	2	3	7	51										Roca Tipo II				
LITOLOGIA		RESISTENCIA A LA ROCA INTACTA		MPa																											
Ciz	Caliza	R1	Deleznable con golpes firmes, se desmenuza con una cuchilla.	1-5	RESIST. COMP. UNIA. R Q D (%)	>250	(15)	100-250	(12)	50-100	(7)	25-50	(4)	<25	(1)	(10)	(6)	1													
Anh	Anhidrita					>90-100	(20)	75-90	(17)	50-75	(10)	25-50	(8)	<25	(3)	2															
Volc	Volcanico	R2	Marcas no profundas o cuchilla. No se rompen con golpes firmes.	5-25	ESPACIAMIENTO	>2	(20)	0.6-2	(15)	0.2-0.6	(10)	0.06-0.2	(8)	<0.05	(5)	3															
Do	Dolomia					Persistencia	<1m long	(6)	1-3 m Long	(4)	3-10 m	(2)	10-20 m	(1)	<20 m	(0)	4A														
Anh-Ciz	Anhidrita en Caliza	R3	No se rompen con golpes firmes. Solo se rompe con golpe firme de picota.	25-50	COND. DE JUNTAS	Cerrada	(8)	<1mm apert.	(5)	0.1-1mm	(4)	1-5 mm	(1)	>5 mm	(0)	4B															
Falla	Falla					Rugosidad	Muy rugosa	(8)	Rugosa	(5)	Lig. Rugosa	(3)	Lisa	(1)	Espejo Falla	(0)	4C														
San	Sano	R4	La muestra se rompe con mas de un golpe de picota.	50-100	Rellenos	Duro <5mm	(4)	Duro <5mm	(2)	Suave <5 m	(1)	Suave <5mm	(0)	4D																	
Lig	Ligero					Alteración	Sana	(6)	Lig. Alter	(5)	Mod. Alterada	(3)	Muy Alterada	(2)	Descompuesta	(0)	4E														
Mod	Moderado	R5	Se requiere varios golpes de la picota para romper la muestra.	100-250	AGUA SUBTERRANEA	Seco	(15)	Húmedo	(10)	Mojado	(7)	Goteo	(4)	Flujo	(0)	5															
Muy	Muy alterado					RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0																		
						DESCRIPCION		I Muy Buena		II Buena		III Regular A		IV Regular B		V Mala A		VI Mala B													

ANEXO C: MAPEO GEOMECÁNICO

		MAPEO GEOMECÁNICO DE DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS				POR: C.C.N-D.G.R					
PROYECTO: Evaluación Geomecánica para el Minado Subterráneo del Cruce 850		FECHA: 2017		HOJA: 01							
UBICACIÓN: KC 850											
N° ESTACIÓN	ORIENTACIÓN DE LA LABOR		TRAMO		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)						
	AZIMUT		DESDE	HASTA							
E-01			0	6.6							
TIPO DE ROCA					RANGO DE VALORES						
FRECUENCIA FRACTURA N° fract./ ml.					VALOR ESTIMADO						
A	%	B	%								
AND	100	-	-	12							
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACIÓN		ESPACIAMIENTO	RELLENO		CONDICION DE JUNTAS					
	DIREC. BUZ.	BUZAMIENTO		TIPO	ESPESOR						
D	310°	87°	3	Ox-Py	0-1 mm						
D	005°	34°	3	Ox-Py	0-1 mm						
D	006°	33°	3	Ox-Py	0-1 mm						
D	270°	85°	3	Ox-Py	0-1 mm						
D	005°	34°	3	Ox-Py	0-1 mm						
D	111°	79°	2	Ox-Py	0-1 mm						
D	209°	75°	3	Ox-Py	0-1 mm						
D	210°	85°	3	Ox-Py	0-1 mm						
D	006°	37°	3	Ox-Py	0-1 mm						
D	112°	65°	2	Ox-Py	0-1 mm						
D	034°	85°	2	Ox-Py	0-1 mm						
D	190°	70°	4	Ox-Py	0-1 mm						
D	110	30°	2	Ox-Py	0-1 mm						
D	016°	44°	2	Ox-Py	0-1 mm						
D	030°	72°	3	Ox-Py	0-1 mm						
D	140°	85°	3	Ox-Py	0-1 mm						
D	025°	87°	3	Ox-Py	0-1 mm						
D	117°	57°	3	Ox-Py	0-1 mm						
D	115°	59°	3	Ox-Py	0-1 mm						
D	145°	81°	3	Ox-Py	0-1 mm						
AGUA SUBTERRANEA: X Seco (15) Húmedo (10) Mojado (7) Goteo (4) Flujo (0)					VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = 72						
CLASE DE MACIZO ROCOSO					RMR: 100 - 81 80 - 61 60 - 51 50 - 41 40 - 31 30 - 21 20 - 0						
DESCRIPCION: I Muy Buena II Buena IIIA Regular A IIIB Regular B IVA Mala A IVB Mala B V muy Mala					II						
RL (NUMERO DE REBOTE)					40 38 40 42						
ABREVIACION TIPO DE ESTRUCTURAS					ABREVIACION DE TIPO DE ROCA						
J	Junta	C	Contacto	CLZ	Caliza	AND	Andesita				
F	Falla	D	Diaclasa	PY	Pirita	DOL	Dolomita				
ABREVIACION TIPO DE RELLENO											
Ox	Oxidos	Py	Pirita								
Arc	Arcillas	Li	Limos								
Cb	Carbonatos	Hem	Hematita								
ABREVIACION ESPACIAMIENTO					RANGO UCS (Mpa)						
1	> 2 m	R1	1 - 5								
2	0.6 - 2 m.	R2	5 - 25								
3	0.2 - 0.6 m.	R3	25 - 50								
4	0.06 - 0.2 m.	R4	50 - 100								
5	< 0.06 m.	R5	100 - 250								
		R6	>250								
Evaluación Geomecánica para el Minado Subterráneo de la veta Kris											
Estación E-01 Calliza					16 poles						

N° ESTACIÓN	ORIENTACION DE LA LABOR		TRAMO		
	AZMUT	DESDE	HASTA		
E-02	230	0	4		
TIPO DE ROCA		FRECUENCIA FRACTURA N° fract / ml.			
A	%	B	%		
AND	100	-	-		
TIPO ESTRUC.	ORIENTACION		RELLENO		COMENTARIOS
	DIREC. BUZ.	BUZAMIENTO	TIPO	ESPESOR	
J	134	75	Py	0-1 mm	
J	135	82	Py	0-1 mm	
J	230	65	Py	0-1 mm	
J	135	76	Py	0-1 mm	

PARAMETRO	RANGO DE VALORES VALOR ESTIMADO							VALORACION	
	>250	100-250	50-100	25-50	<25(2) <5(1) <1(0)				
RESIST. COMP. UNIAX.	(15)	(12)	X (7)	(4)	(0)			1	7
R.O.D (%)	(20)	(17)	X (13)	(8)	(3)			2	13
ESPACIAMIENTO	(20)	(15)	X (10)	(8)	(5)			3	10
CONDICION DE JUNTAS	Persistencia	<1m long. (8)	X 1-3 m Long. (4)	3-10 m (2)	10-20 m (1)	<20 m (0)	4A	4	
	Apertura	Cerrada (8)	<1mm aper. (5)	X 0.1-1 mm (4)	1-5 mm (1)	> 5mm (0)	4B	4	
	Rugosidad	Muy rugosa (8)	Rugosa (5)	X Lig. Rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo Falla (0)	4C	3	
	Releno	Limpia (8)	Duro>5mm (4)	X Duro>5mm (2)	Suave < 5 m (1)	Suave> 5mm (0)	4D	1	
	Alteración	Sana (8)	Lig. Alter. (5)	X Mod. Alterada (3)	Muy Alterada (2)	Descompuesta (0)	4E	3	
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Húmedo (10)	X Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)		5	7	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =									52
CLASE DE MACIZO ROCOSO									
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0	III A	
DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	III Regular A	III Regular B	IV Mala A	IVB Mala B	V muy Mala		

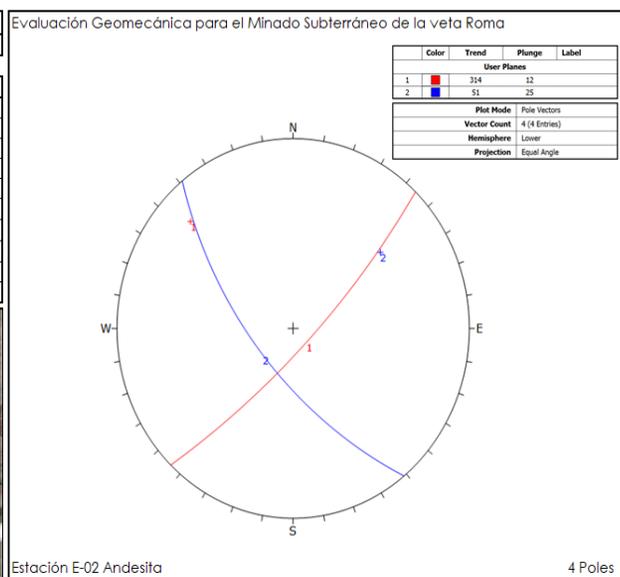
RL (NUMERO DE REBOTE)			
50	48	48	52
J	ROD	J	ROD

ABREVIACION TIPO DE ESTRUCTURAS			
J	Junta	C	Contacto
F	Falla	mF	Microfalla

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA			
CLZ	Caliza	AND	Andesita
PY	Pirita	DOL	Dolomita

ABREVIACION TIPO DE RELLENO			
Ox	Oxidos	Py	Pirita
Arc	Arcillas	Li	Limos
Cb	Carbonatos	Hem	Hematita

ABREVIACION ESPACIAMIENTO	RANGO UCS (Mpa)		
	R1	1 - 5	
1	> 2 m	R2	5 - 25
2	0.6 - 2 m.	R3	25 - 50
3	0.2 - 0.6 m.	R4	50 - 100
4	0.06 - 0.2 m.	R5	100 - 250
5	< 0.06 m.	R6	>250



PAN AMERICAN SILVER		MAPEO GEOMECÁNICO DE DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS				POR: D. Gavilan		PLANEAMIENTO DEPARTAMENTO DE GEOMECÁNICA						
PROYECTO:		Evaluación Geomecánica para el Minedo Subterráneo del Cruce 850				FECHA: 2018								
UBICACIÓN:		XC 850				HOJA: 01								
N°	ESTACIÓN	ORIENTACION DE LA LABOR		TRAMO		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)								
		AZIMUT		DESDE	HASTA									
	E-04			0	4									
TIPO DE ROCA		FRECUECIA FRACTURA		N° fract/										
A	%	B	%	ml.										
	100			12										
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO	RELLENO		COMENTARIOS								
	DIREC. BUZ.	BUZAMIENTO		TIPO	ESPESOR									
D	020°	74°	3	Py	c									
D	145°	65°	3	Py	c									
D	255°	68°	3	Py	c									
D	258°	68°	3	Py	c									
D	280°	82°	2	Py	c									
D	005°	75°	2	Py	c									
D	080°	76°	3	Py	c									
D	100°	37°	3	Py	c									
D	295°	80°	3	Py	c									
D	110°	43°	3	Py	c									
D	005°	31°	3	Py	c									
D	330°	31°	3	Py	c									
ABREVIACION TIPO DE ESTRUCTURAS		ABREVIACION DE TIPO DE ROCA												
J	Junta	C	Contacto	CLZ	Caliza	AND	Andesita							
F	Falla	D	Diaclassa	PY	Pirita	DOL	Dolomita							
ABREVIACION TIPO DE RELLENO														
Ox	Oxidos	Py	Pirita											
Arc	Arcillas	Li	Limos											
Cb	Carbonatos	Hem	Hematita											
ABREVIACION ESPACIAMIENTO		RANGO UCS (Mpa)												
1	> 2 m	R1	1 - 5											
2	0.6 - 2 m.	R2	5 - 25											
3	0.2 - 0.6 m.	R3	25 - 50											
4	0.06 - 0.2 m.	R4	50 - 100											
5	< 0.06 m.	R5	100 - 250											
		R6	>250											
PARAMETRO		RANGO DE VALORES VALOR ESTIMADO						VALORACION						
RESIST. COMP. UNIAX.	>250	(15)	100-250	(12)	X	50-100	(7)	25-50	(4)	<25(2) <S(1) <I(0)	(0)	1	7	
R.Q.D (ft)	90-100	(20)	X	75-90	(17)	50-75	(13)	25-50	(8)	<25	(3)	2	17	
ESPACIAMIENTO	>2	(20)	0.6-2	(15)	X	0.2-0.6	(10)	0.06-0.2	(6)	<0.05	(5)	3	10	
CONDICION DE JUNTAS	Persistencia	<1m long.	(6)	X	1-3 m Long.	(4)	3-10 m	(2)	10-20 m	(1)	<20 m	(0)	4A	4
	Apertura	Cerrada	(6)	X	<1mm aper.	(5)	0.1-1mm	(4)	1-5 mm	(1)	>5mm	(0)	4B	5
	Rugosidad	Muy rugosa	(6)	X	Rugosa	(5)	Lig. Rugosa	(3)	Lisa	(1)	Espejo Falla	(0)	4C	6
	Relleno	Limpia	(6)	X	Duro<5mm	(4)	Duro>5mm	(2)	Suave <5 m	(1)	Suave>5mm	(0)	4D	4
	Alteración	Sana	(6)	X	Lig. Alter	(5)	Mod. Alterada	(3)	Muy Alterada	(2)	Descompuesta	(0)	4E	5
AGUA SUBTERRANEA	X	Seco	(15)	Húmedo	(10)	Mojado	(7)	Goteo	(4)	Flujo	(0)	5	15	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =											73			
CLASE DE MACIZO ROCOSO														
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0							
DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	IIIA Regular A	IIIB Regular B	IVA Mala A	IVB MALA B	V muy Mala							
RL (NUMERO DE REBOTE)														
40	42	42	38											
J	RQD	J	RQD											
Evaluación Geomecánica para el Minedo Subterráneo de la veta Kris														
				Color				Trend		Plunge		Label		
User Planes														
1		325	29											
2		49	58											
Estación E-02 Caliza											20 poles			

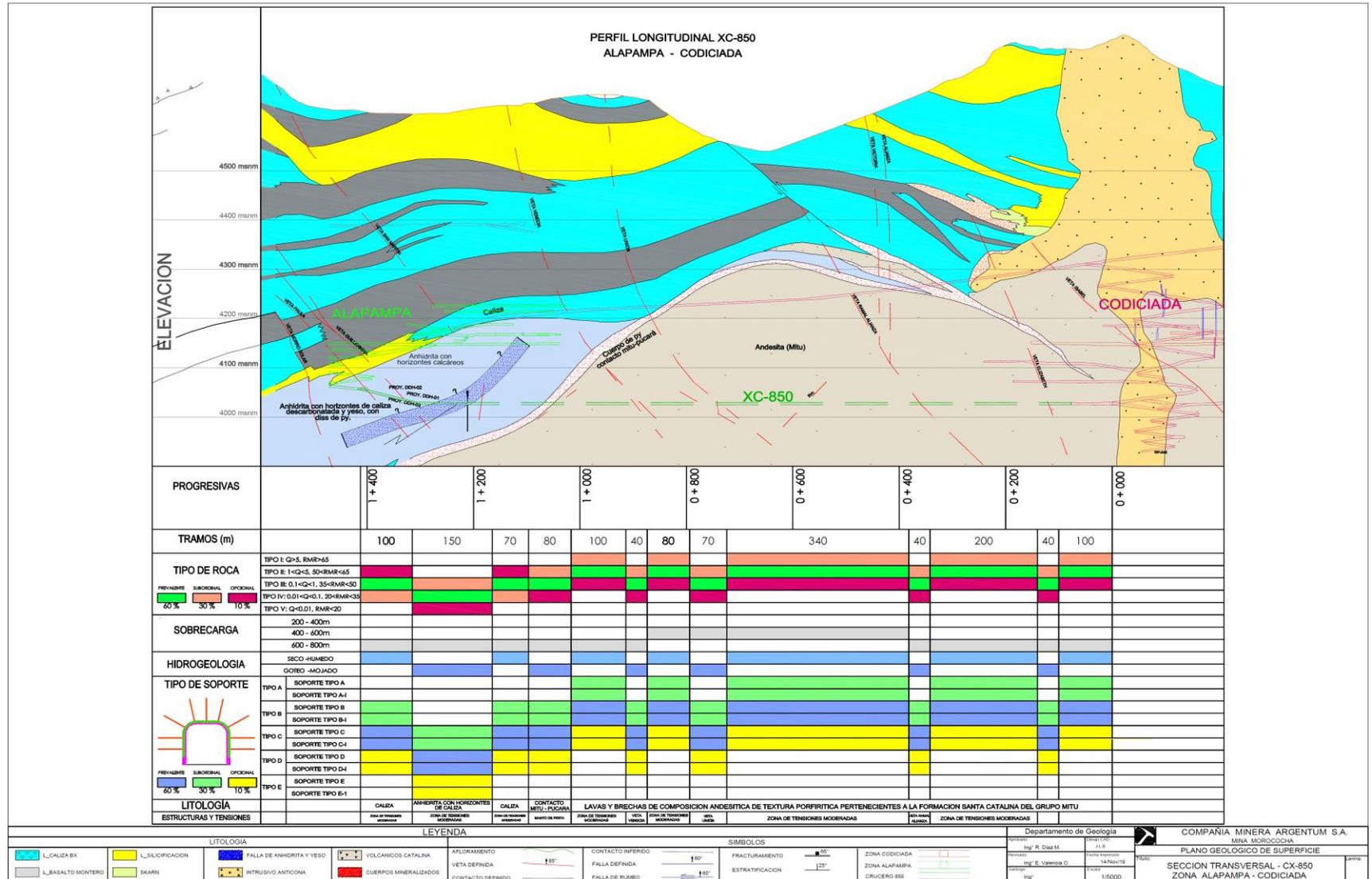
ANEXOS D: PU DE COSTOS DE AVANCE Y SOSTENIMIENTO

DESCRIPCIÓN							
XC 850 - 4.50 X 4.0 MECANIZ. SCOOP Y JUMBO - PERNO							
Voladura Controlada							
PARAMETROS PRINCIPALES							
Tipo de Roca			Media				
Ancho de Labor			4.5	MTS			
Altura de Labor			4	MTS			
Equipo de Limpieza			SCOOP (4 YD3)				
Nro Total de Taladros			44	TAL			Incluye tal alivio corona cada 0.4m
Taladros de Alivio Rimados			4	TAL			
Taladros de Alivio Corona voladura controlada			4			0.30	
Long. de Perforacion			3.500	MTS	505.25		pies
Volumen insitu (M3)			56.70	M3	168.00		MTS
Factor de Avance			39.68	KG/MT			
esponjamiento			50%			2.2	KG/m3
Rendimiento			3.15	MTS			
Volumen insitu m3			56.70				
Volumen Movido (M3/)			85.05	M3			
Velocidad de Perforacion			65.00	MTS/HR			
Rendimiento scoop 4 yd3 (acarreo): 150 m			25.16	m3/h	50.57		Tn /hr
SUB-PARTIDAS	N° Labores	Incidencia	UNIDAD	PRECIO \$/.	CANTIDAD	SUB TOTAL	\$ / x Metro
a. MANO DE OBRA							
Jumbero			H-H	6.76	4.58	9.84	
Cargador			H-H	6.00	5.13	9.78	
Ayudante Cargador			H-H	6.00	5.13	9.78	
Scoopero			H-H	6.66	5.38	11.38	
Bodeguero	9.8387	10%	H-H	6.66	1.53	3.24	
Capataz/Lider	9.8387	30%	H-H	6.76	5.13	11.01	
SUB TOTAL MANO DE OBRA					35.79	56.02	
b. IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD							
Implementos Perforistas Horizontal			Hora	1.02	19.97	6.50	
Implementos Otros trabajadores labor horizontal			Hora	0.76	15.82	3.81	
SUB TOTAL IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD						10.31	
c. MATERIALES Y HERRAMIENTAS							
Herramientas Labores Horizontales			Gdia	6.71	1.86	3.95	
Costo Aceros de perforacion			ml	0.41	168.00	21.87	
Cancamos			UND	2.78	5.00	4.42	
Combustible scoop			Galon	3.06	15.21	14.76	
tuberia 4"			m	4.57	1.00	4.57	
SUB TOTAL MATERIALES Y HERRAMIENTAS						49.57	
d. EXPLOSIVOS							
Semexsa 1 1/2" x 12" (cebo)			Kg	1.77	25.00	14.07	
Anfo			kg	0.66	100.00	20.95	
Exsanel 4.20 m			pza	1.01	36.00	11.57	
Carmex 7 ft			pza	0.68	2.00	0.43	
Mecha Rápida			m	0.37	1.00	0.12	
Pentacord			m	0.17	40.00	2.19	
SUB TOTAL EXPLOSIVOS						49.33	
e. EQUIPOS							
Camión de Servicios		20%	H-M	9.00	2.00	5.71	
scoop 4,0 yd3 (acarreo): 150 m			H-M	80.00	3.38	85.84	
Jumbo			H-M	100.00	2.58	82.05	
			H-M		3.38		
SUB TOTAL EQUIPOS						173.61	
f.-Energia Electrica							
SUB TOTAL ENERGIA ELECTRICA Ventiladores (5 ventiladore global)			\$/m	49	1.00	48.87	
g.-Traslado con volquete a superficie							
Traslado con volquete a superficie		US\$/ton	2.0				\$ / x Metro
D desmonte	2.7						
para frente 4.5x4.0 x 1 m avance	18	m3	Ton	48.60			
SUB TOTAL TRASLADO desmonte x m avance						97.20	
h.- Costo sostenimiento							
Pernos				incidencia	US\$/m		\$ / x Metro
N° pernos x m avance	6			1.00			
Costo x perno Swellex	US\$ /perno	11.10					
costo pernos	\$/m					66.60	
Malla electrosoldada							
m2 malla x m avance	10.50			0.30			
Malla electrosoldada	US\$ /m2	3.40					
costo malla electrosoldada	\$/m					10.71	
Shotcrete							
shotcrete	260			0.00			
Rendimiento Shotcrete	13		m2/m3 2" espesor			0.00	
Cimbra 4.5 x4.0							
rendimiento	1		cimbra/m	0.00			
SUB TOTAL COSTO SOSTENIMIENTO						77.31	77.31
Total US \$ M avance(incluye M.O, materiales,Jumbo,Scoop, traslado volquete) Argentum					US \$ /M		
RESUMEN COSTO X 1 M DE AVANCE							
TOTAL COSTO COSTO DIRECTO					\$/.x Metro	561.22	
GASTOS GENERALES		15.00%				84.18	
UTILIDADES		10.00%				56.12	

DESCRIPCIÓN						
XC 850 - 4.50 X 4.0 MECANIZ. SCOOP Y JUMBO - PERNO-MALLA						
Voladura Controlada						
PARAMETROS PRINCIPALES						
Tipo de Roca			Media			
Ancho de Labor			4.5	MTS		
Altura de Labor			4	MTS		
Equipo de Limpieza			SCOOP (4 YD3)			
Nro Total de Taladros			44	TAL		Incluye tal allivio corona cada 0.4m
Taladros de Alivio Rimados			4	TAL		
Taladros de Alivio Corona voladura controlada			4		0.30	
Long. de Perforacion			3.500	MTS	505.25	pies
Volumen insitu (M3)			56.70	M3	168.00	MTS
Factor de Avance			39.68	KG/MT		
esponjamiento			50%		2.2	KG/m3
Rendimiento			3.15	MTS		
Volumen insitu m3			56.70			
Volumen Movido (M3/)			85.05	M3		
Velocidad de Perforacion			65.00	MTS/HR		
Rendimiento scoop 4 yd3 (acarreo): 150 m			25.16	m3/h	50.57	Tn /hr
SUB-PARTIDAS	N° Labores	Incidencia	UNIDAD	PRECIO \$/.	CANTIDAD	SUB TOTAL \$ / x Metro
a. MANO DE OBRA						
Jumbero			H-H	6.76	4.58	9.84
Cargador			H-H	6.00	5.13	9.78
Ayudante Cargador			H-H	6.00	5.13	9.78
Scoopero			H-H	6.66	5.38	11.38
Bodeguero	9.8387	10%	H-H	6.66	1.53	3.24
Capataz/Lider	9.8387	30%	H-H	6.76	5.13	11.01
SUB TOTAL MANO DE OBRA					35.79	65.02
b. IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD						
Implementos Perforistas Horizontal			Hora	1.02	19.97	6.50
Implementos Otros trabajadores labor horizontal			Hora	0.76	15.82	3.81
SUB TOTAL IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD						10.31
c. MATERIALES Y HERRAMIENTAS						
Herramientas Labores Horizontales			Gdia	6.71	1.86	3.95
Costo Aceros de perforacion			ml	0.41	168.00	21.87
Cancamos			UND	2.78	5.00	4.42
Combustible scoop			Galon	3.06	15.21	14.76
tuberia 4"			m	4.57	1.00	4.57
SUB TOTAL MATERIALES Y HERRAMIENTAS						49.57
d. EXPLOSIVOS						
Semexsa 1 1/2" x 12" (cebo)			Kg	1.77	25.00	14.07
Anfo			kg	0.66	100.00	20.95
Exsanel 4.20 m			pza	1.01	36.00	11.57
Carmex 7 ft			pza	0.68	2.00	0.43
Mecha Rápida			m	0.37	1.00	0.12
Pentacord			m	0.17	40.00	2.19
SUB TOTAL EXPLOSIVOS						49.33
e. EQUIPOS						
Camión de Servicios		20%	H-M	9.00	2.00	5.71
scoop 4,0 yd3 (acarreo): 150 m			H-M	80.00	3.38	85.84
Jumbo			H-M	100.00	2.58	82.05
			H-M		3.38	
SUB TOTAL EQUIPOS						173.61
f.-Energia Electrica.						
SUB TOTAL ENERGIA ELECTRICA Ventiladores (5 ventilador global)			\$/m	49	1.00	48.87
g.-Traslado con volquete a superficie						
Traslado con volquete a superficie						\$ / x Metro
D desmonte	2.7		US\$/ton	2.0		
para frente 4.5x4.0 x 1 m avance	18	m3	Ton	48.60		
SUB TOTAL TRASLADO desmonte x m avance						97.20
h.- Costo sostenimiento						
Pernos						
N° pernos x m avance	6		incidencia		US\$/m	
Costo x perno Swellelex	US\$ /perno	11.10				
costo pernos	\$/m					66.60
Malla electrosoldada						
m2 malla x m avance	10.50			1.00		
Malla electrosoldada	US\$ /m2	3.40				
costo malla electrosoldada	\$/m					35.70
Shotcrete						
shotcrete	260			0.40		
Rendimiento Shotcrete	13	m2/m3 2" espesor				144.00
Cimbra 4.5 x4.0						
rendimiento	1	cimbra/m		0.00		0.00
SUB TOTAL COSTO SOSTENIMIENTO					246.30	246.30
Total US \$ M avance(incluye M.O., materiales,Jumbo,Scoop, tralaso volquete) Argentum					US \$ /M	
RESUMEN COSTO X 1 M DE AVANCE						
TOTAL COSTO DIRECTO					\$/.x Metro	730.21
GASTOS GENERALES			15.00%			109.53
UTILIDADES			10.00%			73.02

DESCRIPCIÓN						
XC 850 - 4.50 X 4.0 MECANIZ. SCOOP Y JUMBO - SHOTCRETE-PERNO						
Voladura Controlada						
PARAMETROS PRINCIPALES						
Tipo de Roca		Media				
Ancho de Labor		4.5	MTS			
Altura de Labor		4	MTS			
Equipo de Limpieza		SCOOP (4 YD3)				
Nro Total de Taladros		44	TAL			Incluye tal alivio corona cada 0.4m
Taladros de Alivio Rimados		4	TAL			
Taladros de Alivio Corona	voladura controlada	4			0.30	
Long. de Perforacion		3.500	MTS		505.25	pies
Volumen insitu (M3)		56.70	M3		168.00	MTS
Factor de Avance		39.68	KG/MT			
esponjamiento		50%			2.2	KG/m3
Rendimiento		3.15	MTS			
Volumen insitu m3		56.70				
Volumen Movido (M3/)		85.05	M3			
Velocidad de Perforacion		65.00	MTS/HR			
Rendimiento scoop 4 yd3 (acarreo): 150 m		25.16	m3/h		50.57	Tn /hr
SUB-PARTIDAS	Nº Labores	Incidencia	UNIDAD	PRECIO	CANTIDAD	SUB TOTAL
				\$/.		\$/ x Metro
a. MANO DE OBRA						
Jumbero			H-H	6.76	4.58	9.84
Cargador			H-H	6.00	5.13	9.78
Ayudante Cargador			H-H	6.00	5.13	9.78
Scoopero			H-H	6.66	5.38	11.38
Bodeguero	9.8387	10%	H-H	6.66	1.53	3.24
Capataz/Lider	9.8387	30%	H-H	6.76	5.13	11.01
SUB TOTAL MANO DE OBRA					35.79	56.02
b. IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD						
Implementos Perforistas Horizontal			Hora	1.02	19.97	6.50
Implementos Otros trabajadores labor horizontal			Hora	0.76	15.82	3.81
SUB TOTAL IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD						10.31
c. MATERIALES Y HERRAMIENTAS						
Herramientas Labores Horizontales			Gdia	6.71	1.86	3.95
Costo Aceros de perforacion			ml	0.41	168.00	21.87
Cancamos			UND	2.78	5.00	4.42
Combustible scoop			Galon	3.06	15.21	14.76
tuberia 4"			m	4.57	1.00	4.57
SUB TOTAL MATERIALES Y HERRAMIENTAS						49.57
d. EXPLOSIVOS						
Semexsa 1 1/2" x 12" (cebo)			Kg	1.77	25.00	14.07
Anfo			kg	0.66	100.00	20.95
Exsanel 4.20 m			pza	1.01	36.00	11.57
Carmex 7 ft			pza	0.68	2.00	0.43
Mecha Rápida			m	0.37	1.00	0.12
Pentacord			m	0.17	40.00	2.19
SUB TOTAL EXPLOSIVOS						49.33
e. EQUIPOS						
Camión de Servicios		20%	H-M	9.00	2.00	5.71
scoop 4,0 yd3 (acarreo): 150 m			H-M	80.00	3.38	85.84
Jumbo			H-M	100.00	2.58	82.05
SUB TOTAL EQUIPOS					3.38	173.61
f.-Energia Electrica.						
SUB TOTAL ENERGIA ELECTRICA Ventiladores (5 ventiladore global)				\$/m	49	1.00
						48.87
g.-Traslado con volquete a superficie						
						\$/ x Metro
Traslado con volquete a superficie			US\$/ton	2.0		
D desmonte	2.7					
para frente 4.5x4.0 x 1 m avance	18	m3	Ton	48.60		
SUB TOTAL TRASLADO desmonte x m avance						97.20
h.- Costo sostenimiento						
						\$/ x Metro
Pernos						
Nº pernos x m avance	6			incidencia	US\$/m	
Costo x perno Swellex	US\$ /perno	11.10		1.00		
costo pernos	\$/m				66.60	
Malla electrosoldada						
m2 malla x m avance	10.50			0.00		
Malla electrosoldada	US\$ /m2	3.40				
costo malla electrosoldada	\$/m				0.00	
Shotcrete						
shotcrete	260	\$/m3		1.00		
Rendimiento Shotcrete	7.5	m2/m3	4" espesor		624.00	
Cimbra 4.5 x4.0						
rendimiento	1	cimbra/m		0.00	0.00	
SUB TOTAL COSTO SOSTENIMIENTO					690.60	690.60
Total US \$ M avance(incluye M.O, materiales,Jumbo,Scoop, tralaso volquete) Argentum					US \$ /M	
RESUMEN COSTO X 1 M DE AVANCE						
TOTAL COSTO DIRECTO					\$/ x Metro	1,174.51
GASTOS GENERALES			15.00%		176.18	
UTILIDADES			10.00%		117.45	

DESCRIPCIÓN						
XC 850 - 4.50 X 4.0 MECANIZ. SCOOP Y JUMBO - CIMBRA-SHOTCRETE						
Voladura Controlada						
PARAMETROS PRINCIPALES						
Tipo de Roca	Media					
Ancho de Labor	4.5	MTS				
Altura de Labor	4	MTS				
Equipo de Limpieza	SCOOP (4 YD3)					
Nro Total de Taladros	44	TAL			Incluye tal alivio corona cada 0.4m	
Taladros de Alivio Rimados	4	TAL				
Taladros de Alivio Corona voladura controlada	4			0.30		
Long. de Perforacion	3.500	MTS		505.25	pies	
Volumen insitu (M3)	56.70	M3		168.00	MTS	
Factor de Avance	39.68	KG/MT				
esponjamiento	50%			2.2	KG/m3	
Rendimiento	3.15	MTS				
Volumen insitu m3	56.70					
Volumen Movido (M3/)	85.05	M3				
Velocidad de Perforacion	65.00	MTS/HR				
Rendimiento scoop 4 yd3 (acarreo): 150 m	25.16	m3/h		50.57	Tn /hr	
SUB-PARTIDAS	N° Labores	Incidencia	UNIDAD	PRECIO \$/.	CANTIDAD	SUB TOTAL \$ / x Metro
a. MANO DE OBRA						
Jumbero			H-H	6.76	4.58	9.84
Cargador			H-H	6.00	5.13	9.78
Ayudante Cargador			H-H	6.00	5.13	9.78
Scoopero			H-H	6.66	5.38	11.38
Bodeguero	9.8387	10%	H-H	6.66	1.53	3.24
Capataz/Lider	9.8387	30%	H-H	6.76	5.13	11.01
SUB TOTAL MANO DE OBRA					35.79	55.02
b. IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD						
Implementos Perforistas Horizontal			Hora	1.02	19.97	6.50
Implementos Otros trabajadores labor horizontal			Hora	0.76	15.82	3.81
SUB TOTAL IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD						10.31
c. MATERIALES Y HERRAMIENTAS						
Herramientas Labores Horizontales			Gdia	6.71	1.86	3.95
Costo Aceros de perforacion			ml	0.41	168.00	21.87
Cancamos			UND	2.78	5.00	4.42
Combustible scoop			Galon	3.06	15.21	14.76
tuberia 4"			m	4.57	1.00	4.57
SUB TOTAL MATERIALES Y HERRAMIENTAS						49.57
d. EXPLOSIVOS						
Semexsa 1 1/2" x 12" (cebo)			Kg	1.77	25.00	14.07
Anfo			kg	0.66	100.00	20.95
Exsanel 4.20 m			pza	1.01	36.00	11.57
Carmex 7 ft			pza	0.68	2.00	0.43
Mecha Rápida			m	0.37	1.00	0.12
Pentacord			m	0.17	40.00	2.19
SUB TOTAL EXPLOSIVOS						49.33
e. EQUIPOS						
Camión de Servicios		20%	H-M	9.00	2.00	5.71
scoop 4,0 yd3 (acarreo): 150 m			H-M	80.00	3.38	85.84
Jumbo			H-M	100.00	2.58	82.05
SUB TOTAL EQUIPOS						173.61
f.-Energia Electrica.						
SUB TOTAL ENERGIA ELECTRICA Ventiladores (5 ventilador global)				\$/m	49	1.00
g.-Traslado con volquete a superficie						\$/ x Metro
Traslado con volquete a superficie			US\$/ton	2.0		
D desmonte	2.7					
para frente 4.5x4.0 x 1 m avance	18	m3	Ton	48.60		
SUB TOTAL TRASLADO desmonte x m avance						97.20
h.- Costo sostenimiento						
Pernos				incidencia	US\$/m	\$/ x Metro
N° pernos x m avance	6			0.00		
Costo x perno Swellex	US\$ /perno	11.10				
costo pernos	\$/m				0.00	
Malla electrosoldada						
m2 malla x m avance	10.50			0.00		
Malla electrosoldada	US\$ /m2	3.40				
costo malla electrosoldada	\$/m				0.00	
Shotcrete						
shotcrete	260	\$/m3		1.00		
Rendimiento Shotcrete	7.5	m2/m3 4" espesor			624.00	
Cimbra 4.5 x4.0						
Rendimiento cimbra	1	cimbra/m		1.00	606.57	
SUB TOTAL COSTO SOSTENIMIENTO					1,230.57	1,230.57
Total US \$ M avance(incluye M.O., materiales,Jumbo,Scoop, tralaso volquete) Argentum					US \$ /M	
RESUMEN COSTO X 1 M DE AVANCE						
TOTAL COSTO DIRECTO					\$/x Metro	1,714.48
GASTOS GENERALES			15.00%		257.17	
UTILIDADES			10.00%		171.45	



LITOGIA L-CALIZA BK L-BASALTO MONTERO L-SLIFICACION SKARN FALLA DE ANHIDRITA Y YESO INTRUSIVO ANTICLINAL VOLCANICOS CATALINA CUERPOS MINERALIZADOS	LEYENDA AFILORAMIENTO VETA DEFINIDA CONTACTO DEFINIDO CONTACTO INFERNO FALLA DEFINIDA FALLA DE RUMBO	SIMBOLOS FRACTURAMIENTO ESTRATIFICACION ZONA CODICIADA ZONA ALAPAMPA CRUCERO 850	Departamento de Geología Ing. R. Diaz M. Ing. E. Valencia O. Ing.
---	--	--	--