

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



T E S I S

**Evaluación geomecánica del minado subterráneo de mina Carahuacra
para mejorar los estándares del minado - Compañía Minera Volcán
S.A.A.**

**Para optar el título profesional de:
Ingeniero de Minas**

Autor:

Bach. Daniel Moises SOTO SANCHEZ

Asesor:

Mg. Nieves Oswaldo GORA TUFINO

Cerro de Pasco – Perú – 2024

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



T E S I S

**Evaluación geomecánica del minado subterráneo de mina Carahuacra
para mejorar los estándares del minado - Compañía Minera Volcán
S.A.A.**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Ing. Toribio GARCIA CONTRERAS
PRESIDENTE

Mg. Silvestre Fabian BENAVIDES CHAGUA
MIEMBRO

Ing. Julio Cesar SANTIAGO RIVERA
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Facultad de Ingeniería de Minas
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 080-JUIFIM-2024

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Presentado por:

Bachiller. Daniel Moises, SOTO SANCHEZ

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:

Tests

Evaluación geomecánica del minado subterráneo de mina Carahuacra para mejorar los estándares del minado – Compañía Minera Volcan S.A.A.

Asesor:

Mg. Nieves Oswaldo GORA TUFINO

Índice de Similitud: **12 %**

Calificativo

APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 06 de marzo 2024.



Firmado digitalmente por AGUIRRE
AGUSTIN Arturo AداUTO
2215492045 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 06.03.2024 16:11:07 -05:00

Dr. Agustín Arturo AGUIRRE AداUTO
JEFE DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

C.c.
Archivo

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico con especial, cariño y aprecio a mis padres quienes son la fortaleza y motivo para mi formación personal y profesional, que me impulsan día a día en ser un hombre de bien.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento y reconocimiento a los Ingenieros de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión por su gran respaldo en mi formación académica, dejando sus enseñanzas; las mismas que me vienen sirviendo en mi desenvolvimiento en el campo laboral.

RESUMEN

Volcán Compañía Minera S.A.A., a través del presente Proyecto se realizó la valoración geomecánica de la roca del yacimiento Carahuacra, con la finalidad de encontrar el estándar de minado subterráneo para la mina Carahuacra, que genere eficiencia y seguridad.

Para lograr el objetivo sugerido, será preciso efectuar laboreos de campo, gabinete y necesariamente de laboratorio. En primer lugar, se requiere realizó las investigaciones básicas, con el propósito de establecer la investigación necesaria, para evaluar los elementos primordiales de la estabilidad, y determinar los parámetros geotécnicos básicos de la mina. Para que, en la siguiente fase, se integre los datos, con el fin de evaluar las condiciones de estabilidad de las excavaciones subterráneas.

En la primera parte de la investigación, se definirán las circunstancias naturales del depósito mineralizado, así mismo las características y la clasificación de la masa rocosa, desarrollando la evaluación geomecánica. Esta caracterización permite tener las áreas zonificadas de acuerdo al tipo de roca para efectuar el proceso de explotación. De acuerdo a lo efectuado se establecieron las propiedades físicas y los parámetros de resistencia de la masa rocosa y la estabilidad de las discontinuidades, así como también la presencia de agua y los esfuerzos in-situ.

Utilizar información geológica y geomecánica desarrollada a lo largo del tiempo. Investigación básica y áreas prioritarias de desarrollo. Excavación, Aberturas Máximas y Apoyo a la Excavación (permanente, temporal y tajeos); Respecto a la minería subterránea de Carahuacra.

Palabras claves: Geomecánica, Minado Subterráneo, Estándares de Minado.

ABSTRACT

Volcán Compañía Minera S.A.A., through this Project, the geomechanical evaluation of the rock mass of the Carahuacra deposit was carried out, in order to find the best standards of current underground mining, so that it is safe and efficient.

To meet the aforementioned objective, it was necessary to carry out field, laboratory and cabinet work. In a first stage, basic research was carried out, in order to obtain the necessary information, which allowed to evaluate the main factors of stability control, and estimate the basic geomechanical parameters. In a second stage, the information was integrated, in order to evaluate the stability conditions of the underground excavations.

As part of the basic investigations, the natural conditions of the site have been defined, the rock mass has been characterized and classified, based on geomechanical mapping. This characterization led to geomechanical zoning of the rock mass for underground mining. On the other hand, the physical properties and resistance parameters of the rock and discontinuities were determined, as well as the presence of water and in-situ stresses.

Use geological and geomechanical information developed over time. Basic research and priority areas of development. Excavation, Maximum Openings and Excavation Support (permanent, temporary and cutting); Regarding the underground mining of Carahuacra.

Keywords: Geomechanics, Underground Mining, Mining Standards.

INTRODUCCION

Volcán Compañía Minera propone efectuar la evaluación geomecánica del macizo rocoso del yacimiento Carahuacra, con la finalidad de mejorar el estándar de la explotación subterránea existente, para optimizar la seguridad y se efectuó un minado eficiente.

La explotación debe ser competente a la naturaleza de la mineralización, para que el minado tenga la factibilidad técnica requerida. Los datos técnicos deben ser perfeccionada por Volcán para determinando la eficiencia económica del minado aplicado, para asegurar la perspectiva económica estimada. Igualmente se tiene que definir cada uno de los escenarios naturales del cuerpo mineralizado, porque la geomecánica brinda los parámetros técnicos necesarios. Como producto de la operación de la mina, Volcán proporcionó los datos básicos referente a la geología, configuración del yacimiento, existencia, leyes y las situaciones hidrogeológicas del cuerpo mineralizado. Esta información básica es la que se utilizó, para la evaluación realizada.

Así mismo la evaluación geomecánica del cuerpo mineralizado, en primer lugar, estos trabajos fueron dirigidos a los estudios básicos, con la finalidad de conseguir los datos fundamentales que permita controlar la estabilidad con los parámetros geotécnicos de la Mina Carahuacra.

Con los datos obtenidos en las fases del estudio, se determinó del método de minado y se dimensiono todas las unidades estructurales agrupados al minado, diseñando el método de minado.

Principal objetivo para efectuar el presente estudio de investigación.

INDICE

Página.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION

INDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ANEXOS

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación	2
1.2.1.	Ubicación.....	2
1.2.2.	Accesibilidad.....	2
1.2.3.	Geología regional	3
1.2.4.	Geología estructural.....	4
1.2.5.	Geología local.....	6
1.3.	Formulación del problema.....	8
1.3.1.	Problema general	8
1.4.	Problemas específicos.....	8
1.5.	Formulación de objetivos	8
1.5.1.	Objetivo general	8
1.5.2.	Objetivos específicos.....	8
1.6.	Justificación de la investigación	9
1.7.	Limitaciones de la investigación	9

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1.	Antecedentes de estudio	10
2.2.	Bases teóricas - científicas.....	13

2.3.	Definición de términos básicos.....	30
2.4.	Formulación de hipótesis.....	33
2.4.1.	Hipótesis general.....	33
2.4.2.	Hipótesis específicas.....	33
2.5.	Identificación de las variables.....	33
2.5.1.	Variable independiente.....	33
2.5.2.	Variable dependiente.....	33
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores.....	34

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1.	Tipo de investigación.....	35
3.2.	Métodos de la investigación.....	35
3.3.	Diseño de la investigación.....	36
3.4.	Población y muestra.....	36
3.4.1.	Población.....	36
3.4.2.	Muestra.....	36
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	36
3.5.1.	Descripción de las técnicas empleadas.....	36
3.5.2.	Instrumentos.....	37
3.6.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	38
3.7.	Tratamiento estadístico.....	38
3.8.	Orientación ética filosófica y epistémica.....	38

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	39
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	59
4.3.	Prueba de hipótesis.....	72
4.4.	Discusión de resultados.....	72

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍCAS

ANEXOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

	Página.
Ilustración 1. Ubicación de Mina Carahuacra	2
Ilustración 2. Vista Panorámica de Mina Toquepala.....	3
Ilustración 3. Columna estratigráfica generalizada de la región.....	20
Ilustración 4. Veta Mary con potencia mayor a 1 m.....	28
Ilustración 5. Veta ML con potencia mayor a 0.2 m	29
Ilustración 6. Plano del Nivel 1020, geología mostrando los tres sectores mineralizados.....	41
Ilustración 7. Veta Mary - Estereográfico de Contornos del Compósito de Discontinuidades	43
Ilustración 8. Veta Mary - Diagrama Estereográfico de planos Principales del Compósito de Discontinuidades	43
Ilustración 9. Veta Mary - Diagrama de Roseta del Compósito de Discontinuidades.	44
Ilustración 10. Veta Maria Luisa - Estereográfico de Contornos del Compósito de Discontinuidades	44
Ilustración 11. Veta Maria Luisa - Diagrama Estereográfico de Planos Principales del Compósito de Discontinuidades	45
Ilustración 12. Veta Maria Luisa - Diagrama de Roseta del Compósito de Discontinuidades	45
Ilustración 13. Cuerpo Huaripampa - Estereográfico de Contornos del Compósito de Discontinuidades	46
Ilustración 14. Cuerpo Huaripampa - Diagrama Estereográfico de Planos Principales del Compósito de Discontinuidades	46
Ilustración 15. Cuerpo Huaripamapa - Diagrama de Roseta del Compósito de Discontinuidades	47
Ilustración 16. Ejemplo de la Zonificación Geomecánica.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1. Operacionalización de Variables Independientes.....	34
Tabla 2. Sistemas de discontinuidades estructurales.....	42
Tabla 3. Criterio para hallar el RMR del Macizo Rocoso.....	49
Tabla 4. Detalles del Macizo Rocoso de las tres Zonas	49
Tabla 5. Zonificación Geomecánica - Resumen.....	50
Tabla 6. Resultados de los ensayos con el martillo Schmidt.....	52
Tabla 7. Resultados de los ensayos de carga puntual.....	53
Tabla 8. Ensayos de Compresión Uniaxial – Resultados Años Anteriores.....	53
Tabla 9. Resultados de los ensayos de constantes elásticas	53
Tabla 10. Resultados de los ensayos de compresión triaxial.....	54
Tabla 11. Resultados de los ensayos de resistencia a la tracción.....	54
Tabla 12. Ensayos de Propiedades Físicas - Resultados	55
Tabla 13. Ensayos de Corte Directo en Discontinuidades – Resultados0.....	55
Tabla 14. Propiedades de resistencia de la masa rocosa	56
Tabla 15. Excavaciones Permanentes por Aberturas Máximas.....	61
Tabla 16. Sostenimiento para labores de avance permanentes.....	62
Tabla 17. Sostenimiento para labores de avance temporales	63
Tabla 18. Aberturas Máximas y Tiempos de Autosostenimiento para los Tajeos	64
Tabla 19. Longitud de las Dimensiones Máximas de Tajeos	66
Tabla 20. Métodos de Explotación Subterráneo en orden de acuerdo a sus costos	74

ÍNDICE DE ANEXOS

Página.

Anexo 1. Matriz de Consistencia

Anexo 2. Data Base del Mapeo Geomecánico de Labores Subterráneas

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

El estudio Geomecánico, es una herramienta fundamental para tener un control de las excavaciones y tener un proceso de explotación cumpliendo con los estándares de la minería y con el fin de evaluar las condiciones de estabilidad de las excavaciones.

El método de extracción debe adaptarse a todas estas condiciones naturales. Para que la extracción sea técnicamente factible y garantice viabilidad técnica y económica óptima.

Este marco debe definir cualquier estado natural del sitio, Desde una perspectiva, la geomecánica jugará un papel protagonista técnico. Como resultado del trabajo realizado y como parte de la operación minera, Los volcanes nos proporcionan información básica sobre geología, morfología. Por otro lado,

estación de pesaje de camiones denominada “Cut-Off”. En este punto existe un desvío de pista asfaltada paralela a la línea férrea que conduce hasta el pueblo de Yauli. A continuación, se debe seguir por un tramo de trocha afirmada que llega hasta la UEA Carahuacra. En total es un recorrido de 18 km desde la estación de pesaje de camiones. En la tabla 10 se pueden identificar las vías de acceso con sus respectivos tiempos de viaje.

Desplazamiento	Transporte	tiempo	Tipo De Vía
Lima – Calera Cut Off	Bus	5 hr	Carretera Asfaltada
Calera Cut Off - Yauli	Bus	20 min	Pista Asfaltada
Yauli – UEA Carahuacra	Bus	30 min	Trocha Afirmada

Ilustración 2. Vista Panorámica de Mina Toquepala.



1.2.3. Geología regional

En el flanco occidental del Anticlinal de Yauli podemos encontrar a la Unidad minera Carahuacra de Volcan Compañía Minera S.A.A, como una amplia

estructura regional de naturaleza del tipo domo. El Complejo Domal de Yauli, que representa una ventana de formaciones Paleozoicas dentro de la faja intracordillerana de formaciones Mesozoicas”.

“El Paleozoico tiene dos pisos, el inferior formado por el grupo Excélsior y el superior por el grupo Mitú; el Excélsior está aflorando a lo largo del anticlinal de Chumpe en la parte oeste del domo y en el anticlinal de Ultimátum hacia el Este; el Mitú aflora en la mayor parte del domo. El margen está constituido por las formaciones mesozoicas: grupo Pucará, grupo Goyllarisquizga, grupo Machay y formación Jumasha. Cuerpos intrusivos y capas extrusivas testifican la actividad ígnea en la zona”.

1.2.4. Geología estructural

Plegamiento

“La mina Carahuacra, se encuentra en el flanco occidental de la estructura regional dominante del domo de Yauli, que se extiende longitudinalmente en aproximadamente 35 kilómetros, desde San Cristóbal hasta Morococha, y transversalmente 10 kilómetros; el rumbo promedio de esta estructura es N 40° O. Es asimétrico, su flanco este buza entre 30° y 40° mientras su flanco oeste buza entre 60° y 80°; está conformado por varios anticlinales y sinclinales, de los cuales los anticlinales más importantes son el de Chumpe y el de Yauli (Ultimátum); sus ejes tienen un rumbo que varía entre N 35° y 40° O” (7).

“El anticlinal Chumpe está en el extremo oeste, su flanco occidental tiene un buzamiento de 55° al SO, mientras que el oriental buza 30° al NE; el núcleo de este anticlinal está formado por rocas del grupo Excelsior; el flanco occidental está compuesto por calizas Pucará y areniscas Goyllarisquizga; en el flanco oriental se extienden las rocas del grupo Mitu por varios kilómetros y sobre éstas

las del grupo Pucará. Es considerado como el extremo suroeste del Domo de Yauli, donde la mayor acción del plegamiento ha tenido lugar”.

“Dos periodos principales de tectónica son reconocidos en la región; el primero del Pérmico inferior, denominado Tectónica Tardihercinica, que dio lugar a un intenso plegamiento de las filitas Excelsior; el segundo período denominado Tectónica Andina, que plegó principalmente las rocas mesozoicas, comenzó a fines del Cretácico y continuó durante el principio y mediados del Terciario, reconociéndose tres etapas de plegamiento en la Cordillera de los Andes; el Peruano a fines del Cretácico, y antes de la deposición de las capas rojas; el Incaico a principios del Terciario, fue el más intenso y a él siguió un período de actividad ígnea; y finalmente el "Quechua" a mediados del Terciario”.

Fracturamiento

“El fracturamiento en el área de la mina Carahuacra, parece ser el resultado de las fuerzas compresivas e intrusivas que dieron lugar a la formación del Domo de Yauli. Probablemente a fines del Cretácico, plegamiento peruano fuerzas de compresión de dirección NE-SO comenzaron a formar el anticlinal Chumpe, a medida que las fuerzas de compresión aumentaban de intensidad durante el plegamiento Incaico, los estratos inferiores de caliza resbalaron sobre los volcánicos subyacentes”.

“Fuerzas tensionales al cesar momentáneamente las compresivas dieron lugar a la formación de fracturas longitudinales paralelas al eje del anticlinal Chumpe, las cuales fueron posteriormente rellenadas por los diques de alaskita que ocurren en el núcleo de dicho anticlinal, al seguir actuando las fuerzas de compresión dio lugar a la formación de fracturas de cizalla de rumbo E-O; la veta principal San Cristóbal y la veta Virginia al pasar a las filitas, veta Prosperidad.”.

1.2.5. Geología local

Las formaciones rocosas más importantes de la geología local causaron mineralización en el área de estudio:

- Grupo Excélsior: Ocurre en la parte central y occidental del área de estudio. Consiste principalmente en filita con un grado relativamente bajo de fragmentación superficial y vetas de cuarzo, pirita y material arcilloso denso. Presenta algo de oxidación y tiene partes muy fisuradas.
- Meta-volcánicos: Esta unidad corresponde a una secuencia de transición entre el Grupo Excélsior y el Grupo Mitú. Consiste en una secuencia volcánica que ha sufrido un metamorfismo de bajo grado y tiene una estructura de brecha, fracturas débiles a moderadas, fuertes vetas de calcita y mineralización menor de sulfuros.
- Grupo Mitú: A nivel local, el Grupo Mitú está formado por volcanes andesíticos y presenta zonas de moderado y bajo grado de fractura. En los campos de con grietas, vetas y defectos moderados se mineraliza en sulfuros y gran presencia de óxidos. En tramos con bajo grado de fractura, andesita tiene zonas con textura intermitente y numerosas vetas mineralizadas.
- Sulfuros, vetas de calcita y algo de arcilla, pero en pequeñas cantidades.
- Presencia de óxidos sulfuros, venillas de calcita y algunos niveles arcillosos, pero con poca presencia de óxidos.
- Grupo Pucará: El Grupo Pucará está formado por calizas agrietamiento de moderado a severo. Zonas donde se producen grietas Se encontraron rocas dispersas de peso medio con vetas de calcita Oxidación. Esto se puede observar en lugares con alto agrietamiento. Parte de cambios hidrotermales (argilización) donde la calcita es visible color gris oscuro con vetas de calcita

y a veces venas alternas unidades de pizarra gris violeta y rojiza, así como margas y areniscas piedra caliza.

- Grupo Goyllarisquizga: Está formada por areniscas cuarcíticas blanquecinas emplazamiento de limolitas rojizas y lutitas en la base y con areniscas en la parte superior calizas grises y pizarras. Grado de fisuración
- es bastante moderado con grano fino y grietas se observaron sulfuros diseminados con presencia de venillas de sílice.
- Rocas intrusivas: Se encontró micro-dioritas con estructura de fanerítica de color verde tirando a pardo y tonalitas de ligera a moderada fractura con venas de calcita, óxidos de hierro y venillas de sílice. Las rocas intrusivas encontradas en esta región corresponden a cuerpos descubiertos en distintas épocas. Ocurren principalmente en la parte suroeste del cuadrángulo de Huarochirí y forman un grupo de intrusiones de batolitos costeros en la parte norte del segmento Arequipa. Existen cuerpos marginales adicionales ubicados al este del batolito y distribuidos a lo largo de una banda en la parte central del flanco occidental de los Andes. En la parte superior de la Cordillera Occidental existen grupos de intrusiones más pequeñas de facies hipabisales que ocurren esporádicamente en toda la cordillera. A lo largo del anticlinal de Yauli se observan pequeños depósitos de cuarzo monzonita, rocas andesíticas y diabasa. En Carahuacra, el dique de diabasa atraviesa el proceso intrusivo del norte de Carahuacra y se reconoce fácilmente en el Túnel Victoria. Al este de la mina, se observa a invasores invadiendo formaciones premesozoicas en Carahuacra; Tiene forma alargada en dirección N-S, tiene 1.100 m de largo y 850 m de ancho, y una apófisis de 550 m en el lado norte, tiene textura de pórfido y está compuesto

principalmente por feldespatos y, en menor medida, por biotita y cuarzo en una matriz afanítica llamada cuarzo monzonita.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Es posible realizar la Evaluación Geomecánica para Mejorar los Estándares del Minado de la Mina Carahuacra en la Compañía Minera Volcán S.A.A.?

1.4. Problemas específicos

- a) ¿Cómo influye la aplicación de la caracterización geomecánica para el control de la estabilidad de las labores subterráneas de la Mina Carahuacra de la Compañía Minera Volcán S.A.A.?
- b) ¿Cómo obtener los Parámetros Geotécnicos, para determinar la estabilidad de las labores subterráneas de la Mina Carahuacra en la Compañía Minera Volcán S.A.A.?

1.5. Formulación de objetivos

1.5.1. Objetivo general

Realizar la Evaluación Geomecánica para Mejorar los Estándares del Minado de la Mina Carahuacra en la Compañía Minera Volcán S.A.A.

1.5.2. Objetivos específicos

- a) Aplicar la caracterización geomecánica para el control de la estabilidad de las labores subterráneas de la Mina Carahuacra de la Compañía Minera Volcán S.A.A.
- b) Obtener los Parámetros Geotécnicos, para determinar la estabilidad de las labores subterráneas de la Mina Carahuacra en la Compañía Minera Volcán S.A.A.

1.6. Justificación de la investigación

El proceso de selección del método de minado efectuado para las Vetas Mary y María Luisa (ML) y el Cuerpo Huaripampa, han confirmado que el método de minado “banqueo y relleno” (Bench&Fill - B&F) es el más adecuado para las condiciones naturales de ambas vetas señaladas, y que el método de minado “galerías y relleno” (Drift&Fill – D&F) es el más adecuado para el cuerpo mencionado. Todos estos detalles fueron determinados en base a las evaluaciones Geomecánicas de la mina, para continuar la explotación con estos métodos de minado. Queda como alternativa de minado del cuerpo el método hundimiento por subniveles (Sublevel Caving) siempre y cuando se admitan los problemas que podría originar el fenómeno de subsidencia.

Por lo tanto, la investigación realizada permite mantener controlar los estándares del minado subterráneo.

1.7. Limitaciones de la investigación

Hay limitaciones como: Mala calidad del macizo rocoso, presencia de grandes ángulos potencialmente inestables en la caja de techo de las vetas, distribución desfavorable de esfuerzos en la caja de techo, menor inmersión de las estructuras mineralizadas y posibles problemas operativos asociados con la desviación de la perforación en vetas estrechas hacia aumenta la altura del depósito mineral en el método de minería B&F. Aparte de estas limitaciones, entre las dos vetas estudiadas, la veta ML (María Luisa) ofrece el mayor potencial para aumentar la altura del banco de mineral. No es aconsejable descender a 15 m, sino a un talud inferior, que puede tener un límite de 12 m.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

Antecedentes nacionales.

(CONDORI N, 2017); de la Universidad Nacional del Altiplano, presentó la tesis “Evaluación geomecánica y estabilidad de labores en el proyecto San Gabriel CIA de minas Buenaventura” El presente estudio de investigación es de suma importancia la mecánica de rocas o más ampliamente la geomecánica, tal como se le conoce en la actualidad, es una disciplina que en los últimos años ha tenido grandes progresos, convirtiéndose en una herramienta tecnológica más en la industria minera en particular y en otras ramas de la ingeniería en general. Gracias a su efectiva aplicación en evaluación geomecánica y estabilidad operativa actividades geomecánicas subterráneas hacia donde se dirigen estas obras los trabajos realizados en la mina deben realizarse en un medio ambiente de marco organizacional que permite la integración de conceptos, información y

actividades. Se realizaron análisis por parte de todos los empleados involucrados en la operación de la mina. Esta investigación se realizó con fines de evaluación propiedades geomecánicas y estabilidad operativa en el proyecto San Gabriel CIA de las minas de Buenaventura o condiciones geomecánicas de las minas y así determinar la estabilidad de las excavaciones subterráneas. Respondiendo a la hipótesis planteada en la investigación, los resultados característicos de la roca varían desde regular hasta buena calidad. Con base en esta información se determinó la estabilidad de las excavaciones mediante diagramas empíricos y finalmente se realizó un análisis numérico de tensiones. En excavaciones de 3,5 x 3,5 m, por ejemplo, zanjas de exploración, prácticamente no es necesaria ninguna construcción. Sin embargo, si la calidad del suelo es mala, se requiere una evaluación del apuntalamiento. Excavaciones del Tramo 4. Las zanjas de 5 x 4,5 m. así como la rampa de San Gabriel requieren un soporte permanente que pueda instalarse sistemáticamente con pernos y finalmente las zanjas de 7,0 x 7,0 m para las cámaras de perforación diamantina requieren un soporte más fuerte. como en el caso del hormigón proyectado atornillado, más sistemático.

(RIOS R, 2019); de la Universidad Nacional Federico Villareal, desarrolla la tesis “El presente trabajo de investigación aborda el desarrollo de evaluación geomecánica para la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros “Los Ángeles” en función del factor de seguridad y los costos unitarios de sostenimiento. La investigación fue desarrollada en el emplazamiento de los túneles carreteros proyectados, los cuales se ubican en los distritos de Lurigancho – Chosica y Ricardo Palma, en las provincias de Lima y Huarochirí, departamento de Lima, el proyecto de los túneles atraviesa el Batolito de la Costa Peruana, consta de 02 túneles (eje 01 y

eje 02), los cuales son paralelos entre sí (gemelos) de 12 960m y 13 000m, respectivamente. Tiene como objetivos determinar la influencia de la evaluación geomecánica en la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros “Los Ángeles”, para lo cual se estableció 13 estaciones geomecánicas tomando datos a lo largo de los ejes, luego, se procedió a hacer uso de las clasificaciones geomecánicas obteniendo roca del tipo II y III, según Bieniawski; y roca media y buena, según Barton. Asimismo, se utilizaron las recomendaciones de sostenimientos según el tipo de roca propuestas por cada autor. Se determinaron las familias de diaclasas más representativas en cada estación geomecánica mediante el software Dips V.5.1. Se evaluó cómo influye el factor de seguridad en el sostenimiento del macizo rocoso en los túneles, mediante el software Phase 2 V.8.0, para este caso se eligió el criterio de rotura de Hoek – Brown al tratarse de roca, los resultados mostraron que el más costoso y sobredimensionado estructuralmente fue el de Bieniawski, mientras que Barton fue el más acertado, cumpliendo con los factores de seguridad establecidos por la norma, siendo éste, el más económico y viable. Por lo tanto, para esta investigación las recomendaciones por Barton se ajustan mejor a la realidad peruana (técnico – económico) debido al gasto público que ejerce el estado en este tipo de obras. Finalmente, se llegó a la conclusión de que todas las hipótesis planteadas estaban en lo cierto.

Antecedentes internacionales

(PINILLA A, 2018), de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, sustenta su tesis “Desde la industria minera tiene como objetivos la optimización y seguridad de los procesos que se involucran en la realización de una operación, procesos ligados a aspectos económicos, rentables y competitivos.

La empresa Acerías Paz del Río cumple papel fundamental en el mercado del acero colombiano y para esto cuenta con la operación que se encarga de la extracción del mineral de hierro en la mina el Uvo. Este trabajo abarca la evaluación geomecánica de la zona 73C y 71T del banco de mineral de hierro teniendo en cuenta la variabilidad de los materiales y los aspectos estructurales presentes en el área de estudio con relación a los túneles del Sexto y Séptimo Nivel Inferior con el fin de determinar las alternativas en cuanto a métodos de explotación para las zonas ya mencionadas cumpliendo los aspectos técnicos y operacionales requeridos por la empresa Acerías Paz del Río.

2.2. Bases teóricas - científicas

Enfoque de la evaluación

Para evaluar un método de minado, es importante definir claramente las condiciones naturales del yacimiento, es decir:

- La geología del yacimiento
- La morfología de la mineralización
- Las reservas y distribución de leyes
- Las condiciones geomecánicas de las rocas del yacimiento
- Las condiciones hidrogeológicas del mismo.

El método (o métodos) de minado debe(n) estar aparejado(s) a todas estas condiciones naturales del yacimiento, de tal manera que el minado sea técnicamente factible. La factibilidad técnica debe ser complementada por Volcán con una evaluación económica del método (o métodos) de minado, para asegurar una factibilidad técnica – económica óptima. (Rodríguez Cayllahua, 2016)

En este marco, se tiene que definir cada una de las condiciones naturales del yacimiento, en dónde los aspectos geomecánicos jugarán un rol preponderante desde el punto de vista técnico. Como producto de los trabajos realizados como parte de la operación de la mina, Volcán suministró la información básica concerniente con la geología, morfología de la mineralización, reservas y distribución de leyes y con las condiciones hidrogeológicas del yacimiento. Esta información básica es la que se utilizó, para la evaluación realizada.

Por otro lado, para la evaluación geomecánica del yacimiento, en una primera etapa, se orientaron los trabajos a la ejecución de investigaciones básicas, con el fin de obtener la información necesaria, que permita evaluar los factores principales de control de la estabilidad y estimar así los parámetros geomecánicos básicos. (Rodríguez Cayllahua, 2016)

En una segunda etapa, se integró la información obtenida durante las investigaciones básicas, con el fin de evaluar las condiciones de estabilidad de las excavaciones asociadas al minado.

Según los resultados que se obtuvieron en las dos etapas precedentes, se evaluaron los métodos de minado y se dimensionaron los diferentes componentes estructurales asociados al minado, planteándose al final las estrategias de minado. (Rodríguez Cayllahua, 2016)

Aspectos técnicos

Los aspectos técnicos materia de la presente evaluación fueron los siguientes:

Investigaciones básicas:

- Se definieron las condiciones naturales del yacimiento, en base a la información desarrollada y proporcionada por Volcán.

- Se caracterizó a la masa rocosa del yacimiento, en base a la revisión y análisis de la información que se tuvo disponible y en base al mapeo geomecánico de la masa rocosa de las labores subterráneas de Mina Carahuacra. Para ello, se han utilizado las normas sugeridas por la ISRM (International Society for Rock Mechanics).
- Se evaluaron las propiedades físico-mecánicas de la roca intacta, de las discontinuidades y de la masa rocosa, utilizando para ello procedimientos alternativos, según normas del ISRM.
- Las alternativas para determinar las propiedades físico mecánicas de la roca fueron: ejecución de ensayos con el martillo de geólogo, ejecución de ensayos de impacto con el martillo Schmidt, ejecución de ensayos de laboratorio, y, utilización del criterio de Hoek & Brown (1990, 2006) para estimar los parámetros de resistencia de la roca intacta y de la masa rocosa.
- Se determinó la calidad de la masa rocosa involucrada en el área de evaluación, mediante la aplicación de criterios de clasificación geomecánica, como los de Bieniawski (1989), Barton (1974) y Hoek & Marinos (2000).
- Se llevó a cabo una zonificación geomecánica del yacimiento, a fin de determinar los dominios estructurales en base a la información obtenida en los puntos precedentes.
- Se aprovechó toda la información disponible de las fuentes antes indicadas.
- Se evaluaron los factores adicionales, propios del yacimiento, que podrían influir en las condiciones de estabilidad de las labores mineras subterráneas (agua y esfuerzos).

Evaluación de las condiciones de estabilidad de las excavaciones:

- Se analizaron las condiciones de estabilidad de la masa rocosa de las excavaciones: dirección preferencial de avance de las excavaciones, abiertos máximos, tiempos de auto sostenimiento, y la influencia de las discontinuidades estructurales y de los esfuerzos en las condiciones de estabilidad
- Se hizo uso de modelamientos numéricos en función de los mecanismos de falla potencial del terreno para analizar la estabilidad de las excavaciones y cualquier otro componente asociado al minado.
- Todos los parámetros que se establecieron y las conclusiones que se obtuvieron, tienen el respectivo sustento técnico, los mismos que serán presentados en el presente trabajo de investigación.

Evaluación de los métodos de minado

- Con la información previamente desarrollada y en forma conjunta con el personal de Planeamiento y Diseño de Volcan se evaluaron los métodos de minado.

Dimensionamiento y estrategias de minado:

- De acuerdo al método o alternativas de métodos de minado evaluados se dimensionaron para cada método alternativo sus diferentes componentes estructurales asociados a los mismos.
- Se definió la ubicación de las principales excavaciones de acceso y servicios de carácter permanente.
- Se definieron los esquemas y las secuencias de avance del minado, de tal manera de maximizar la recuperación de las reservas y lograr adecuadas condiciones de estabilidad local y global.

- Se evaluaron los requerimientos de sostenimiento de las labores mineras y se definieron los elementos de sostenimiento más adecuados para las condiciones geomecánicas encontradas.
- Se evaluaron las necesidades de relleno a utilizarse en el minado del yacimiento.
- En general se dan recomendaciones sobre las técnicas de control de la estabilidad de las excavaciones asociadas al minado para que este sea seguro y eficiente

Geomorfología

Según el boletín geológico de INGEMMET (Boletín N° 36 y 69), el área está comprendida en las siguientes regiones naturales:

Suni: Comprende entre los 3500 y los 4000 msnm con un relieve abrupto y empinado, muros escarpados, desfiladeros rocosos y cumbres afiladas todo esto producto de la erosión glaciaria. El clima es frío, húmedo y nublado, con precipitaciones abundantes.

Puna o Jalca: Comprende entre los 4000 y 4800 msnm. Su relieve es mayormente de meseta andina, con lagos y lagunas. El clima es frío, con precipitaciones en forma de nevada y granizo. El aire es seco.

Janca o Cordillera: Comprende entre los 4800 hasta los 6768, Su relieve está conformado por nevados y montañas. Es la región más alta, con clima muy frío, y vegetación dispersa con predominancia de musgos, líquenes y gramíneas; generalmente están cubiertas por nieve.

Depósitos cuaternarios

En la parte alta de la cordillera Occidental, así como en el Flanco Occidental Andino del área de estudio se han mapeado los siguientes depósitos cuaternarios:

- Depósitos Glaciares: Comprende a los depósitos morrénicos antiguos a recientes que se encuentran en las cabeceras de los valles glaciares o bien cubriendo el fondo o márgenes de los mismos hasta una altitud de 4200 msnm.
- Depósitos Fluvioglaciares: Corresponde al material acarreado por los ríos de ambas vertientes de la zona andina en estudio; esto guarda relación con el proceso erosivo activado por el sensible levantamiento andino y las etapas de glaciación. Se han formado terrazas de material aluvional en las márgenes de los ríos, las más recientes junto al lecho; en algunos casos se han producido inundaciones que han permitido la formación de depósitos fangosos (bofedales).
- Depósitos Coluviales y de Deslizamiento: los primeros son los depósitos que se encuentran al pie de las escarpas de las laderas de los cerros como material de escombros constituidos por gravas y bloques sub-angulosos con matriz areniscosa y limosa.

Valles glaciares y lomadas

Este tipo de geomorfología, está constituida por típicos valles glaciares en forma de U que discurren en dirección noroeste y sureste controladas por las estructuras de la zona, con un relieve suave a moderado, con pendientes mayormente bajas en el sector suroeste que corresponden a las cabeceras de las quebradas.

La quebrada Andaychagua presenta pendientes mayores, formadas por depósitos morrénicos y/o fluvioglaciares, y en muy reducidos sectores como en la Qda. Pacchapuquiopampa, Qda. Victoria y la Qda. Ayamachay la pendiente se presenta más pronunciada, entre 40 y 60 por ciento. (Rodríguez Cayllahua, 2016)

Cerros y Zonas de Escarpas

Esta zona, tiene pendientes mayores a 45°, se forma por zonas de escarpas y probablemente controlada por una falla longitudinal a lo largo de la Qda. Andaychagua. La litología corresponde a los volcánicos del Grupo Mitu y a las filitas del Grupo Excelsior en el área de Andaychagua además de las calizas del Grupo Pucará resistentes a la erosión, en los volcánicos del Grupo Mitu se aprecia roca desnuda generalmente, con acumulación de materiales coluviales en las faldas de los cerros de la margen derecha de la Qda. Ayamachay. (Rodríguez Cayllahua, 2016)

Zona de Bofedales

Las mayores extensiones de bofedales, se presentan en la cabecera y en la parte intermedia de las Qdas. Andaychagua y Pacchapuquiopampa, y abarcan la base del valle. Por su parte en San Cristóbal, las mayores extensiones de bofedales, se presentan en la parte intermedia de la Qda. Ayamachay y en los humedales del Tajo Gavilán, ubicados en la parte alta de la margen derecha de la Qda. Ayamachay pero en extensión son menores que en Andaychagua. (Rodríguez Cayllahua, 2016)

Estratigrafía

En la Mina Carahuacra, la secuencia litológica se extiende desde el Paleozoico hasta el Cretácico Superior.

Ilustración 3. Columna estratigráfica generalizada de la región.

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

Grupo Excelsior (Silúrico-Devónico)

El grupo Excelsior está representado por las rocas más antiguas, tales como lutitas pizarrosas, filitas negruzcas y areniscas esquistosas finamente estratificadas, presentando un metamorfismo regional conteniendo numerosos lentes de cuarzo, los cuales son de mayor espesor en los núcleos anticlinales. Al sureste de San Cristóbal, las filitas se alternan con horizontes de mármol y bancos calcáreos marmolizados con fósiles (crinoideos). La potencia total de este grupo es desconocida, sin embargo, J.V. Harrison (1943) determinó una potencia de 1800 metros para una secuencia equivalente en los alrededores de Tarma. Estas rocas estructuralmente presentan anticlinales de orientación NW-SE, dentro de una franja de afloramientos que comprende el área de Yauli y Carahuacra-San Cristóbal, todo el conjunto está intensamente plegado, con la formación de una esquistosidad subparalela a los planos axiales de los pliegues. (Rodríguez Cayllahua, 2016)

Grupo Mitu (Pérmico)

Esta unidad geológica se puede observar en los alrededores de Morococha y en el domo de Yauli - San Cristóbal, se encuentra discordantemente sobre las rocas del grupo Excelsior y está conformada por un miembro inferior de rocas clásticas rojizas de facies continentales y por un miembro superior de rocas volcánicas denominado “Volcánico Catalina”. En el miembro superior se puede observar areniscas, conglomerados y brecha volcánica, mientras que el miembro inferior está conformado por derrames lávicos de dacita y andesita de color gris a verde, los que por intemperismo toman un color marrón; hacia la parte superior de este miembro se puede observar aglomerados volcánicos y hacia el noreste aparece una serie vulcano - sedimentaria con conglomerados y areniscas.

La mineralización en este grupo es ampliamente reconocida a lo largo de todo el Domo de Yauli, siendo principalmente en la forma de filones y diseminada.

Debido a su naturaleza irregular la potencia total del grupo Mitu es muy variable, al oeste de la mina San Cristóbal la potencia de los Volcánicos Catalina es aproximadamente 800 metros. La edad del grupo Mitu fue considerada como del Carbonífero Superior (Mc Laughlin 1940) y posteriormente asignada al Pérmico.

Grupo Pucará (Triásico Superior - Liásico)

El Grupo Pucará yace discordantemente sobre el miembro clástico del Grupo Mitu o sobre los volcánicos Catalina. Esta unidad aflora en el sector noreste del cuadrángulo de Matucana extendiéndose ampliamente sobre el cuadrángulo de La Oroya. El Grupo Pucará está constituido de una secuencia de calizas gris claras, blanquecinas, en capas delgadas y medianas; alternan ocasionalmente con unidades de margas interstratificadas con areniscas

calcáreas, lutitas gris violáceas y rojizas, además de calizas dolomíticas. Este grupo infrayace concordantemente a la serie arenosa del Grupo Goyllarisquizga. A este grupo se le ha asignado la edad de Triásico Superior-Liásico.

Un conjunto de facies calcáreas denominado Grupo Pucará reposa en marcada discordancia sobre el Grupo Mitu; este conjunto está dividido en tres formaciones: Chambará, Aramachay, y Condorsinga.

- Formación Chambará (Triásico Superior), en su base es una serie terrígena seguida por otra calcárea constituida por calizas, calizas dolomíticas, dolomitas, separadas por capas calcáreo - arcillosas y tufos de algunos centímetros; las rocas calcáreas tienen un color gris claro variando a negro, que parece ligado a materia orgánica.
- Formación Aramachay (Liásico: Hetangiano - Sinemuriano) está representada por pizarras limosas que predominan, seguidas de areniscas de grano fino, calizas y de chert en capas; las calizas se presentan en bancos de 20 a 50 centímetros, frecuentemente lenticulares, o en nódulos discoidales de hasta un metro de diámetro.
- Formación Condorsinga (Liásico Toarciano) es casi exclusivamente calcárea, las calizas que la componen en su mayor parte son oolíticas o bioclásticas, ellas contienen chert abundante en la mitad inferior de la formación; intercalaciones tufáceas de color gris claro, de grano fino a medio, son comunes. Las calizas varían de color gris claro a gris oscuro, son de grano fino, con zonas fuertemente brechadas.

Grupo Goyllarisquizga (Cretácico Inferior)

El Grupo Goyllarisquizga aflora en los flancos de los pliegues del lado oeste del anticlinal de Chumpe, hasta cerca de la divisoria continental,

consistiendo en areniscas cuarcíticas blanquecinas con intercalación de lutitas y limonitas rojizas en la base y con areniscas calcáreas y lutitas grises en la parte superior, su grosor se estima en 250 m. Yacen concordantemente sobre el Grupo Pucará y debajo de las calizas de la Formación Chúlec.

El grupo Goyllarisquizga, se depositó en dos fases sucesivas. La primera compuesta por depósitos de granulometría fina a muy fina, de facies llanura aluvial con pelitas rojas y escasas intercalaciones de areniscas de facies de desbordamiento, depositadas en un ámbito climático semiárido mostrando una fuerte oxidación de las pelitas. Durante la segunda fase hay un cambio brusco respecto a la primera, depositándose areniscas medianas hasta muy gruesas y niveles conglomeráticos con troncos de árboles actualmente silicificada, en un ambiente húmedo e importante actividad ígnea evidenciada por sills de basalto. El grupo Goyllarisquizga ha sido atribuido al Cretácico Inferior-Valanginiano-Aptiano.

Formaciones Chúlec, Pariatambo y Jumasha

Afloran en el sector sureste y están constituidas por tobas piroclásticas, dacíticas - andesíticas de color beige, conformando relieves suaves. La roca está moderadamente argilizada y en las partes altas algunos afloramientos muestran crestos de silicificación. Ocasionalmente se observa pirita diseminada que por oxidación se transforman a Jarosita.

Estas formaciones tienen características litológicas, faunísticas y posición estratigráfica similares a las que presentan en la zona occidental de la cuenca del Cretáceo. Estas secuencias calcáreas cretáceas están expuestas formando parte de las estructuras del norte de Morococha, del suroeste del anticlinal de Morococha, del oeste del anticlinal de Chumpe con extensión de afloramientos hasta la

Divisoria Continental de Ticlio y noroeste de esta localidad, así como de las estructuras de los nevados de Huallacancha y Colquepucro, donde las formaciones no han sido separadas.

Al suroeste de la laguna Huayllaycocha, se observa caliza gris a marrón claro en capas medianas, con algunas intercalaciones de caliza margosa y lutita gris parda (Formación Chúlec).

- Formación Chúlec, originalmente descrita por Mc Laughlin (1924) como el miembro inferior del Grupo Machay, fue elevada al nivel de formación por Benavides (1956). Esta formación totalmente carbonatada, litológicamente está conformada por una alternancia de calizas y margas de facies de plataforma externa; es muy fosilífera y constituye la primera formación cretácica de los Andes Centrales correctamente datada. Toda la serie en su conjunto está intensamente bioturbada. En potencia varía desde 250 m justo al suroeste de Morococha a 350 m en Carahuacra. La base de la Formación Chúlec está considerada como la base del primer horizonte calcáreo arriba de las areniscas cuarzosas del Grupo Goyllarisquizga y data del Albiano medio.
- Formación Pariatambo, definida por Mc Laughlin (1924) como el miembro superior del Grupo Machay. Esta formación fácil de localizar en el paisaje por su coloración negra característica, escasa resistencia a la erosión y litología monótona está constituida por una alternancia margo-caliza de pequeños bancos claros y oscuros generalmente muy bituminosos, señalados por un olor fétido. Los niveles claros son mudstones con "packstones" calcáreo-dolomíticos algunas veces ligeramente limosos. Los bancos oscuros son margas calcáreo - dolomíticas muy bituminosas. Toda esta formación depositada en una plataforma relativamente profunda y aislada contiene

numerosos amonites poco fragmentados y restos de peces. El tope, está marcado por la aparición de sílex que se halla a veces en tal cantidad que llega a formar bancos decimétricos con dolomitas intercaladas. Las variaciones de espesor son pequeñas, entre 50 y 75 m; encontrándose los extremos en Morococha con 15 m y en San Cristóbal con 130 m, además en este último también se presenta una decena de metros de areniscas finas intercaladas en la parte media de la formación.

- Formación Jumasha, concordantemente sobre la formación Pariatambo se encuentra la formación Jumasha. Litológicamente, es la más homogénea de las formaciones cretácicas expuestas en el Domo de Yauli. Consiste casi enteramente de una serie carbonatada dolomítica, masiva y poco fosilífera con escasos lentes de areniscas y sílex, depositada en una plataforma ligeramente confinada y de poca profundidad. Los amonites encontrados pertenecen al Albiano Superior-Turoniano.

Rocas intrusivas

Las rocas intrusivas que afloran en la región, corresponden a cuerpos emplazados en diferentes épocas. Afloran principalmente en el sector suroeste del cuadrángulo de Huarochirí, constituyendo un grupo de intrusiones del Batolito Costanero, dentro del sector septentrional del segmento Arequipa.

Existen otros cuerpos marginales, emplazados al este del batolito y distribuidos a lo largo de una faja en la parte media del Flanco Occidental Andino. En la zona alta de la Cordillera Occidental se presentan grupos de intrusiones menores de facies hipabisales, distribuidos aisladamente a lo largo de toda la cordillera.

A lo largo del Anticlinal de Yauli, se observan pequeños Stocks de monzonita cuarcífera, dique de andesita y diabasa. En Carahuacra un dique de diabasa corta la apófisis norte del Intrusivo Carahuacra y es reconocido en el Túnel Victoria sin ningún cambio.

Los intrusivos en Carahuacra se observan al este de la mina, instruyendo formaciones premesozoicas, su forma es alargada con una dirección N-S y es de 1,100m de longitud por 850m de ancho con una apófisis de 550 m de longitud en su lado norte. Tiene textura porfirítica y consiste predominantemente de feldespatos y en menor proporción de biotita y cuarzo en una matriz afanítica, identificado como cuarzo monzonita.

Geología económica

La complejidad geológica del distrito ha dado lugar a la formación de una variedad de depósitos minerales que se extienden ampliamente. Después de la última etapa del plegamiento "Quechua" y la formación de las fracturas de tensión, vino el período de mineralización; soluciones residuales mineralizantes originadas probablemente de los stocks de monzonita cuarcífera, invadieron el área dando lugar a la formación de vetas, mantos y cuerpos; sin embargo es necesario aclarar el origen de los mantos y cuerpos, fueron rellenados y/o reemplazados indistintamente por soluciones hidrotermales, a través de canales alimentadores (feeders).

Las vetas o filones fueron formadas principalmente por relleno de fracturas, siendo mejor mineralizadas aquellas que se formaron a lo largo de fracturas de tensión; las fallas de cizalla por contener mucho panizo no fueron bien mineralizadas o pobremente mineralizadas. Se encuentran localizadas en todo el distrito minero, con su mayor desarrollo en los volcánicos del grupo Mitu.

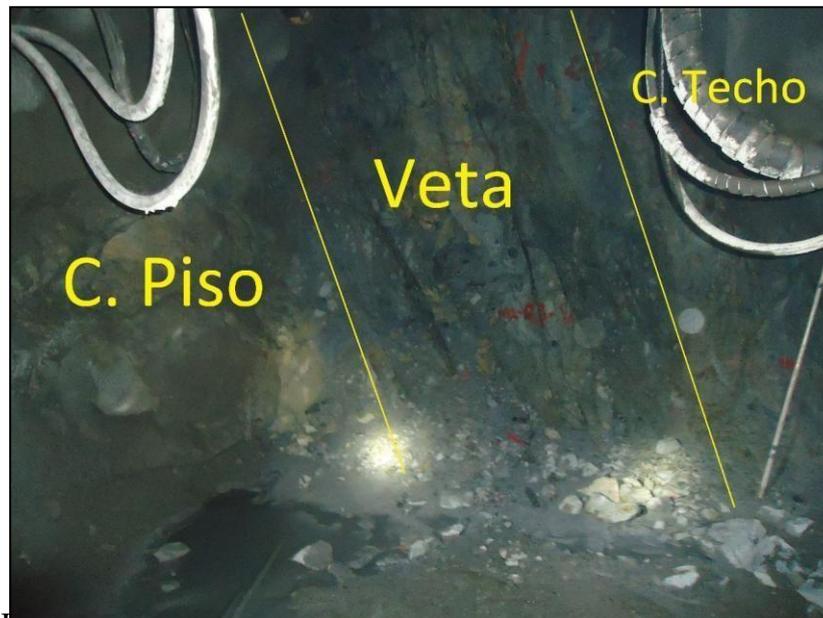
Los Mantos se encuentran localizados en el flanco oeste del anticlinal, en las calizas Pucará; a partir del contacto con los volcánicos Mitu, se ubican concordantemente con la estratificación. Al igual que los mantos, los cuerpos se encuentran localizados en el flanco oeste del anticlinal, en las calizas Pucará, y se forman por la unión de varios mantos o en la intersección de una veta con algún manto.

En los últimos estudios realizados el año 1999 por el Dr. Robert Moritz de la Universidad de Ginebra, los resultados de laboratorio de isótopos de Pb nos indican que el plomo de las vetas y los cuerpos son coetáneos y de una sola fuente de origen, así como el zinc, lo que demuestra a las claras que la mineralización polimetálica es eminentemente epigenética.

En Mina Carahuacra se dan dos tipos de mineralización: a) sistemas de vetas y b) mantos y cuerpos. En el primer caso se observa la presencia de vetas como Mary, Ramal Mary, Yanina, María Luisa (ML), Ruth, Carmen, Lourdes y Penélope, siendo las de mayor importancia las Vetas Mary y ML, las mismas que están en explotación. En el segundo caso se observa la presencia del paquete de mantos denominado Cuerpo Huaripampa.

La Veta Mary es un relleno de fractura transversal a la estratificación regional que atraviesa sinuosamente el macizo volcánico dacítico de NE a SW con rumbo N35°-50°E y buzamiento de 60°-70°SE, aunque en algunos casos llega a 47° de buzamiento. Con una potencia promedio de 2.5 m, alcanzando en algunos puntos 12 metros entre caja a caja, de unos 600 m de largo por 500 m de altura. Tiene mineralización de esfalerita, galena, tetraedrita, pirita, cuarzo, carbonatos y baritina, los cuales se muestran formando bandas, presentando las volcánicas alteraciones como silicificación, seritización y cloritización.

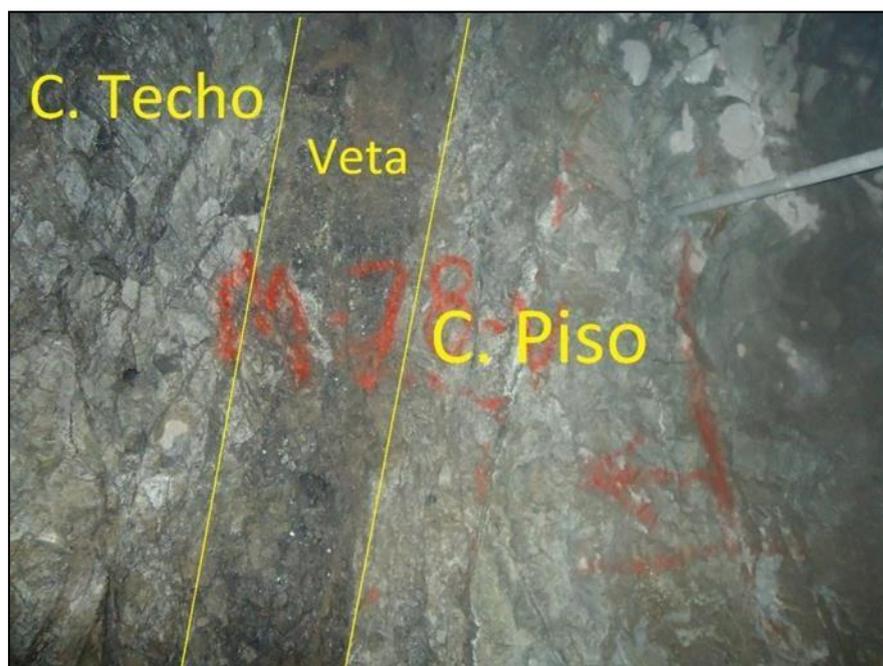
Ilustración 4. Veta Mary con potencia mayor a 1 m.



La veta Mary ha sido explotada desde superficie hasta el Nivel 970 utilizando el método de minado corte y relleno ascendente convencional con relleno de relaves. Del Nivel 970 hacia el Nivel 1020 por el método banqueo y relleno con taladros largos. En la actualidad se está avanzando la preparación de los subniveles en el Nivel 1070. En el Nivel 1020 se está explotando el último puente que se encuentra entre los subniveles 702 W y 703 W.

La Veta ML (María Luisa) es un relleno de fractura transversal a la estratificación, ubicada al SE de la Veta Mary, casi paralela a ella, que atraviesa sinuosamente el macizo volcánico de NE a SW, y al E y W emplazada en filitas. Tiene rumbo $S50^{\circ}-55^{\circ}E$ en el lado este y $N35^{\circ}-50^{\circ}E$ en el lado oeste, y buzamiento $75^{\circ}-80^{\circ}SE$, aunque en algunos casos llega a 60° de buzamiento. Con potencias de 0.5 a 2.0 m, en algunos puntos llega a 5 m entre caja a caja, de unos 600 m de largo por 300 m de altura. La mineralización consiste de esfalerita, galena, tetraedrita, pirita, cuarzo, marcasita, baritina, siderita con presencia de alteración hidrotermal silicificación, sericitización y cloritización.

Ilustración 5. Veta ML con potencia mayor a 0.2 m.



Esta veta ha sido explotada desde el Nivel 970 hacia el Nivel 920 por el método de minado banqueo y relleno con taladros largos. Actualmente se encuentran en preparación los Subniveles 801E y 802E del Nivel 920. También se están haciendo trabajos de preparación en el Nivel 1020. La rampa de acceso RP 387 (-) está avanzando en la profundización hacia el Nivel 1070. (Rodríguez Cayllahua, 2016)

Hacia el lado NE, cruzando la zona de brechas y llegando a la zona de las filitas las vetas Mary y ML (María Luisa) tienden a unirse, pero se desvían y toman direcciones paralelas de rumbo aproximado E-W.

Los mantos denominados Cuerpo Huaripampa, son una sucesión de capas mineralizadas separadas entre sí por estratos de caliza, con potencias variables de 3.5 hasta 12 m, de unos 170 a 200 m de largo y más de 600 m de altura. En algunos tramos se unen formando un cuerpo de unos 50 m de potencia. Este cuerpo ha sido explotado desde superficie hasta el Nivel 1020. Entre los niveles 970 y 1020 existe un puente de 20 metros en recuperación de los cuales ya se han

explotado unos 15 metros mediante el método de minado galerías y relleno o denominado también corte y relleno ascendente por paneles, y solo queda un puente de 5 metros de altura para unos dos cortes de minado. Debajo del Nivel 1020 existen reservas probadas que actualmente se están revaluando para planear su minado.

En la actualidad la mina produce 1,300 toneladas por día, para esta producción la Veta Mary aporta de 60% a 70% y la Veta ML (María Luisa) 30%, lo faltante se completa con otras vetas pequeñas o de lo que sale de las preparaciones del Cuerpo Huaripampa. (Rodríguez Cayllahua, 2016)

2.3. Definición de términos básicos

Apertura: Es la separación entre las paredes rocosas de una discontinuidad o el grado de abierto que ésta presenta. A menor apertura, las condiciones de la masa rocosa serán mejores ya mayor apertura, las condiciones serán más desfavorables.

Contactos litológicos: Que comúnmente forman, por ejemplo, la caja techo y caja piso de una veta.

Diaclasas: También denominadas juntas, son fracturas que no han tenido desplazamiento y las que comúnmente se presentan en la masa rocosa.

Discontinuidad: Es un área de separación detectable metrológicamente dentro de los cuerpos rocosos cercanos a la superficie o en regiones más profundas de la corteza terrestre y el manto.

Discordacia: Una superficie geológica que separa las rocas más antiguas de las rocas más modernas.

Espaciado: Es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes. Éste determina el tamaño de los bloques de roca intacta. Cuanto

menos espaciado tengan, los bloques serán más pequeños y cuanto más espaciado tengan, los bloques serán más grandes.

Estratificación: Es una superficie característica de rocas sedimentarias que separa capas de igual o diferente litología. Estas rocas también pueden estar presentes en rocas que hayan originado por metamorfismo de rocas sedimentarios.

Fallas: Son fracturas que han tenido desplazamiento. Estas son fracturas menores que representan en áreas locales de la mina o estructuras muy importantes que pueden atravesar toda la mina.

Investigaciones Geotécnicas: Es un programa de investigaciones geotécnicas por medio de perforaciones diamantinas, a fin de obtener parámetros y características hidrogeológicas de los materiales presentes en la zona de estudio.

Matriz rocosa: Material rocoso sin discontinuidades o bloques de roca intacta entre discontinuidades (muestra de mano o mayor). A pesar de considerarse continua es heterogénea y anisótropa, ligada a la fábrica, textura y estructura, mineral.

Orientación: Es la posición de la discontinuidad en el espacio y es descrito por su rumbo y buzamiento. Cuando un grupo de discontinuidades se presentan con similar orientación son aproximadamente paralelas, se dice que éstas forman un “sistema” o una “familia” de discontinuidades.

Persistencia: Es la extensión en área o tamaño de una discontinuidad. Cuanto menor sea la persistencia, la masa rocosa será más estable y cuanto mayor sea esta, será menos estable.

Perfil geotectónico: Es el conjunto de actividades que comprende la investigación del subsuelo los análisis y recomendaciones para el diseño y construcción en el subsuelo.

hidrósfera y la biósfera.

Perfil litológico: Es la parte de la geología que estudia la composición y estructura de las rocas, como su tamaño de grano, características físicas y químicas, estructuras metamórficas, etc. Incluye también su composición, su textura, tipo de transporte, así como su composición mineralógica, distribución espacial y material cementante.

Perforación: es la primera operación en la preparación de una voladura. Su propósito es abrir en la roca huecos cilíndricos denominados taladros y están destinados a alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores.

Pliegues: Son estructuras en las cuales los estratos se presentan curvados., son intrusiones de roca ígnea de forma tabular, que se presentan generalmente empinadas o verticales.

Productividad.- Es la relación entre la cantidad de bienes y servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados.

Rugosidad: Es la aspereza o irregularidad de la superficie de la discontinuidad. Cuanta menor rugosidad tenga una discontinuidad, la masa rocosa será menos competente y cuanto mayor sea ésta, la masa rocosa será más competente.

Relleno: Son los materiales que se encuentran dentro de la discontinuidad. Cuando los materiales son suaves, la masa rocosa es menos competente y cuando éstos son más duros, ésta es más competente.

Sostenimiento: En toda explotación minera, el sostenimiento de las labores es un trabajo adicional de alto costo que reduce la velocidad de avance y/o producción pero que a la vez es un proceso esencial para proteger de accidentes a personal y al equipo.

Zonas de corte: Son bandas de material que pueden ser de varios metros de espesor, en donde ha ocurrido fallamiento de la roca.

Zonificación geomecánica: Proceso de delimitación de zonas en donde la masa rocosa tiene condiciones geomecánicas similares y por lo tanto también comportamiento similar.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La Evaluación Geomecánica Mejorara los Estándares del Minado de la Mina Carahuacra en la Compañía Minera Volcán S.A.A.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a) Con la aplicación de la caracterización geomecánica controlaremos de la estabilidad de las labores subterráneas de la Mina Carahuacra de la Compañía Minera Volcán S.A.A.
- b) Con los Parámetros Geotécnicos, realizaremos un adecuado sostenimiento de las labores subterráneas de la Mina Carahuacra en la Compañía Minera Volcán S.A.A.

2.5. Identificación de las variables

2.5.1. Variable independiente:

X: Evaluación Geomecánica de la Mina Carahuacra.

2.5.2. Variable dependiente:

Y: Estándares del minado de la Mina Carahuacra.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 1. Operacionalización de Variables Independientes

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE	X: Adecuación del sistema de gestión de seguridad	La evaluación geomecánica del yacimiento, en una primera etapa, se orientaron los trabajos a la ejecución de las investigaciones básicas, Según los resultados que se obtuvieron en las dos etapas precedentes, se evaluaron los métodos de minado y se dimensionaron los diferentes componentes estructurales asociados al minado. Este proceso debe de ser realizado durante todo el proceso de explotación, para asegurar y garantizar la estabilidad de las labores subterráneas, objetivo principal del presente proyecto de investigación.	Evaluación	Mina Carahuacra.
			Identificación	Zonificación de la mina.
			Operaciones	Parámetros Geotécnicos
VARIABLE DEPENDIENTE	Y: Accidentes e Incidentes.	La Mina Carahuacra se encuentra dentro de la unidad estructural regional conocida como Domo de Yauli; En la zona del proyecto las estructuras del Grupo Pucará y el Grupo Goyllarisquizga se encuentran afectadas por pliegues grandes y ajustados, fallas inversas y largos sobreescurrecimientos producto de los esfuerzos compresivos. El sistema de fracturamiento predominante es el sistema NE, perteneciendo a este sistema las principales vetas del distrito minero Carahuacra – San Cristóbal – Andaychagua. En Mina Carahuacra se dan dos tipos de mineralización: Sistemas de vetas y mantos y cuerpos. Se requiere efectuar una evolución Geomecánica para adecuar los estándares del minado subterráneo.	Diseño	Tabla Geomecánica.
			Mapeo	Mapeo: Geológico, Geomecánico y Estructural.
			Sostenimiento	Tipo de roca. Tiempo de auto soporte.

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación

Se aplica los tipos de investigación cuantitativa:

- a. Investigación descriptiva
- b. Investigación analítica
- c. Investigación experimental
- d. Investigación cuasi experimental

De acuerdo a los objetivos es de carácter experimental-aplicativo.

3.2. Métodos de la investigación

El método de investigación se da de acuerdo a la investigación realizada y que ayudan a determinar el proceso.

- Experimento.
- Observación.
- Entrevistas personales.

- Información proporcionada por Volcán.
- Encuestas al personal involucrada en la investigación.

3.3. Diseño de la investigación

El diseño de investigación corresponde a la investigación cuantitativa, Descriptiva, experimental, en la cual se detalla la Evaluación Geomecánica efectuada en la Mina Carahuacra y los resultados obtenidos en la investigación.

1. Descripción del proceso
2. Preparación del proyecto de investigación.
3. Métodos y técnicas aplicadas en el estudio.
4. Ejecución del trabajo de campo.
5. Procesos de clasificación, codificación y mejoramiento.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población conformada por todos los colaboradores de la Mina Carahuacra, ya que la evaluación realizada involucra a toda la empresa por ser de vital importancia en todos los trabajos de la explotación y desarrollo de la mina.

3.4.2. Muestra

La muestra se da en el estudio geológico, minero y estadístico de la mina, durante el tiempo de realizado el proceso de excavación, lo cual nos permitió tener de cerca la información de lo desarrollado en la mina y todas las operaciones que se están realizando.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Descripción de las técnicas empleadas

- **Recopilación de datos:**
 - Información de la data de la Mina Carahuacra.

- Aportes del personal de la mina.
- Trabajo de campo.
- Referencias encontradas con respecto a la Investigación.
- **Observación directa**

Se efectuó un recorrido por todas las labores de la mina, permitiéndonos obtener una información visual in situ de toda la mina, que fue de gran ayuda en nuestra evaluación.
- **Búsqueda de información bibliográfica**

El principal aporte bibliográfico lo obtuvimos de la data de la empresa, información obtenida del internet, libros de aportes para nuestra evolución geomecánica.

3.5.2. Instrumentos

- **Materiales y equipos**
 - Mapeadores.
 - Brújula.
 - Estación Total.
 - Planos Topográficos.
 - Simuladores
 - Equipo de seguridad
 - Computadora personal y Impresoras
 - Cámara Fotográfica
- **Software**
 - Auto Cad
 - Fase 2
 - SPSS (estadístico)

- Microsoft Office (Información del trabajo de campo)

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

- Recopilación de datos

En todas las labores subterráneas de la mina.

- Observación directa del proceso

Observaciones directas en todas las labores subterráneas de la mina y toma de datos de campo.

- Búsqueda de información bibliográfica.

Información proporcionada por la gerencia de la Mina Carahuacra.

3.7. Tratamiento estadístico

Todo el proceso estadístico se realizó en Microsoft Excel y el SPSS. (software estadístico).

3.8. Orientación ética filosófica y epistémica

La investigación se efectuó teniendo en consideración los principios de la ética personal y profesional, permitiéndonos detallar toda la información obtenida en todo el estudio realizado en la presente investigación.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Descripción del trabajo de campo

El Caracterización de la masa rocosa

El registro de la información geomecánica se efectuó a partir del mapeo geomecánico de la masa rocosa expuesta en las labores subterráneas de los diferentes niveles de la mina, en los Niveles 920, 970, 1020 y 1070. Adicionalmente, se ha recopilado toda la información de interés desarrollada por los departamentos de Geología y de Geomecánica de Mina Carahuacra.

El mapeo geomecánico de la masa rocosa expuesta en las labores subterráneas, se llevó a cabo utilizando el "método directo por celdas de detalle". Mediante este método se realizaron mediciones sistemáticas de las discontinuidades presentes en 83 estaciones de medición distribuidas en los distintos niveles mencionados, representadas cada una de ellas por un área de extensión variable de la roca expuesta en las labores mineras. En total se ha

realizado 15, 8, 25 y 35 estaciones de medición en los niveles 920, 970, 1020 y 1070, respectivamente. Todas estas estaciones están citadas en los planos geomecánicos (ver Láminas 6 a 17).

Los parámetros de observación y medición del mapeo geomecánico de labores mineras fueron obtenidos en formatos de registro diseñado para este propósito, adecuándolos a las normas sugeridas por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM) que se muestran en el Anexo 1. Estos parámetros fueron: tipo de roca, tipo de sistema de discontinuidad, orientación, espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, tipo de relleno, espesor del relleno, intemperización y presencia de agua. Adicionalmente se registraron datos de resistencia y del grado de fracturamiento de la roca para definir el RQD (Rock Quality Designation).

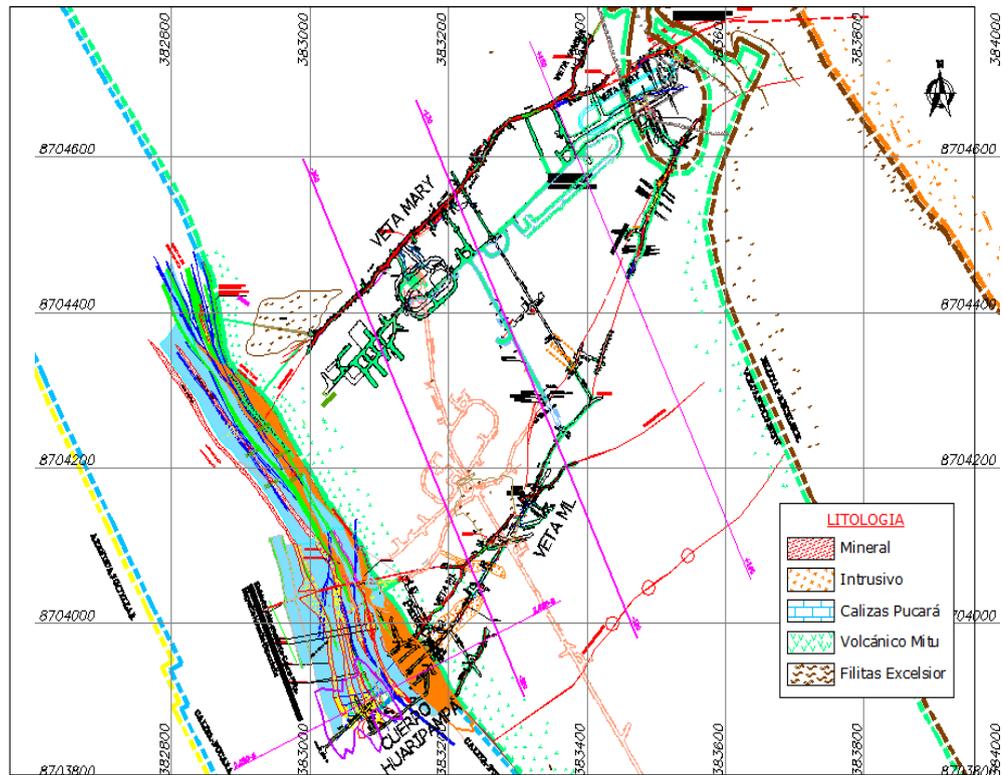
Por otro lado, durante los trabajos de campo, como parte del mapeo geomecánico, se realizó la zonificación de calidades de la masa rocosa, trabajo este que ha sido plasmado directamente en los planos geomecánicos citados en párrafo anterior.

Aspectos Litológicos

La presente evaluación comprende a la Veta Mary, Veta ML (María Luisa) y Cuerpo Huaripampa. En la Ilustración 6 se indican estas estructuras mineralizadas. Las características litológicas asociadas a estas estructuras son:

- La Veta Mary está emplazada enteramente en roca volcánica de composición dacita a andesita.

Ilustración 6. Plano del Nivel 1020, geología mostrando los tres sectores mineralizados.



- La Veta ML está instalada en rocas volcánicas hacia el extremo oeste donde hay mayor ensanchamiento de la veta, y está orientada en filitas hacia el este en menor longitud. Esta veta fue un alimentador para la formación de mantos y cuerpos, entre ellos el Cuerpo Huaripampa.
- El cuerpo Huaripampa se halla dentro de roca caliza del Grupo Pucará y la mineralización se halla en mantos intercalados con horizontes de caliza dolomítica

Distribución de Discontinuidades

Para establecer las características de distribución de discontinuidades o arreglo estructural de la masa rocosa, se procesaron los datos orientacionales mediante técnicas estereográficas, utilizando la versión avanzada del programa de cómputo DIPS (1995), elaborado por M.S. Diederichs y E. Hoek del Grupo de

Ingeniería de Rocas del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Toronto (Canadá), y también la versión 5.103 de Rocscience Inc. (2004).

Se realiza el comentario de las reseñas estructurales derivados del estudio geotécnico efectuados en los trayectos mineralizados y sus periferias. La contingencia de los sistemas tiene semejante predisposición estructural tanto en el mineral como en las rocas encajonantes, donde se ha efectuado el compósito de las estructuras para cada veta y todo el yacimiento.

El resumen y resultados se presenta en la siguiente Tabla:

Tabla 2. Sistemas de discontinuidades estructurales

Ubicación	Descripción	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Veta MARY	Rumbo - Buzam.	N60°E-73°SE	N63°E-72°NW	N30°W-55°SW
	Dir. Buz./Buzam.	150°/73°	333°/72°	240°/55°
Veta MARIA LUISA	Rumbo - Buzam.	N46°E-65°SE	N56°E-75°NW	N13°W-51°SW
	Dir. Buz./Buzam.	136°/65°	326°/75°	257°/51°
Cuerpo HUARIPAMPA	Rumbo - Buzam.	N42°W-48°SW	N48°E-82°NW	N25°E-65°NE
	Dir. Buz./Buzam.	228°/48°	318°/82°	065°/65°

A partir de este cuadro resumen observamos el acomodo estructural del macizo rocoso agrupada a los tres sectores de la mineralización:

- Con respecto a la Veta Mary, hay dos sistemas principales y un sistema auxiliar. El sistema 1 tiene dirección noreste y una inclinación moderada a sureste, este sistema es similar en composición mineral. El Sistema 2 tiene el mismo sonido que el Sistema 1, pero tiene una caída de media a fuerte y está invertido. El sistema 3 es un sistema dirección cruzada con los dos primeros y buzamiento suroeste.
- Con respecto a la Veta María Luisa, se tienen dos sistemas primordiales y otro de orden secundario. El Sistema 1 con dirección noreste e inclinación sureste, estando en forma paralelo a la estructura de la mineralización. El Sistema 2 se conecta en la misma dirección que el Sistema 1 con

inclinación al noroeste. El Sistema 3 se encuentra con dirección de norte a noroeste con una inclinación al suroeste.

- En relación a la mineralización de Huaripampa cuenta con tres sistemas importantes. El Sistema 1 tiene dirección noroeste e inclinación sur oeste, manteniéndose en paralelismo a la estructura mineralizada. El Sistema 2 con dirección noreste con alta inclinación al noroeste. El Sistema 3 se encuentra con una dirección norte - noreste y de inclinación al noreste.

Ilustración 7. Veta Mary - Estereográfico de Contornos del Compósito de Discontinuidades.

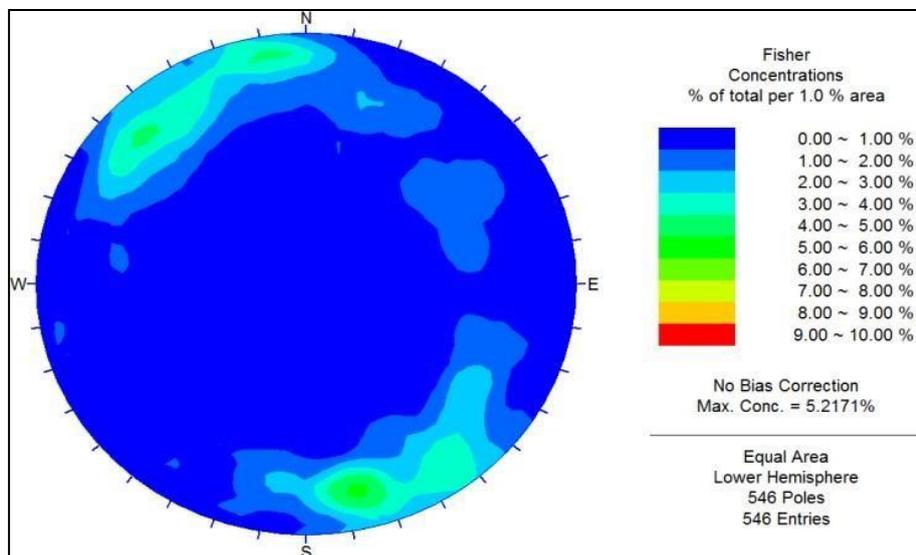


Ilustración 8. Veta Mary - Diagrama Estereográfico de planos Principales del Compósito de Discontinuidades.

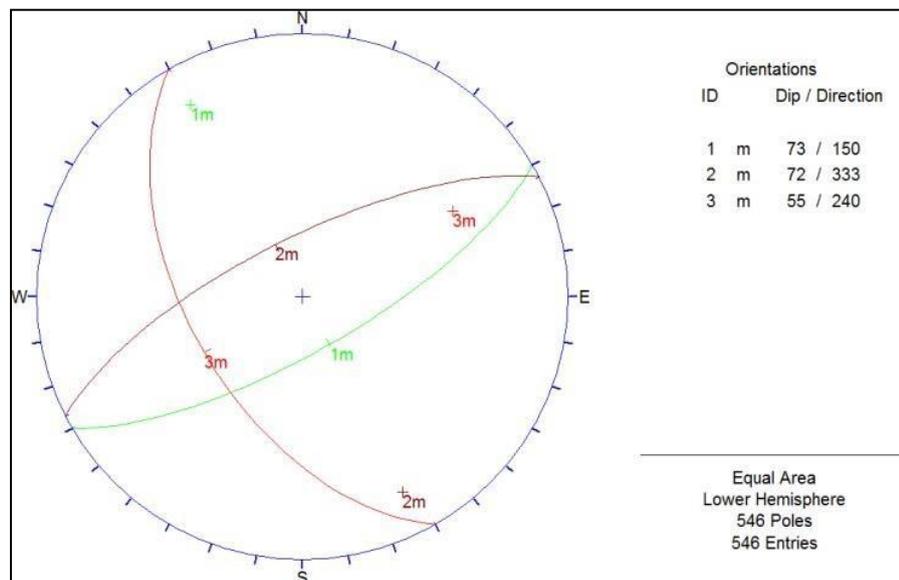


Ilustración 9. Veta Mary - Diagrama de Roseta del Compósito de Discontinuidades.

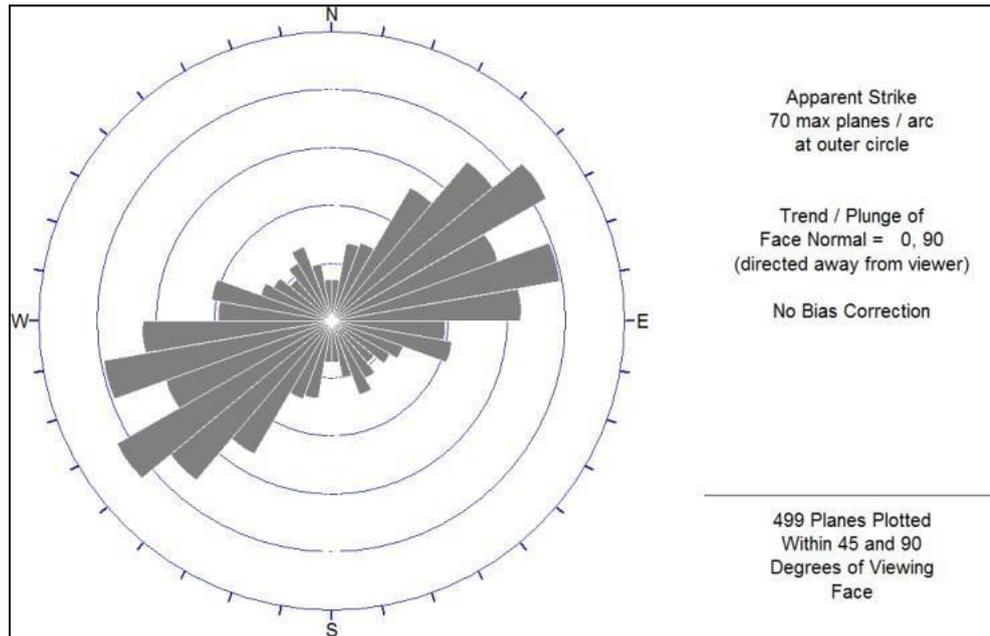


Ilustración 10. Veta Maria Luisa - Estereográfico de Contornos del Compósito de Discontinuidades.

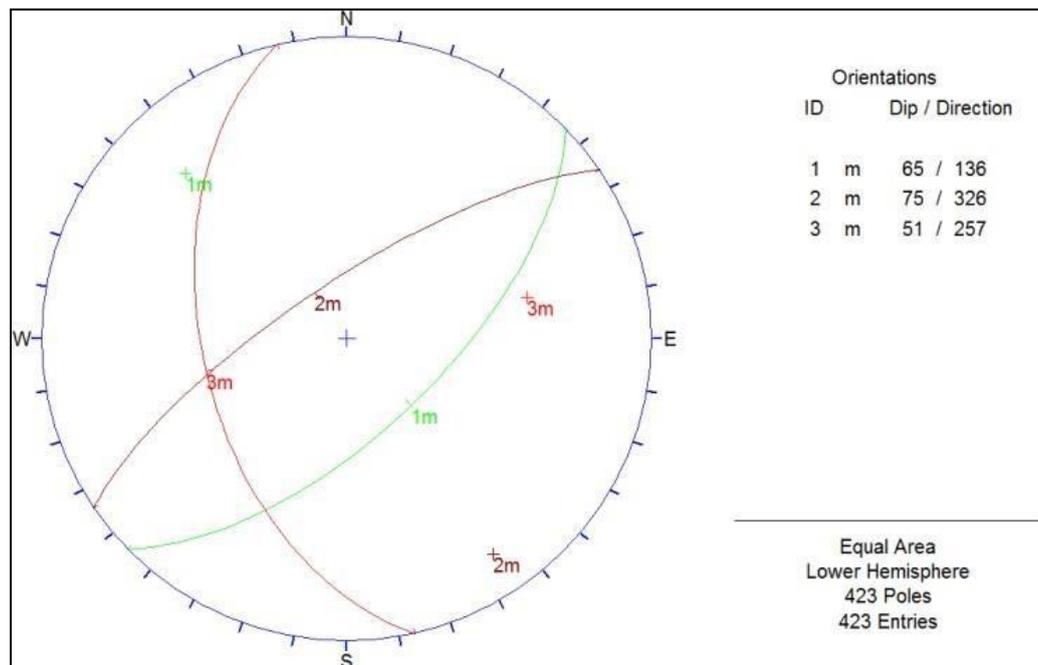


Ilustración 11. Veta Maria Luisa - Diagrama Estereográfico de Planos Principales del Compósito de Discontinuidades.

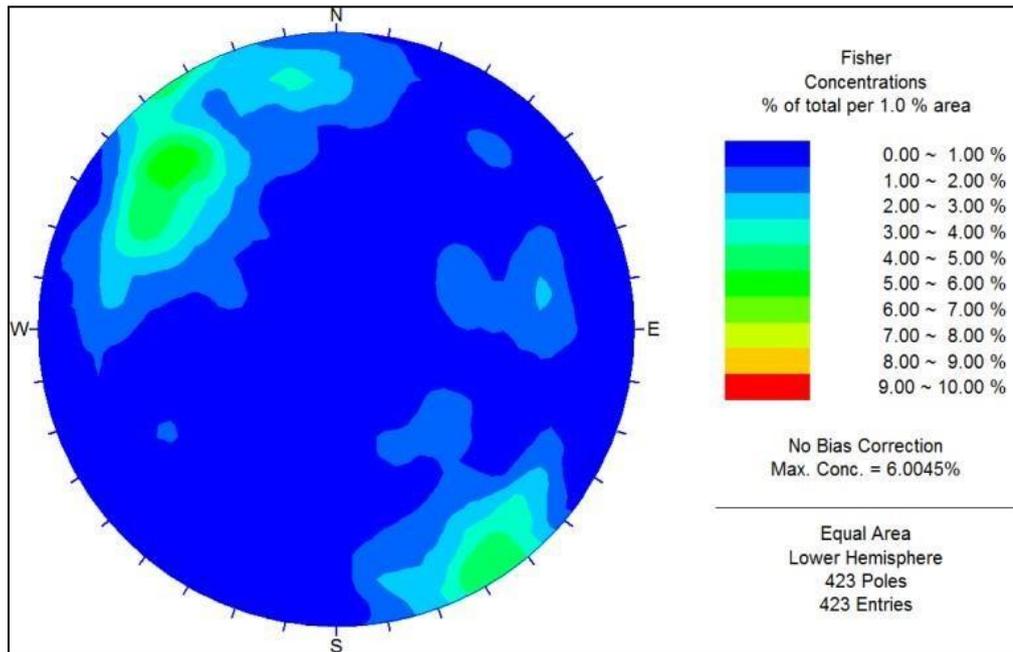


Ilustración 12. Veta Maria Luisa - Diagrama de Roseta del Compósito de Discontinuidades.

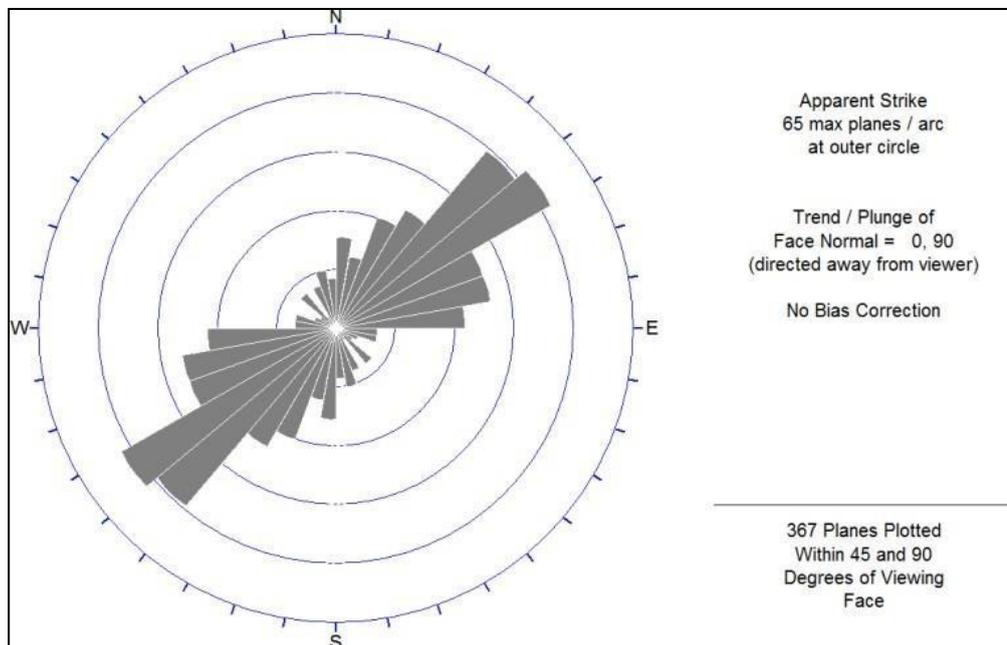


Ilustración 13. *Cuerpo Huaripampa - Estereográfico de Contornos del Compósito de Discontinuidades.*

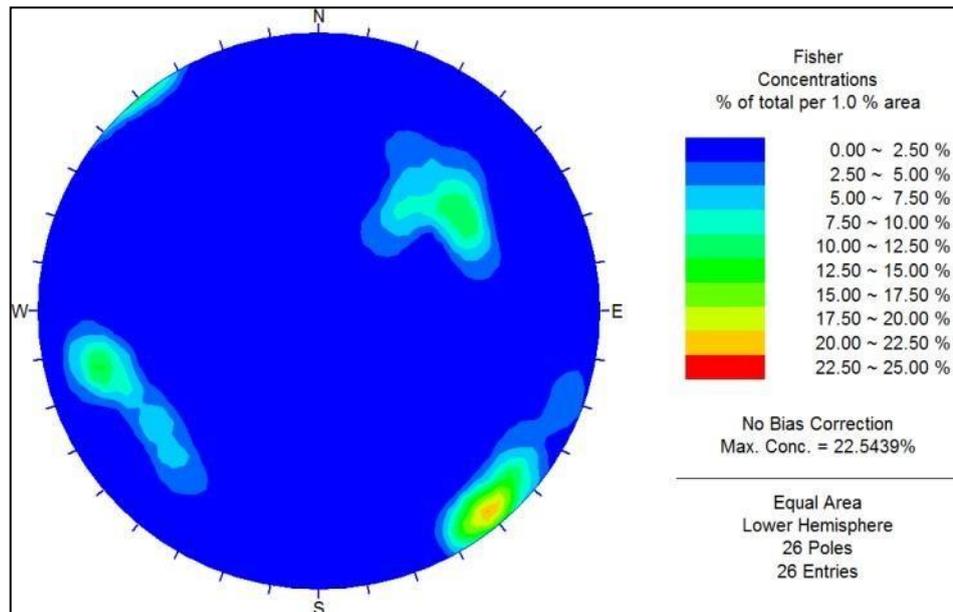


Ilustración 14. *Cuerpo Huaripampa - Diagrama Estereográfico de Planos Principales del Compósito de Discontinuidades.*

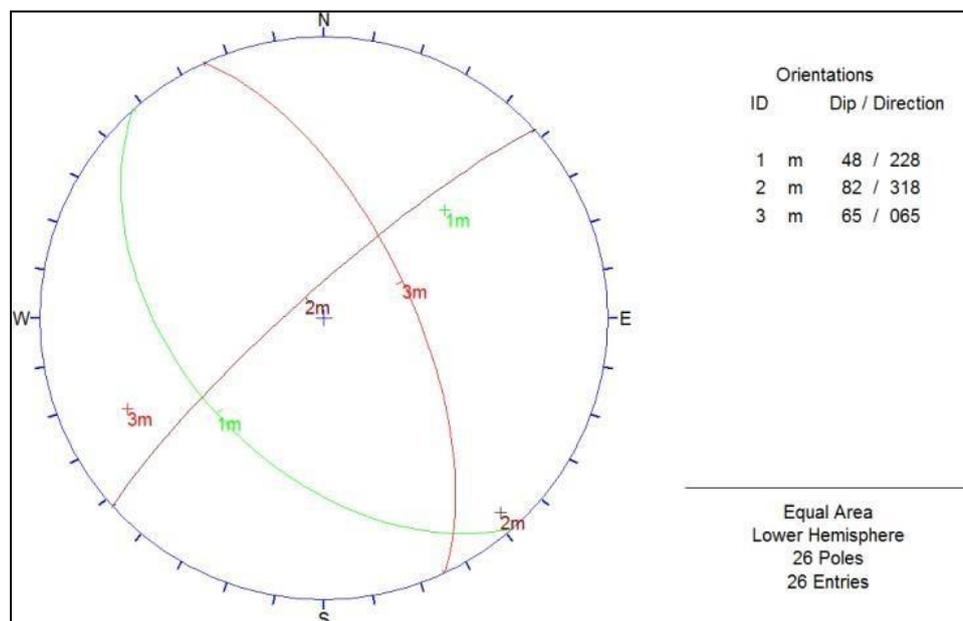
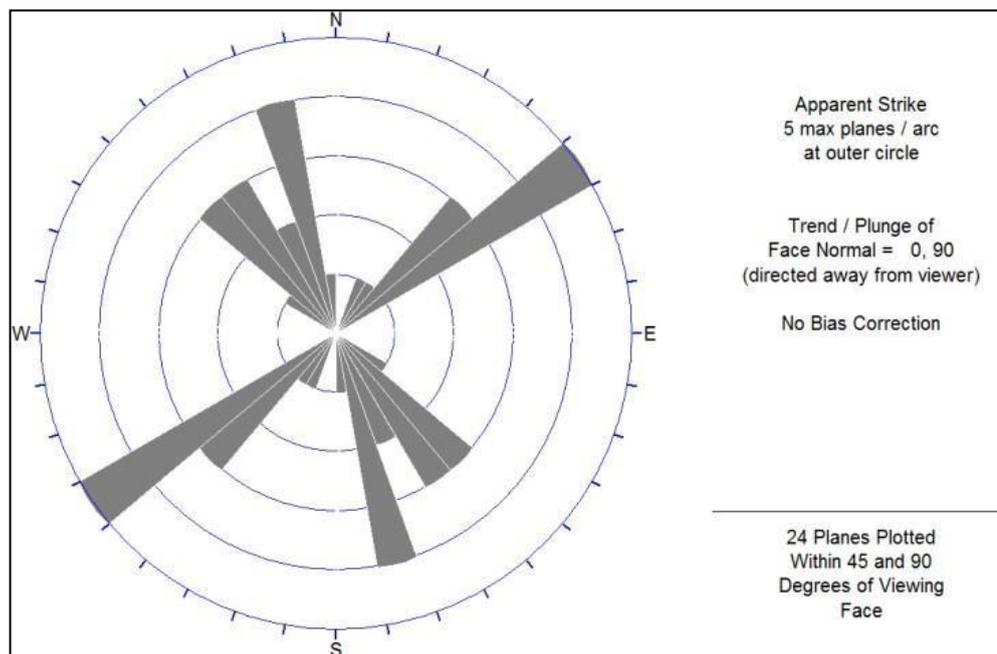


Ilustración 15. Cuerpo Huaripamapa - Diagrama de Roseta del Compósito de Discontinuidades.



Es necesario tener en cuenta que la Vetas Mary y María Luisa, se encuentran con gran paralelismo con una tendencia a unirse en el noreste, se ubican en la misma zona de la mina, presentando arreglos estructurales parecidos y los dos se hallan en rocas volcánicas.

En relación al Cuerpo Huaripampa, que se encuentra al Oeste de las vetas Mary y María Luisa, encontrándose en cajas de caliza, su estructura muestra diferencias, pero en la parte práctica se pueden observar que las vetas y el cuerpo mineralizado mantienen diferentes sistemas de discontinuidades.

Aspectos estructurales

Las características estructurales de las discontinuidades se establecieron mediante tratamiento estadístico de la información registrada en el mapeo geomecánico de las labores subterráneas y de la información estructural disponible en los planos geológicos de los distintos niveles de la mina. A continuación, se detalla los rasgos estructurales de las discontinuidades:

Fallas (Discontinuidades mayores)

Las discontinuidades mayores (fallas) tienen diferentes espaciamientos a veces poder tener espaciamientos superiores a 4 m. La longitud (persistencia) son de muchos metros, mayormente se encuentran mineralizadas (vetas) manteniendo siempre el mismo rumbo. Las discontinuidades (fallas) tienen a lo largo de su interior arcilla, panizo y materiales oxidados de diferentes espesores que pueden ser de 5 cm a 25 cm. Las aperturas son menores a 5 mm. Los planos de las fallas son lisas y onduladas, observándose las denominadas espejos de fallas. Las discontinuidades son conductos de agua.

Diaclasas (Discontinuidades menores)

Las estructuras de las Diaclasas tienen las siguientes características: Espaciamiento que va de 6 a 20 cm y de 20 a 60 cm, la persistencia es de 3 a 10 m, la apertura es 1 mm pero varía en algunos lados, la rugosidad en las paredes es de ligera a lisas, con relleno blando y con arcilla, en las discontinuidades se observan leve a modosa alteración en las paredes así como también paredes muy alteradas. Con respecto a la presencia del agua en algunos tramos se tiene humedad en otros mojados con goteo casuales.

Clasificación de la masa rocosa

El proceso de clasificación geomecánica del macizo rocoso se efectuó en base a los datos de Bieniawski de 1989 (RMR – Rock Mass Rating). Los valores de resistencia compresiva de la roca intacta se muestran a continuación en el criterio de Bieniawski (1989) modificado para esta evaluación a fin de clasificar a la masa rocosa, se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 3. Criterio para hallar el RMR del Macizo Rocoso.

Tipo de roca	Rango RMR	Rango Q	Calidad según RMR
II	> 60	> 5.92	Buena
IIIA	51 – 60	2.18 – 5.92	Regular A
IIIB	41 – 50	0.72 – 1.95	Regular B
IVA	31 – 40	0.24 – 0.64	Mala A
IVB	21 – 30	0.08 – 0.21	Mala B
V	< 21	<0.08	Muy Mala

Los principios de información en la clasificar del macizo rocoso de los sectores en apreciación fueron la caracterización geomecánica del macizo rocoso de las labores subterráneas y el análisis realizado en el trabajo en interior mina.

Con la información geomecánica obtenida, se tienen los parámetros del macizo rocoso (RMR) para las rocas encajonantes y para la mineralización de las tres zonas en estudio. En la Tabla 4, se puede ver esta información.

Tabla 4. Detalles del Macizo Rocoso de las tres Zonas

Sector	Litología	Rango RMR	Calidad de la masarocosa
VETA MARY			
Caja piso	Volcánico	33 – 57	IVA, IIIB y IIIA
Mineral	Volcánico	24 – 47	IVB, IVA y IIIB
Caja techo	Volcánico	32 – 58	IVA, IIIB y IIIA
Caja techo alejada	Volcánico	51 – 59	IIIA
VETA MARIA LUISA			
Caja piso	Volcánico	39 – 64	IVA, IIIB, IIIA y II
Mineral	Volcánico	33 – 47	IVA y IIIB
Caja techo	Volcánico	51 – 60	IIIA
Caja techo alejada	Volcánico	55 – 60	IIIA
CUERPO HUARIPAMPA			
Caja piso	Caliza	27 – 29	IVB
Mineral	Caliza	25 – 34	IVB y IVA
Caja techo	Caliza	27 – 29	IVB

Con los detalles del macizo rocoso se puede observar que la calidad en el mineral y las rocas encajonantes son diferentes. Para los casos de las Vetas Mary y María Luisa, la calidad varía generalmente desde Mala A (RMR 31-40) hasta calidad Regular A (RMR 51-60), existiendo de manera localizada calidad inferior y superior. Las rocas encajonantes más apartadas son de mayor resistencia y presentan mayor homogeneidad con calidad Regular A.

Zonificación del Macizo Rocoso (Geomecánica)

Para aplicar racionalmente varios métodos de cálculo de mecánica de rocas, es necesario dividir el macizo rocoso estudiado en regiones con propiedades estructurales y mecánicas similares, de modo que los criterios de diseño y el análisis de resultados sean efectivos. Masas con propiedades físicas y mecánicas similares. Por lo tanto, es una práctica común en el diseño de excavaciones subterráneas designar el área de investigación como zona geomecánica o área estructural.

En las zonas geomecánicas del macizo rocoso se consideraron la litología del macizo rocoso, estructura geológica y aspectos de calidad. A partir de esto, como se mencionó en acápite anteriores, se ha realizado la zonificación geomecánica. Un resumen de esta zonificación se presenta en la Tabla 5, en la Ilustración 16, se muestra la zonificación típica resultado de este proceso.

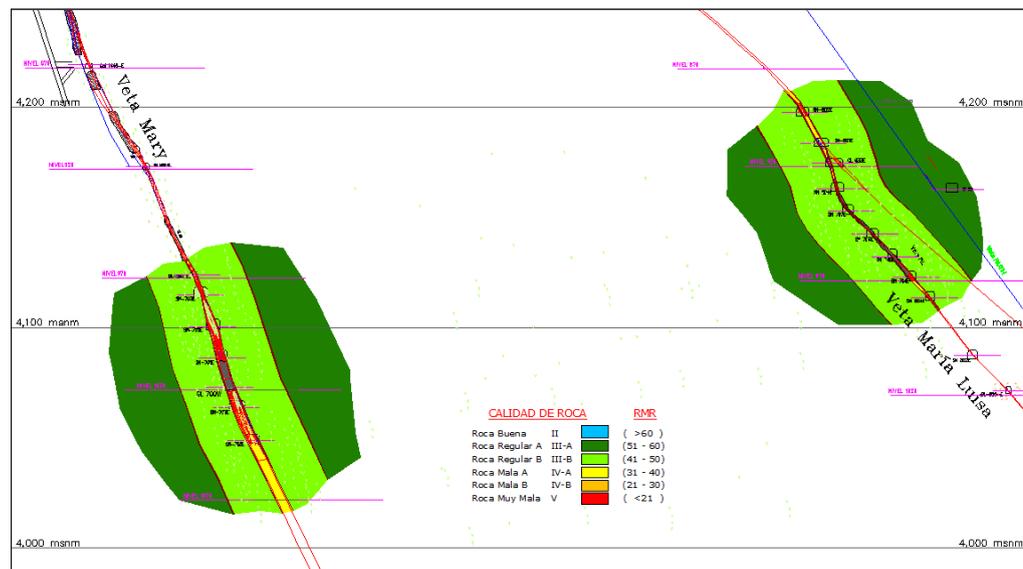
Tabla 5. Zonificación Geomecánica - Resumen

Sector	Litología	RMR promedio	Dominio estructural
VETA MARY			
Caja piso	Volcánico	35 y 44	DE-IVA y DE-IIIB
Mineral	Volcánico	35	DE-IVA
Caja techo	Volcánico	35 y 47	DE-IVA y DE-IIIB
Caja techo alejada	Volcánico	56	DE-IIIA
VETA MARIA LUISA			
Caja piso	Volcánico	45 y 55	DE-IIIB y DE-IIIA
Mineral	Volcánico	35	DE-IVA
Caja techo	Volcánico	45 y 57	DE-IIIB y DE-IIIA
Caja techo alejada	Volcánico	58	DE-IIIA
CUERPO HUARIPAMPA			
Caja piso	Caliza	27	DE-IVB
Mineral	Caliza mineraliz.	26	DE-IVB
Caja techo	Caliza	27	DE-IVB

En este cuadro La ley de masa promedio se puede estimar en las diversas secciones mineralizadas y revestimientos circundantes (es decir, cajas de piso y techo). De aquí podemos indicar lo siguiente:

- Para la Veta Mary, el tramo mineralizado presenta calidad promedio perteneciente al dominio estructural DE-IVA (RMR 31–40). En el caso de las cajas piso y techo, se observa que existen tramos diferenciados los cuales se hallan en los dominios DE-IVA (RMR 31–40) y DE-IIIIB (RMR 41–50). La masa rocosa de las cajas alejadas presenta mejor calidad estando en el dominio DE-IIIA (RMR 51–60).
- En la Veta María Luisa, la calidad del área mineralizada, esto es similar a lo que se menciona en Veta Mary. En relación a las cajas, éstas presentan mejor calidad, estando ellas en dos dominios los cuales son DE-IIIIB (RMR 41–50) y DE-IIIA (RMR 51–60). En este caso, también las cajas alejadas son de mejor calidad, las cuales están en el dominio DE-IIIA (RMR 51–60).
- En el Cuerpo Huaripampa, la masa rocosa es de inferior calidad, en este caso el mineral y las cajas presenta calidad del dominio DE-IVB (RMR 21–30). Las rocas de las cajas se clasifican de mejor calidad de acuerdo a la distancia que se apartan del cuerpo mineralizado.

Ilustración 16. Ejemplo de la Zonificación Geomecánica



Resistencia de la Roca Tipo I (Roca Intacta)

Uno de los parámetros más importantes del comportamiento mecánico de un macizo rocoso es la resistencia a la compresión uniaxial (σ_c) de la roca intacta, también conocida como UCS. Durante el trabajo de campo, como parte del mapeo geomecánico de las operaciones subterráneas, se realizaron pruebas de impacto utilizando un martillo de geólogo y un probador de dureza Schmidt para evaluar la resistencia a la compresión de la roca intacta siguiendo las especificaciones recomendadas por ISRM. Los resultados de la prueba de explosión del martillo de un geólogo se muestran en un formato de dibujo geomecánico. Los resultados de las pruebas del martillo Schmidt se resumen a continuación en la siguiente Tabla:

Tabla 6. Resultados de los ensayos con el martillo Schmidt

Litología	Rango NR*	Promedio NR	Rango σ_c (MPa)	Prom. σ_c (MPa)
Volcánico Mary	13 – 50	36	21 – 158	73
Volcánico ML	12 – 55	41	20 – 207	96
Mineral Mary	10 – 24	16	23 – 72	37
Mineral ML	13 – 37	29	29 – 107	44
Caliza Huaripampa	15 – 45	28	23 – 120	47

*NR: Número de Rebotes de los golpes con el martillo Schmidt

En este estudio, se realizaron pruebas de laboratorio de mecánica de rocas para aproximar mejor los parámetros de resistividad de la roca intacta. Estas pruebas son carga puntual, compresión uniaxial y compresión triaxial. Que se realizaron en el 2020 se muestra en la Tabla 7.

En años anteriores (2011 – 2014) Tabla 8, 9 y 10, también se realizaron pruebas de laboratorio de mecánica de rocas que incluyeron carga puntual, compresión uniaxial, compresión triaxial y constantes elásticas. Los valores obtenidos de las diversas pruebas se resumen a continuación.

Tabla 7. Resultados de los ensayos de carga puntual.

Muestra	Litología	I _s (MPa)	σ _c (MPa)	Nota
M – 1A	Volcánico ML	3.19	71.4	Ensayos Año 2020
M – 11	Bx Volcánico M	1.56	35.9	
M – 13	Volcánico M	3.17	72.9	
M – 15	Mineral M	4.79	110.1	
Caja piso	-	4.48	108	Ensayos Año 201- 2014
Caja techo	-	5.39	129	
Mineral	-	5.35	128	

M: Veta Mary, ML: Veta María Luisa, CH: Cuerpo Huaripampa

Tabla 8. Ensayos de Compresión Uniaxial – Resultados Años Anteriores

Muestra	Litología	σ _c (MPa)	Nota
M – 2	Mineral ML	59.0	Ensayos Año 2014
M – 4	Mineral CH	85.7	
M – 9	Volcánico ML	62.6	
M – 12	Volcánico M	99.9	
Caja piso	-	92.12	Ensayos Año 2011
Caja techo	-	107.75	
Mineral	-	111.99	

M: Veta Mary, ML: Veta María Luisa, CH: Cuerpo Huaripampa

Tabla 9. Resultados de los ensayos de constantes elásticas.

Muestra	Litología/ Profundidad	σ _c (MPa)	Módulo de Young “E” (GPa)	Relación de Poisson “ν”	Nota
Caja piso	480 m	-	9.40	0.31	Ensayos Año 2013
Caja techo	480 m	-	7.46	0.31	
Caja piso	-	82.25	6.96	0.29	Ensayos Año 2011
Caja techo	-	115.15	8.75	0.15	
Mineral	-	229.50	13.89	0.18	

M: Veta Mary, ML: Veta María Luisa, CH: Cuerpo Huaripampa

Tabla 10. Resultados de los ensayos de compresión triaxial.

Muestra	Litología/ Profundidad	"m _i "	σ _c (MPa)	Cohesión (MPa)	Angulo de fricción (°)	Nota
M – 6	Caliza CH	13.85	111.1	18.52	50.34	Ensayos Año 2014
M – 12	Volcánico M	24.32	66.2	9.39	56.16	
M – 14	Mineral M	23.55	146.1	18.57	59.50	
Caja piso	480 m	13.32	-	20.62	46.94	Ensayos Año 2013
Caja techo	480 m	8.53	-	16.34	39.52	
Caja piso	-	21.19	72.15	13.07	52.00	Ensayos Año 2011
Caja techo	-	48.78	83.52	10.60	62.53	
Mineral	-	49.99	98.50	5.59	73.37	

M: Veta Mary, ML: Veta María Luisa, CH: Cuerpo Huaripampa

Mediante ensayos de compresión triaxial, además de la resistencia a la compresión no confinada de la roca intacta, se obtuvieron valores constantes de criterio de falla "m_i" y parámetros de resistencia al corte de Hoek & Brown (2002-2007). Mohr-Coulomb: ángulo de cohesión y fricción, todos estos parámetros corresponden a rocas intactas.

La roca intacta también se sometió a pruebas de tracción indirecta utilizando el método brasileño y los resultados se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 11. Resultados de los ensayos de resistencia a la tracción.

Muestra	Litología/ Profundidad	σ _t (MPa)	Nota
M – 6	Caliza CH	16.3	Ensayos Año 2020
M – 13	Volcánico M	6.5	
M – 14	Mineral M	6.1	
Caja piso	480 m	6.84	Ensayos Año 2014
Caja techo	480 m	4.77	
Caja piso	-	9.63	Ensayos Año 2011
Caja techo	-	11.97	
Mineral	-	17.93	

M: Veta Mary, ML: Veta María Luisa, CH: Cuerpo Huaripampa

Finalmente, también se realizaron ensayos en tipos de roca intacta propiedades físicas, todos estos resultados se resumen en la Tabla 12, que se presenta a continuación.

Tabla 12. Ensayos de Propiedades Físicas - Resultados

Muestra	Litología	Porosidad Aparente (%)	Absorción (%)	Densidad seca (g/cm ³)	Nota
M – 1	Volcánico ML	8.90	3.59	2.54	Ensayos Año 2020
M – 4	Mineral CH	5.95	1.74	3.46	
M – 6	Caliza CH	0.82	0.29	2.80	
M – 14	Mineral M	0.72	0.18	4.02	
Caja piso	-	2.932	1.099	2.669	Ensayos Año 2014 - 2011
Caja techo	-	2.913	0.993	2.946	
Mineral	-	1.494	0.484	3.109	

ML: veta María Luisa, M: veta Mary, CH: cuerpo Huaripampa

Resistencia de las Discontinuidades

Desde la perspectiva de las discontinuidades estructurales que controlan la estabilidad, es importante comprender las propiedades de resistencia al corte de las discontinuidades porque estas discontinuidades forman la superficie débil de la roca y, por lo tanto, forman posibles planos de fractura. En este caso, la resistencia a cortante está determinada por los parámetros de fricción y cohesión según el criterio de falla de Mohr-Coulomb. Estos parámetros se determinaron realizando ensayos de laboratorio de mecánica de rocas en superficies discontinuas simuladas. El resumen de los resultados se muestra seguidamente en la Tabla 13.

Tabla 13. Ensayos de Corte Directo en Discontinuidades – Resultados

Sondaje	Litología	Cohesión (MPa)	Angulo de fricción (°)	Nota
M – 2	Mineral ML	0.130	30.89	Ensayos Año 2014
M – 6	Caliza CH	0.156	32.25	
M – 9	Volcánico ML	0.114	31.80	
M – 14	Mineral M	0.169	29.12	
Caja piso	-	0.035	38.80	Ensayos Año 2011
Caja techo	-	0.136	24.83	
Mineral	-	0.215	22.04	

ML: veta María Luisa, M: veta Mary, CH: cuerpo Huaripampa

Resistencia de la Macizo Rocoso

Para Para estimar los parámetros de resistividad del macizo rocoso se utilizó el criterio de error de Hoek & Brown (2002-2007) y el programa RocLab de Rocscience Inc. (2013) fue utilizado. Con este fin, este estudio desarrolló los valores más representativos, que incluyen la masa aparente de roca en cada dominio, la resistencia a la compresión unidireccional de la roca intacta y la constante "mi" de la roca intacta. Los parámetros de resistencia del macizo rocoso se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 14. Propiedades de resistencia de la masa rocosa.

Veta/ Cuerpo	Litología	GSI*	σ_c MPa	γ (kN/m ³)	"mi"	m_b	s	E_{mr} (MPa)	ν
Mary	Mineral	35	35	3.8	20	1.099	0.000240	911	0.27
	Volcánico	35	40	2.7	20	1.099	0.000240	1041	0.27
	Volcánico	44	60	2.7	20	1.642	0.000762	2768	0.25
	Volcánico	47	60	2.7	20	1.877	0.001120	3378	0.25
	Volcánico	56	100	2.7	20	2.805	0.003549	9990	0.23
María Luisa	Mineral	35	40	3.8	20	1.099	0.000240	911	0.27
	Volcánico	35	40	2.7	20	1.099	0.000240	1041	0.27
	Volcánico	45	60	2.7	20	1.717	0.000866	2958	0.25
	Volcánico	55	100	2.7	20	2.683	0.003122	9406	0.23
	Volcánico	57	100	2.7	20	2.933	0.004034	10597	0.23
Huaripampa	Mineral	26	20	2.7	12	0.441	0.000076	405	0.29
	Caliza	27	25	3.5	12	0.461	0.000086	531	0.29

Donde:

GSI : Calidad de la masa rocosa GSI = RMR (para condiciones húmedas)

σ_c : Resistencia compresiva uniaxial de la Roca Tipo I (roca intacta)

σ_c : Densidad de la Roca Tipo I (roca intacta)

mi : Constante de la Roca Tipo I (roca intacta)

m_b : Constante del Macizo Rocoso con el criterio de falla de Hoek & Brown

s : Constante del Macizo Rocoso con el criterio de falla de Hoek & Brown

E_{mr} : Módulo de deformación del Macizo Rocoso

Condiciones del agua subterránea

La presencia de agua en el macizo rocoso puede afectar negativamente la estabilidad de los trabajos subterráneos. Su principal efecto es presurizar la discontinuidad, reduciendo la resistencia al corte y por tanto reduciendo el 999margen de seguridad o grado de estabilidad, por lo que es importante tener esto en cuenta.

La presencia de agua se caracteriza por la presencia de agua correspondiente a las condiciones de humedad de las tres zonas mineralizadas, lo cual se observó durante el mapeo geomecánico del macizo rocoso de las labores subterráneo en diferentes niveles de la mina. También se observaron puntos húmedos y goteos esporádicos localmente en el área de María.

Se espera que la presencia de agua en terrenos de menor calidad, como las vetas María y María Luisa y principalmente del cuerpo Huaripampa, puedan afectar negativamente la estabilidad de la excavación, por lo que se recomienda verificar la presencia de agua en el desarrollo de la mina. en niveles más bajos para permitir que el agua fluya a través de estos niveles para permitir minar en condiciones más favorables.

Esfuerzos in-situ

Para la estimación de los esfuerzos in-situ se han utilizado tres criterios: el primero, aplicando el concepto de carga litostática (Hoek & Brown, 1978) y el criterio de Sheorey (1994) para estimar la constante “*k*” (relación esfuerzo horizontal/esfuerzo vertical); el segundo, utilizando la información de mediciones de esfuerzos in-situ en minas aledañas; y el tercero utilizando la información del Mapa Mundial de Esfuerzos.

El primer caso es la veta María, que se extraerá hasta el Nivel 1070 a una profundidad de 600 metros. En la veta María Luisa, la próxima operación minera se realizará en el Nivel 1020 con una longitud de hasta 550 m. En el cuerpo de Huaripampa, la próxima operación minera será hasta el Nivel 1070, que alcanzará una profundidad de 650 m.

La profundidad entre las tres zonas mineralizadas es similar y podríamos considerar una profundidad promedio de 600 m para los tres casos. En este sentido, el esfuerzo in situ se evaluó utilizando el primer criterio predefinido. Para las profundidades anteriores, la fuerza vertical es de 16,2 MPa y el valor de la constante "k" se estima en 0,5, por lo que la fuerza horizontal será de 8,1 MPa.

Con respecto al segundo criterio, la mina Andychagua es la más cercana (distancia en línea recta menor a 10 km) a mediciones instrumentales de esfuerzos in situ. Estas mediciones se realizaron a profundidades entre 600 y 800 m utilizando la técnica de "overcoring" de la Unidad Triaxial CSIRO-HI. La revisión de estos datos medidos correspondientes a los componentes de tensión representativos en el sitio de medición muestra que el valor "k" del componente de tensión horizontal de NS es 1,1 y el valor del componente de tensión horizontal de EW es 1,2, es decir El geoesfuerzo in-situ horizontal es ligeramente mayor que el esfuerzo in-situ vertical.

De acuerdo con este criterio, dado que el geoesfuerzo vertical es un buen estimador de la carga estática de la roca, sería igual a 16.2 MPa, y los valores NS y EW del geoesfuerzo horizontal serían 17.8 y 19.4 MPa, respectivamente.

Al efectuar esta investigación se tuvo también disponible datos de mediciones de esfuerzos in-situ de otros lugares de la zona central del Perú, los resultados de estas mediciones tienden a ser similares a los resultados obtenidos

en Andaychagua, por lo tanto los geoesfuerzos horizontales tienden a ser ligeramente mayores que el geoesfuerzo vertical.

Con respecto al tercer criterio, una revisión del mapa de esfuerzo mundial (ref: 6) confirmó que el esfuerzo horizontal in situ en la parte sur de la provincia de Junín fue ligeramente menor que el esfuerzo vertical in situ y que en la parte norte del sector fue todo lo contrario. La mina Carahuacra está ubicada en la parte centro-occidental de la provincia de Junín y es posible un escenario intermedio. Para todos lo relacionados con el trabajo de campo, es razonable considerar el valor "k" obtenido de las mediciones de la mina para estimar el trabajo de campo en la mina Carahuacra.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Direcciones de Avance de las Excavaciones – Preferenciales

Existen Las direcciones preferidas de los esquemas de excavación se pueden ajustar para lograr mejores condiciones de estabilidad para ellos. Las condiciones más favorables para la estabilidad ocurren cuando la excavación se lleva a cabo en forma perpendicular al sistema de ruptura estructural principal; por el contrario, las condiciones más desfavorables para la estabilidad se dan cuando la excavación se realiza en paralelo al sistema de ruptura estructural principal.

De acuerdo al modelo de disposición estructural de la mina Carahuacra mostrado en 4.1.3. (Distribución de discontinuidades), se observan grandes sistemas de discontinuidades en las vetas María y María Luisa y el cuerpo de Huaripampa.

En ambas vetas, el diseño estructural es similar en que la dirección del sistema principal es NE-SW y viceversa, en que la dirección de excavación

preferida debe ser perpendicular a esta línea. En cuanto al cuerpo de Huaripampa, el sistema principal tiene una orientación NE-SW y NW-SE, por lo que la dirección prioritaria debe ser NS o EW para lograr mejores condiciones de estabilidad durante la excavación.

Por razones técnicas relacionadas con la minería y el diseño, la minería de rebajes ocurre paralelamente a las vetas y los objetos mineralizados, y en este sentido, este aspecto debe tenerse en cuenta durante la operación. Ir en esta dirección no es lo mejor para la estabilidad del minado subterráneo. Para excavaciones nuevas donde se debe elegir la dirección de conducción, se recomienda seguir las direcciones preferidas indicadas anteriormente.

Aberturas Máximas de las Excavaciones y Sostenimiento

A los efectos de realizar esta evaluación de las aberturas de las excavaciones, se consideraron tres categorías de excavaciones: permanentes, temporales y tajeos, donde cada categoría se consideró por separado.

Excavaciones permanentes

Esto incluye obras de infraestructura minera tales como obras de acceso (túneles y rampas), obras de acceso (generalmente rampas) y cámaras de servicios (talleres, cámaras de salvataje, grifos, etc).

En lo posible estas excavaciones deben ser orientadas según las direcciones preferenciales de avance. En este caso, se mejorarán las condiciones de estabilidad, se incrementará la velocidad de excavación y se reducirán los requerimientos de sostenimiento.

Este tipo de excavación requiere la instalación de soportes permanentes que sean resistentes a la corrosión y capaces de resistir las tensiones adicionales creadas por las condiciones de tensión fluctuantes a lo largo de la vida útil de la

mina. Según los resultados de la clasificación y de la zonificación geomecánica del yacimiento, las excavaciones permanentes deben ubicarse en las cajas alejadas, y de preferencia es recomendable que estén en la caja piso, aunque para el caso de mina Carahuacra, la caja techo alejada de la veta Mary viene a ser la caja piso alejada de la Veta María Luisa, en donde predomina la presencia de masas rocosas de calidad Regular A (IIIA) y en menor presencia calidad Regular B (IIIB).

Si clasificamos el macizo rocoso del yacimiento de acuerdo con los criterios de la Tabla 15, podemos determinar las siguientes aperturas máximas de excavación para diferentes rangos de valores de RMR ajustados por direcciones de fractura.

Tabla 15. *Excavaciones Permanentes por Aberturas Máximas*

Dominio	Rango RMR	Promedio RMR	Abertura máxima (m)
DE-II	> 60	65	8.1
DE-IIIA	51 – 60	55	5.2
DE-IIIB	41 – 50	45	3.3

Las aberturas maximas que se muestran corresponden a excavaciones sin apoyo sistemático, es decir. Por ejemplo. En el caso de la roca DE-IIIA RMR 55, las aberturas de 5,2 m o menos requerirán solo apoyo esporádico, que se requiere localmente en la roca. A veces, el soporte se proporcionará utilizando barras helicoidales con refuerzo de cemento o resina de 7 a 8 pies o pernos de roca tipo varilla corrugada.

Vale la pena señalar que la minería subterránea en el país se lleva a cabo con mayor frecuencia mediante operaciones mineras continuas con una apertura máxima de aprox. 4,5 m (rampas y desviación horizontal) como se muestra en la mina Carahuacra

Considerando que la mina local puede tener un macizo rocoso de diferente naturaleza, en la Tabla 16 se indica el sostenimiento recomendado para labores permanentes.

Tabla 16. Sostenimiento para labores de avance permanentes.

Dominio	Rango RMR	Sostenimiento
DE-III A	51 – 60	Sin sostenimiento sistemático, solo esporádico, con pernos y/o shotcrete
DE-III B	41 – 50	Sostenimiento con pernos sistemáticos de 7 pies, espaciados cada 1.5 m, con malla metálica si se requiere. Alternativo una capa de shotcrete de 2” de espesor con pernos espaciados a 1.7 m.
DE-IV A	31 – 40	Sostenimiento con pernos sistemáticos de 7 pies, espaciado cada 1.4 m, con malla metálica y shotcrete de 2” a 3” de espesor.
DE-IV B	21 – 30	Sostenimiento con una capa previa de shotcrete de 2” con pernos sistemáticos de 7 pies, espaciado cada 1.2 m, con malla metálica y shotcrete 2” a 3”. Alternativamente, cimbras tipo 4W13 espaciados cada 1.0 a 1.5 m, previamente una capa de shotcrete con aditivo de 2” a 3” de espesor.
DE-V	< 21	Sostenimiento con cimbras tipo 6W20 espaciados cada 1.0 a 1.5 m, previamente una capa de shotcrete reforzado de 3” de espesor. El avance del frente con barras de fierro corrugado de 1”, o avanzar con marchavantes.

Para este caso, los pernos recomendados deben ser de fierro corrugado o pernos helicoidal inyectada con cemento o con resina (si haya presencia del agua). Con respecto al shotcrete debe tener una resistencia compresiva uniaxial de 25 a 30 MPa., con malla electrosoldada. Puede ser sin malla si se aplica shotcrete reforzado con fibras de acero de adecuada proporción (mínimo 30 kg/m³), recomendado para labores de 4.5 m.

Este análisis es válido si no hay formaciones de cuñas en el techo y paredes. Por lo tanto, es necesario complementar este análisis con evaluaciones de la estabilidad controlando las estructuras que se presenten más adelante.

Excavaciones temporales

Se pueden considerar las labores agrupadas al minado de los tajeos, que son las galerías y cruceros que sirven de acceso a los tajeos labores efectuadas en roca estéril o en mineral, son excavaciones temporales. Estas excavaciones tienen también aberturas de 4.5 m.

Estas son labores para el sostenimiento de labores de avance temporales, en el que se incluye también a tajeos con aberturas de 4.5 m de ancho, muy

comunes en la mina Carahuacra especialmente en las vetas Mary y María Luisa. Considerando los tipos de rocas que se puedan encontrar en el proceso de minado de las estructuras mineralizadas, en la Tabla 17 se tiene el sostenimiento recomendado para este tipo de labores.

Tabla 17. Sostenimiento para labores de avance temporales.

Dominio	Rango RMR	Sostenimiento
DE-III A	51 – 60	Sin sostenimiento sistemático, solo esporádico, con pernos o shotcrete.
DE-III B	41 – 50	Sostenimiento con pernos sistemáticos de 7 pies, espaciados cada 1.5 m con malla metálica si se requerida. Alternativamente shotcrete de 2” de espesor.
DE-IV A	31 – 40	Sostenimiento con pernos sistemáticos de 7 pies, con espaciamiento de 1.0 m, con malla metálica con shotcrete de 2” de espesor.
DE-IV B	21 – 30	Una capa de shotcrete de 2” de espesor + pernos sistemáticos de 7 pies longitud, espaciado cada 1.0 m + malla metálica + otra capa de shotcrete 2”- 3” de espesor.
DE-V	< 21	Sostenimiento una capa previa de shotcrete reforzado de 3” con pernos y malla, además otra capa de shotcrete reforzado de 3”. De lo contrario usar cimbras 6W20 c o n espaciado de 1.0 a 1.5 m, o cuadros de madera, paquetes de madera, gatas, puntales y otros.

Los pernos para este caso deben ser split sets y para terrenos malos es necesario usar pernos hydrabolts. Con referencia al shotcrete su resistencia debe de ser de 25 a 30 MPa., con malla electrosoldada. Otra alternativa sería el shotcrete reforzado con fibras de acero, mínimo 30 kg/m³. En las excavaciones que tengan mayor o menor dimensión que 4.0 m, se debe efectuar una nueva estimación del sostenimiento.

Tajeos

Para efectuar el dimensionamiento de los tajeos, estimaremos las aberturas máximas y los tiempos de autosostenimiento que son calculados de acuerdo a los rangos de calidad RMR del macizo rocoso. En las Vetas Mary y María Luisa el mineral tiene el dominio DE-IV A (Mala A). Para el Cuerpo Huaripampa el mineral tiene el dominio DE-IV B (Mala B). A continuación, tenemos en la Tabla siguiente las aberturas máximas y los tiempos de autosostenimiento estimados.

Tabla 18. *Aberturas Máximas y Tiempos de Autosostenimiento para los Tajeos.*

Dominio	Rango RMR	Abertura máxima (m)	Tiempo de auto sostenimiento
DE-IVA	31 – 40	3.0 – 5.0	Desde 20 horas hasta 2 horas
DE-IVB	21 – 30	2.0 – 3.0	< 1 hora

Esta Tabla nos da una cierta idea de las aberturas máximas en los tajeos para el macizo rocoso en mineral que tienen las Vetas Mary y María Luisa y para el Cuerpo Huaripampa, lo cual condiciona la dimensión de los tajeos, con anchos entre 3.0 y 5.0 m, para las rocas con dominio DE-IVA y para anchos entre 2.0 y 3.0 m, para rocas con dominio DE-IVB. Además, se tiene, la indicación del limitado tiempo de autosostenimiento, por lo que es necesario utilizar sostenimiento artificial de manera inmediata.

Se determina el no ingreso del personal a los tajeos por las dimensiones del no ingreso utilizando el Método Gráfico de Estabilidad (MGE), como indica la publicación de Hoek, Kaiser y Bawden (1995) – Ref. 7. Método desarrollado por Potvin (1988), Potvin y Milne (1992) y Nickson (1992), continuando el trabajo iniciado por Mathews et. al. (1981). La versión actual del método, basado en los análisis de más de 350 casos importante e históricos recolectados de diferentes minas subterráneas en Canada, se toma en cuenta los primordiales factores de influencia del diseño de tajeos. Datos de las estructuras y la resistencia del macizo rocoso, esfuerzos ejercidos en torno a las excavaciones, además el tamaño, la forma y la orientación de la excavación, es utilizada para determinar si el tajeo será estable sin sostenimiento, o con sostenimiento, o inestable aún con sostenimiento. El método también es adecuado para dimensionar el sostenimiento con cables Bolting.

El diseño aplicando con este método está basado en calcular dos factores: N' y S. El primero factor es el número de estabilidad modificado y representa la habilidad de la masa rocosa para permanecer estable bajo una condición de esfuerzo dado. El segundo es el factor de forma o radio hidráulico que toma en cuenta el tamaño y la forma del tajeo.

El número de estabilidad N' se define como: $N' = Q' \times A \times B \times C$

Donde:

- Q'- Índice de Calidad Tunelera, Q modificado
- A - Factor de esfuerzo en la roca
- B - Factor de ajuste por orientación de las juntas
- C - Factor de ajuste gravitacional

Para el caso del factor de forma o del radio hidráulico S, para la superficie del tajeo bajo ciertas consideraciones, se obtiene dividiendo el “área de la superficie analizada” entre el “perímetro de la superficie analizada”.

En base a los valores del número de estabilidad N', y el radio hidráulico S, se puede efectuar la estimación de la estabilidad de un tajeo utilizando el “gráfico de estabilidad”

Para realizar los cálculos se utilizó el software STOPESOFT desarrollado por Graeme Fitz(1999) y además se ha realizado la verificación del análisis en una hoja de cálculo en Excel.

Los análisis se llevaron a cabo con anchos de tajeos de 4.0, 6.0, 8.0 y 12.0 m, con alturas de bancos de mineral de 8.0, 10.0, 12.0 y 15.0, obteniendo tajeos de alturas de 16.0, 18.0, 20.0 y 23.0 m., las longitudes de los tajeos fueron evaluadas y los resultados obtenidos se plotados en el Gráfico de Estabilidad Modificado, con la finalidad de observar si el diseño llega a la región “estable sin

sostenimiento”, o en la región “estable con sostenimiento opcional” o “estable con sostenimiento obligatorio”, o en la zona de “hundimiento”.

A continuación, se tiene un resumen del análisis realizado de las máximas dimensiones recomendadas para los tajeos abiertos en la modalidad de no ingreso del personal en la Tabla 19:

Tabla 19. Longitud de las Dimensiones Máximas de Tajeos

Veta Mary												
Cond. Estab.	Ancho de tajeo =				Altura de tajeo =							
	4 m	6 m	8 m	12 m	16 m	18 m	20 m	23 m	16 m	18 m	20 m	23 m
	Calidad IVA				Calidad IIIB – inclinac. 64°				Calidad IVA – inclinac. 64°			
ESS	7	5	4	3	9	9	8	8	5	5	5	5
ESO	sr	50	30	12	27	23	21	19	18	16	14	13
ECS	sr	sr	sr	50	45	36	34	28	31	26	22	19
	Calidad IVA				Calidad IIIB – inclinac. 58°				Calidad IVA – inclinac. 58°			
ESS	7	5	4	3	9	8	8	7	5	5	5	4
ESO	sr	50	30	12	26	22	20	18	17	15	13	12
ECS	sr	sr	sr	50	40	35	33	27	30	25	21	18
Veta María Luisa												
	Calidad IVA				Calidad IIIA – inclinac. 64°				Calidad IIIB – inclinac. 64°			
ESS	7	5	4	3	18	16	14	13	9	9	8	8
ESO	sr	50	30	12	46	37	34	29	27	23	21	19
ECS	sr	sr	sr	50	75	60	50	42	45	36	34	28
	Calidad IVA				Calidad IIIA – inclinac. 52°				Calidad IIIB – inclinac. 52°			
ESS	7	5	4	3	15	13	12	11	8	7	7	7
ESO	sr	50	30	12	42	35	30	26	24	21	19	17
ECS	sr	sr	sr	50	65	52	42	35	38	33	31	25

ESS = Estable Sin Sostenimiento;

ESO = Estable Sostenimiento Opcional;

ECS = Estable Con Sostenimiento obligado;

sr: Significa (sin restricción) que no hay límite de longitud en la superficie analizada para dicha condición de estabilidad.

A manera de ejemplo, para interpretar este cuadro, para el caso de la Veta Mary, cuando se tiene cajas con masa rocosa de calidad Regular B (IIIB) y buzamiento de la veta de 58°, en tajeo de altura de 20 m se obtienen longitudes de tajeos de hasta 8.0 m, 20.0 m y 33.0 m correspondientemente considerando la zona “estable sin sostenimiento”, “estable con sostenimiento opcional” y “estable con sostenimiento obligatorio”.

Para el caso de la Veta María Luisa, el macizo rocoso es mejor con respecto a la Veta Mary, es así que se pueden encontrar rocas de calidad Regular B y Regular A. Esto es favorable para la estabilidad teniendo presente que el menor buzamiento se encuentra en esta veta. En tal sentido se puede instaurar dimensiones de detajeos promedios a razón de las variables y la calidad del macizo rocoso y el buzamiento de la estructura de la mineralización.

Estabilidad Estructuralmente Controlada

Las discontinuidades como fallas, diaclasas, estratos y otros, forman planos de debilidad, que, al coincidir, podrían generar cuñas o bloques en la roca del techo y las paredes de la excavación, las cuales se pueden colgar y deslizar, generando inestabilidad, por lo tanto, la estabilidad está condicionada por la presencia de estas cuñas o bloques, por lo que lo llamamos “estabilidad estructuralmente controlada”.

A fin de evaluar la influencia del arreglo estructural de la masa rocosa de las vetas Mary y ML (María Luisa) sobre las condiciones de estabilidad de las excavaciones que estarán asociadas al minado, se ha realizado un análisis de estabilidad estructuralmente controlada, utilizando el programa de cómputo UNWEDGE (Rocscience, 2002).

También se contempló evaluar la estabilidad del macizo rocoso en cada sección a razón de su propio arreglo estructural. Con resultados similares por lo que se indica lo siguiente:

- En las labores de avance que tienen dirección paralela a la mineralización, el arreglo estructural del macizo rocoso tiene mucha influencia en la generación de cuñas tanto en la caja techo, como en los hastiales de las labores mineras. Las cuñas que se forman en la caja techo son de gran dimensión y

potencialmente inconsistentes. Las cuñas formadas en los hastiales son de menor dimensión y son medio estables. Las cuñas de la caja techo puede ser sostenidas sistemático con pernos de diferente índole o shotcrete. Las rocas de calidad Regular A solo requieren sostenimiento esporádico, pero los análisis indica que se requiere sostenimiento sistemático con pernos o shotcrete en las excavaciones paralelas a las vetas.

- En las labores que tienen dirección perpendicular a la estructura mineralizada que son preferenciales para el avance de las excavaciones, no son exentas de la formación cuñas en el techo y en los hastiales, pero las cuñas del techo son de menor dimensión, pero muy inestables, y las cuñas que se forman en los hastiales se presentan estables. Las cuñas de techo se pueden estabilizar mediante un buen desatado del macizo rocoso o sostenimiento esporádico con pernos o shotcrete.

El análisis de estabilidad de las estructuras controladas, son aplicables principalmente para los tipos de rocas de calidad Regular B (DE-IIIB) y rocas de calidades superiores. En el caso del Cuerpo Huaripampa que está conformada por rocas de mala calidad, pero la estabilidad de las labores mineras es controlada por la resistencia del macizo rocoso y los esfuerzos, mas no por las estructuras.

Este aspecto se debe tomar en cuenta antes de efectuar los sostenimientos recomendados anteriormente (Aberturas máximas de las excavaciones y sostenimiento). También vale señalar que los resultados son válidos para los tajeos, donde se tiene cuñas de mayor dimensión con alta inestabilidad en la caja techo. Debemos de tener en consideración que por el método de minado que se tiene, los tajeos son de no ingreso del personal dentro de los tajeos, en ese sentido, los tajeos para su estabilidad dependen de la velocidad del minado.

Otro aspecto que debe de ser considerado es la técnica de perforación y voladura a ser utilizado, ya que en estos casos, es recomendable efectuar cuidadosamente los diseños y la ejecución de la perforación y voladura controlada para mantener la estabilidad de la caja techo de los tajeos evitando las excesivas perturbaciones, para no desestabilizar el macizo rocoso y no generar dilución.

Estabilidad Controlada por Esfuerzos

Mediante el estudio de la estabilidad controlada por esfuerzos se tiene que efectuar un modelamiento numérico para determinar el esfuerzo y la deformación con el software Phase 2 v 8.0 de Rocscience Inc. Con este software se puede efectuar la evaluación la estabilidad de las excavaciones asociadas al método de explotación. Por lo tanto, se considera realizar la evaluación de las dimensiones actuales que tienen las excavaciones.

Para el caso de la evaluación de las vetas es determinar el buzamiento de la veta, para definir la estabilidad de los tajeos, en lo cual se observa que no es regular para las vetas que se tiene. En la Veta Mary, el buzamiento va de 58° a 64° y en la Veta María Luisa el buzamiento vario de 52° a 64°.

Teniendo en cuenta los aspectos citados se ha creído conveniente realizar varios modelos con los tres buzamientos distintos y calidades de masa rocosa Mala A (RMR 31-40) y Regular B (RMR 41-50). Los resultados de los modelamientos numéricos realizados, considerando además el método de minado Bench & Fill (B&F), han indicado lo siguiente:

Modelamiento de la Veta Mary

- En el caso del modelamiento de la Veta Mary, se efectuó la evaluación de la calidad del macizo rocoso en la caja techo y el buzamiento de la veta que va de 58° hasta 64°. Determinando el ancho del tajeo de 5.0 m con alturas de

banco que van desde los 8.0, 10.0, 12.0 y 15.0 m, obteniéndose tajeos verticales de 16.0, 18.0, 20.0 y 23.0 m correspondientemente, se obtuvieron diferentes resultados con los que se pueden definir las mejores alternativas de dimensionamiento que permitan obtener mayores condiciones de estabilidad.

- Para el caso de las cajas con rocas de mala de calidad Mala A (IVA), cuando el buzamiento de la veta es mayor, las condiciones de estabilidad de los tajeos son mejores. En este caso se tienen dos buzamientos y a partir de esto se observa que para tajeos de 18.0 m de altura (es decir 10.0 m de banco) las condiciones de estabilidad son mejores que las otras opciones. Si se adoptara un banco de 8.0 m de altura, la estabilidad del banco es menos favorable con respecto a un banco de mayor altura, pero tener mayor altura de banco conlleva a tener mayor altura de tajeos lo cual genera mayor inestabilidad en la caja techo.
- Se tiene también que para las cajas donde la roca es de calidad Regular B (IIIB), la perturbación viene a ser menor que para la roca de calidad Mala
- Para la Veta Mary, su zonificación nos indica que encontraremos estos tipos de roca, pero tendremos una mayor presencia de roca de calidad Regular B.

Modelamiento de la Veta María Luisa

- El modelamiento de la Veta María Luisa se ha realizado con buzamientos de veta que van 52° hasta 64°. Los análisis de buzamiento de las vetas de 64°, se pueden considerar que estos resultados son aplicables para la Veta Mary cuando son rocas de calidad Regular B.
- En las zonas que tienen buzamiento de 52°, los ambientes de estabilidad son poco favorables en relación a los resultados conseguidos para buzamiento

de 64°. En buzamientos bajos se tiene menor altura de banco, lo cual permite lograr estabilidad adecuada con bancos de hasta 8.0 m de altura, por lo que se tiene menor altura vertical de tajeos. Esto en particular admite tener tajeos con alturas menores y de acuerdo al bajo buzamiento de la veta, se recomienda no ejecutar mayores alturas en los tajeos.

- En la Veta María Luisa se tiene la ventaja de que la calidad de la roca de la caja techo es de Regular B (IIIB), así como también de Regular A (IIIA), ya que en algunos sectores se tiene rocas de menor calidad. Se efectuaron modelamientos teniendo en consideración este tipo de rocas, logrando obtener mayores condiciones de estabilidad en el caso de las rocas de calidad superior.
- En el modelamiento de vetas de buzamiento de 52° para el caso de que la calidad de la roca es Regular A (IIIA), la estabilidad es muy conveniente inclusive para bancos de 12 m de altura, pero este hecho conlleva a tener mayor altura de tajeo y mayor altura inclinada de la caja techo, por lo que no es recomendable adoptar mayores alturas porque podría influir adversamente en la estabilidad de la caja techo.

En resumen, de acuerdo a lo detallado es recomendable que los bancos no tengan exceso de altura, evitando exponer la caja techo durante la limpieza del mineral.

Modelamiento del Cuerpo Huaripampa

El modelamiento realizado para el cuerpo Huaripampa teniendo en consideración el método de explotación aplicado como es el Drift & Fill (D&F)(cámaras y pilares), los resultados obtenidos se detallan a continuación:

- La simulación realizada para este método teniendo en consideración las

galerías de 4.0 m de ancho, y también se realizó la simulación para ancho de 5.0 m., teniendo como resultados que no se tiene en ambos anchos mucha diferencia en referencia a las condiciones de la estabilidad de las galerías, en este sentido, la estabilidad va estar definida de acuerdo al control que se practique por lo tanto el sostenimiento un control muy importante para la estabilidad.

- Los esfuerzos inducidos en las rocas de buena calidad, es muy deferente a los esfuerzos inducidos en rocas es de mala calidad, ya que la masa rocosa desarrolla un comportamiento plástico. Es así que los resultados no permiten tomar decisiones en referencia a la dimensión de los tajeos. El control de la estabilidad esta dado en base al sostenimiento oportuno y a la velocidad pertinente para el minado sin mantener las excavaciones abiertas con excesivos tiempos de exposición.

4.3. Prueba de hipótesis

En el trabajo de Investigación se propuso las variables independiente y dependiente, con las cuales se acepta la hipótesis, en la que se propone la Evaluación Geomecánica para Mejorar los Estándares del Minado de la Mina Carahuacra de la Compañía Minera Volcán S.A.A.

- ✓ **H0:** Evaluación Geomecánica de la Mina Carahuacra.
- ✓ **H1:** Estándares del minado de la Mina Carahuacra.

4.4. Discusión de resultados

Métodos de Minado

Como se mencionó en el Capítulo I, en la Mina Carahuacra actualmente seaplican dos métodos de minado: banqueo y relleno con taladros largos (Bench & Fill – B&F) o denominado también AVOCA en las Vetas Mary y ML (María

Luisa), y galerías y relleno o corte y relleno ascendente por paneles (Drift & Fill – D&F) en el Cuerpo Huaripampa.

A fin de verificar se han realizado esfuerzos para seleccionar los métodos de extracción, teniendo en cuenta la información pertinente, si estos métodos de extracción son los más adecuados para las condiciones naturales del yacimiento de Carahuacra o si pueden existir métodos de extracción alternativos para el yacimiento desarrollado principalmente en los Capítulos 2 y 4, trata de las condiciones físicas del yacimiento: geología, características morfológicas (forma, resistencia, rumbo y buzamiento y profundidad bajo la superficie), reservas (tamaño y distribución de leyes), geomecánica (calidad de la roca), ocurrencias y minerales, resistencia y fuerzas de las rocas, y caracterizando la presencia de aguas subterráneas.

Tomando en cuenta toda la información mencionada en el párrafo precedente, se han aplicado diversas técnicas de selección del método de minado, como las de Boshkov and Wright (1973), Hartman (1987) y Nicholas (1981), particularmente este último, que hace especial énfasis en las condiciones geomecánicas del yacimiento.

El proceso de priorización de los diversos factores asociados con los diferentes métodos de minería subterránea se basa en el rango de condiciones geomecánicas de la masa rocosa subyacente, lo que indica el método de minado más adecuado, desde el punto de vista técnico, son:

- Veta Mary: “corte y relleno” (Cut & Fill – C&F) y “conjunto de cuadros” (Square Set-SQS).
- Veta ML (María Luisa: similar a la Veta Mary, “corte y relleno” (Cut & Fill – C&F) y “conjunto de cuadros” (Square Set – SQS).

- Cuerpo Huaripampa: “conjunto de cuadros” (Square Set – SQS) y “corte y relleno”(Cut & Fill – C&F).

Desde el punto de vista económico, en la Tabla 20 se presenta ordenadamente, de menos a más de cómo estarían ubicados los métodos de explotación de acuerdo a los costos de minado. Generalmente se busca la aplicación de los métodos a un yacimiento mineral realizando el análisis correspondiente, para poder encontrar el método a aplicar de menor costo.

Tabla 20. *Métodos de Explotación Subterráneo en orden de acuerdo a sus costos*

Orden	Método de minado	Abreviación
1	Block ó Panel Caving	BC
2	Room and Pillar	R&P
3	Sub Level Stoping	SLS
4	Sub Level Caving	SLC
5	Cut and Fill Stoping	C&F
6	Vertical Crater Retreat	VCR
7	Top Slicing	TS
8	Shrinkage Stoping	SHS
9	Square Set Stoping	SQS

Caso Vetas Mary y ML (María Luisa):

Por las condiciones naturales de estos yacimientos La aplicabilidad de BC se excluye principalmente debido a la morfología de la estructura mineralizada y el tamaño de las reservas. Nuevamente, R&P se excluye debido a las características morfológicas de estos depósitos, pero algunos tipos de pilares se pueden usar junto con otros métodos de minería. SLS no es el método preferido, sino una aplicación de los métodos grafico de estabilidad, además por la práctica que se tiene en la Mina Carahuacra, complementando el uso de relleno método SubLevel Stopin es el que sería utilizado (caso B&F). El método SLC se descarta al igual que el método BC. El método C&F es el favorito. Los demás métodos de

explotación son de costos muy altos, por lo que no es dable su evaluación y su aplicación.

De acuerdo al análisis efectuado, en las Vetas Mary y María Luisa se determinó la aplicación del Sublevel Stopin con relleno, como primera alternativa y el método C&F, otra alternativa sería el método B&F, que es un método combinado entre el SLS y el C&F, que tiene mayor producción que el C&F solo. Este método explotación es el que actualmente se utiliza en Mina Carahuacra y el personal de mina tiene experiencia en el mismo. Se confirma aquí que el método de minado B&F es el método adecuado para las condiciones naturales de ambas vetas mencionadas.

Caso Cuerpo Huaripampa:

El BC es descartado debido principalmente al tamaño pequeño del yacimiento y a la calidad de la masa rocosa. El R&P también es descartado debido a la calidad de la masa rocosa, sin embargo, podría ser utilizado en combinación con otros métodos de minado. El SLS queda descartado, principalmente por la mala calidad de la masa rocosa. El SLC no fue descartado en el proceso de selección del método de minado, puede ser una alternativa posible, pero está limitado por los problemas que ocasionaría el fenómeno de subsidencia. El C&F es uno de los métodos preferidos. Los demás métodos tienen costos muy altos por lo que no fueron evaluados.

Según el análisis realizado, para la explotación del Cuerpo Huaripampa quedan como alternativas el C&F y el SLC, en este último caso si es que se admitieran los problemas de subsidencia. El corte y relleno tiene un extenso rango de variaciones como resultado del minado selectivo, buena recuperación y practicabilidad bajo condiciones geomecánicas diversas, y se presta a la

mecanización de la explotación. Las técnicas de relleno que actualmente se disponen, pueden mejorar los aspectos técnicos y económicos de este método de minado, que frecuentemente ha reemplazado a otros métodos.

Hay variadas modalidades de corte y relleno, que dependerán de las condiciones geomecánicas que presenta la masa rocosa y de la potencia de la estructura mineralizada. Debemos tomar en cuenta que la masa rocosa del Cuerpo Huaripampa es de mala calidad y que la potencia de la mineralización es mayor que 10 m alcanzando hasta 50 m o algo más. También hay que tener en cuenta que con el sostenimiento adecuado se puede controlar la estabilidad de la bóveda y de los hastiales. En estas condiciones, la alternativa “galerías y relleno” (D&F) es el que se adapta mejor para la explotación de este yacimiento.

Resumen:

Según el análisis realizado, por un lado, se confirma que el método de minado B&F es el método adecuado para las condiciones naturales presentes en las Vetas Mary y ML (MaríaLuisa), por otro lado, se confirma también que el método de minado D&F es adecuado para la explotación del Cuerpo Huaripampa. Queda como alternativa para este último caso el SLC siempre y cuando se admitan los problemas que podría originar el fenómeno de subsidencia.

Parámetros de los métodos de minado

Ubicación de las labores de acceso y servicios permanentes

Las Vetas Mary y ML (María Luisa), ambas buzan hacia el SE, y el Cuerpo Huaripampa buza hacia el SW. Las labores de acceso y servicios están ubicadas en la parte central del triángulo que forman las tres estructuras mineralizadas, es decir en la caja techo de la Veta Mary y en las cajas piso de la Veta ML (María Luisa) y del Cuerpo Huaripampa.

Respecto a la Veta ML (María Luisa) y al Cuerpo Huaripampa se cumple el estándar de que las labores de acceso y servicios estén ubicadas en la caja piso, pero para la Veta Maryno se cumple dicho estándar, por estar ubicado en la caja techo las citadas labores. Esto último no tiene mayor significancia desde que la masa rocosa volcánica ubicada entre ambas vetas tiene típicamente calidad Regular A (IIIA RMR 51-60). La estabilidad de las labores de acceso y servicios en esta área viene siendo controlada satisfactoriamente. Para el caso del Cuerpo Huaripampa, en su caja piso se presentan calizas de calidad Mala A (IVA RMR 31-40), en esta condición de masa rocosa el control de la estabilidad es un tanto más complicado, particularmente cuando hay presencia de agua, pero con sostenimiento adecuado se llega a la estabilización.

Por tanto, no hay mayores problemas con la ubicación actual de las labores de acceso y servicios. La decisión de buscar una ubicación adecuada de estas labores esto dependerá de la planificación y diseño de la mina, donde los aspectos operativos jugarán un papel fundamental. Se debe considerar la ubicación de estas labores lejos de la influencia de la explotación de los tajeos. Por otro lado, también se debe tener en cuenta la distancia a las futuras zonas de minado.

Proyectos del Minado y Dimensionamiento de las Vetas Mary y María Luisa

El método de minería B&F se caracteriza porque en este caso hay una mina a lo largo de la veta. Se construyen los subniveles (inferior y superior), dejando entre ellos un banco de mineral, el cual se extrae gradualmente con taladros largos. De acuerdo a como se va minando por un frente se limpia por el subnivel inferior, la otra superficie se va relleno con relleno detrítico por el

otro subnivel superior, lo que reduce la longitud de las cajas expuestas, el relleno soporta las cajas expuestas.

El minado actual por el método B&F el minado está comprendido por el block de los niveles que se tiene cada de 50 m de altura, los blocks se dividen en tres subniveles de 14.0 m (piso a piso), dejando un banco de mineral de 10 m de altura, por otro lado, los subniveles tienen 4.0 m de altura, quedando en el nivel superior un pilar que sirve como puente de seguridad de 4.0 m de altura. Los tajeos en la Veta Mary tienen una altura de 6.0 m, en algunos casos puede llegar a 12.0 m en pequeños tramos. En la Veta María Luisa los tajeos tienen 14 m.

Según los análisis realizados y presentados, las longitudes de los tajeos, con las dimensiones indicadas en el párrafo anterior, se pueden observar:

- Se tiene la presencia de cuñas con potencial inestabilidad de las rocas de la caja techo de las vetas Mary y María Luisa.
- Los esfuerzos que fueron desarrollados en la caja techo, son desfavorables especialmente cuando el buzamiento es menor como lo tiene la Veta María Luisa.
- La desviación de taladros, son los problemas operativos que se pueden tener tratándose de vetas angostas como es el caso de la veta María Luisa, además de generar una mayor dilución.

Salvando todas estas limitaciones, de ambas vetas en estudio, la Veta ML (María Luisa) es la que tiene mayor posibilidad de aumentar la altura del banco de mineral, no siendo recomendable ir a 15 m sino a menor banco, que podría ser 12 m como límite.

Cuerpo Huaripampa:

Se han descrito las características principales del minado con D&F del Cuerpo Huaripampa. Los parámetros geomecánicos de este método de explotación son simples, limitados por el tamaño de la sección de las galerías denominado primario y secundario, que es de 4.0 m x 4.0 m para los dos casos. Mediante estas dimensiones y el sostenimiento efectuado se logrará manejar apropiadamente las condiciones de la estabilidad para las excavaciones que se vienen efectuando.

El método de explotación D&F se viene aplicando en condiciones del tipo de roca de mala que se tiene en el Cuerpo Huaripampa (Mala B IVB con RMR 21-30). Para las secciones de 4 m x 4 m.

En la Mina Carahuacra tiene la proposición de incrementar las secciones de los paneles a 5.0 m de ancho manteniendo los 4.0 m de altura, Se vienen realizando modelamientos con este posible incremento en la sección, pero se observa en las simulaciones de esfuerzos y factores de seguridad que son más favorables la sección 4.0 m x 4.0 m, con referencia a la sección 5.0 m x 4.0 m, pero se tiene que los contrastes son mínimos. Resultados que se dan por la mala calidad de la roca que tiene el cuerpo Huaripampa.

Para aumentar el tamaño de la sección de los paneles es recomendable efectuar varias simulaciones hasta determinar su efectividad ya que en base a esto se controla la estabilidad de toda la estructura de los paneles. Si se efectúa este control, acompañado de un efectivo sostenimiento, se podría incrementar la sección a 5.0 m x 4.0 m.

Tiempos de autosostenimiento

El personal de Mina Carahuacra ha solicitado al Consultor definir la máxima luz de abertura y su respectivo tiempo de exposición sin rellenar en el minado por B&F.

Al respecto, cabe hacer la siguiente observación: la tecnología actual nos permite estimar el tiempo de autosostenimiento de las excavaciones simples, como son los túneles, galerías, cruceros, rampas, subniveles y otros. Para el caso de tajeos, que corresponde al método de minado B&F, el concepto que manda no viene a ser los tiempos de autosostenimiento la que debe regir es el “no ingreso del personal dentro del tajeo”. Por qué los tajeos con estas dimensiones no pueden ser desatados en su totalidad, es por eso que el personal no debe ingresar dentro de los tajeos y se debe realizar la limpieza del mineral disparado con los equipos que funcionan a control remoto.

Manteniendo el concepto de no ingreso del personal dentro de los tajeos, las operaciones se efectuarán una tras otra, respetando las dimensiones establecidas mediante la evaluación geomecánica. Controlando la estabilidad de las excavaciones asociadas con el método de minado.

Con respecto al método de explotación D&F, en el cual sí se puede establecer el tiempo de autosostenimiento por ser excavaciones simples. Donde se presentarán aberturas máximas con tiempos de autosostenimiento para tajeos, para tipos de roca de mala calidad como se tiene en el Cuerpo Huaripampa, los tiempos de autosostenimiento son cortos (< 1 hora para 3.0 m de abertura), por lo tanto, el tiempo es más corto para aberturas de 5.0 m. Para esto es necesario efectuar el sostenimiento a la mayor brevedad posible para el método de minado D&F de la mina Huaripampa.

Secuencias de Avance del Minado de la Veta Mary y María Luisa

Cabe señalar que el método de minado B&F se tiene un aspecto muy importante que el avance del minado en los tajeos será forma longitudinal, manteniéndose en paralelo a la estructura del mineral. La evaluación geomecánica efectuado mantiene este medio de avance.

Para el método B&F, se tienen diferentes alternativas para la secuencia de avance del minado, mediante un solo horizonte entre dos niveles o realizar un minado simultáneo para varios horizontes. Si se tiene avances en un mismo horizonte se debe dividir la estructura mineralizada en paneles logrando tener un mayor número de frentes de producción, los avances para este caso pueden ser convergente o divergente de panel entre panel, manteniendo el ciclando conveniente durante la secuencia de los avances.

Si se tiene varios horizontes de avance, se requiere un minado en gradines, ya que permite tener más frentes de producción, su práctica depende de las operaciones, manteniendo los accesos ubicados convenientemente se pueden llevar a cabo varios esquemas y secuencias de avance para el minado, Mediante el punto de vista geomecánico se pueden adoptar una u otra secuencia del minado. Para este método de minado es recomendable iniciar la explotación desde la base del yacimiento, de lo contrario será conveniente dejar pilares de mineral que sirvan como puentes, los cuales podrían perderse.

Cuerpo Huaripampa:

En resumen, en el D&F primero se minan los paneles primarios y se rellenan con relleno hidráulico topeado al techo, luego se minan (o recuperan) los paneles secundarios, dejando una costra de mineral para ayudar a la estabilidad del relleno de los tajeos primarios. Luego de completada la explotación de un horizonte se comienza con la explotación del horizonte superior, así

sucesivamente va avanzando el minado de manera ascendente. Es obvio que después de la limpieza del mineral y antes del relleno de los paneles tanto primario como secundario se tiene que sostener la excavación.

Un aspecto muy importante es el topeo del relleno al techo, si no hubiera un buen topeo al techo, no se harían esperar los problemas de inestabilidad local y global, debido a la mala calidad del terreno.

En el D&F hay alternativas de secuencia de avance del minado para lograr mejores condiciones de estabilidad local y global. Estas son:

- Una alternativa es explotar primero todos los paneles primarios y luego recuperar los pilares corridos (paneles secundarios), ya sea de manera convergente (desde los extremos hacia el centro) o de manera divergente (desde el centro hacia los extremos), en este caso es más ventajoso adoptar la modalidad divergente para tener influencia cada vez menor del arco de esfuerzos actuando en el horizonte de minado.
- Otra alternativa de secuencia de avance del minado es ir explotando paneles primarios y secundarios en retirada, comenzando en un extremo y terminando en el otro extremo; esta secuencia tiene ventajas en las condiciones de estabilidad de las excavaciones, sin embargo, si se usa relleno cementado obliga a tener menores tiempos de fraguado con el consiguiente mayor consumo de cemento. Si no se utilizara relleno cementado como es el caso de Huaripampa, donde se usan costras de mineral, esta sería la alternativa recomendable.

Sostenimiento

En relación al sostenimiento de tajeos, se ha presentado los resultados de la estimación del sostenimiento para labores temporales, los cuales cubren a los

tajeos. Estos sostenimientos son válidos para abiertos de 4 a 5 m para las diferentes calidades de masas rocosas y pueden ser aplicados tanto en las Vetas Mary y ML (María Luisa) como en el Cuerpo Huaripampa.

Métodos de minado, se describe el sostenimiento que actualmente es utilizado tanto en la explotación de las Vetas Mary y ML (María Luisa) como en el Cuerpo Huaripampa. Con este sostenimiento se viene controlando adecuadamente la estabilidad de las excavaciones asociadas al minado. El personal de MinaCarahuacra tiene la experiencia del caso en estos tipos de sostenimiento y no sería recomendable pasar bruscamente al sostenimiento recomendado en este informe, sino el cambio debe ser gradual, siempre probando o piloteando las nuevas soluciones del sostenimiento.

En el caso de la Veta Mary, donde se llegan a potencias de 6 m y excepcionalmente se ha llegado a potencia de 12 m, el sostenimiento deberá ser mayor en estos casos a los especificados para excavaciones de 4 a 5 m. Se ha hecho el ejercicio para estimar el sostenimiento de tajeos de 6 a 8 m y de 10 a 12 m de ancho, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Para el caso de tajeos de 6.0 a 8.0 m de ancho, se requiere pernos hydrabolts de 8 a 10 pies de espaciados a un 1.0 m, con malla electrosoldada, con una capa de shotcrete de 3” de espesor.
- En los tajeos de 10.0 a 12.0 m, se requiere una capa preventiva de shotcrete de 2” de espesor, luego pernos hydrabolts de 10 pies de longitud, con espaciamiento cada 1.0 m, con malla electrosoldada, luego una segunda capa de shotcrete de 2” de espesor.

Para el caso del método de minado D&F para el Cuerpo Huaripampa, el tipo de rocos mineralizada es de calidad Mala B (IVB con RMR 21-30), en este

caso el sostenimiento estimado es una capa de shotcrete de 2" de espesor con pernos tipo hydrabolts distribuidos sistemáticamente de 7 pies longitud, con espaciamiento cada 1.0 m con malla electrosoldada, además otra capa de shotcrete de 2" de espesor.

Pueden ocurrir casos en los que el sostenimiento que se está utilizando actualmente en los tajeos de Mina Carahuacra sea menor que los sostenimientos estimados que se están recomendando en este informe. De ser este el caso, y de tener certeza que con el sostenimiento que se viene utilizando se tiene un completo control de la estabilidad del tajeo, es recomendable seguir con este sostenimiento. Los sostenimientos recomendados son estimados basados en métodos de cálculo disponibles hoy en día en la mecánica de rocas, tomando en cuenta las condiciones geomecánicas de la masa rocosa.

Relleno

Relleno en la Vetas Mary y María Luisa

En el método de minado B&F, se utiliza relleno detrítico este material genera un ángulo de reposo. Para el minado de las Vetas Mary y María Luisa también se utiliza el relleno detrítico. Otra opción de relleno sería el relleno hidráulico, para lo cual se tendría que conformar diques o pilares en mineral para mantener al relleno, generando una distorsión del método de minado B&F.

Relleno Cuerpo Huaripampa

Para el método de explotación D&F se requiere la utilización para los paneles primarios (galerías) el relleno hidráulico cementado con poco cemento. La resistencia que debe tener el relleno hidráulico cementado es de 0.3 a 0.4 MPa, que representa el cemento en la mezcla del 2 al 3 % de peso. Los tajeos de recuperación de pilares largos (secundarios) no requieren relleno cementado solo

relleno convencional. El tipo relleno que se acomoda a este método de explotación viene a ser el relleno hidráulico cementado, logrando topear el techo casi en toda su amplitud. Otro tipo de relleno sería la pasta. Hubo casos en que se utilizó relleno con agregados cementados, pero en el topeo del techo se tiene muchas dificultades.

En el cuerpo Huaripampa no se requiere relleno cementado, por lo que se deja una costra de mineral de 0.5 m en cada lado de las cajas del panel secundario esto permite darle estabilidad al relleno hidráulico de los paneles primarios. Pero es necesario cubrir la costra de mineral con una capa de shotcrete, lo cual le da estabilidad.

Aspectos finales de Estabilidad

Se tienen aspectos adicionales que pueden optimizar la estabilidad de las excavaciones asociadas al minado, los cuales son:

- Una estrategia para controlar apropiadamente la estabilidad de las excavaciones son el control de la voladura y la velocidad en el ciclo de minado.
- En el Método de minado B&F se requiere un diseño cuidadoso y un control de los estándares para efectuar la perforación y voladura controlada, manteniendo la estabilidad de las cajas de los tajeos, en especial la caja techo. El control del paralelismo de los taladros contribuirá a reducir la dilución. En el método de minado D&F es muy importante determinar una apropiada velocidad al ciclo de minado. Además de controlar el buen topeo del techo cuando se efectúa el relleno.
- El Departamento de Geomecánica de la Mina Carahuacra, debe mantener un eficiente control de la efectividad del sostenimiento, en relación a los pernos

y el shotcrete, antes, durante todo el proceso de su aplicación. Estos controles deben de darse a los materiales y equipos que se tienen que utilizar, así mismo un control permanente a los procedimientos que tienen para las instalación del sostenimiento, para luego verificar la efectividad del sostenimiento.

- Para el caso del método de explotación B&F, con respecto a la dilución y recuperación dependiendo de la calidad del macizo rocoso de las cajas y del mineral. Cuando la roca es de mala calidad la dilución se incrementa teniendo una baja recuperación y viceversa. Las diluciones tienen un rango de 10 a 15 % con unas recuperaciones de 85 % a 90 %. Por lo que se tiene el dato que a menores potencias mayor dilución y menor recuperación y viceversa. Actualmente en las Vetas Mary y María Luisa se tiene una dilución del 20% y se tiene una recuperación del 90 al 92 %.
- Para el minado D&F, la dilución se da en un orden de 5 % con una recuperación del 90 a 95 %. En el Cuerpo Huaripampa no se tiene información con respecto a la dilución, pero sí en referencia a la recuperación, que senda de 87 % a 90 %. En el caso de utilizar relleno hidráulico cementado se tendría una mejor recuperación por que podría recuperar las costas de mineral dejadas.

CONCLUSIONES

- Las principales formaciones rocosas que se presentan a nivel local, las cuales han dado origen y se relacionan con la mineralización, son: Grupo Excelsior, principalmente constituido por filitas; Metavolcánicos, que es una secuencia de transición entre el Excelsior y el Mitu y consiste en rocas volcánicas; Grupo Mitu, que localmente consta de volcánicos andesíticos; Grupo Pucará, compuesto por calizas; Grupo Goyllarisquizga, que consiste de areniscas cuarcíticas; y Rocas Intrusivas, que consisten en microdioritas.
- El proyecto se encuentra en la unidad estructural regional conocida como Domo de Yauli, estructura tectónica, de 30 km de longitud y 15 km de ancho, con orientación NNW-SSE. En el proyecto las formaciones de los Grupos Pucará y Goyllarisquizga se encuentran perturbadas por grandes pliegues, fallas inversas y extensos sobre-scurrimientos generado por los esfuerzos compresivos. Se tiene un sistema de fallamiento predominante al NE, incluyéndose las vetas del distrito minero Carahuacra – San Cristóbal y Andaychagua.
- Las características litológicas de la mineralización en proceso de evaluación son: la Veta Mary en rocas volcánica que tiene una composición dacítica a andesítica; la Veta María Luisa en roca volcánica ubicado en el extremo oeste y en filitas ubicado el este; el Cuerpo Huaripampa en las calizas del Grupo Pucará.

RECOMENDACIONES

- El avance del minado está alineado con el NS o EW. Por razones de orden técnico es recomendable adoptar esta dirección en los avances, la explotación debe tomar la que dirección de avance que sea paralelas al de las vetas Mary y María Luisa, lo cual es desfavorable para las condiciones de estabilidad del minado. Por lo tanto, se requiere tener en cuenta los parámetros geomecánicos diseñados para las excavaciones.
- Los tipos de sostenimientos especificados en las labores permanentes y temporales, fueron realizados sin tener en cuenta la presencia de cuñas en las excavaciones. Las simulaciones efectuadas han indicado la formación de cuñas potenciales de inestabilidad en la estructura de las labores mineras. Como referencia en rocas de calidad Regular B (IIIB con RMR 41-50) y superiores se debe tener en cuenta la formación de cuñas y de esta manera definir los tipos de sostenimiento.
- Mediante el Método Gráfico de Estabilidad se pueden realizar una aproximación para la definir el tamaño de los tajeos de las Vetas Mary y María Luisa, de acuerdo a la calidad del macizo rocoso, De acuerdo a la potencia de la estructura mineralizada y buzamiento de la misma.
- Para el método de minado D&F es necesario establecer un tiempo determinado para el ciclo de minado. Además, se debe realizar un buen topeo del relleno en el techo de los paneles.
- Se debe contar con una caracterización geomecánica para obtener los parámetros geotécnicos que se deben tener en cuenta en el planeamiento, diseño y operación de la mina Carahuacra en sus Vetas Mary y María Luisa, así como también en el Cuerpo Huaripampa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bieniawski Z.T. “Engineering Rock Mass Clasification” Wiley – Interscience
Publication– 1989.
- Brady B.H.G. & Brown E.T. “Rock Mechanics for Underground Mining” George Allen
& Unwin – London – 1985.
- Brown E.T. “Rock Characterization Testing and Monitoring” ISRM Suggested Methods
– Commission on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics –
1981.
- Cuadros J. y Córdova D. “Dimensionamiento Geomecánico de Tajeos de Mina Chupa –
Unidad Minera Iscaycruz”- XXV Conv. Ing. Minas – Setiembre 2001.
- DCR Ingenieros S.R.Ltda. “Estudio geomecánico y dimensionamiento del minado
subterráneo del Proyecto Mojón – Chontales – Nicaragua” Informe preparado
para B2Gold La Libertad Mine. Julio 2014.
- Heidbach O. et.al. “World Stress Map”. Helmholtz Centre Potsdam – GFZ German
Research Centre for Geosciences. 2nd Edition 2009.
- Hoek E., Kaiser P., Bawden W. “Support of Underground Excavations in Hard Rock”
A.A. Balkema 1995.
- Hoek E. “Practical rock engineering” Rocscience, 2002.
- Hudson J.A. Ed. “Comprehensive Rock Engineering – Principles, Practice & Projects”.
Volúmenes 3 y 4, Pergamon Press 1993.
- Hustrulid W.A. and Bullock R.L. “Underground Mining Methods: Fundamentals and
International Case Studies” SME – 2001.
- INGEROC Ingeniería de Rocas Ltda. “Informe final – Medición de esfuerzos in-situ –
Unidad Minera Andaychagua” Preparado para Volcan Compañía Minera S.A.A.
Abril 2013.

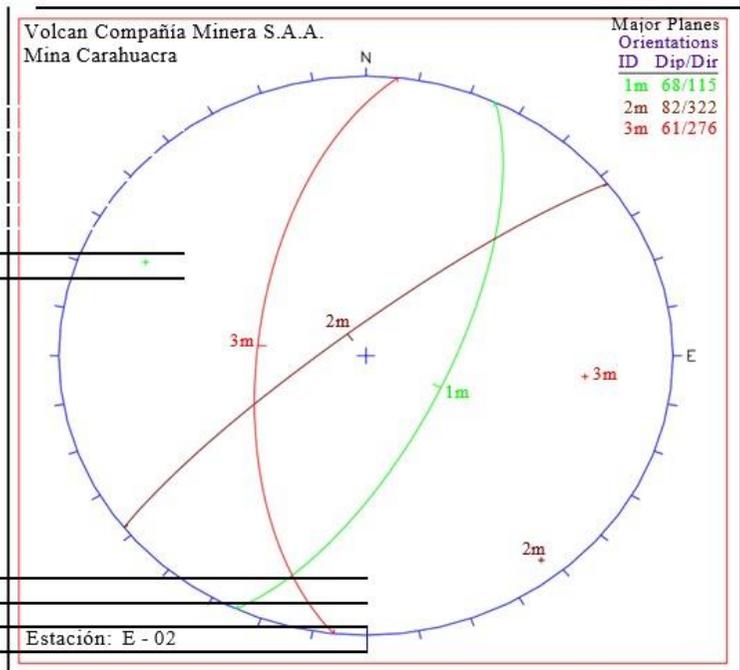
- Lulea University of Technology. "Mining with backfill" Proceedings of the International Symposium on Mining with Backfill. Lulea – Sweden. June 1983
- Rocscience Inc. "Manuales del Software utilizado" 2002 -2007.
- Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. "MINEFILL 2001". Proceedings of the 7TH International Symposium on Mining with Backfill. NY-USA 2001.
- Volcan Compañía Minera S.A.A. "Análisis geomecánico de la Veta Mary, para la explotación por taladros largos – Mina Carahuacra – U.E.A. Yauli". Informe preparado por el Departamento de Geomecánica de Mina Carahuacra. Agosto – Sertiembre 2012.
- Volcan Compañía Minera S.A.A. "Análisis geomecánico de la Veta ML, para la explotación por taladros largos – Mina Carahuacra – U.E.A. Yauli". Informe preparado por el Departamento de Geomecánica de Mina Carahuacra. Agosto – Diciembre 2013.
- Volcan Compañía Minera S.A.A. "Método de minado Carahuacra". Informe preparado por el Departamento de Geomecánica de Mina Carahuacra. Marzo 2014.
- Volcan Compañía Minera S.A.A. "Estimación de reservas y recursos minerales 2013 de Mina Carahuacra" Informe preparado por los Departamentos de Geología y Planeamiento de Mina Carahuacra". Febrero 2013.
- Weiss F. y Córdova D. "Influencia de las condiciones naturales en la selección del método de explotación en minería subterránea", Informe INGEMMET – 1991.

ANEXOS

Anexo I. Matriz de Consistencia

TÍTULO: “Evaluación Geomecánica para Mejorar los Estándares del Minado de la Mina Carahuacra - Compañía Minera Volcán S.A.A.”						
Tesista: Daniel Moises SOTO SANCHEZ						
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	TIPO Y NIVEL DE INVEST.
<p>GENERAL: ¿Es posible realizar la Evaluación Geomecánica para Mejorar los Estándares del Minado de la Mina Carahuacra en la Compañía Minera Volcán S.A.A.?</p> <p>Problemas Específicos A. ¿Cómo influye la aplicación de la caracterización geomecánica para el control de la estabilidad de las labores subterráneas de la Mina Carahuacra de la Compañía Minera Volcán S.A.A.? B. ¿Cómo obtener los Parámetros Geotécnicos, para determinar la estabilidad de las labores subterráneas de la Mina Carahuacra en la Compañía Minera Volcán S.A.A.?</p>	<p>GENERAL: Realizar la Evaluación Geomecánica para Mejorar los Estándares del Minado de la Mina Carahuacra en la Compañía Minera Volcán S.A.A.</p> <p>Objetivos Específicos A. Aplicar la caracterización geomecánica para el control de la estabilidad de las labores subterráneas de la Mina Carahuacra de la Compañía Minera Volcán S.A.A. B. Obtener los Parámetros Geotécnicos, para determinar la estabilidad de las labores subterráneas de la Mina Carahuacra en la Compañía Minera Volcán S.A.A..</p>	<p>GENERAL La evaluación Geomecánica mejorar los Estándares del Minado de la Mina Carahuacra en la Compañía Minera Volcán S.A.A.?</p> <p>Hipótesis específicas A. Con la aplicación de la caracterización geomecánica controlaremos de la estabilidad de las labores subterráneas de la Mina Carahuacra de la Compañía Minera Volcán S.A.A. B. Con los Parámetros Geotécnicos, realizaremos un adecuado sostenimiento de las labores subterráneas de la Mina Carahuacra en la Compañía Minera Volcán S.A.A.</p>	<p>INDEPENDIENTE: X: Evaluación Geomecánica de la Mina Carahuacra. Dependiente Y: Estándares del minado de la Mina Carahuacra..</p> <p>INTERVINIENTES: Mina Ticlio.</p>	<p>- Planeamiento de Mina. - Parámetros de Geotecnicos. - Estandares de minado. - Costos</p>	<p>Gestión Minera Planeamiento Minero. Proceso de producción Geomecánica y Geotecnia Sostenimiento Geología Costos del proceso</p>	<p>TIPO: Aplicativo. NIVEL: Evaluativa.</p>

DCR Ingenieros S.R.Ltda. Geomecánica en Minería y Obras Civiles				PROYECTO : EVALUACION GEOMECANICA DEL MINADO SUBTERRANEO DE MINA CARAHUACRA				POR : DHMPAR		VOLCAN COMPANIA MINERA S.A.A.																	
LABOR: SN 801 E				NIVEL: 920		ZONA: ML		FECHA : 10/07/2014		VOLCAN MINA CARAHUACRA																	
HOJA : 2 de 83																											
Nº ESTACION		ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)																					
E - 2		RUMBO. N 40° E		BUZAMIENTO 75° SE		DESDE J5 + 15		HASTA J5 + 25		PARAMETRO		RANGO DE VALORES		VALOR ESTIMADO		VALORACI.											
TIPO DE ROCA				FRECUENCIA FRACTURA		R. COMPRES. UNIAXIAL (MPa)		>250 (15)		100-250 (12)		50-100 (7) X		25-50 (4)		<25(2) <5(1) <1(0)											
A		%		B		%		Nº Fract. / ml.		RQD %		90-100 (20) X		75-90													
VOL DAC		100						8																			
TIPO		ORIENTACION		RELLENO		Comentarios		ESPACIAMIENTO (m)		CONDICION		PERSISTENCIA		ABERTURA		DE RUGOSIDAD											
ESTRUC.		DIRECCION BUZ.		BUZAMIENTO		TIPO ESPESOR		JUNTAS		RELLENO		ALTERACION		AGUA SUBTERRANEA		Seco (15) X		Humedo									
J	322	76	4	Arc, Py	1 mm																						
J	310	75	4	Arc, Py	1 mm																						
J	320	84	4	Arc, Py	1 mm																						
J	325	88	4	Arc, Py	1 mm																						
J	338	84	3	Arc, Py	1 mm																						
J	109	70	3,4	Arc, Py	1 mm																						
J	100	72	3,4	Arc, Py	1 mm																						
J	098	66	3,4	Arc, Py	1 mm																						
J	103	67	3,4	Arc, Py	1 mm																						
J	115	65	3,4	Arc, Py	1 mm																						
J	105	65	3,4	Arc, Py	1 mm																						
J	130	81	3	Arc, Py	1 mm																						
J	128	78	3	Arc, Py	1 mm																						
J	125	68	3	Arc, Py	1 mm																						
J	134	57	3																								
J	266	59	3																								
J	286	63	3																								
J	315	88	5																								
CLASE DE MACIZO ROCOSO										RMR		100 - 81		80 - 61		60 - 51		50 - 41		40 - 31		30 - 21		20 - 0		IIB	
DESCRIPCION										I Muy Buena		II Buena		III Regular A		IIIB Regular B		IVA Mala A		IVB Mala B		V Muy Mala					
Tilt Test		β (°)		Jr																							
1																											
2																											
ABREVIACION DE TIPO DE ROCA				ABREVIACION TIPO DE ESTRUCTURAS				11		70																	
VOL		Volcánico		MIN		Mineral		J		Junta		Dq		Dique													
DAC		Dacita		PORF		Pórfido		Fn		Falla		SH		Corte													
								Ct		Contacto																	
								mF		micro falla																	
ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO				INDICE DE RESISTENCIAS				RANGO RESIS. COMP. (MPa)																			
Ox		Oxido		Py		Pirita		R1				Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla				1,0 - 5,0											
Arc		Arcilla		Li		Limos		R2				Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)				5 - 25											
Cb		Carbonatos		Si		Silice		R3				No se raya con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo				25 - 50											
GG		Gouge						R4				La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo				50 - 100											
ABREVIACION DEL ESPACIAMIENTO				R5				Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra				100 - 250				Estación: E - 02											
1		> 2 m						R6				Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo				> 250											
2		0.6 - 2 m																									
3		0.2 - 0.6 m																									
4		0.06 - 0.2 m																									
5		< 0.06 m																									





LABOR: SN 801 E NIVEL: 920 ZONA: ML

Nº ESTACION	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)										
	RUMBO	BUZAMIENTO	DESDE	HASTA	PARAMETRO					RANGO DE VALORES					VALORACI.
E - 3	N 60° W	75° SW	J5 + 30	J5 + 30	TIPO DE ROCA		FRECUENCIA FRACTURA		VALOR ESTIMADO						
	A	%	B	%	Nº Fract. / ml.		R. COMPRESION UNIAxIAL (MPa)		>250 (15)	100-250 (12)	X 50-100 (7)	X 25-50 (4)	<25(2) <8(1) <1(0)	1	6
	MIN	100	-	-	22		RQD %		90-100 (20)	75-90					
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		BUZAMIENTO	RELLENO		Comentarios	ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,8-2					
	DIRECCION BUZ.	BUZAMIENTO		TIPO	ESPEJOR										
J	095	74	3	Py	5 mm										
J	100	58	3	Py	10 mm										
J	110	77	3	Py	5 mm										
J	135	70	3	Py	15 mm										
J	115	65	3	Py	20 mm										
J	117	60	4,5	Py	3 mm										
J	340	64	4,5	Py	3 mm										
J	322	54	4,5	Py	3 mm										
J	315	54	3,4	Py	3 mm										
J	165	78	3,4	Py	5 mm										
J	165	83	3,4	Cb, Ox	5 mm										
J	160	88	3,4	Cb, Ox	5 mm										
J	170	87	3,4	Cb, Ox	5 mm										
J	162	75	3,4	Cb, Ox	5 mm										
J	300	82	3,4	Cb, Ox	5 mm										
J	110	85	3,4	Cb, Ox	5 mm										
J	105	85	3,4	Cb, Ox	5 mm										
J	125	68	3	Py	4 mm										

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA				ABREVIACION TIPO DE ESTRUCTURAS			
VOL	Volcánico	MIN	Mineral	J	Junta	Dq	Dique
DAC	Dacita	PORF	Pórfido	Fn	Falla	SH	Corte
				Ct	Contacto		
				mF	micro falla		

ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO			
Ox	Oxido	Py	Pirita
Arc	Arcilla	Li	Limos
Cb	Carbonatos	Si	Silice
GG	Gouge		

ABREVIACION DEL ESPACIAMIENTO		
1	> 2 m	
2	0.6 - 2 m	
3	0.2 - 0.6 m	
4	0.06 - 0.2 m	
5	< 0.06 m	

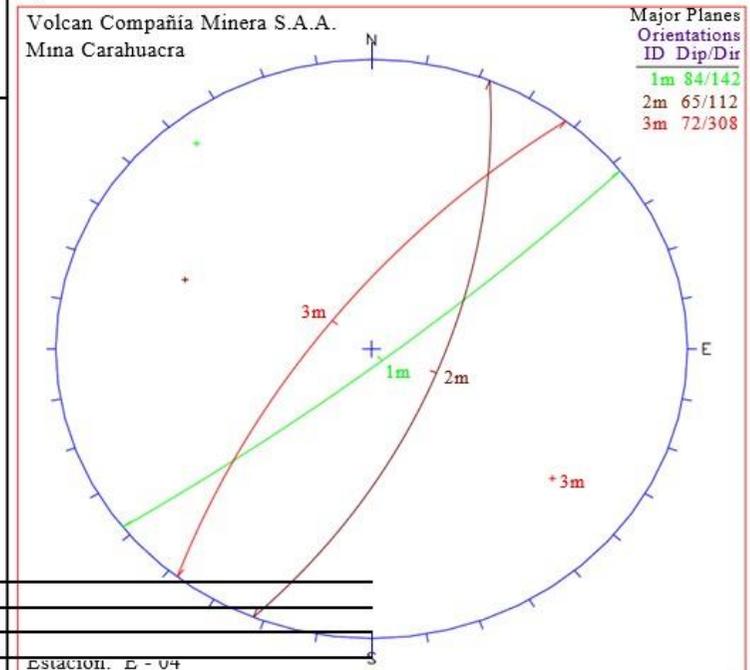
GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. (MPa)
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

Int Test	β (°)	Jr
1		
2		

J	RQD	J	RQD
5	91	16	52
6	88	17	48
7	84	18	44
8	81	19	40
9	77	20	37
10	74	21	33
11	70	22	29
12	66	23	26
13	63	24	22
14	59	25	18
15	55	26	15



N°		ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)													
ESTACION		RUMBO.	BUZAMIENTO	DESDE	HASTA	PARAMETRO					RANGO DE VALORES					VALORACI.			
E - 4		N 35° W	85° SE	J5 - 35	J5 - 45						VALOR ESTIMADO								
TIPO DE ROCA		FRECUENCIA FRACTURA												VALORACI.					
A	%	B	%	N° Fract. / ml.		R. COMPRESION UNIAxIAL (MPa)					RANGO DE VALORES								
VOL DAC	100			10							VALOR ESTIMADO								
						RQD %					RANGO DE VALORES								
						ESPACIAMIENTO (m)					RANGO DE VALORES								
TIPO	DIRECCION BUZ.		BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO		RELLENO		Comentarios		CONDICION DE JUNTAS		ESPACIAMIENTO (m)		RANGO DE VALORES					
ESTRUC.																			
J	134	80	3	Ox	1 mm														
J	145	86	3	Ox	1 mm														
J	140	88	3	Ox	1 mm														
J	150	85	3	Ox	1 mm														
J	140	81	3	Ox	1 mm														
J	302	68	5	Ox	1 mm														
J	310	69	3	Ox	1 mm														
J	290	45	3	Ox	1 mm														
J	312	78	3	Ox	1 mm														
J	245	40	3	Ox	1 mm														
J	110	62	3	Ox	1 mm														
J	112	64	3	Ox	1 mm														
J	115	68	3	Ox	1 mm														
J	145	82	3	Ox	1 mm														
										AGUA SUBTERRANEA					VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = 56				
										RMR					CLASE DE MACIZO ROCOSO				
										DESCRIPCION					I Muy Buena				
															II Buena				
															III Regular A				
															III Regular B				
															IV Mala A				
															IVB Mala B				
															V Muy Mala				
															III B				
										Tilt Test					β (°)				
										1					Jr				
										2									
										J					RQD				
										5					91				
										6					88				
										7					84				
										8					81				
										9					77				
										10					74				
										11					70				
										12					66				
										13					63				
										14					59				
										15					55				
										J					16				
										6					17				
										7					18				
										8					19				
										9					20				
										10					21				
										11					22				
										12					23				
										13					24				
										14					25				
										15					26				
										J					26				
										13					22				
										14					18				
										15					15				
										RANGO RESIS. COMP. (MPa)									
										R1					Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla				
										R2					Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)				
										R3					No se raya con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo				
										R4					La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo				
										R5					Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra				
										R6					Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo				
										GRADO					INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO				
										1					> 2 m				
										2					0.6 - 2 m				
										3					0.2 - 0.6 m				
										4					0.06 - 0.2 m				
										5					< 0.06 m				





LABOR: SN 801 E NIVEL: 920 ZONA: ML

N° ESTACION	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)								
	RUMBO.	BUZAMIENTO	DESDE	HASTA	PARAMETRO		RANGO DE VALORES					VALORACI.	
E - 5	N 50° E	85° SE	J5 - 30	J5 - 40			VALOR ESTIMADO					1	7
TIPO DE ROCA				FRECUCENCIA FRACTURA		R. COMPRES. UNIAXIAL (MPa)							
A	%	B	%	N° Fract. / ml.		RQD %		>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	
VOL DAC				100		11							

TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		RELLENO	Comentarios	ESPACIAMIENTO (m)	CONDICION	PERSISTENCIA	ABERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	ALTERACION	AGUA SUBTERRANEA
	DIRECCION BUZ.	BUZAMIENTO										
J	135	74	4	sin relleno	< 1 mm		<1m long.	Cerrada	(6)	X	Muy rugosa	(6)
J	134	71	4	sin relleno	< 1 mm				(6)		Limpia	(6)
J	138	65	4	sin relleno	< 1 mm				(6)	X	Sana	(6)
J	127	65	4	sin relleno	< 1 mm				(6)	X	Seco	(15)
J	138	64	4	sin relleno	< 1 mm				(6)		Humedo	
J	092	88	4	sin relleno	< 1 mm							
J	098	67	3,4	sin relleno	< 1 mm							
J	080	69	3,4	sin relleno	< 1 mm							
J	083	75	3,4	sin relleno	< 1 mm							
J	220	42	5	sin relleno	< 1 mm							
J	128	41	3	sin relleno	< 1 mm							
J	142	40	3	sin relleno	< 1 mm							
J	205	48	3	sin relleno	< 1 mm							
J	210	68	3	sin relleno	< 1 mm							
J	131	50	4	sin relleno	< 1 mm							

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

Tilt Test	β (°)	Jr
1		
2		

J	RQD	J	RQD
5	91	16	
6	88	17	
7	84	18	
8	81	19	
9	77	20	
10	74	21	
11	70	22	
12	66	23	26
13	63	24	22
14	59	25	18
15	55	26	15

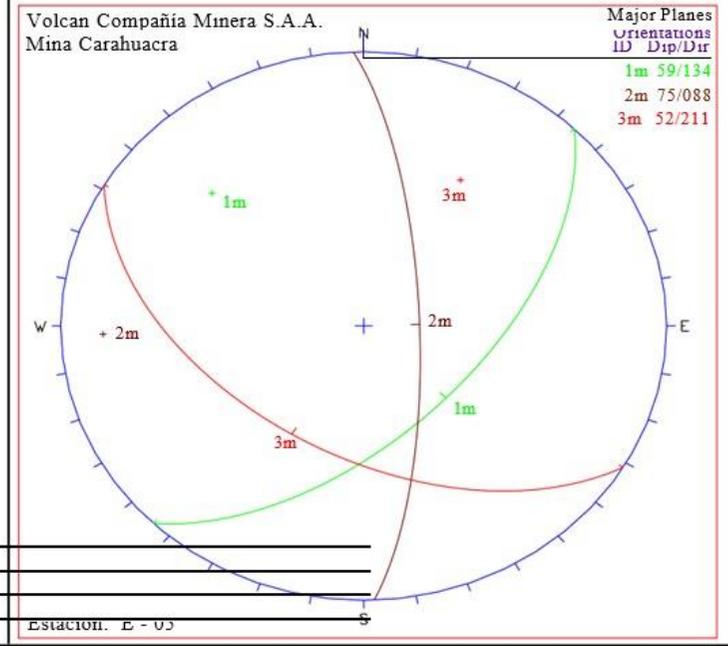
ABREVIACION DE TIPO DE ROCA			
VOL	Volcánico	MIN	Mineral
DAC	Dacita	PORF	Porfido

ABREVIACION TIPO DE ESTRUCTURAS			
J	Junta	Dq	Dique
Fn	Falla	SH	Corte
Ct	Contacto		
mF	micro falla		

ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO			
Ox	Oxido	Py	Pirita
Arc	Arcilla	Li	Limos
Cb	Carbonatos	Si	Silice
GG	Gouge		

ABREVIACION DEL ESPACIAMIENTO	
1	> 2 m
2	0.6 - 2 m
3	0.2 - 0.6 m
4	0.06 - 0.2 m
5	< 0.06 m

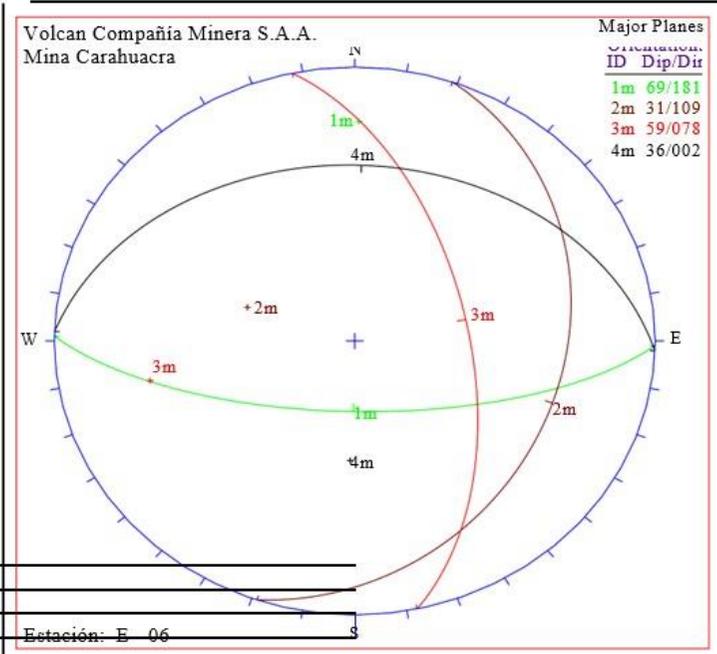
GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. (MPa)
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250



Estacion: E - 03



Nº ESTACION		ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)										
E - 6		RUMBO. N 25° W	BUZAMIENTO 85° SW	DESDE 0 + 38	HASTA 0 + 46	PARAMETRO		RANGO DE VALORES					VALORACI.			
TIPO DE ROCA		FRECUCENCIA FRACTURA		R. COMPRESION UNIAXIAL (MPa)		VALOR ESTIMADO										
A	%	B	%	Nº Fract. / ml.	RQD %	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	7				
VOL 100				11		RQD %										
ESTRUC.	DIRECCION BUZ.	BUZAMIENTO	TIPO	ESPESOR	Comentarios	CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	ABERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	ALTERACION	AGUA SUBTERRANEA				
J	110	34	3	Cb	1 mm		<1m long. (6)	X	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A 4			
J	115	22	3	Cb	1 mm		Cerrada (6)	X	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B 5			
J	106	37	4	Cb	1 mm		Muy rugosa (6)		Rugosa (5)	X	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C 3			
J	110	30	4	Cb	1 mm		Limpia (6)	X	Duro < 5mm (4)	Duro > 5mm (2)	Suave < 5 mm (2)	Suave > 5 mm (0)	4D 4			
J	104	31	4	Cb	1 mm		Sana (6)	X	Lig. Alterada. (5)	Mod.Alterada. (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E 5			
J	175	67	3,4	Cb	1 mm		Seco (15)	X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5 10			
J	180	66	3,4	Cb	1 mm		VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = 60									
J	168	70	04-ene	Cb	1 mm		CLASE DE MACIZO ROCOSO									
J	187	66	04-ene	Cb	1 mm		RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0	IIIA	
J	175	66	04-ene	Cb	1 mm		DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	IIIA Regular A	IIIB Regular B	IVA Mala A	IVB Mala B	V Muy Mala		
J	187	70	4	Cb	1 mm		Tilt Test	β (°)	Jr							
J	077	65	3	Cb	1 mm		1									
J	079	63	3	Cb	1 mm		2									
J	078	48	4	Cb	1 mm		J	RQD	J	RQD						
J	287	95	4	Cb	1 mm		5	91	16	52						
J	282	52	4	Cb	1 mm		6	88	17	48						
J	357	40	4	Cb	1 mm		7	84	18	44						
J	007	32	4	Cb	1 mm		8	81	19	40						
J	192	76	3,4	Cb	1 mm		9	77	20	37						
							10	74	21	33						
							11	70	22	29						
							12	66	23	26						
							13	63	24	22						
							14	59	25	18						
							15	55	26	15						



ABREVIACION DE TIPO DE ROCA			
VOL	Volcánico	MIN	Mineral
DAC	Dacita	PORF	Pórfido

ABREVIACION TIPO DE ESTRUCTURAS			
J	Junta	Dq	Dique
Fn	Falla	SH	Corte
Ct	Contacto		
mF	micro falla		

ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO			
Ox	Oxido	Py	Pirita
Arc	Arcilla	Li	Limos
Cb	Carbonatos	Si	Silice
GG	Gouge		

ABREVIACION DEL ESPACIAMIENTO	
1	> 2 m
2	0.6 - 2 m
3	0.2 - 0.6 m
4	0.06 - 0.2 m
5	< 0.06 m

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. (MPa)
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

Nº ESTACION		ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)												
E - 7		RUMBO.	BUZAMIENTO	DESDE	HASTA	PARAMETRO					RANGO DE VALORES					VALORACI.		
		N 20° E	80° SE	J4 + 20	J4 + 30						VALOR ESTIMADO							
TIPO DE ROCA		FRECUENCIA FRACTURA		Nº Fract. / ml.		R. COMPRESION UNIAIXIAL (MPa)												
A	%	B	%															
VOL DAC	100			10		RQD %												
						ESPACIAMIENTO (m)												
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION DIRECCION BUZ.		ESPACIAMIENTO	RELLENO TIPO ESPESOR		Comentarios		CONDICION DE JUNTAS		ALTERACION								
J	125	62	4,5	Cb, Py	1 mm			PERSISTENCIA	<1m long.	(8)	X							
J	121	61	4,5	Cb, Py	1 mm			ABERTURA	Cerrada	(8)								
J	119	71	4,5	Cb, Py	1 mm			RUGOSIDAD	Muy rugosa	(8)								
J	120	68	4,5	Cb, Py	1 mm			RELLENO	Limpia	(8)	X							
J	115	68	4,5	Cb, Py	1 mm			ALTERACION	Sana	(8)	X							
J	136	77	3	Cb, Py	1 mm			AGUA SUBTERRANEA		Seco	(15)	X	Humedo					
J	130	70	3	Cb, Py	1 mm													
J	132	85	3,4	Cb, Py	1 mm			CLASE DE MACIZO ROCOSO										
J	126	77	3,4	Cb, Py	1 mm			RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0	IIIB		
J	190	57	3,4	Cb, Py	1 mm			DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	IIIA Regular A	IIIB Regular B	IVA Mala A	IVB Mala B	V Muy Mala			
J	293	52	3,4	Cb, Py	1 mm													
J	297	67	3,4	Cb, Py	1 mm													
J	295	70	3,4	Cb, Py	1 mm													
J	255	58	3,4	Cb, Py	1 mm													
J	065	58	3,4	Cb, Py	1 mm													
J	054	54	3,4	Cb, Py	1 mm													
J	065	64	3,4	Cb, Py	1 mm													
J	135	70	3	Cb, Py	1 mm													

TIPO	DIRECCION BUZ.	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO	TIPO	ESPESOR	Comentarios
J	125	62	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	121	61	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	119	71	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	120	68	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	115	68	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	136	77	3	Cb, Py	1 mm	
J	130	70	3	Cb, Py	1 mm	
J	132	85	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	126	77	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	190	57	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	293	52	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	297	67	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	295	70	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	255	58	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	065	58	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	054	54	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	065	64	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	135	70	3	Cb, Py	1 mm	

TIPO	DIRECCION BUZ.	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO	TIPO	ESPESOR	Comentarios
J	125	62	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	121	61	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	119	71	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	120	68	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	115	68	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	136	77	3	Cb, Py	1 mm	
J	130	70	3	Cb, Py	1 mm	
J	132	85	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	126	77	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	190	57	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	293	52	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	297	67	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	295	70	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	255	58	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	065	58	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	054	54	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	065	64	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	135	70	3	Cb, Py	1 mm	

TIPO	DIRECCION BUZ.	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO	TIPO	ESPESOR	Comentarios
J	125	62	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	121	61	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	119	71	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	120	68	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	115	68	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	136	77	3	Cb, Py	1 mm	
J	130	70	3	Cb, Py	1 mm	
J	132	85	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	126	77	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	190	57	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	293	52	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	297	67	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	295	70	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	255	58	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	065	58	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	054	54	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	065	64	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	135	70	3	Cb, Py	1 mm	

TIPO	DIRECCION BUZ.	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO	TIPO	ESPESOR	Comentarios
J	125	62	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	121	61	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	119	71	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	120	68	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	115	68	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	136	77	3	Cb, Py	1 mm	
J	130	70	3	Cb, Py	1 mm	
J	132	85	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	126	77	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	190	57	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	293	52	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	297	67	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	295	70	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	255	58	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	065	58	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	054	54	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	065	64	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	135	70	3	Cb, Py	1 mm	

TIPO	DIRECCION BUZ.	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO	TIPO	ESPESOR	Comentarios
J	125	62	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	121	61	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	119	71	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	120	68	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	115	68	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	136	77	3	Cb, Py	1 mm	
J	130	70	3	Cb, Py	1 mm	
J	132	85	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	126	77	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	190	57	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	293	52	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	297	67	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	295	70	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	255	58	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	065	58	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	054	54	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	065	64	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	135	70	3	Cb, Py	1 mm	

TIPO	DIRECCION BUZ.	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO	TIPO	ESPESOR	Comentarios
J	125	62	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	121	61	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	119	71	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	120	68	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	115	68	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	136	77	3	Cb, Py	1 mm	
J	130	70	3	Cb, Py	1 mm	
J	132	85	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	126	77	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	190	57	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	293	52	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	297	67	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	295	70	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	255	58	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	065	58	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	054	54	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	065	64	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	135	70	3	Cb, Py	1 mm	

TIPO	DIRECCION BUZ.	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO	TIPO	ESPESOR	Comentarios
J	125	62	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	121	61	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	119	71	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	120	68	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	115	68	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	136	77	3	Cb, Py	1 mm	
J	130	70	3	Cb, Py	1 mm	
J	132	85	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	126	77	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	190	57	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	293	52	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	297	67	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	295	70	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	255	58	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	065	58	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	054	54	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	065	64	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	135	70	3	Cb, Py	1 mm	

TIPO	DIRECCION BUZ.	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO	TIPO	ESPESOR	Comentarios
J	125	62	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	121	61	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	119	71	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	120	68	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	115	68	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	136	77	3	Cb, Py	1 mm	
J	130	70	3	Cb, Py	1 mm	
J	132	85	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	126	77	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	190	57	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	293	52	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	297	67	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	295	70	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	255	58	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	065	58	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	054	54	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	065	64	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	135	70	3	Cb, Py	1 mm	

TIPO	DIRECCION BUZ.	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO	TIPO	ESPESOR	Comentarios
J	125	62	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	121	61	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	119	71	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	120	68	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	115	68	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	136	77	3	Cb, Py	1 mm	
J	130	70	3	Cb, Py	1 mm	
J	132	85	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	126	77	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	190	57	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	293	52	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	297	67	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	295	70	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	255	58	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	065	58	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	054	54	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	065	64	3,4	Cb, Py	1 mm	
J	135	70	3	Cb, Py	1 mm	

TIPO	DIRECCION BUZ.	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO	TIPO	ESPESOR	Comentarios
J	125	62	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	121	61	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	119	71	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	120	68	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	115	68	4,5	Cb, Py	1 mm	
J	136	77	3	Cb, Py	1 mm	
J	130	70	3			

LABOR: **SN 802 E** NIVEL: **920** ZONA: **ML**

Nº ESTACION	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
E - 8	RUMBO	BUZAMIENTO	DESDE	HASTA										
	N 25° E	90°	J4 + 15	J4 + 25										

TIPO DE ROCA					FRECUENCIA FRACTURA	PARAMETRO	RANGO DE VALORES						VALORACI.		
VOL DAC		%	B		%	Nº Fract. / ml.	VALOR ESTIMADO								
		100				10	R. COMPRES. UNIAXIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	X 50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	7	
ESTRUC.	DIRECCION BUZ.	BUZAMIENTO	TIPO		ESPESOR	Comentarios	RQD %	90-100 (20)	75-90						
J	118	55	Cb, Py		1 mm		PERSISTENCIA	<1m long. (8)	X						
J	113	67	Cb, Py		1 mm		CONDICION	ABERTURA	Cerrada (8)						
J	116	60	Cb, Py		1 mm		DE	RUGOSIDAD	Muy rugosa (8)						
J	108	47	Cb, Py		1 mm		JUNTAS	RELLENO	Limpia (8)	X					
J	117	45	Cb, Py		1 mm		ALTERACION	Sana (8)	X						
J	314	42	Cb, Py		1 mm		AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	X	Humedo					
J	328	52	Cb, Py		1 mm										
J	310	40	Cb, Py		1 mm										
J	325	36	Cb, Py		1 mm										
J	313	42	Cb, Py		1 mm										
J	315	74	Cb, Py		1 mm										
J	320	68	Cb, Py		1 mm										
J	320	74	Cb, Py		1 mm										
J	335	66	Cb, Py		1 mm										
J	330	60	Cb, Py		1 mm										
J	130	55	Cb, Py		1 mm										

CLASE DE MACIZO ROCOSO							IIB
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	
DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	IIIA Regular A	IIIB Regular B	IVA Mala A	IVB Mala B	V Muy Mala

Tilt Test	β (°)	Jr
1		
2		

J	RQD	J	RQD
5	91	16	52
6	88	17	48
7	84	18	44
8	81	19	40
9	77	20	37
10	74	21	33
11	70	22	29
12	66	23	26
13	63	24	22
14	59	25	18
15	55	26	15

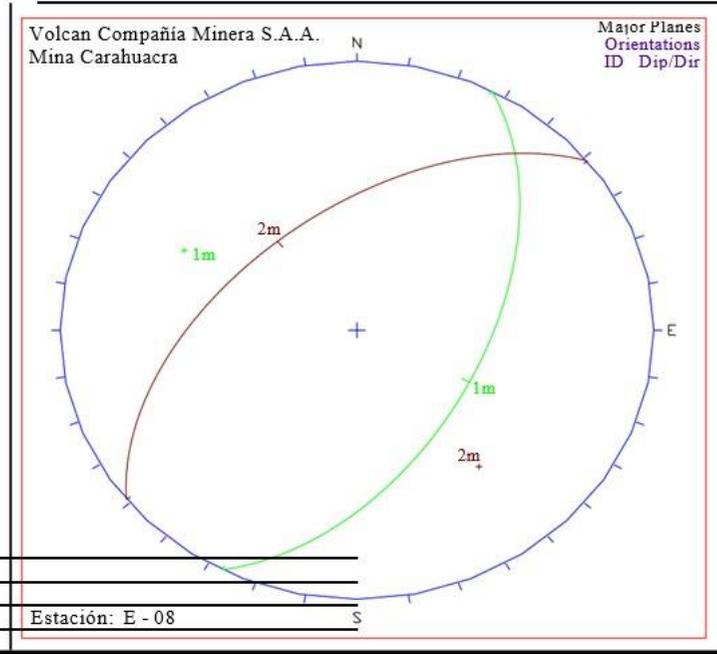
ABREVIACION DE TIPO DE ROCA			
VOL	Volcánico	MIN	Mineral
DAC	Dacita	PORF	Pórfido

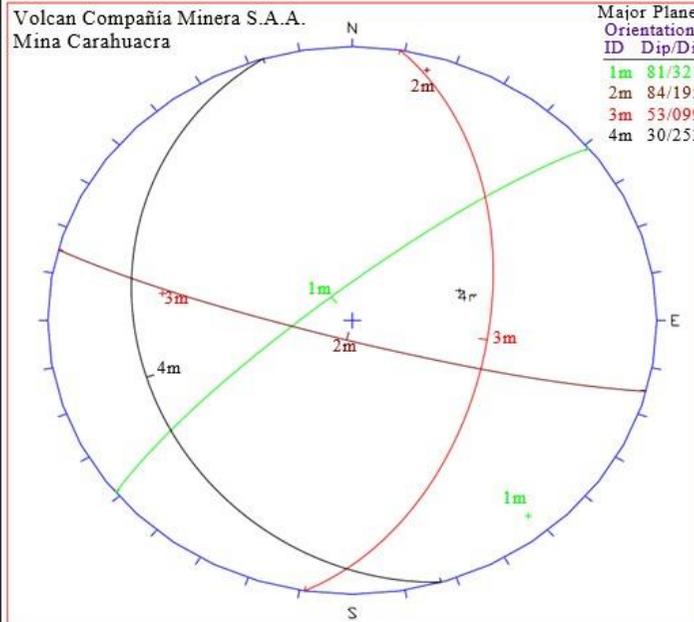
ABREVIACION TIPO DE ESTRUCTURAS			
J	Junta	Dq	Dique
Fn	Falla	SH	Corte
Ct	Contacto		
mF	micro falla		

ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO			
Ox	Oxido	Py	Pirita
Arc	Arcilla	Li	Limos
Cb	Carbonatos	Si	Silice
GG	Gouge		

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. (MPa)
H1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geologo. se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

ABREVIACION DEL ESPACIAMIENTO	
1	> 2 m
2	0.6 - 2 m
3	0.2 - 0.6 m
4	0.06 - 0.2 m
5	< 0.06 m



DCR Ingenieros S.R.Ltda. Geomecánica en Minería y Obras Civiles				PROYECTO : EVALUACION GEOMECANICA DEL MINADO DE MINA CARAHUACRA				POR : DHMPAR				VOLCAN COMPAÑIA MINERA S.A.A.																											
LABOR: SN 802 E				NIVEL: 920		ZONA: ML		FECHA: 14/07/2014		HOJA: 9 de 83		MINA CARAHUACRA																											
Nº ESTACION		ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)																																	
E - 9		RUMBO: N 10° E		BUZAMIENTO: 89° SE		DESDE: A1 + 15		HASTA: A1 + 25																															
TIPO DE ROCA				FRECUENCIA FRACTURA		PARAMETRO		RANGO DE VALORES						VALORACI.																									
A		%		B		%		Nº Fract. / ml.		R. COMPRES. UNIAXIAL (MPa)		VALOR ESTIMADO																											
												>250 (15)		100-250 (12)		50-100 (7)		25-50 (4)		<25(2) <5(1) <1(0)		1	7																
ESTRUC.	DIRECCION BUZ.	BUZAMIENTO		TIPO	ESPESOR			CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	ABERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	ALTERACION	AGUA SUBTERRANEA																									
J	332	86	4,5	Cb	1 mm			<1m long.	(6) X	1-3 m Long.	(4)	3-10m	(2)	10-20 m	(1)	> 20 m	(0)	4A	4																				
J	328	86	4,5	Cb	1 mm			Cerrada	(8)	<0.1mm apert.	(5) X	0.1-1.0mm	(4)	1- 5 mm	(1)	> 5 mm	(0)	4B	4																				
J	321	84	4,5	Cb	1 mm			Muy rugosa	(8)	Rugosa	(5) X	Lig.rugosa	(3)	Lisa	(1)	Espejo de falla	(0)	4C	3																				
J	310	78	4,5	Cb	1 mm			Limpia	(8)	Duro < 5mm	(4)	Duro> 5mm	(2) X	Suave < 5 mm	(2)	Suave > 5 mm	(0)	4D	2																				
J	309	72	4,5	Cb	1 mm			Sana	(8) X	Lig.Alterada.	(5)	Mod.Alterada.	(3)	Muy Alterada.	(2)	Descompuesta	(0)	4E	5																				
J	188	84	4,5	Cb	1 mm			Seco	(15) X	Humedo	(10)	Mojado	(7)	Goteo	(4)	Filujo	(0)	5	10																				
J	196	82	4	Cb	1 mm			VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = 57																															
J	200	85	4	Cb	1 mm			CLASE DE MACIZO ROCOSO																															
J	191	58	4	Cb	1 mm			RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0	IIIA																							
J	090	46	4	Cb	1 mm			DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	IIIA Regular A	IIIB Regular B	IVA Mala A	IVB Mala B	V Muy Mala																								
J	102	50	4,5	Cb	1 mm			Tilt Test	β (°)		Jr																												
J	110	53	4,5	Cb	1 mm			1																															
J	095	62	4,5	Cb	1 mm			2																															
J	260	30	4,5	Cb	1 mm			J	RQD	J	RQD																												
J	245	72	4,5	Cb	1 mm			5	91	16	52																												
J	245	30	4,5	Cb	1 mm			6	88	17	48																												
J	325	82	4,5	Cb	1 mm			7	84	18	44																												
															ABREVIACION DE TIPO DE ROCA		ABREVIACION TIPO DE ESTRUCTURAS																						
															VOL		Volcánico		MIN		Mineral																		
															DAC		Dacita		PORF		Pórfido																		
															J		Junta		Dq		Dique																		
															Fn		Falla		SH		Corte																		
															Ct		Contacto																						
															mF		micro falla																						
															Ox		Oxido		Py		Pirita																		
															Arc		Arcilla		Li		Limos																		
															Cb		Carbonatos		Si		Silice																		
															GG		Gouge																						
															1		> 2 m																						
															2		0.6 - 2 m																						
															3		0.2 - 0.6 m																						
															4		0.06 - 0.2 m																						
															5		< 0.06 m																						
															GRADO		INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO				RANGO RESIS. COMP. (MPa)																		
															R1		Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla				1,0 - 5,0																		
															R2		Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)				5 - 25																		
															R3		No se raya con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo				25 - 50																		
															R4		La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo				50 - 100																		
															R5		Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra				100 - 250																		
															R6		Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo				> 250																		
															<p>Volcan Compañía Minera S.A.A. Mina Carahuacra</p>  <p>Major Planes Orientations ID Dip/Dir 1m 81/321 2m 84/195 3m 53/099 4m 30/253</p>																								