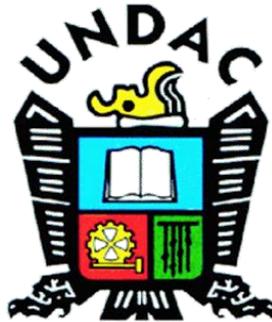


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA
GEOLÓGICA



TESIS:

***“LA GEOMECÁNICA EN LA RAMPA ESPERANZA – MINA
MARCAPUNTA – COLQUIJIRCA”***

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTADO POR:

Bach. FLORES CURTI, Saul Simeon

ASESOR:

Ing. CALSINA COLQUI, Vidal Víctor

PASCO – PERU

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA
GEOLÓGICA**



***“LA GEOMECANICA EN LA RAMPA ESPERANZA – MINA
MARCAPUNTA – COLQUIJIRCA”***

PRESENTADO POR:

Bach. FLORES CURTI, Saul Simeon

SUSTENTADO Y APROBADO ANTE LA COMISIÓN DE JURADOS

**Dr. LEDESMA VELITA, Magno
PRESIDENTE**

**Dr. ARIAS ARZAPALO, Tito Marcial
MIEMBRO**

**Mg. LOPEZ ALVARADO, Javier
MIEMBRO**

**Ing. CALSINA COLQUI, Vidal Víctor
ASESOR**

DEDICATORIA

Con mucha estimación a mis Padres, por la motivación que me dieron para concluir con mis estudios universitarios así lograr mis objetivos.

Resumen

El Proyecto rampa Esperanza se encuentra ubicado a 2 Km. al sur de la mina Colquijirca operada por la Sociedad minera "El Brocal" S.A.A. Políticamente pertenece al distrito de Tinyahuarco, Provincia y Departamento de Pasco. El área específica de estudio es un rectángulo de 1, 900 x 1,500 metros, haciendo un total de 285 Has. Empresa dedicada a la explotación y exploración de yacimientos de plata, plomo y zinc.

El cuerpo mineralizado de Marcapunta Norte y Oeste tiene como principal recurso el cobre. Respecto de los volúmenes de producción, la empresa opera una planta con una capacidad de tratamiento estimada de 6,000 toneladas de mineral por día. La empresa beneficia diariamente, 5,000 toneladas de mineral de plata-plomo-zinc y 1,000 toneladas de mineral de cobre. Dicha información consta en las memorias de la empresa. Brocal estima que tendrá una vida de mina de aproximadamente 10 años.

El Proyecto rampa Esperanza unirá la parte Oeste con el Norte donde la mina subterránea de cobre incremento sus recursos.

Con el proyecto de la rampa Esperanza se comunicó la mina Marcapunta Norte (MPN) con la mina Marcapunta Oeste (MPW), donde se ejecutó una rampa de 1206.04 m. de longitud, con una sección de 4.5 m de altura x 4.5 m de ancho, con una gradiente promedio de 8.68 % y es tipo Trackless.

Las coordenadas UTM (PSAD 56) de ambos extremos de la galería proyectada son:
Extremo MPN: E 360,593.58, N 8'808,339.93, Cota: 4,145.94 msnm.

Extremo MPW: E 360,660.06, N 8´808,027.18, Cota: 4,041.30 msnm.

La ventilación se ha proyectado la ejecución de 02 chimeneas Raise Borer de 338.5 m y 309.4 m, respectivamente, hasta superficie.

Se realizaron refugios cada 50 m de 2.0 m. x 2.0 m., y además cada 200 m, se construyeron accesos laterales adicionales para facilitar el pase de los vehículos de ida y vuelta y para zonas de carguío de 30 m., de longitud con sección 4.5 m x 4.5 m. Asimismo, se construyeron pozas de bombeo de 4.5 m x 4.5 m x 15 m.

Los estudios Geomecánicos están referidos a la determinación de las características del macizo rocoso, mediante el análisis litológico estructural del mismo; para establecer las características del comportamiento mecánico, determinando las propiedades y el índice R.M.R del macizo rocoso. Finalmente se realizó la determinación de los dominios estructurales, para así establecer un factor de seguridad y la calidad del macizo rocoso frente a la apertura de la labor.

Zonificación geomecánica calidades de la masa rocosa

Litología	Promedio RMR	Calidad RMR	Dominio Estructural
Caliza	36 - 45	Mala A - Regular B	IV A - III B
Conglomerado	36 - 45	Mala A - Regular B	IV A - III B
Vulcanoclasto	36 - 45	Mala A - Regular B	IV A - III B
Dacita	36 - 45	Mala A - Regular B	IV A - III B

Zonificación geomecánica calidades de la masa rocosa en zonas de contacto

Litología	Promedio RMR	Calidad RMR	Dominio Estructural
Conglomerado/Caliza	21 - 40	Mala B (IVB), Mala A (IVA)	IV B - IV A
Caliza/Vulcanoclasto	15 - 30	Muy Mala (V), Mala B (IVB)	V - IV B
Dacita/Vulcanoclasto	21 - 40	Mala B (IVB), Mala A (IVA)	IV B - IV A
Vulcanoclasto/Conglomerado	21 - 40	Mala B (IVB), Mala A (IVA)	IV B - IV A

El presente trabajo ha sido realizado con el objetivo de aplicar un tipo de sostenimiento económico y de buena calidad para cada tipo de calidad de roca encontrado en los distintos tramos de la rampa esperanza y a la vez optimizar los recursos que tiene la empresa minera El Brocal en función de sus costos pero siempre dando prioridad a la seguridad.

ÍNDICE

DEDICATORIA
RESUMEN
INDICE
INTRODUCCIÓN

CAPITULO I	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.3. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS	13
1.3.1. OBJETIVO GENERALES.....	13
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	14
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.5. IMPORTANCIA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.6. LIMITACIONES	15
CAPITULO II	16
MARCO TEORICO.....	16
2.1. ANTECEDENTES.....	16
2.2. BASES TEORICO – CIENTIFICOS	16
2.3. DEFINICIÓN DE TERMINOS.....	112

2.4. HIPOTESIS.....	116
HIPOTESIS GENERAL.....	116
HIPOTESIS ESPECIFICOS	116
2.5. IDENTIFICACION DE LAS VARIABLES.....	116
2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	116
2.5.2. VARIABLES DEPENDIENTES	116
2.5.3. VARIABLES INTERVINIENTES.....	116
CAPITULO III	117
METODOLOGIA.....	117
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	117
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACION	118
3.3. POBLACION Y MUESTRA.....	118
3.4. METODOS DE LA INVESTIGACION	118
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS.....	118
3.6. TECNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS....	119
3.6.1. MAPEO GEOMECÁNICO	119
3.6.2. ESFUERZOS IN SITU	121
3.6.3. PRESENCIA DE AGUA	121
3.6.4. BACK ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL MACIZO ROCOSO	122
CAPÍTULO IV.....	126

SOSTENIMIENTO DE LA RAMPA ESPERANZA.....	126
4.1. UBICACIÓN Y ACCESO	126
4.2. HISTORIA.....	130
4.3. RECURSOS.....	134
4.4. CLIMA	135
4.5. VEGETACIÓN	135
4.6. FAUNA	135
4.7. GEOMORFOLOGÍA	135
4.8. GEOLOGÍA.....	141
4.8.1. Complejo volcánico de Marcapunta	141
4.8.2. Grupo Pocobamba	144
4.8.3. Grupo Mitu	150
4.9. Geología Económica.....	150
4.10. Método de explotación.....	155
4.11. RESULTADOS GEOMECANICA EN LA RAMPA	
ESPERANZA	160
4.11.1. GENERALIDADES	160
4.11.2. CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DEL PROYECTO.....	163
4.11.3. MAPEO GEOMECANICO RAMPA ESPERANZA.....	167
4.11.4. ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE LA MASA ROCOSA	169
4.11.5. TABLA GEOMECÁNICA Y TIPO DE SOSTENIMIENTO A	
INSTALAR.....	171
4.11.6. EVALUACION DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO PARA	
CONTROL DE ESTABILIDAD.....	172
4.11.7. CRONOGRAMA DE EJECUCION.....	173

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANEXO

- *Figura 54: Sostenimiento con pernos python*
- *Figura 55: Sostenimiento con malla más pernos Split set*
- *Figura 56: Sostenimiento de shotcrete con pernos python*
- *Figura 57: Sostenimiento con cimbras tipo H*
- *Figura 58: Materiales de sostenimiento (pernos Split set)*
- *Figura 59: Materiales de sostenimiento (malla electrosoldada)*
- *Figura 60: Panel de muestreo para verificar la resistencia del shotcrete*
- *Plano N° 1: Plano Geomecánico de la rampa esperanza de la mina Markapunta*
- *Plano N° 2: Plano de sostenimiento de la rampa esperanza de la mina Markapunta*

INTRODUCCIÓN

El yacimiento de Colquijirca, de la Sociedad Minera El Brocal S.A.A., 02 zonas mineralizadas con cobre, separadas quizá porque aún no completado la exploración sistemática de toda el área con potencial mineralógico de cobre. Este es el caso de las áreas mineralizadas conocidas como Marcapunta Norte y Marcapunta Oeste, ubicadas precisamente al Norte y Oeste respectivamente, del Cerro Marcapunta, pero que en la práctica podría tratarse de un solo cuerpo mineralizado. En el caso de Marcapunta Norte el área mineralizada está en explotación mediante minado subterráneo; y en el caso de Marcapunta Oeste se tienen varias labores subterráneas exploratorias, pero aún no está en explotación. La Sociedad Minera El Brocal tiene la intención de integrar estas 02 áreas mineralizadas, para poder iniciar la explotación de Marcapunta Oeste, para lo cual se ha proyectado ejecutar una galería de conexión entre ambas áreas, la cual tendría varios usos: transporte, ventilación, acceso, servicios, entre otros. Esta galería de conexión tendría también la finalidad de explorar el área intermedia entre Marcapunta Norte y Marcapunta Oeste, ya que existen evidencias que indican la persistencia de la mineralización entre ambas áreas, con lo cual se podría incrementar los recursos minerales

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

El yacimiento de Colquijirca, de la Sociedad Minera El Brocal S.A.A., tiene 02 zonas mineralizadas con cobre, separadas quizá porque aún no se ha completado la exploración sistemática de toda el área con potencial mineralógico de cobre. Este es el caso de las áreas mineralizadas conocidas como Marcapunta Norte y Marcapunta Oeste, ubicadas precisamente al Norte y Oeste respectivamente, del Cerro Marcapunta, pero que en la práctica podría tratarse de un solo cuerpo mineralizado. En el caso de Marcapunta Norte el área mineralizada está en explotación mediante minado subterráneo; y en el caso de Marcapunta Oeste se tienen varias labores subterráneas exploratorias, pero aún no está en explotación.

La Sociedad Minera El Brocal tiene la intención de integrar estas 02 áreas mineralizadas, para poder iniciar la explotación de Marcapunta Oeste, para lo cual se ha proyectado ejecutar una rampa de conexión entre ambas áreas, la cual tendría varios usos: transporte, ventilación, acceso, servicios, entre otros. Esta galería de conexión tendría también la finalidad de explorar el área intermedia entre Marcapunta Norte y Marcapunta Oeste, ya que existen evidencias que indican la persistencia de la mineralización entre ambas áreas, con lo cual se podría incrementar los recursos minerales.

Es importante entonces determinar el sostenimiento óptimo en la ejecución de la rampa Esperanza.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿La geomecánica determinará el tipo de sostenimiento en la rampa Esperanza de la Mina Markapunta?

1.3. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERALES

Determinar las características geomecánicas para aplicar el tipo de sostenimiento económico en la rampa Esperanza.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Obtener las propiedades de las discontinuidades de la rampa Esperanza.
- Obtener el índice R.M.R del Macizo Rocoso

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Para que un yacimiento minero tenga un buen sistema de acceso oportuno y estable a las labores de explotación es necesario determinar el tipo de sostenimiento de la rampa Esperanza, para optimizar recursos y generar beneficios económicos y garantizar la continuidad de las operaciones, por lo que es importante el estudio de las características geomecánicas del macizo rocoso y de las estructuras mineralizadas de la rampa Esperanza, los resultados de la presente investigación geológica ayudara a complementar y comprender el comportamiento geomecánico de la zona en estudio.

1.5. IMPORTANCIA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio es importante porque nos determinará las características geomecánicas del macizo rocoso y de las principales estructuras mineralizadas, obteniéndose información para determinar el tipo de sostenimiento óptimo a utilizarse en la labor de acceso.

1.6. LIMITACIONES

Los resultados del presente estudio solo se aplican para la zona de estudio, sirviendo como fuente de información para similares estudios.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES

La Sociedad Minera el Brocal viene efectuando explotación de recursos a tajo abierto y en la actualidad una explotación subterránea por lo tanto se necesita conocer el tipo de sostenimiento óptimo que se debe aplicar en la rampa Esperanza para integrar dos zonas mineralizadas.

2.2. BASES TEORICO – CIENTIFICOS

El estudio está basado en información recopilada de diferentes autores, base de datos de la empresa Minera El Brocal, INGEMMET, Sociedad Geológica del Perú. Los resultados del presente proyecto están encaminados a la caracterización geomecánica del macizo rocoso y las estructuras mineralizadas y determinar el tipo de

sostenimiento óptimo, mediante la recopilación de datos en campo e información geológica.

CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS

A partir de las ideas de Terzaghi, se ha intentado sistematizar, cualificar y cuantificar las características Geomecánicas de los macizos rocosos donde se realizan las excavaciones. La mejor clasificación sería conocer las propiedades mecánicas del macizo, como combinación de las propiedades de las rocas y de las discontinuidades. Por ser esto prácticamente imposible, se han hecho clasificaciones en las que se diferencian los macizos rocosos en diversas categorías de calidad.

En décadas anteriores construir en roca era, conceptualmente, construir sobre seguro y la mayoría de los sondeos se limitaban por esto a atravesar el material de cubierta y tocar la roca, sin investigar las características de la misma en profundidad. Conjuntamente con esta idea, surgen las apreciaciones cualitativas sobre la aptitud del macizo rocoso principalmente como medio lindante de una excavación subterránea.

Estas clasificaciones que se han ido perfeccionando con el tiempo, tienden fundamentalmente a:

- a. Ubicar el macizo rocoso en un tipo estructural determinado y establecer zonas Geomecánicas.
- b. Establecer una cuantificación Geomecánica que permita dilucidar, ya en la etapa de anteproyecto las dificultades que se encontraran y lo que es aún más importante prever la metodología de tratamiento (sostenimiento, método de excavación etc.) más adecuada en base a la clasificación establecida.

Las etapas más importantes en el desarrollo de sistemas de clasificación de macizos rocosos, que tuvieron su origen en los túneles, por ser en estas obras donde parecía más necesario conocer el comportamiento mecánico del macizo son las siguientes:

- a) Clasificación de Terzaghi
- b) Clasificación de Rabcewicz
- c) Clasificación de Protodyakonov
- d) Clasificación de Stini y Lauffer
- e) Clasificación de Deere
- f) Clasificación (RSR) de Wickman, Tiedemann y Skinner
- g) Clasificación de Louis
- h) Clasificación de la AFTES.
- i) Clasificación Bieniawski (CSIR).

- j) Clasificación de Barton (NGI).
- k) Clasificación de Hoek y Brown.
- l) Clasificación de Laubscher.
- m) Clasificación Dudek y Galcznski.
- n) Clasificación del N.A.T.M.
- o) Clasificación GSI.

Diseño de las labores mineras y del sistema de explotación

Luego de la valuación de las rocas de la mina con todos los sistemas de clasificación geomecánica mencionados anteriormente; se determina el sistema de explotación y el diseño de sostenimiento que actualmente rigen en la operación.

- La Clasificación Geomecánica que formulo el tipo de sostenimiento fue el N.A.T.M.
- Para el control y seguimiento diario se trabaja con las clasificaciones NGI, CSIR y GSI; cuyos resultados son indicados en los reportes diarios de operaciones.

Sistema de Explotación Basado en el NATM

El objetivo principal, es el empleo de la roca circundante de la labor subterránea como un miembro activo del sistema de sostenimiento (auto-soporte con la propia roca).

Principios Básicos del NATM.

- a. Consideramos que la parte más importante de la estructura de la labor minera es el macizo rocoso circundante.
- b. Tratar de mantener la resistencia original de la roca tanto como sea posible; porque, esta es el elemento de resistencia inicial.
- c. Se previene la desintegración o alteración de la roca, tanto como sea posible, porque esto, nos conduce a una considerable pérdida de resistencia del macizo.
- d. Se evita en lo posible la presión por esfuerzos uniaxiales o biaxiales, mediante el confinamiento del arco circundante a la excavación.
- e. Se controla la relajación o deformaciones prematuras del macizo; para prevenir el realce o inestabilidad de la roca.
- f. El revestimiento con shotcrete es dentro del tiempo establecido, cuya resistencia presenta una dosificación de acuerdo al diseño elaborado en la mina en base a muchos ensayos.
- g. El shotcrete aplicado es capaz de adaptarse a la deformación del macizo, es decir, presenta flexibilidad.
- h. El sistema de sostenimiento considerado permite ajustes en cuanto a espesores de shotcrete y distribución de pernos de anclaje. En algunos casos cuando la roca necesita se considera la adición de malla electro- soldada.

- i. Se considera el efecto de las etapas de construcción de la labor y el efecto del tiempo en el comportamiento de la excavación, conocido como tiempo de auto-soporte. El planeamiento de construcción es una buena herramienta para controlar el comportamiento de la roca.
- j. Para prevenir concentración de esfuerzos que empujan la roca, deben evitarse los ángulos y ejecutarse las secciones de contornos redondeados.
- k. La excavación y la primera etapa del soporte, conocida como soporte temporal, es considerada como parte importante del control de excavación de la labor, porque ella evita la relajación inicial y tiene una influencia significativa sobre la acción del soporte final.
- l. En realidad el soporte temporal es el principal elemento de control de las deformaciones y permite alcanzar equilibrios definitivos.
- m. La estabilidad total se logra mediante el soporte definitivo es con los anclajes. El soporte definitivo sirve para confinar el macizo rocoso formando el arco de auto-soporte. Estas técnicas de soporte son las últimas del mercado mundial que aseguran la estabilidad definitiva.

n. En caso de presencia de flujos de agua subterránea, se considera drenajes mediante la perforación de taladros y pernos huecos.

Clasificación de Barton (NGI).

Esta clasificación presentada por Barton, Lien y Lunde del NGI (Norwegian Geotechnical Institute), consiste en determinar el índice (Q) de acuerdo a la siguiente relación:

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

Donde:

- RQD = Índice propuesto por Deere, explicado anteriormente.
- J_n = Número de familias de discontinuidades.
- J_r = Factor de rugosidad de las discontinuidades.
- J_a = Factor de alteración de las discontinuidades.
- J_w = Factor de reducción por contenido de agua en las discontinuidades.
- SRF = Factor de reducción por esfuerzos o tensiones.

El factor RQD/J_n representa la estructura de la masa rocosa y es medida aproximadamente del tamaño de bloques o partículas.

El factor J_r/J_a representa la rugosidad y las características de fricción de las paredes de las discontinuidades o del material de relleno.

El factor J_w /SRF consiste de dos parámetros de tensiones. El SRF es una medida de:

La pérdida de carga en el caso de excavaciones en zonas de fallas y rocas con fracturas rellenas con arcilla.

Tensiones en caso de roca competente.

Carga que produce deformación en rocas plásticas incompetentes.

El parámetro J_w es una medida de la presión de agua subterránea, la cual tiene un efecto adverso en la resistencia al corte de las discontinuidades debido a que reducen las tensiones normales efectivas.

Analizando las tablas de esta clasificación los autores no presentan corrección por la orientación de las discontinuidades, debido a que consideran que los tres factores que mencionamos, juegan un rol general más importante que el de la orientación de las discontinuidades.

Para la evaluación de los requerimientos de soporte de excavaciones, la Clasificación del NGI contempla un factor adicional denominado por los autores:

Dimensión Equivalente (D_e); este se obtiene de la relación entre la luz de la excavación (diámetro o altura) y un factor de utilización de las mismas, denominado ESR (Excavation Support Ratio). Así:

$$D_e = \text{Span (altura o diámetro)} / \text{ESR}$$

El factor ESR varía entre 5 para minas de abertura temporales y 0.8 para plantas nucleares subterráneas, estaciones ferroviarias subterráneas, fábricas, etc.

La relación entre Q y De determina una recta (estrictamente una familia de rectas para cada ESR) que separa excavaciones que requieren soportes de las que no lo requieren. Los actuales límites para excavaciones sin soportes (permanentes) pueden expresarse por la siguiente ecuación:

$$\text{Span} = 2 \text{ ESR} \cdot Q^{0.4}$$

El detalle de los parámetros de esta clasificación así como las 38 categorías de soporte recomendadas se muestra en las tablas Geomecánicas diseñadas por Barton.

Clasificación Bieniawsky (CSIR).

Esta clasificación del CSIR (South African Council for Scientific and Industrial Research) fue propuesta por Bieniawsky.

Considera cinco parámetros básicos para definir la clasificación:

1. Resistencia de la roca intacta.- Está determinada por ensayos de Compresión simple (Rc) o en su defecto por los ensayos de cargas puntuales (Is); datos que se obtiene en el laboratorio de mecánica de rocas.

2. RQD del testigo (Rock Quality Designation).- Tal como fue definido por su autor (Deere, 1964) es el % de testigos de perforación diamantina recuperados en piezas intactas de 100 mm o mas con respecto a la longitud total de la perforación.
3. Espaciamiento entre discontinuidades.- Aquí, discontinuidades es un término que abarca diaclasas, fallas geológicas, planos de estratificación y otras superficies de debilidad.
4. Condiciones de discontinuidades.- Este parámetro toma en cuenta la abertura de las discontinuidades, su continuidad, rugosidad de su superficie, grado de alteración de sus paredes y la presencia de material de relleno.
5. Condiciones hidrogeológicas.- Este parámetro considera la influencia del agua subterránea en la estabilidad de las excavaciones; la clasificación se hace a la cantidad de flujo de agua que entra en la excavación o alternativamente usando la relación entre la presión hidrostática y la tensión principal mayor, siempre que sean conocidas.

La clasificación Geomecánica de Bieniawsky presenta índices que son simplemente puntajes asignados a cada rango de

valores para cada parámetro. El índice total se calcula sumando todos los índices parciales de cada parámetro.

Bieniawsky considera que el índice total debe ser corregido debido al efecto que tiene la orientación de las discontinuidades en las excavaciones subterráneas.

Luego se indica los tipos de masas rocosas de acuerdo a sus índices de igual manera presentan características representativas de cada tipo de macizo rocoso, tales como tiempo aproximado de auto soporte, cohesión y ángulo de fricción del macizo rocoso.

Bieniawsky, basado en la clasificación geomecánica del macizo rocoso, presento una serie de recomendaciones para soporte en túneles. Estas recomendaciones están dirigidas principalmente a trabajos de Ingeniería civil para túneles con luces de 10 m y que van a ser excavados por perforación y voladura y en profundidades menores que 1000 m.

Índice G.S.I. (Geological Strength Index).

Este índice ha sido introducido como un equivalente del RMR para que sirva como un medio de incluir la información geológica en la aplicación del criterio de falla generalizada de Hoek - Brown, especialmente para rocas de mala a muy mala calidad (muy alterada y con elevado contenido de finos).

La determinación del G.S.I., es el primer paso a seguir, definir en forma empírica la resistencia y deformabilidad del macizo rocoso, basándose en las condiciones estructurales (grado de fracturamiento) y de superficie (alteración, forma de fracturas, relleno).

La clasificación según su estructura varía de:

- Levemente fracturado (LF)
- Fracturada (F)
- Muy fracturada (MF)
- Intensamente fracturada (IF)
- Triturada (T)

La clasificación según sus condiciones superficiales varía de:

- Muy buena (MB)
- Buena (B)
- Regular (R)
- Pobre (P)
- Muy pobre (MP)

Su aplicación permite obtener una clasificación geológica muy simple como por ejemplo: fracturada, regular (F/R) o muy fracturada, muy pobre (MF/MP) y mediante la tabla de Ábacos de GSI obtener a continuación, una evaluación que se relaciona con estas características geológicas y que corresponde al

promedio entre los límites de las líneas de Ábaco que cruzan el cuadro relacionado a esa descripción, por ejemplo a una descripción MF/MP, el valor del Índice GSI. Sería equivalente $(18 + 65 / 2) = 26$ o para un F/R, el valor del Índice GSI. Sería $(46 + 65 / 2)$ o 55.5.

EVALUACIÓN GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO

CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA

La roca difiere de la mayoría de otros materiales utilizados en la ingeniería. Esta tiene discontinuidades (fracturas) de diferentes tipos, que hacen que su estructura sea discontinua. Además, debido a los procesos geológicos que la han afectado entre el tiempo de su formación y la condición en la cual la encontramos en la actualidad, presenta heterogeneidades y propiedades variables. Todas estas características requieren ser evaluadas en forma permanente durante el laboreo minero. Primero es necesario distinguir lo que es el "material rocoso" o también denominado "roca intacta" y lo que es la "masa rocosa" o también denominada "macizo rocoso".

➤ Roca intacta

Es el bloque ubicado entre las discontinuidades y podría ser representada por una muestra de mano o

trozo de testigo que se utiliza para ensayos de laboratorio.



Figura 1: roca intacta

➤ Masa Rocosa

Es el medio in situ que contiene diferentes tipos de discontinuidades como diaclasas, estratos, fallas y otros rasgos estructurales.



Figura 2: masa rocosa

Dependiendo de cómo se presenten estas discontinuidades o rasgos estructurales dentro de la masa rocosa, ésta tendrá un determinado comportamiento frente a las operaciones de minado.

DISCONTINUIDADES DE LA MASA ROCOSA

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

➤ Planos de estratificación

Dividen en capas o estratos a las rocas sedimentarias.



Figura 3: plano de estratificación

➤ Fallas

Son fracturas que han tenido desplazamiento. Estas son fracturas menores que se presentan en áreas

locales de la mina o estructuras muy importantes que pueden atravesar toda la mina.



Figura 4: fallas

➤ Zonas de corte

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



Figura 5: zona de corte

➤ Diaclasas

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



Figura 6: diaclasa

➤ Planos de foliación o esquistosidad

Se forman entre las capas de rocas metamórficas dando la apariencia de hojas o laminas.



Figura 7: plano de foliación o esquistosidad

➤ Contactos litológicos

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



Figura 8: contacto litológico

➤ Venillas

Son rellenos de las fracturas con otros materiales. Existen otros rasgos geológicos importantes que deben ser tomados en cuenta, como:



Figura 9: venillas

➤ **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.



Figura 10: pliegues

➤ **Diques**

Son intrusiones de roca ígnea de forma tabular, que se presentan generalmente empinadas o verticales.



Figura 11: Diques

➤ Chimeneas

Denominados también cuellos volcánicos son intrusiones que han dado origen a los conos volcánicos.



Figuras 12: chimeneas

PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES

Todas las discontinuidades presentan propiedades geomecánicas importantes que las caracterizan y que influyen en el comportamiento de la masa rocosa. Estas propiedades son principalmente:

➤ 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.

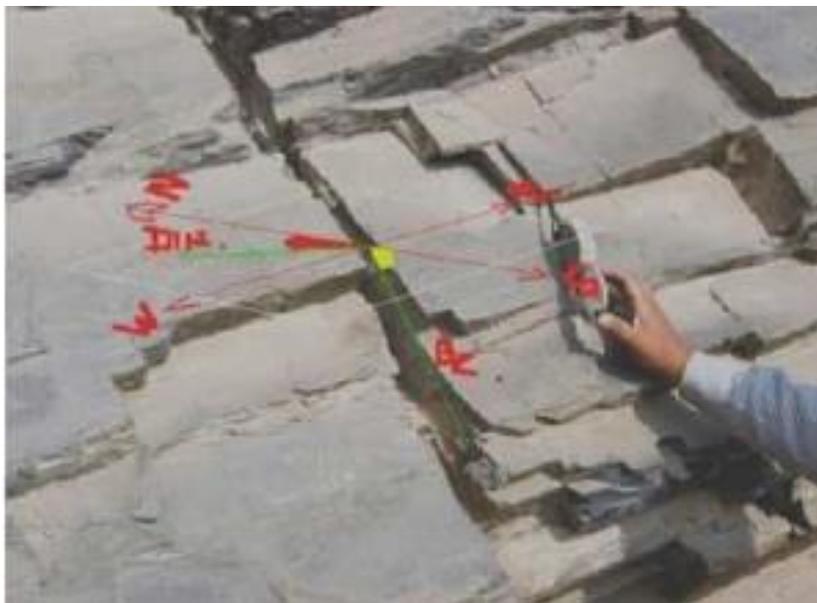


Figura 13: orientación

➤ 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.



Figura 14: espaciado

➤ **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.

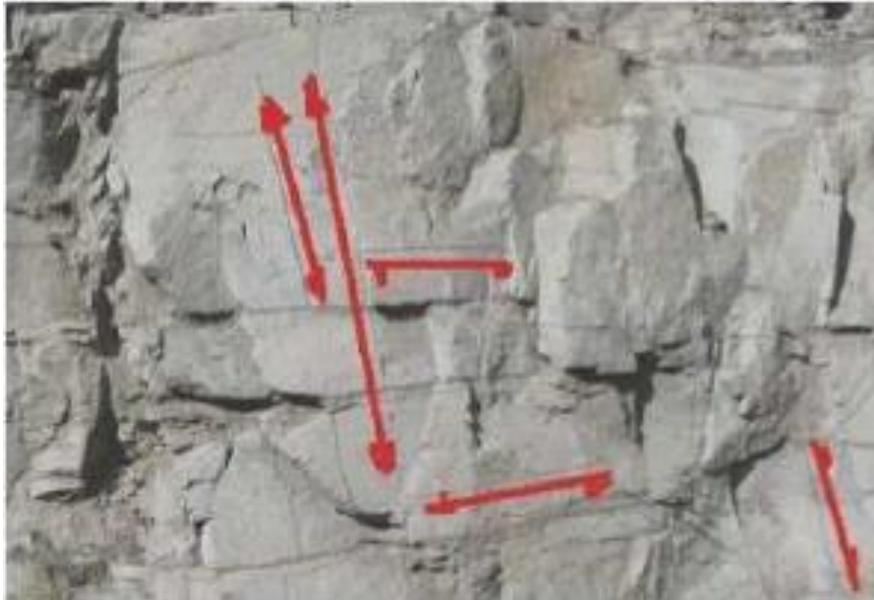


Figura 15: persistencia

➤ **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 esta, la masa rocosa será más competente.



Figura 16: rugosidad

➤ **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 y a mayor apertura, las condiciones serán más desfavorables.



Figura 17: apertura

➤ Relleno

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



Figura 18: relleno

TIPOS DE SOSTENIMIENTO

- **Concreto Lanzado (Shotcrete)**

Sistema de Shotcrete Vía Húmeda

Tiene el mismo principio de vía seca, solo que en este caso la mezcla de hormigón es preparada en la planta de concreto y transportada en camiones hormigoneros.

Para la preparación y lanzamiento de shotcrete vía húmeda, se requiere de camiones hormigoneros, equipo lanzador de concreto con brazo robotizado y una planta de concreto para la preparación de la mezcla; el lanzamiento del mortero u hormigón es de buen rendimiento, y con bajo rebote, cubriendo de este modo ampliamente los requerimientos de mina, y pasando a un segundo plano las aplicaciones del shotcrete vía seca.

Estos equipos se limitan a un bombeo a alta velocidad a través de conductos hasta la boquilla donde es impulsada por aire comprimido, con lo que se obtiene una superficie de hormigón adecuadamente.

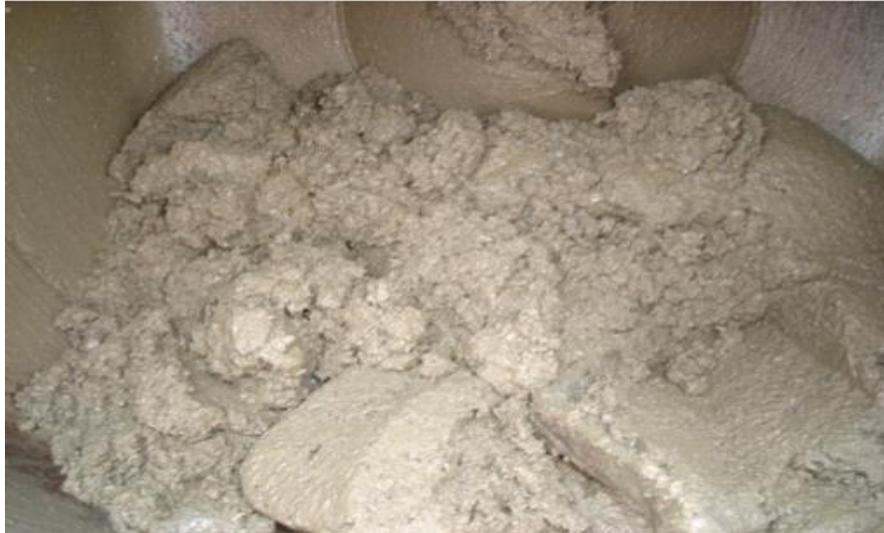


Figura 19: Shotcrete Vía Húmeda

Mezcla Vía Húmeda.

El sistema de mezcla húmeda consta de una serie de fases y requiere de una planta de concreto y equipos adecuados.

La mezcla de áridos, cemento y el agua se realizan en la planta de concreto; es abastecida mediante pesaje con una balanza electrónica, donde es girada hasta conseguir una perfecta homogeneidad de acuerdo a los requerimientos de diseño. Para facilitar la plasticidad se suele adicionar aditivos. Previo al envío se mide el Slump y el tiempo que dura el transporte hasta el momento de la alimentación el equipo lanzador (Alpha 20) que es impulsada por una bomba de concreto.

Previo al lanzado, se determina la labor a sostener, que debe estar limpia, desatada y ventilada; se solicita a planta el volumen de mezcla calculada con la siguiente formula:

$$V = L \times P \times e \times R \times Re,$$

Donde:

V = volumen,

L = longitud,

P = perímetro,

e = espesor del shotcrete,

R= rugosidad y

Re = rebote.

La mezcla es transportada en camiones hormigoneros, hasta el frente de aplicación, donde el equipo lanzador ya debe estar instalado para el lanzado.

La mezcla húmeda de cemento, áridos, plastificante y fibra se abastece al alimentador de la bomba shotcretera (Alpha 20).

La mezcla es impulsada a la manguera y al brazo robotizado mediante un distribuidor, y en la salida se adiciona el acelerante de fragua, para conseguir resistencias iniciales altas y favorecer la disminución de rebote.

La mezcla es lanzada mediante aire comprimido. Esta boquilla va equipada con un distribuidor de aire, para ayudar a la proyección.

La mezcla se proyecta desde la boquilla mediante un brazo robotizado, sobre la superficie del terreno a soportar, este lanzado es operado a control remoto.



Figura 20: Camión Hormigonero (Huronos o Tornados), para el transporte de mezcla.

SHOTCRETE VÍA HÚMEDA	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Los equipos son modernos, de gran rendimiento y apropiados para secciones mayores de 3.0x3.0, adecuado para labores permanentes y tajos amplios.	Se requiere de una planta de concreto para el preparado de mezcla con las dosificaciones de diseño.
El equipo lanzador está dotado de brazo robotizado y accionado a control remoto.	Se requiere de camiones hormigoneros para el traslado de mezcla. Mejor control de la relación agua /cemento

Mejor control de la dosificación principalmente la relación agua / cemento.	Para el manejo de los equipos se requiere de mano de obra calificada.
Menor rebote de la mezcla, se estima como máximo 10%.	El mantenimiento de equipos es más costoso.
La aplicación es rápida y segura; se requiere solamente de dos operadores.	Velocidad de impacto contra la superficie es inferior.
Se optimiza los tiempos de aplicación.	No se puede aplicar en secciones menores de 3.0x3.0m por las dimensiones de los equipos.
Menos producción de polvo, por ende menos contaminante.	Los costos son relativamente más altos que el de vía seca.
Existe una oferta amplia de equipos en el mercado	
Velocidad de proyección alta 60-70 m/s	

Propiedades del Shotcrete

Las propiedades se definen con los siguientes parámetros:

- **Aspecto:** La superficie natural de hormigón proyectado es rugosa. Esta rugosidad depende sobre todo del tamaño de

los áridos utilizados y de la técnica de proyección, del operador “shotcretero”.

- **Color:** Depende de muchos factores del cemento, agua, aditivos y sobre todo cuando se ejecuta el tratamiento en varias fases.
- **Adherencia:** La adherencia es una propiedad importante y depende de las condiciones de la roca, a la solidez, alteración, agua, limpieza y a que esté exenta de partes sueltas. La mezcla choca a la superficie a una velocidad elevada, y rellena las irregularidades, las fisuras y los poros con la ayuda de las partículas más finas. El mecanismo consiste en que primeramente se forme una fina capa de pasta de arena fina y cemento, a la cual se incrustan los granos de áridos gruesos, efectuándose un puente o lechada de adherencia. La resistencia de adherencia viene dada por la calidad de la roca y por la variación de aplicación. Se deduce que la adherencia del shotcrete con la roca permite la absorción de los esfuerzos de flexión. La unión del shotcrete con la roca debe ser íntima para que impida el proceso de aflojamiento, descompresión, o relajación del macizo rocoso.



Figura 21: Aspecto y color del Shotcrete.

- **Porosidad:** El shotcrete generalmente contiene más cantidad de áridos finos y más cantidad de cemento que el hormigón tradicional, por lo que la porosidad es menor; si además la relación agua/cemento es menor y la compactación alta, se crean poros bajo forma de inclusiones de aire que no se comunican entre sí. La porosidad es creada por el aire encerrado durante el proceso de la operación.



Figura 22: Falta de Adherencia del Shotcrete.

- **Densidad aparente.** Varían entre 2.3 a 2.5 kg/dm³, dependen del contenido de áridos, cemento y la porosidad.
- **Resistencia a la compresión.** Está en función al diseño, según el requerimiento de la operación minera. El requerimiento mínimo para un Shotcrete 210 es de 35kg/cm² a las cuatro horas, a las 24 horas debe estar por encima de 100 kg/cm², a los 7 días debe sobrepasar los 210kg/cm², mientras que a los 28 días está por muy encima de los 350 kg/cm²; con esto se logra optimizar y reducir tiempos en una operación minera. Sin embargo, una característica fundamental del shotcrete es el incremento de resistencias con el tiempo a causa del contenido elevado de cemento, 500 kg/cm² a los 12 meses y 600 kg/cm² a los 4 años. Algunas veces se ha reportado hasta 700 kg/cm².
El uso de acelerantes de fragua, nos permite conseguir altos valores de resistencia inicial, que es muy importante para la explotación minera. Así, se puede tener la progresión de resistencias en base a un diseño de 210 kg/cm² prevista para los 28 días, se encuentra en los siguientes valores:

TIEMPO TRANSCURRIDO	RESISTENCIA
4 horas	25 a 35 kg/cm ²
24 horas	> 100 kg/cm ²
3 días	> 180 kg/cm ²
7 días	> 210 kg/cm ²
28 días	> 350 kg/cm ²

➤ **Resistencia a tracción.** Es variable entre 15 - 20 kg/cm² a los 7 días y 30 kg/cm² a los 28 días. Esta resistencia mejora con la utilización de la fibra.

➤ **Permeabilidad.** En el caso del shotcrete alcanza valores de $10\text{-}25 \times 10^{-10}$ m/s que es inferior al de un hormigón normal que es de 50×10^{-10} m/s.

La relación agua/cemento para el concreto lanzado esta comprendida entre 0.45 a 5.0 por peso, que es más baja que la mayoría de los valores para las mezclas convencionales.

La contracción por secado depende de las proporciones de mezclas empleadas, pero se encuentran entre 0.06 - 0.10 %.



Figura 23: Distribución de áridos en el Shotcrete.

Requerimientos de la capa de Shotcrete

Requerimientos mecánicos	Requerimientos físicos	Requerimientos hidráulicos	Requerimientos químicos
<ul style="list-style-type: none"> • Debe poseer resistencia a temprana edad, suficiente para contrarrestar a las tensiones, particularmente en el último tramo excavado. • Obtener resistencias suficientes para equilibrar los esfuerzos de corte o cizallamiento y flexo-tracción, 	<ul style="list-style-type: none"> • Protección contra la meteorización o deterioro de la superficie rocosa del macizo atravesado. • Impedir el ingreso de humedad y aire en las discontinuidades de la roca. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estancamiento eficaz de las aguas de infiltración a las labores. • Disminuir la rugosidad en las paredes de las labores, para mantener y controlar un régimen de pérdida de carga; para una excavación 	<ul style="list-style-type: none"> • Protección de la roca a la acción de aguas agresivas, humos, gases. • Impedir que la roca circundante a la excavación sufra efectos higroscópicos e inestabilización

<p>para de esa manera soportar eficazmente a las solicitaciones del “empuje de roca”.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Impedir que la variación de temperatura circundante a la excavación afecte la estabilidad del macizo rocoso. 	<p>tiene por finalidad conducir agua o ventilación.</p>	<p>por efectos de la humedad.</p>
---	--	---	-----------------------------------

Aplicaciones del Shotcrete

Su utilización es amplia, en la minería se emplea como:

- Sostenimiento temporal en tajos, desarrollos y avances mineros.
- Sostenimiento definitivo en galerías, rampas, túneles, cavernas, piques y pozos.
- Impermeabilización de acuíferos.
- Revestimiento para mejorar las condiciones aerodinámicas de las galerías de ventilación.
- Consolidación de taludes, bocaminas y paredes rocosas.
- Como sostenimiento preventivo para complementar con pernos.
- Impermeabilización de labores hidráulicas, túneles y cavernas.
- Refuerzo para construcciones de hormigón y de mampostería.
- Protección anti-corrosiva de refuerzo de acero (cimbras, varillas, pernos, cáncamos).
- Revestimiento de tuberías.
- Reparación de obras de hormigón o shotcrete defectuoso.



Figura 24: Sostenimiento temporal de Tajos amplios, con Shotcrete y pernos de compresión.

MATERIALES PARA EL SHOTCRETE

- **El Cemento**
- **El Cemento Pórtland**

Aglomerante que se obtiene de la transformación de una materia prima que está compuesto por una mezcla de caliza, arcilla, puzolana y otros minerales o simplemente caliza. Esta materia prima finamente molida, es llevada a altas temperaturas (entre 1400 a 1450°C), a través de un horno (rotatorio o vertical), de donde se obtiene un producto denominado CLINKER, del cual, al molerse finamente con alrededor de 5% en peso del yeso, se obtiene el CEMENTO. Si el clinker fuera molido finamente para ser utilizado como cemento, en el momento de su mezcla con el

agua fraguaría casi de inmediato, por tal razón, en el momento de la molienda se le adiciona yeso natural con el objeto de retardar el fraguado.

El cemento es una mezcla de muchos compuestos las que conforman más del 90% del peso del cemento y son 4: Silicato tricálsico ($3\text{Ca}\cdot\text{SiO}_2$, abreviado "C3S" de esto depende el endurecimiento), Silicato dicálsico ($2\text{Ca}\cdot\text{SiO}_2$, abreviado "C2S", es el causante principal de la resistencia posterior de la pasta), Aluminato tricálsico ($3\text{Ca}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, abreviado "C3A", en la elaboración del cemento favorece la combinación de cal y sílice y no ayuda en nada en la resistencia) y Aluminato ferrita tricálsica ($4\text{Ca}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$, abreviado "C4AF", reacciona con el yeso y puede ayudar en la hidratación de los silicatos).

Clasificaciones de los Cementos

De acuerdo a las normas nacionales ITINTEC (Instituto de Investigación

Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas) y a la Estadounidense ASTM C- 150 o ASTM C-595 (Sociedad Americana de Pruebas de Materiales) o la Británicas BS, los cementos están clasificados en dos grandes grupos: Cementos Portland comunes y Cementos Portland adicionados:

Cementos Pórtland Comunes

Son aquellos cementos hidráulicos producidos por la pulverización del clinker y dentro de ellos tenemos:

- **Tipo I:** Es el cemento destinado a obras de concreto en general, cuando en las mismas no se especifican la utilización de otros 4 tipos de cemento; este cemento se emplea en Chungar para el Shotcrete.
- **Tipo II:** Es el cemento destinado a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiere moderado calor de hidratación.
- **Tipo III:** Es el cemento de alta resistencia inicial, el concreto hecho con el cemento tipo III desarrolla una resistencia en tres días igual a la desarrollada en 28 días por concreto hechos con cemento tipo I o tipo II.
- **Tipo IV:** Es el cemento del cual se requiere bajo calor de hidratación.
- **Tipo V:** Es el cemento del cual se requiere alta resistencia a la acción de los sulfatos. Las aplicaciones comprenden las estructuras hidráulicas expuestas a aguas con alto contenido de álcalis y estructuras expuestas al agua de mar.

Cementos Pórtland Adicionados

Son aquellos cementos hidráulicos, que consisten de una mezcla íntima y uniforme producida por la molienda conjunta del clinker con los materiales de adición y yeso o por la mezcla separada del cemento Pórtland con dichas adiciones las que se dividen en dos principales:

Cementos Pórtland de escorias y Cementos Pórtland de Puzolanas.

Las escorias: se forman como subproducto del proceso siderúrgico y como consecuencia de la reacción entre la mena (metal) y la ganga (estéril), mineral. La escoria para el cemento debe ser de alta temperatura y como es más dura que el clinker su molienda es por separado.

Las puzolanas: (su nombre deriva de la ciudad Italiana de Puzzouli, al pie del Vesubio, donde afloran rocas volcánicas porosa y de peso ligero). Son materiales silicios o sílico aluminoso, los cuales en sí mismo poseen poco o ningún valor cementante, pero que en forma finamente molida y en presencia del agua reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente, para formar compuestos con propiedades cementantes. El contenido de la puzolana está limitada de 15 a 40% de la masa total del material aglutinante.

Las puzolanas pueden tener orígenes muy diversos: puzolanas naturales, artificiales o subproducto.



Figura 25: Bolsa de Cemento Pórtland

Humo de sílice o Silica Fumes, es altamente contaminante por el tamaño de sus partículas.

Las puzolanas naturales son de rocas extrusivas por enfriamiento rápido de la sílice contenida en los tufos volcánicos o cenizas volcánicas, obsidiana, piro-clásticos, y aglomerados volcánicos ya que son ricas en óxido de sílice.

Los cementos puzolánicos tiene una hidratación lenta y por lo tanto desarrolla un índice de calor bajo, es la razón por que no se recomienda para el shotcrete. Las puzolanas artificiales pueden dividirse en cenizas volantes y humo de sílice. La primera se obtiene en el filtrado de los humos de las centrales térmicas,

y las segundas en el filtrado de los humos de los hornos de producción de sílice o silicatos metálicos.

El humo de sílice, es un subproducto de la producción de sílice y silicato de hierro. Este producto es muy fina y tiene un diámetro aproximado de 100 veces menor que las partículas del cemento (0.1 micra). Al conjunto de estas partículas de humo de sílice también se les conoce como harina de sílice. Micro-sílica, sílice pirogénica, etc.;

PROCESOS DEL SHOTCRETE

- **El fraguado**, es la pérdida de plasticidad que sufre la pasta de cemento. Hay dos etapas de fraguado:
- **Fraguado inicial**, cuando la masa empieza a perder plasticidad; esto se acelera para el shotcrete con aditivos de acuerdo a la necesidad de operación. **Fraguado final**, cuando la pasta de cemento deja de ser “deformable” y se convierte en un bloque relativamente rígido o endurecido.
- **El endurecimiento: es** el desarrollo lento de la resistencia, esto se consigue con el paso de las horas y los días hasta su endurecimiento final.
- **Calor de hidratación:** es la reacción que genera calor en el proceso del endurecimiento. La temperatura que genera la

hidratación llega hasta los 50°C. Como la temperatura ambiente es menor se producen descensos bruscos de ésta, ocasionando contracciones y en consecuencia rajaduras, esto se evita con la utilización de fibras metálicas o sintéticas. El shotcrete se endurece al mezclarse con la cantidad suficiente de agua, mediante un desarrollo lento de estructuras cristalinas cementantes que se adhieren a las partículas entremezcladas de los áridos (arena y grava). Esto une la masa, al mismo tiempo, que desarrolla resistencia y adquiere gran dureza. Mientras haya humedad en el ambiente la reacción continúa, esta es una ventaja dentro de la mina por la humedad del medio, mientras que en superficie se recomienda su curado con agua de aspersión.

El Agua

Es un elemento fundamental en la preparación del shotcrete, está relacionado con la resistencia, trabajabilidad, manchado, corrosión del refuerzo y propiedades del concreto endurecido.

El agua debe ser limpia y estar libre de cantidades perjudiciales como el aceite, ácidos, álcalis, sales, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto y al acero.

Es necesario realizar un análisis químico de las aguas a utilizar, no debe tener valores superiores a los máximos admisibles de las sustancias existentes de acuerdo a la siguiente relación:

El agua para el curado deber tener las mismas características que el utilizado en la preparación. Por ejemplo el CO₂ libre, que puede estar presente en aguas provenientes de deshielo disuelven el Ca(OH)₂ y provoca erosión de la superficie.

SUSTANCIAS DISUELTAS	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales solubles	1500 ppm
PH.	De 6 a 8
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

El agua llega a una válvula instalada en la boquilla de la bomba shotcretera a través de una línea de alta presión y debe estar conectado directamente a la alimentación principal. Esta presión debe ser no menor de 4 Bar.

Áridos o Agregados

Constituyen alrededor del 75 al 80% del volumen, de una mezcla típica de concreto. Los utilizados en la preparación del shotcrete se obtendrán por la selección y clasificación de materiales naturales de una Cantera seleccionada.

Que son lavados y cribados de acuerdo a la gradación N° 2 del ASTM.



Figura 26: Planta de agregado

Áridos seleccionados en Planta de Concreto.

Los agregados para el shotcrete, deberá cumplir con los requisitos de las especificaciones Standard ASTM C-33. Los agregados finos se consideran como tal a la arena de dimensiones

reducidas y que pasan el tamiz 9.5mm (3/8”) y agregado grueso al material retenido en el tamiz 4.75mm (Nº 4) que es grava de río. En el cuadro adjunto se muestran los límites de las curvas granulométricas para mezclas finas y gruesas dentro de las que deben caer las arenas para emplearse en la elaboración del shotcrete.

La gradación de los agregados finos y gruesos combinados recomendables son las siguientes:

Tamaño Estándar de Mallas

	ASTM	Nº 1	Nº 2	Nº 3
Nº	mm			
¾	19			100
½	12		100	80 – 95
3/8	10	100	90 – 100	70 – 90
4	4.75	95 – 100	70 – 85	50 – 70
8	2.40	80 – 100	50 – 70	35 – 55
16	1.20	50 – 85	35 – 55	20 – 40
30	0.60	25 – 60	20 – 35	10 – 30
50	0.30	10 – 30	8 – 20	5 – 17
100	0.15	2 – 10	2 – 10	2 – 10
200	0.075	0 – 5	0 – 5	

Los áridos combinados, estarán uniformemente bien graduados y no mostrarán segregación alguna, en Chungar utilizamos la gradación Nº 2.

Pueden emplearse áridos que no cumplan con la granulometría citada siempre que en los ensayos preliminares se obtenga buenos

resultados. Se debe tener en cuenta que las arenas más finas favorecen la retracción y las más gruesas incrementan el porcentaje de rebote. Estos áridos estarán compuestos de partículas limpias, duras, resistentes y de una calidad uniforme. Su forma será redondeada o cúbica y deben contener menos del 15% de partículas planas, delgadas o alargadas; definiéndose como una partícula alargada aquella que tiene su máxima dimensión 4 veces mayor que la mínima. Se recomienda realizar un estudio petro-mineralógico de los áridos.

El polvo tiende a formar una película perjudicial en las partículas de los áridos, que afecta el proceso de fraguado del concreto, raíz por el cual se recomienda humedad en los áridos.



Figura 27: Prueba de la calidad de áridos y de la mezcla vía seca.

Los áridos no deben estar completamente secos; las acumulaciones o montones deberán estar situados en un lugar en donde pueden drenar y no ser inundados por el agua. Los áridos deberán mantenerse en condición óptima, cubriendo con techo o lonas, permitiendo de esta forma que el viento circule sobre el montón pero impidiendo que la lluvia los sature.

La planta de concreto es responsable de revisar los áridos que llegan, estos deben ser de buena calidad para el shotcrete, debiendo tener un módulo de finura de 2.4 a 3.2 con no más de 5 % de material que pase por la malla N° 200 (75 micras).

Una prueba práctica de campo para determinar la calidad de los áridos es, al oprimir algo de áridos con el puño, deberá ser abrasiva al tacto, no tener polvo, no tener partículas suaves o tener exceso de limo. Cuando se abra la mano, la arena no deberá fluir libremente, ni se forma un terrón, sino deberá desmoronarse en tres o cuatro módulos separados.

El contenido de humedad en los áridos para shotcrete vía seca deberá estar comprendido entre 5% al 6%. Si los áridos están muy húmedas, se iniciará una segregación, bloqueará la manguera y formará capas de mortero dentro de la shotcretera; mientras, sí que si los áridos están demasiado seca, el cemento no se adherirá a los granos de los áridos al mezclarse, lo cual producirá una

separación excesiva en la manguera y polvo excesivo en la zona de aplicación.

Aditivos

Tienen por finalidad lograr propiedades específicas en el shotcrete y en el endurecido; en el mercado se dispone de diferentes tipos de aditivos / ingredientes, a utilizarse para el shotcrete tanto para el procedimiento por vía seca como por vía húmeda y son para las siguientes necesidades:

- Acelerantes de fragua.
- Plastificantes (fluidificantes reductores de agua).
- Superfluidificantes (para la producción de hormigón y mortero fluido o como reductor de agua).
- Superfluidificantes - Retardadores (para la producción de hormigón y mortero fluido y retardo).
- Impermeabilizantes (para hormigones y morteros de impermeabilización).
- Estabilizadores (para estabilizar hormigones y morteros hasta 40 horas).
- Reductores de rebote.
- Reductores de polvo y entre otros.

Los aditivos solubles deberán disolverse en agua antes de añadirse a la mezcla. Se mezclan generalmente en un tanque con agua y la solución se bombea a la boquilla (vía seca). Los polvos insolubles se mezclan con el cemento antes que éste se mezcle con el agregado.

En cuanto a orden de importancia, es de resaltar que la granulometría y mezcla de áridos representan un 30%, los aditivos un 25%, la elección del equipo de maquinarias y sus especialistas un 40% y el 5% restante los elementos que forman parte de la técnica del hormigón y mortero proyectado.

Acelerantes de Fraguado

Son aquellos elementos químicos que aceleran el endurecimiento o desarrollo de la resistencia inicial del concreto o shotcrete y en la vía húmeda reducen el asentamiento (consistencia) en la proyección, pasando de una consistencia líquida a una pastosa mientras que el concreto está aún en el aire, de manera que se adhiere a la superficie cuando aumenta el espesor de la capa. Además, con su uso se puede incrementar el espesor de las capas.

Los acelerantes de fragua permiten la proyección eficaz en superficies verticales y en la bóveda. El efecto de fraguado permite aplicar el shotcrete como soporte inicial antes de la relajación del macizo.

Los acelerantes son añadidos en forma líquida al tanque de agua en la proporción de diseño para vía seca; mientras que para vía húmeda a una bomba dosificadora especial que se encuentra incorporada al equipo. La dosificación del acelerante depende de la capacidad del operario o shotcretero, de la superficie y de la relación agua/cemento.

La diferencia básica entre los acelerantes de aluminatos y silicatos sódicos, es que los aluminatos participan en el proceso de hidratación y contribuyen a aumentar las resistencias iniciales en las primeras 0,5 – 2 horas. Existen 3 tipos de acelerantes:

Acelerantes de Aluminatos

Se presenta en polvo y líquido, dosificación del 1 - 6% del peso del cemento, la cantidad depende del fabricante y tipo de producto; son muy utilizados en operaciones mineras.

Al añadir acelerantes de fraguado basados en aluminato se produce un aumento repentino del contenido de aluminatos requeridos para formar mono- sulfatos. Esto permite una hidratación normal espontánea del cemento, y conducen a alta resistencia iniciales a la compresión.

Los acelerantes con aluminatos son utilizados preferiblemente en labores de rocas blandas, muy malas, con alta deformación, con agua

y en aquellas rocas donde se requieren soportes de alta resistencia inicial y en tiempos de auto- soporte corto después de la excavación.

Los acelerantes de aluminato comienzan a desarrollar resistencia después de 5 a 10 minutos, después de 30 minutos la resistencia a alcanzado un valor suficiente como para soportar su propio peso 4 kg/cm², para continuar con la operación minera se recomienda un mínimo de 35kg/cm² que se logra a las 4 horas aproximadamente a una temperatura de 10°C.

Los acelerantes de aluminatos son también apropiados para situaciones por problemas de agua subterránea, zonas con goteos, filtraciones y chorros de agua; donde, el procedimiento es proyectar en capas muy delgadas (5-10mm) de shotcrete con sobredosis de acelerante de aluminato (8 al 10% del peso de cemento), esperar unos 15 minutos, seguidamente se continúa con la proyección hasta llegar al espesor deseado (se recomienda la perforación de lloronas para minimizar el lavado).

Es importante tomar medidas de precaución, durante el manejo y uso de este tipo de acelerantes. El personal encargado del manejo y de la proyección del material debe usar siempre su equipo de protección personal (EPP) completo, debe evitarse el contacto directo del material con la piel.

Acelerantes de Silicatos

Líquido, dosificación del 6 a 18 % del peso del cemento o según indicación del fabricante; se ven influenciado por la humedad relativa del ambiente.

Los silicatos sódicos caracterizan por un efecto momentáneo de pérdida de asentamiento de la mezcla de shotcrete, y no participan del proceso de hidratación tal como lo hacen los acelerantes de aluminato.

Los silicatos sódicos modificados fijan el agua en la mezcla; por tal motivo la dosificación depende de la relación agua/cemento; mientras mayor sea dicha relación, más silicato se requerirá para fijar el agua a la mezcla.

Los silicatos modificados no producen resistencias muy elevadas durante las primeras 2-4 horas. Presentan menor contenido de álcalis que los productos basados en aluminatos.

Funciona con toda clase de cemento; muy buen aglomerante; no causan daños al medio ambiente, ni son tan dañinos para la piel.

Como desventajas, no se pueden utilizar a temperaturas menores de + 5°C y los espesores de lanzado no deben ser mayores a 12cm.

Acelerantes Libre de álcalis

Polvo y líquido, dosificación del 4-10% del peso del cemento, nueva generación ecológica que modifica la tecnología de los morteros y

hormigones proyectados al no tener influencia en las resistencias finales, sin contar con lo más importante, no quemar ni contaminar. Actualmente existen en el mercado productos libres de álcalis y no cáusticos de buen rendimiento, que hacen posible aplicaciones de shotcrete de alta calidad. Debido a su compleja composición química, los acelerantes libres de álcalis son más costosos que los acelerantes tradicionales.

Los acelerantes libres de álcalis son ácidos pH de 2,5 a 3,5; corrosividad alta; son buenos con todos los tipos de cemento.

Los acelerantes libres de álcalis exhiben un excelente desarrollo de la resistencia inicial a partir de las 7 u 8 horas; no presenta pérdida de resistencia final.

Como se menciona en párrafos anteriores, los acelerantes son para desarrollar un fraguado rápido y una alta resistencia a corto plazo y pueden ser en polvo o en líquido que son los más preferidos, porque no presentan riesgo de fraguado prematuro y no alteran la homogeneidad del hormigón. Es de exigencia que los aditivos no tengan efectos corrosivos sobre el acero, ni propicien rajaduras o desprendimiento de concreto.

Plastificantes (Reductores de Agua)

Los reductores de agua tienen la función de mejorar la trabajabilidad del concreto y su capacidad de cohesión en el estado plástico; pueden provocar un aumento significativo del asentamiento

con la misma relación agua/cemento, o bien dicha relación puede reducirse para alcanzar el mismo asentamiento que se obtendría para una mezcla carente de reductor de agua. La relación agua cemento está asociada con un aumento en la resistencia; el aumento del asentamiento, con una mejor facilidad de bombeo.

Los super-plastificantes / plastificantes tienen un efecto excelente en la dispersión de “finos”, y por tanto son aditivos ideales para el shotcrete. El mayor asentamiento logrado por los super-plastificantes convencionales depende de las condiciones de tiempo y temperatura. Sin embargo, la facilidad de bombeo puede mantenerse sólo por tiempo limitado (90 – 240 minutos) después de preparado la mezcla, y una dosis excesiva de aditivos puede conducir a segregación y a una pérdida total de la cohesión. Normalmente la dosificación oscila entre de acuerdo al tipo de Plastificante, que van desde 2 litros/m³ hasta 10 litros/m³ según los requisitos de calidad, relación agua/cemento, consistencia requerida, así como también el tipo de agregado y de cemento.

Estos se utilizan con tres propósitos y principalmente en el proceso por vía húmeda:

- Para lograr una mayor resistencia al disminuir la relación agua/cemento.
- Para facilitar la bombeabilidad durante los trabajos.

- Para que el calor de hidratación disminuya y por lo tanto aumento en la resistencia en edades tempranas y distribución uniforme del cemento en el concreto.

Retardadores

Su uso es muy limitado y en zonas de climas calurosos su empleo puede evitar la presencia de juntas frías en capas sucesivas, obteniéndose así propiedades inadecuadas. Generalmente ocurre un retraso en el endurecimiento.

Superfluidificantes

Estos son más recientes y efectivos de ingredientes reductores de agua de alto rango. También se presentan el retardador de fraguado de alto alcance. Los niveles de dosis generalmente son más altos que los reductores o retardadores convencionales.

Incorporadores de Aire

Su uso es imprescindible en concretos expuestos a ciclos de hielo y deshielo. Estos facilitan la incorporación y fraccionamiento del aire incorporado durante los procesos de mezcla y lanzado. Estabilizan la distancia media entre las

Burbujas y pueden mejorar la bombeabilidad. Una muy significativa cantidad de aire incorporado en shotcrete vía húmeda es perdida durante el bombeo, por lo que una incorporación de aire del orden del 10 -12% del bombeo producirá de un 3 - 6% de aire incorporado en el concreto ya lanzado. Personalmente no recomiendo la incorporación de aire para el shotcrete.

Ingredientes para la Adherencia

Son emulsiones polímeras (látex) que mejoran la adherencia del concreto fresco con concreto endurecido. También disminuye la permeabilidad, incrementa el aire incorporado. Es muy costosa.

Adiciones La microsílca

Al ser adicionado al cemento reaccionan con la cal libre del cemento que representa un 25% de la pasta y forma el silicato cálcico que es un compuesto estable con resistencias propias y que formará una pasta mucho más resistente a los esfuerzos físicos, además va ser más resistente a los ataques químicos y atmosféricos y en general puede ofrecer un grado de durabilidad mayor en los hormigones proyectados.

La microsílca debe utilizarse siempre junto con un superfluidificante, ya que, por una parte se obtiene una defloculación de dicho humo de

sílice y, por tanto un buen reparto en la pasta de cemento. La dosificación aproximada puede ser de 8 -10%.

Las cenizas volantes (flyash)

Su dosificación está en el orden de 15 -20% reemplazando al cemento y los efectos son:

Producen un retardo en el fraguado, mejoran la trabajabilidad, reduce la exudación, producen menor calor de hidratación y se necesitan dosis más altas de incorporación de aire para los mismos efectos. El concreto endurecido tiene en cuanto a la resistencia igual a los 28 días, son resistentes a los sulfatos, mejora la permeabilidad, mejora la resistencia a la carbonatación y mejora la durabilidad.

Fibras

El shotcrete reforzado con fibras ha avanzado significativamente en los últimos años, contando ahora con la aprobación de profesionales para el soporte de rocas; el shotcrete es un material frágil, se agrietan por razones estructurales principalmente por la poca resistencia a la tracción del material. El agrietamiento se produce como resultado de la combinación de los esfuerzos de contracción y las restricciones. Para evitar este problema es necesario reforzarlo con fibras.

Las fibras metálicas tienen ventajas obvias sobre la malla electro-soldada, siendo más importante el hecho de que son pequeñas y que pueden distribuirse uniformemente en toda la capa de shotcrete.

La adición de fibras a los morteros y hormigones mejora sus características notablemente. Aunque hay fibras de distintas naturalezas (nylon, fibras de vidrio, polipropileno, polietileno, metálicas, etc.). Las más divulgadas y conocidas son las metálicas.



Figura 28: Fibra metálica

Fibra Metálica encolada 65/35, para shotcrete Vía Húmeda.

Además de la ventaja del acero de tener un módulo de elasticidad 10 veces superior al hormigón, presentan cualidades de una buena adherencia de éstas a la mezcla, un alto alargamiento de rotura y una

gran facilidad de mezclado. La presencia de fibras metálicas en los morteros y hormigones proyectados hace que mejoren sus propiedades mecánicas haciendo que disminuya su fragilidad y aumente su ductilidad después de la fisura, aumenta la resistencia a la rotura y la capacidad de absorción de energía, disminuye la tendencia a las roturas por retracción, evita la aparición de microfisuras y propagación de grietas, aumenta la resistencia a la tracción, al impacto y a la cizalladura, mejora el comportamiento a flexo-tracción y aumenta la durabilidad.

Al iniciarse la rotura, las fibras metálicas ancladas a ambos lados de la fisura actúan de tirantes, oponiéndose a la propagación y aumento de ésta, así continúan hasta que se rompa a tracción o se deslicen al perder la adherencia. Las formas más frecuentes de las fibras son:

- Sección circular, rectas.
- Sección rectangular y ganchos en sus extremos.
- Sección redonda y dobles ganchos en sus extremos.
- Sección redonda y extremos aplastados.
- Sección rectangular y extremos ovalados y girados.

La utilización más común es de fibras de 30 a 40mm de longitud y 0.50mm de diámetro.

Los parámetros principales de las fibras de acero a tener en cuenta son:

Longitud y diámetro

Las fibras largas son en principio más efectivas que las cortas. El empleo de fibras con diámetros más pequeños supone mayor número de fibras por kilogramo y menor docilidad. Para comparar las fibras, se emplea un parámetro, denominado esbeltez. La esbeltez de una fibra es la relación entre la longitud y su diámetro equivalente (diámetro del círculo cuya sección es equivalente a la superficie de la sección de la fibra), y suele oscilar entre 30 y 150. Este parámetro tiene importancia ya que influye en la resistencia y docilidad de la masa de hormigón o mortero.



Figura 29: Fibra Metálica suelta 45/35, para shotcrete Vía Seca.

Proporción

Una vez superada cierta dosificación, la trabajabilidad de la mezcla disminuye. Generalmente la proporción empleada oscila entre 20

kg/m³ hasta 90 kg/m³, en función al requerimiento y el nivel de tensión previsto. Para que las fibras actúen con efectividad, deben estar cada una de ellas completamente embebidas en la mezcla y tener una distribución espacial uniforme en la misma.

Anclaje de la fibra

Es el vínculo de unión que se establece entre la fibra y el mortero u hormigón, así como el esfuerzo que es capaz de soportar esa fibra una vez roto el mortero u hormigón. La forma de fibra seleccionada tiene aquí capital importancia para aumentar este efecto, ya que incrementa la resistencia al deslizamiento de la fibra durante la fase de rotura.

Esfuerzo a tracción o ductilidad: es el esfuerzo que aguanta la fibra a su rotura por el estiramiento de ésta. Las fibras se comportan mejor en este caso cuanto mayor es su ductilidad.

La formación de bolas o erizos depende de la esbeltez de la fibras, del porcentaje, del tamaño máximo de los áridos, de la granulometría, de la relación agua/cemento y del sistema empleado para el mezclado.

Los ensayos habituales que se suelen realizar son: compresión simple, tracción, flexión y energía de rotura (energía necesaria para formar una nueva grieta en el mortero u hormigón).

Dependiendo del procedimiento de proyección utilizado las fibras de acero se mezclan en:

Vía seca: se recomienda el mezclado en una planta de concreto, en una la mezcladora, o en un camión hormigonera; no es recomendable el mezclado continuo en un camión hormigonera durante el transporte ya que la mezcla se segrega.



Figura 30: Mezcla de fibra metálica y hormigón

Formación de bolas o erizos, por el tipo de Fibra inadecuada.

Vía húmeda: en una planta de concreto, en una mezcladora, con dosificador especial, en un camión hormigonera (Mixer) y durante el transporte. Especial cuidado habrá que tener con la relación agua/cemento, <0.45 para evitar problemas de trabajabilidad.

De lo anterior, el uso de las fibras se justifica porque aumentan la resistencia a la tracción, impiden el desarrollo de las grietas y fisuras

producidas por contracción plástica, remplazan con ventaja a las mallas electro-soldadas, disminuye el rebote, mejoran la dureza y resistencia al impacto.

En el caso del uso de mallas estas pueden ser electro-soldadas en dimensiones de: 50x50mm o 75x75mm suministrada en rollo, hasta 100x100mm suministradas en rollos. No es recomendable las mallas de eslabones (de gallinero) o varillas torcidas.

En el caso del uso de las fibras de acero el rendimiento depende de la dosificación (kg/m^3) y de los parámetros de fibras (resistencia a la tensión, longitud, diámetro, anclaje). El factor clave para la calidad del hormigón con fibras es la relación entre la longitud y el diámetro de las fibras, cuanto más alta sea la relación l/d , mejor será el rendimiento.

En el caso de fibras de acero, que se recomienda su utilización en la mina en el mercado existe de diferentes longitudes (20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60 mm) y en diferentes clases de l/d (45, 65,80)

Para una operación minera se recomendó utilizar fibras de acero 45/35 para vía seca que tiene una longitud de 35mm y 0.77mm de diámetro que da una relación de $l/d = 45$; para vía húmeda las encoladas 65/35 la longitud es de 35mm y el diámetro 0.53mm. La dosificación mínima que recomendamos emplear es de $20 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Fibras Sintéticas

Se realizó pruebas con distintos tipos de fibras sintéticas, no obteniendo resultados positivos en cuanto a absorción de energía, esfuerzo residual; además, obstrucciones en el proceso de bombeo de agua de mina y en el proceso metalúrgico.



Figura 31: Tipos de fibras sintéticas

Dosificación de Mezcla de Shotcrete

Para preparar la dosificación de la mezcla se realiza una serie de pruebas en base a la proporción aproximada del cemento con

relación a los agregados está en la relación de 1:4 a 1:5 sobre la base de pesos secos, para agregados que cuentan con gravedad específica de 2.5 +/- 0.05.

La proporción de aditivos se halla en función a las pruebas realizadas durante la elaboración del diseño óptimo para la operación; para esto se toma en cuenta la variedad de proveedores y sus distintos aditivos, según el programa: Realizar una evaluación del diseño de mezclas de Shotcrete para el uso en la minería donde se debe determinar sus características físicas en estado fresco y en estado endurecido; en base a estos análisis se debe presentar el diseño de mezclas de Shotcrete.

Ensayos de Materiales

- **Arena:** donde se determinarán las características físicas de la arena a usarse de las distintas canteras de acopio.



Figura 32: Cantera de agregado

Cantera, selección de áridos para shotcrete.

Agua

Se deben enviar muestras de agua a un laboratorio debidamente acreditado con el fin de determinar su análisis físico – químico; los elementos que se deben considera es en base a la tabla mencionada anteriormente.

Análisis de Fragua de Pasta de Cemento

Se recomienda realizar ensayos comparativos de tiempo de fragua en pasta de cemento con el uso de la aguja Vicat; cemento con los distintos aditivos acelerantes que se usan o los propuestos.

Evaluación de mezclas de Shotcrete.

Shotcrete en estado Fresco:

Se deben realizar los siguientes ensayos:

- Pruebas de Slump.
- Porcentaje de aire retenido. Peso unitario.
- Temperatura.



Figura 33: Medición de Slump de mezcla vía Húmeda.

Shotcrete en estado endurecido

Se deben realizar los siguientes ensayos de Resistencia a la compresión a las 4 horas, 24 horas, 3 días, 7 días, 14 días y como referencia a los 28 días.

Se deben analizar los datos obtenidos para determinar el comportamiento de la mezcla de Shotcrete en sus diferentes etapas.

Para una dosificación adecuada se recomienda de contar con una planta de concreto, que nos determina las cantidades exactas en peso de los materiales a emplear.

En otros casos de no contar con planta de concreto, el cemento es puesta en bolsas de 42.5kg (volumen equivalente a un pie cúbico que se comercializa en el mercado); por lo que, se prepara dosificaciones en volumen equivalentes en pie 3 con cubos o cajas de esa capacidad. Otra manera de dosificar el agregado podría ser con mediciones previas en una carretilla y marcadas para ese volumen. No se recomienda utilizar lampadas, debido a que es muy variable dependiendo de la voluntad del palero y el número de paladas que no es exacto.



Figura 34: Planta de Concreto, para la preparación de mezcla Vía Seca y Húmeda.

Procedimiento de Mezclado

Procedimiento de Mezclado por Vía Húmeda

Una vez que ya se tiene la orden o pedido y verificada la cantidad a despachar se procede a la dosificación en la Planta de Concreto:

La tolva de agregados debe estar llena, donde se realiza el pesaje de la arena, este mediante una faja transportadora es transportado a la mezcladora o al Mixer.



Figura 35: Mezcla vía húmeda abastecido al Tornado para ser Transportado.

El mezclado es como mínimo de un minuto por tanda de un m³, y vaciado al Hurón o Tornado.

Los silos de cemento deben estar con este elemento y se debe controlar diariamente el volumen, reportando a logística y geomecánica; se abastecerá la mezcladora en el siguiente orden:

- a. Abastecimiento de agua al 90% del requerimiento.
- b. Acelerar la velocidad de giro de la mezcladora o del trompo del Mixer a 18 vueltas por minuto como mínimo.
- c. Abastecer la fibra metálica en su totalidad.
- d. Agregar el aditivo plastificante en su totalidad.
- e. Previo pesaje, agregar el cemento conjuntamente con la arena lentamente, para que no se genere atoros en la entrada de la mezcladora o Mixer.
- f. Se imprimirán los pesajes de los insumos utilizados.
- g. Completar con el resto de agua.
- h. Verificar visualmente el comportamiento de la mezcla.
- i. Mezclado durante un minuto por m³.
- j. Terminado el mezclado se verifica el asentamiento de la mezcla por medio del ensayo de Slump Testing (el asentamiento requerido es de 6" a 7" al salir de planta y de 4" a 5" para ser lanzado) Norma ASTM C 143, esto para facilitar el bombeo en el robot al momento de ser lanzado.
- k. Dar conformidad de la mezcla preparada entre el que dosifica y el que recibe el producto, mediante un reporte.
- l. Se transporta la mezcla a la labor, teniendo como tiempo de vida útil como máximo 4 horas, pasado este tiempo la mezcla se desecha.

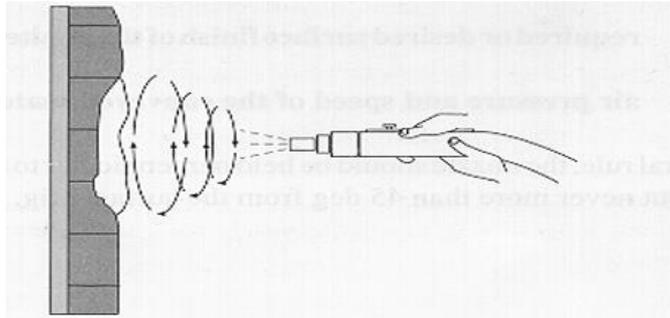
Preparación de la superficie a Shotcretear

Antes de aplicar el shotcrete, la superficie debe estar completamente desatada, limpia de todos los materiales sueltos, del lodo y residuos sólidos, empleando un chorro de agua o aire a presión; la misma preparación será hecha cuando la aplicación sea efectuada sobre shotcrete anteriormente rociado.

Para superficies nuevas se debe realizarse un minucioso desate, el mismo que se repetirá inmediatamente después del lavado; el no realizar esta operación puede crear condiciones inestables y desprendimiento de rocas sueltas que fueron aflojados con el lavado. El lanzador de shotcrete debe ser casi inmediatamente de concluido el desate y lavado.

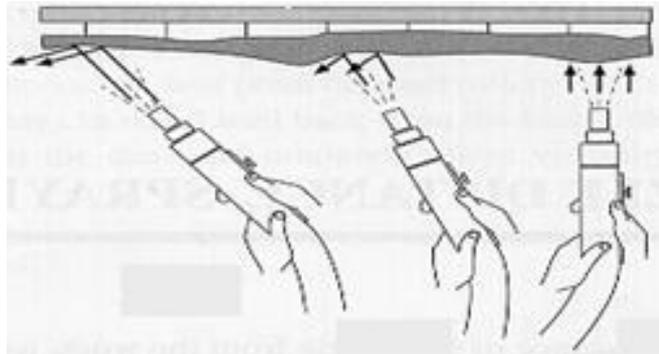
Procedimiento de Aplicación

- Verificar la instalación de calibradores, estos deben estar instalados en toda la sección de la labor, de acuerdo al estándar, elaborado por Geomecánica de un calibrador por m².
- La alimentación de la mezcla a la tolva del equipo lanzador debe ser continua, hasta concluir con el lanzado.
- Asegurarse que el chorro de mezcla sea de flujo regular, verificar la presión en el manómetro debe fluctuar entre 3.5 a 5 Bar.



Lanzado de mezcla en forma circular.

- Dirigir la boquilla en forma transversal a la superficie, el lanzado es en forma elíptica a circular ver gráfico parte superior.
- La aplicación se iniciará de la parte inferior de las paredes de la labor, debe ser hasta espesor completo según la recomendación hasta una altura de 1.50m, para evitar concentraciones de material de rebote.
- La parte superior de las paredes y la bóveda, se lanzará en capas de $\frac{1}{2}$ " , para evitar desprendimientos del shotcrete.
- No se retirará el equipo lanzador hasta que haya concluido con el lanzado en toda la zona a sostener, por ningún motivo se dejara incompleto los trabajos de sostenimiento.
- La mezcla debe ser lanzada como máximo a las 4:00 horas de preparado en planta, pasado este tiempo se debe desechar.
- El tiempo mínimo de fraguado del shotcrete es 4:00 horas, No se debe realizar ningún otro trabajo en este lapso.



Posicionamiento de la boquilla para evitar el exceso de rebote del shotcrete.

En teoría, ninguna boquilla deberá estar a más de 1.20m ni menos de 0.80m del punto de impacto.

A título de referencia a continuación se indica la cantidad de rebote en vía seca que se tiene en: Proyección vertical hacia arriba las perdidas fluctúan entre 25 a 40% y en superficie de aplicación vertical las perdidas alcanzan entre 15 a 30%. Mientras que el rebote para vía húmeda fluctúa entre 5 al 10% máximo.

Pruebas de Laboratorio

La determinación de las propiedades del shotcrete, son más complicadas que para el concreto normal. Los resultados más confiables se obtienen por el examen de testigos cilíndricos de más o menos 50mm de diámetro, también se deben conseguir probetas cúbicas de 10x10x10 cm. Normalmente para la toma de muestra directa en la obra se confeccionan cajones de 50x50x12cm provistos de un fondo el cual puede ser fijados en la superficie de aplicación. Donde se debe aplicar exactamente de la misma manera

que la superficie. Posterior al desencofrado, se podrá obtener la cantidad y tipos de muestras (vigas, testigos o cubos) requeridos.

Durante el control, se examinará su resistencia, su permeabilidad, adherencia con la superficie de aplicación, tensión, flexión, cizallamiento, etc.



Figura 36: Medición de Temperatura de la mezcla para Shotcrete.



Figura 37: Batea de Shotcrete, para obtención de testigos para ensayos de compresión.



Figura 38: Preparación de moldes cilíndricos para ensayos de resistencia.



Figura 39: Curado de testigos y moldes cilíndricos de shotcrete.

Pernos de Anclaje Hydrabolt

Los pernos de Hydrabolt son tubos de acero, que en sección tiene una forma de C, sellados en ambos extremos; en un extremo con un pezón hidráulico integrado a una válvula que da conexión con una bomba hidráulica.

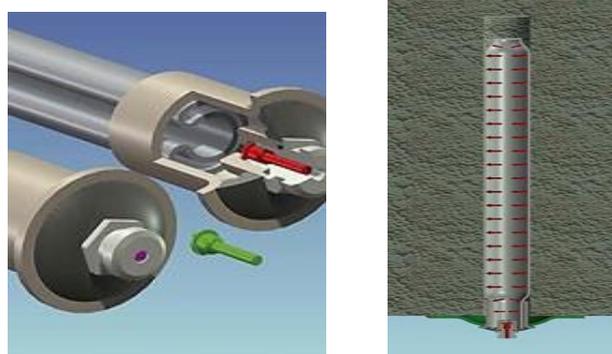


Figura 40: Pernos de Hydrabolt

Hydrabolt, componentes y mecanismo.

El perno está constituido por un tubo de acero de 2mm de espesor y con un diámetro inicial de 41mm, se presenta plegado mecánicamente en toda su longitud de forma que es reducido a un diámetro externo de solo 29mm. La resistencia final a la tracción del tubo de acero es de 10-12 toneladas, en el caso del Hydrabolt.

El hydrabolt es de alta flexibilidad, para grandes desplazamientos del terreno, presentado una elongación mínima de un 12%.

La resistencia a la tracción puede ser obtenida mediante una prueba de deslizamiento "in-situ". Dicha resistencia dependerá del tipo de roca. Así por ejemplo, no se pudo extraer un Hydrabolt al arranque en cualquier tipo de roca, ya que se rompe el acero a su máxima capacidad de diseño entre 12 a 15tn. Se requiere de una longitud de 0,3m de Hydrabolt instalado para que trabaje a su máxima capacidad.

Ciclo de Instalación

La instalación de los Hydrabolt puede ser manual o mecanizada. Una vez se ha perforado el taladro para la instalación del Hydrabolt, se introduce en la boquilla del brazo de instalación por el casquillo de inflado y el perno es insertado en el taladro hasta que la placa de reparto haga tope con la roca.

La bomba inyecta agua a alta presión cuando el operario aprieta el gatillo del brazo. El proceso de inflado dura unos pocos segundos; de hecho, el tiempo de inflado para el Hydrabolt es de 15 segundos por metro de perno cuando es mecanizado de 25 segundos por metro de perno cuando es manual. Gracias a esta rapidez de colocación se consigue a su vez un avance más rápido en el frente de las labores. La bomba se para automáticamente una vez se han alcanzado los 30 Mpa (300bar). Esta presión es fijada en fábrica. Así una vez que el perno se ha expandido en toda su longitud el sostenimiento de la roca es inmediato y se alcanza el máximo confinamiento y adherencia de la roca o suelo, con un alto grado eficiencia.

Cuando se hincha el perno con la bomba, se forma una lengüeta que se descomprime aunque no del todo, actuando como muelle que produce una atención radial con el taladro y a lo largo de toda su longitud, de modo que el perno ejerce una presión continua contra las paredes del taladro.

 <p>Manómetro para medir la presión de Inflado JP-GPRH</p>	 <p>Bomba de agua de alta presión Part Number: JP-HAP8C</p>	 <p>Pistola de Inflado con indicador Part Number: JP- SP88</p>
---	--	---

Accesorios del Hydrabolt.

Debido al proceso de hinchado, la longitud del perno se reduce por contracción lo que provocara un empuje de la placa de reparto inferior contra la roca, con una tensión axial de 300 Bar.

Accesorios del Hydrabolt

En este apartado se incluyen los accesorios del Hydrabolt para instalación manual disponibles hasta el momento (ver Foto).

Bombas del Hydrabolt

Son bombas cuya misión es elevar la presión del agua de alimentación. Son móviles. La bomba se conecta al sistema de aire y agua existente en las labores de la mina. También puede utilizarse un tanque de reserva. Con ayuda del brazo, cuyo cabezal se acopla al perno, la bomba hydrabolt expande a alta presión (30 Mpa) el perno y se para automáticamente una vez este haya adquirido su máxima capacidad de anclaje mecánico radial y por fricción axial en toda su longitud. La duración del inflado del perno es aproximadamente de 10 a 15 segundos por metro lineal de perno, dependiendo del radio del taladro. Existen dos tipos de bombas Hydrabolt: Bomba hidráulica Hydrabolt, que se instala en jumbos de perforación para la instalación mecanizada.

Bomba manual JP-HAP8C, que se puede llevar en el hombro, pesa 8 Kg. se emplea para instalación manual. Es la bomba que más tarda en expandir los pernos.

Placa de reparto

Permiten la colocación de malla electro-soldada u otros en los pernos Hydrabolt ya instalados. Su capacidad de carga es de 10Tn. Son circulares de 100mm de diámetro.

Mecanismo de Instalación

El responsable de operación una vez de haber taladrado el hueco en la roca con un diámetro y profundidad requerida, el perno es instalado, usando una bomba con agua (u otro líquido incompresible) para expandir el perno tubular a presiones muy altas a alrededor de 3500psi - 25Mpa.



Figura 41: Placa de Reparto del hydrabolt y el indicador de carga punto amarillo.

La resistencia de fricción entre el hueco de la pared y el Hydrabolt proporciona una excelentemente resistencia. La presión de entrada determinará la fuerza removible final del tención. La presión de entrada debería estar entre 25MPa (el mínimo) y 30MPa. A diferencia de otros diseños, el Hydrabolt está incorporado por una válvula de retención que va impedir que el fluido sea liberado una vez que la boquilla sea removida. Este sistema provee un mejor agarre de 300 %, Como el Hydrabolt instalado es sellado no permite la corrosión internamente. El Hydrabolt ha sido diseñado para facilitar su instalación, sujetando dentro del hueco, adaptándose a la forma, tamaño y las irregularidades del hueco y a distribuir la fuerza que sujeta lisamente a todo lo largo del hueco con tal que el usuario consiga un soporte inmediato y un ambiente de trabajo seguro. El Hydrabolt está actualmente disponible en dos diámetros estándar, (26mm y 29mm dilatándose para 36 y 41mm respectivamente) y en los largos extendiéndose desde 0.9 a 3.15 metros en incrementos de 0.3 metros.

Las ventajas de Hydrabolt

- Rápido y fácil para instalar.
- Amplio rango de expansión.
- Presurización es hecha remotamente.
- No es afectado por vibraciones de explosiones.
- No requiere aplicación de resina y cemento.

- Ninguna de las partes se pierde en el transporte.
- No susceptible a rocas resistentes.
- La carga se distribuye uniformemente a lo largo del interior de hueco.
- Proveen soporte inmediato.

Razones para el uso de Hydrabolt

- Versatilidad, puede ser usado bajo cualquier geometría de galería.
- Relativamente económico.
- La instalación puede ser mecanizada.
- Simple de transporte e instalar. Insensible a los efectos de proyección de voladuras.
- Confina al macizo rocoso con 300 bar.

Pernos de Fricción (Split Set).

Los estabilizadores 'Split Set' fueron originalmente desarrollados por Scott (1976, 1983) y son fabricados y distribuidos por Ingersoll - Rand. El sistema ilustrado en la Foto siguiente, consiste de un tubo de acero de alta resistencia ranurado y una platina. Este es instalado empujándolo dentro de un taladro de dimensiones ligeramente menores y la fuerza radial de recuperación de la deformación generada por la compresión de tubo de forma de una C, proporciona un anclaje por fricción a lo largo de la longitud entera del taladro.



Figura 42: Pernos Split Set

Pernos de Fricción “Split Set”.

El Split Set es realmente es un perno de fricción.

Ejemplo práctico:

- Diámetro del tubo: 39 mm
- Límite elástico acero: 08 ton.
- Última carga: 07 ton.
- Peso tubo sin plancha: 1.8 kg/m.
- Largo del tubo: 0.9 - 3.0 m.
- Diámetro recomendado del barreno: 35 - 38 mm.

Características del Split Set.

- Capacidad: 8 tn
- Diámetro Original: 39mm
- Colocación: muy buena
- Diámetro Perforación: 36mm
- Garantía anclaje: buena

- Eficacia: inmediata
- Aplicaciones: En roca regular y buena



Figura 43: Placa de reparto del "Split Set".

Ventajas del perno Split Set.	Desventajas del perno Split Set
<ul style="list-style-type: none"> • Rápida y simple instalación. • Entrega inmediato soporte después de instalado. • No requiere otro equipo que no sea Jumbo o perforadora manual para ser instalado. • Fácil instalación de la malla metálica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando la roca es muy fracturada, se obstruye el taladro impidiendo la instalación. • Diámetro del barreno es crucial para la prevención de fallas durante la instalación. • Pernos largos pueden provocar dificultades en su instalación. • No debe ser utilizado en instalaciones de larga duración sin protección por efecto de la corrosión.

Instalación pernos de fricción

El split set debe introducirse a presión dentro del barreno. Para su adecuado funcionamiento resulta imperioso que el diámetro de la perforación sea levemente inferior al diámetro del perno.

Una máquina Jackleg o Stoper se utiliza comúnmente, aunque la tendencia es utilizar Jumbos con alimentadores automáticos. Aquí, puede ser un inconveniente las áreas reducidas.

El perno Split Set entrega inmediato soporte una vez instalado no puede ser tensionado inicialmente pero debería descartarse para instalaciones permanentes por su sensibilidad a la corrosión.

El tiempo promedio en instalar un perno Split Set de 1.8m de largo es alrededor de 40 segundos.

Malla Metálica

Dos tipos de mallas se utilizan comúnmente con el sostenimiento minero. Estas son las mallas de eslabones y el electro-soldada.

La malla de eslabones o trenzada es flexible y fuerte y generalmente se le utiliza en techos de galerías para prevenir accidentes al personal o equipos, por caída de trozos de rocas. Se atrapa en intervalos de 1,0 a 1,5 metros, y dependiendo de esta distancia, puede acumular un considerable peso de roca quebrada.

La malla electro-soldada consiste en conjuntos de alambres de acero de forma rectangular o cuadrada, soldadas en sus intersecciones. Se utiliza para reforzar el shotcrete y es mucho más rígida que la malla trenzada. Generalmente se asegura a los pernos son planchas especiales, secundarias a las que están en contacto con el terreno.

En nuestro país, la malla con mayor aplicación como refuerzo de elementos y estructuras de concreto es la varilla corrugada grado 42, la cual, en la gran mayoría de estos elementos, se coloca

formando parrillas cuyas intersecciones se amarran con alambre recocido para evitar, en lo posible, que éstas se muevan y conserven la posición de diseño durante el proceso de colado.

En algunas ocasiones se recurre a la soldadura por arco con electrodo recubierto, que es actualmente la más común para soldar acero y se lleva a cabo añadiendo un metal de aportación que se funde a las piezas base, por lo que realmente éstas no participan por fusión en la soldadura.

Malla de Eslabones

Se trata del tipo de malla que se utiliza para cercas y consiste en un tejido de alambre. El alambre puede ser galvanizado para protegerlo de la corrosión, y por la misma forma de tejerse es bastante flexible y resistente. Pequeñas piedras que se sueltan del techo se quedan atrapadas en la malla, la que puede llegar a soportar cargas considerables de roca suelta dependiendo del espaciamiento entre los puntos de fijación.

La malla de eslabones no se presta para servir de refuerzo al concreto lanzado, por la dificultad que hay en hacer pasar el concreto por las mallas.



Figura 44: Malla de Eslabones o trenzada fijada a la roca con Split Set.

Malla Electro-soldada

La malla soldada es la que se utilizaba para reforzar el concreto lanzado y consiste en una cuadrícula de alambres de acero que están soldados en sus puntos de intersección. Una malla soldada típica para usarse en excavaciones, tiene alambres de 4.2mm colocados en cuadros de 100mm (se llama malla de 100x100x4.2) y se entrega en secciones que pueden ser manejadas por uno o dos hombres.

Generalmente la malla soldada se fija a la roca mediante una segunda placa de retén y tuerca o arandelas colocadas sobre los anclajes ya instaladas. El anclaje intermedio lo aseguran anclas cortas cementadas por anclas con casquillo expansor. Se necesita una

cantidad suficiente de anclas intermedias para que la malla sea colocada pegada a la superficie de la roca.



Figura 45: Instalación mecanizada de Malla Electro-soldada.

Características

Las Mallas electro-soldadas son estructuras de acero planas formadas por barras de acero dispuestas en forma ortogonal y electro-soldadas en todos los puntos de encuentro.

Estos productos son fabricados bajo la norma IRAM-IAS U 500-06.

El acero utilizado es de calidad T-500(1), es decir laminado en frío y con una tensión de fluencia característica de 500 MPa.

Se presentan en una amplia variedad de secciones, cuadrículas y diámetros de alambres según su aplicación final.

Aplicaciones

- En armaduras de losas, tabiques, vigas y columnas
- En fundaciones.
- En muros de contención.
- En puentes y viaductos.
- En revestimientos de túneles.
- En pavimentos y pistas de hormigón.
- En pisos industriales y playas de estacionamiento.
- En sostenimiento de labores mineras.
- En caños de hormigón.
- En piscinas.
- En tanques de agua.
- En canales hidráulicos.
- En silos.
- En elementos premoldeados.

Ventajas

- Mayor rapidez en la ejecución Listas para colocar, eliminando así las tareas de corte, doblado y atado de barras.
- Máxima adherencia Debido a su conformación nervurada.
- Mayor resistencia:
- Límite de fluencia $f = 500\text{MPa}$ (5.000 kg/cm²).
- Límite de rotura $r = 550\text{MPa}$ (5.500 kg/cm²).

- Menor consumo de acero, logrando ahorros de hasta un 15%.
- Máxima calidad en obra, la soldadura de todas sus uniones asegura el exacto posicionamiento de las barras y mejora las longitudes de empalme, disminuyendo la necesidad de controles.
- Mallas según especificación; las mallas se fabrican de acuerdo a la necesidad que se adapte al proyecto.



Figura 46: Instalación manual de Malla Electro-soldada.

Cimbra Metálica

Se define como una estructura fabricada con vigas y perfiles metálicos para soporte rígido, cuya función es otorgar inmediata seguridad, ajustándose lo más posible a la línea de excavación en el frente de avance de la labor.



Figura 47: Labor Minera con Cimbras Metálicas y Planchas acanaladas.

Se recurre a este tipo de soporte en casos extremos, donde la roca presenta grandes dificultades durante el proceso de excavación: zonas de rocas fuertemente fracturadas y alteradas, cruces en el núcleo de fallas, contactos con agua o materiales fluyentes (lodos, arenas, etc.), cruces de zonas en rocas comprimidas y expansivas, rocas

deleznables donde no existe cohesión, tramos colapsados (derrumbes) y en toda excavación donde hay que efectuar la operación de sostenimiento previa o simultáneamente con la progresión del frente. Confirmamos de esta manera las diferentes posiciones que determinan la clasificación del macizo rocoso para excavaciones donde, casi unánimemente, los métodos califican el empleo de la cimbra metálica como el soporte necesario para condiciones extremas que presenta la roca.

Determinación de las cargas actuantes

Terzaghi define la carga vertical de roca o suelo sobre el túnel como la masa de material que tendería a caer desde el techo en caso de no ser soportada.

Los valores de estas cargas se clasifican en rangos de acuerdo con la naturaleza y estado de la roca; donde no existen definiciones, es en las áreas que delimitan estas cargas.

Las cargas actuantes sobre las cimbras dependen fundamentalmente, del estado de los esfuerzos operantes en la masa rocosa antes de efectuar la excavación y la relación entre la presión vertical ejercida por la roca sobre una sección con la presión horizontal que ejerce el empuje sobre esta misma sección; se considera que las cimbras o marcos metálicos cubren las presiones remanentes que resultan cuando las presiones verticales superan a las horizontales.

En general, las presiones verticales suelen ser mayores en rocas con plegamientos, alteración y fracturamientos, la presión horizontal depende de la desaparición de las fuerzas que originaron este plegamiento, en caso contrario el valor de la presión horizontal debe ser absorbido por la resistencia a la compresión de la roca.

Cargas sobre las Cimbras en rocas trituradas

Se considera en este tipo una variedad de rocas que van desde muy fragmentadas, hasta rocas con tal grado de trituración que su comportamiento tiene similitud con el de las arenas o suelos.

“El efecto de arqueado” tiene lugar porque la roca situada sobre el techo de la labor adquiere la capacidad de transmitir la presión que origina su peso, a las masas de roca que conforman las paredes del túnel.



Figura 48: Efecto de Arqueo en la Cimbras Metálicas.

Tipos de Cimbras de Acero

Todo sistema de soporte rígido en excavación subterránea con el empleo de cimbras de acero, se efectúa de un modo general con cinco tipos de cimbras:

- a. Cimbras continuas.
- b. Cimbras de arco sobre pared.
- c. Cimbra y porte.
- d. Cimbra de arco sobre porte.
- e. Cimbra de círculo completo.

En labores subterráneas, comúnmente se emplean los dos primeros tipos y en condiciones muy extremas, las cimbras de círculo completo. Controlando que las calzaduras, distanciamientos entre cimbras, continuidad en la unión entre cimbra y roca, tengan calidad óptima en razón de que se están sacrificando costos y tiempos.



Figura 49: Cimbras Metálicas para labores Críticas.

2.3. DEFINICIÓN DE TERMINOS

- ◆ **Afanítica.**- Textura de las rocas constituidas por minerales o partículas muy finas, sólo pueden ser discriminadas al microscopio. Esta textura es característica de las rocas volcánicas.
- ◆ **Aglomerado.**- Conjunto de fragmentos rocosos, heterogéneos en cuanto a forma y composición, consolidados generalmente por materiales finos (arena, limo, arcilla).
- ◆ **Agregado.**- Conjunto de minerales más o menos uniformes, pertenecientes a una o más especies.
- ◆ **Alteración.**- Proceso de modificación de los minerales y rocas por acción de los agentes de erosión: agua, viento, hielo, sol, etc. Sinónimo: Intemperismo, meteorización.
- ◆ **Bloque.**- Fragmento de roca de dimensiones superiores a 20 cms. De diámetro.
- ◆ **Brújula.**- Instrumento que sirve para medir el rumbo y azimut y el buzamiento de las estructuras geológicas.
- ◆ **Buzamiento.**- (dip), término usado para indicar el ángulo de inclinación de las rocas estratificadas o de estructuras geológicas.
- ◆ **Cizallamiento.**- Es el proceso de fracturamiento de las rocas debido a los esfuerzos tectónicos.

- ◆ **Compactación.**- disminución del espesor o potencia de la secuencia estratigráfica por el peso y la presión de las rocas suprayacentes.
- ◆ **Conglomerado.**- Roca sedimentaria compuesta de cantos rodados cementados en una matriz fina.
- ◆ **Deformación.**- Modificación que sufre una roca o material por acción de una o más esfuerzos.
- ◆ **Deformación elástica.**- Cuando una roca se deforma por acción de un esfuerzo, y al cesar dicho esfuerzo la roca o material deformado recupera su forma original.
- ◆ **Deformación plástica.**- cuando una roca o material se deforma por acción de un esfuerzo y al cesar dicho esfuerzo la roca o material alterado conserva su deformación.
- ◆ **Desplazamiento.**- Es la distancia recorrida por un bloque rocoso a través de un plano de movimiento.
- ◆ **Detrítico.**- roca formada por fragmentos o detritus provenientes de la erosión de rocas pre-existentes.
- ◆ **Esfuerzo.**- fuerza aplicada sobre un área y/o superficie que tiende a cero.
- ◆ **Estratificación.**- Disposición paralela o subparalela que toman las capas de las rocas sedimentarias, durante su sedimentación.

- ◆ **Estrato.-** Es la roca formada por la sedimentación de fragmentos o partículas provenientes de la desintegración de las rocas pre-existentes.
- ◆ **Estructura.-** Esta referido a la disposición, arreglo y cohesión de los materiales constituyentes de un determinado cuerpo rocoso.
- ◆ **Exfoliación.-** Propiedad de las rocas de separarse en forma de láminas, cuando se refiere a minerales es sinónimo de clivaje.
- ◆ **Falla.-** Desplazamiento de un bloque rocoso con respecto a otro colindante a esta o de ambos bloques, a través de un plano denominado “plano de falla”.
- ◆ **Granulometría.-** Tecnología que se encarga de dictar normas correspondientes para determinar las dimensiones y las formas de los fragmentos de los materiales detríticos.
- ◆ **Gravedad.-** Es la fuerza de atracción que ejerce la tierra sobre los cuerpos que se ubican en la superficie terrestre.
- ◆ **Macizo.-**Termino usado en geotecnia para referirse a áreas rocosas cuyo núcleo está constituido de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias.
- ◆ **Muestra.-** Pedazo de roca o mineral, de un tamaño y peso adecuado que pueda servir de elemento del cual se pueda obtener toda la información necesaria para realizar un estudio propuesto.

- ◆ **Plasticidad.**- Propiedad de las rocas de deformarse al recibir un esfuerzo conservando la deformación al cesar el esfuerzo.
- ◆ **Porosidad.**- Es la relación existente entre el volumen del intersticio poroso y el volumen total de la roca o suelo. La porosidad se expresa siempre en porcentaje.
- ◆ **Proyección.**- representación gráfica sobre un plano horizontal de las diferentes estructuras geológicas, topográficas o cualquier tipo de estructura, que se ubica encima o debajo de este plano.
- ◆ **Rumbo.**- Dirección que sigue la línea de intersección formada entre el plano horizontal y el plano del estrato o estructura geológica, con respecto al norte o al sur.
- ◆ **Saturación.**- Cantidad de agua necesaria para que una roca porosa y permeable tenga todo su volumen de vacíos lleno de agua.
- ◆ **Suelo.**- Cobertura superficial de la corteza terrestre producto de la alteración de los minerales de las rocas pre-existentes. La formación del suelo implica la meteorización química de los minerales primarios dando lugar a nuevos minerales.
- ◆ **Talud.**- Superficie inclinada del terreno que se extiende de la base a la cumbre del mismo.
- ◆ **Textura.**- tamaño, forma y disposición de los minerales componentes de las rocas.

2.4. HIPOTESIS

HIPOTESIS GENERAL

- La caracterización geomecánica del macizo determina el tipo de sostenimiento económico de la rampa Esperanza en la mina Marcapunta.

HIPOTESIS ESPECIFICOS

- Las propiedades de las discontinuidades determina la calidad de roca a sostener.
- El índice R.M.R determina el tipo de sostenimiento aplicado al macizo rocoso.

2.5. IDENTIFICACION DE LAS VARIABLES

2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

La geomecánica de la mina Marcapunta

2.5.2. VARIABLES DEPENDIENTES

La rampa Esperanza de la mina Marcapunta.

2.5.3. VARIABLES INTERVINIENTES

Alteraciones hidrotermales.

Aguas subterráneas

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación tiene carácter exploratorio, descriptivo, explicativo e interpretativo, mediante la recolección, procesamiento e interpretación de informaciones recopiladas y los datos obtenidos en las distintas fases del estudio.

Exploratorio: Se tomaron datos geomecánicos de campo de las estructuras, obteniéndose información para diseñar el tipo de sostenimiento.

Descriptiva: Descripción detallada geomecánica de los macizos rocosos y de las estructuras mineralizadas.

Explicativa: Se define las causas y efectos que implican la caracterización geomecánica.

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACION

Experimental, ya que se realizaron estudios en el campo insitu para la comprobación de los datos establecidos en el gabinete.

3.3. POBLACION Y MUESTRA

La población en el estudio son los macizos rocosos y las estructuras mineralizadas del distrito minero y las muestras tomadas se tomaron en forma sistemática.

3.4. METODOS DE LA INVESTIGACION

Se realiza un enfoque Cuantitativo, describiendo y explicando la caracterización geológica y geomecánica de las zona de estudio, mediante la toma de datos y análisis interpretativos.

El desarrollo del presente tema de investigación se realiza en tres etapas; Recopilación de información, trabajo de campo y trabajo analítico.

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

TÉCNICA: Para este caso y casos similares, se procede del modo siguiente:

Levantamiento litológico estructural del punto elegido, mediante el método de detalle lineal, determinado las características de las discontinuidades, rumbo, buzamiento, azimuth y dirección de

buzamiento. Así como el relleno, persistencia, rugosidad, espaciamiento de discontinuidades y presencia de agua.

INSTRUMENTOS: Los instrumentos de investigación estarán constituidos por el mapeo geomecánico por celdas que evaluara la clasificación geomecánica como RMR y determinara la calidad del macizo rocoso.

Toma de datos y de muestras in situ, revisión de perforaciones diamantinas antiguas, revisión y recopilación de estudios geológicos existentes del distrito Minero.

3.6. TECNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS

Se realiza el procesamiento de datos geomecánicos correlacionándolos con las secciones geológicas sistemáticas.

Se diseñan planos y gráficos en el Programa de diseño AutoCAD.

3.6.1. MAPEO GEOMECÁNICO

Para realizar este estudio se evalúan las condiciones actuales de la zona de explotación de Marcapunta.

a. Discontinuidades

Se ha realizado un mapeo detallado de la rampa para determinar las principales familias de discontinuidades.

b. Resistencia compresiva uniaxial de la roca (Matriz).- Para obtener este dato básico en nuestro estudio hemos recurrido a

estudios preliminares realizados en la zona. El nombre del estudio es: “Informe Preliminar del proyecto de Cobre de Marcapunta y de la zona de Smelter”. Estos valores se tomarán como base para los cálculos de las aberturas máximas y dimensionamiento de la sección de la rampa.

- c. **Calidad del Macizo Rocoso.-** Para determinar la calidad del macizo rocoso, se utiliza el criterio de clasificación geomecánica RMR (Rock Mass Rating) de Bieniawski (1989). Los parámetros para esta clasificación se han tomado realizando un mapeo por celdas, tanto de los pilares dejados de la antigua explotación y de las labores antiguas.

Se elaboró un plano con la zonificación de las labores antiguas de Marcapunta Norte, y se determinará la incidencia porcentual de cada tipo en todo el macizo

Con la finalidad de estimar los diferentes tipos de sostenimiento se ha adoptado el siguiente criterio de clasificación (RMR modificado):

Clasificación (RMR modificado)

Tipo de Roca	Rango RMR	Calidad
II	> 60	Buena
III A	51 - 60	Regular A
III B	41 - 50	Regular B

IV A	31 - 40	Mala A
IV B	21 - 30	Mala B
V	< 21	Muy Mala

3.6.2. ESFUERZOS IN SITU

Se determina la profundidad media a la cual está la zona futura de explotación. Luego se hace uso de la teoría de Sheore (1994), para determinar el esfuerzo vertical y horizontal.

Para el análisis (simulación) de los esfuerzos, alrededor de las excavaciones que se realiza, se utiliza el Software Phases2 (Rocscience)

3.6.3. PRESENCIA DE AGUA

En algunas labores antiguas se observa presencia de agua en algunos frentes de avance. Se miden los caudales en los frentes de labores ya explotadas, El agua que se extraerá de los frentes se evacuará por un socavón inferior al nivel principal de explotación, actualmente por este socavón se tiene un caudal de salida de 28.73 l/s.

3.6.4. BACK ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL MACIZO ROCOSO

Los datos de campo provienen de las labores antiguas de explotación de Marcapunta Norte, las que proporcionan la mejor información de las condiciones actuales de la mina para el diseño de las labores.

El Back análisis correspondiente a la distribución de esfuerzos y modelado de diferentes secciones de la rampa utilizando los valores obtenidos en él, se realizan con el Software Phases2 de la firma Rocscience.

Para analizar los abiertos máximos sin sostenimiento sistemático, se usan las tablas geomecánicas de Bieniawski de longitudes de sostenimiento y el RMR.

La estimación del sostenimiento de una excavación se hace de acuerdo al mecanismo de falla, las condiciones del macizo rocoso y condiciones de carga anticipadas. Los mecanismos de falla en rocas se dividen en dos amplias categorías:

- Inestabilidad inducida estructuralmente
- Inestabilidad a consecuencia de los esfuerzos en los bordes de la excavación.

Definiremos primero el sostenimiento de acuerdo a las características del macizo rocoso y las clasificaciones geomecánicas, con base en la información descrita anteriormente.

Utilizaremos la clasificación geomecánica RMR 89 de Bieniawski (modificada) como base para los cálculos. Es muy poco probable que se encuentren macizos del tipo IV y V, pero ante cualquier eventualidad se darán las recomendaciones para estos tipos de terrenos.

De acuerdo a este criterio tenemos la siguiente tabla (modificada) de recomendaciones de sostenimiento.

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA, TIPOS DE SOSTENIMIENTO, TIEMPOS DE AUTO SOPORTE Y SPAM DE EXPOSICIÓN

CLASIFICACIÓN Y TIPO DE ROCA	CALIDAD DE ROCA	ÍNDICE "RMR"	ÍNDICE "Q"	TIPOS DE SOSTENIMIENTO TÍPICOS			TIEMPO DE AUTO SOPORTE	SPAM DE EXPOSICIÓN (m)
				LABORES DE AVANCE PERMANENTES	LABORES DE AVANCE TEMPORALES			
				SECCIÓN 4.50 m x 4.50 m ~ 4.00 m x 4.00 m	SECCIÓN 4.50 m x 4.50 m ~ 4.00 m x 4.00 m	SECCIÓN 8.00 m x 4.00 m		
I	Muy buena	100 ~ 81	> 51	Sin sostenimiento o empernado ocasional con pernos python, L = 7'.	Sin sostenimiento o empernado ocasional con pernos split set, L = 7'.	Sin sostenimiento o empernado ocasional con pernos split set, L = 7'.	10 años	
II	Buena	80 ~ 61	50 ~ 10	Sin sostenimiento o empernado ocasional con pernos python, L = 7'.	Sin sostenimiento o empernado ocasional con pernos split set, L = 7'.	Empernado sistemático con pernos split set, L = 7', @ = 1.50 m, distribución en cocada.	4 meses	
III A	Regular A	60 ~ 51	10 ~ 7	Empernado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.50 m, distribución en cocada.	Empernado sistemático con pernos split set, L = 7', @ = 1.50 m, distribución en cocada.	Malla electrosoldada de alambre negro de 4" x 3"; + empernado sistemático con pernos split set, L = 7', @ = 1.50 m, distribución en cocada.	48 horas	12
III B	Regular B	46 ~ 50	7 ~ 5	Shotcrete, e = 2", 30 Kg/m ³ de fibra metálica; + empernado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.50 m, distribución en cocada.	Malla electrosoldada de alambre negro de 4" x 3"; + empernado sistemático con pernos split set, L = 7', @ = 1.50 m, distribución en cocada.	Malla electrosoldada de alambre negro de 4" x 3"; + empernado sistemático con pernos split set, L = 7', @ = 1.20 m, distribución en cocada.	12 horas	9
	Regular B	45 ~ 41	5 ~ 4				12 horas	6
IV A	Pobre A	40 ~ 31	4 ~ 1	Shotcrete, e = 2", 30 Kg/m ³ de fibra metálica; + empernado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.20 m, distribución en cocada.	Malla electrosoldada de alambre negro de 4" x 3"; + empernado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.20 m, distribución en cocada.	Shotcrete, e = 1.5", 4 Kg/m ³ de fibra sintética; + empernado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.20 m, distribución en cocada.	2 horas	s / spam
IV B	Pobre B	30 ~ 21	1 ~ 0.1	Shotcrete, e = 2", 30 Kg/m ³ de fibra metálica (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor a media sección) + arcos noruegos, @ = 1.50 m ~ 1.20 m.	Shotcrete, e = 2", 4 Kg/m ³ de fibra sintética (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor a media sección) + empernado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.20 m, distribución en cocada. Adicionalmente, arcos noruegos según indicación del área de Geomecánica.	Shotcrete, e = 2", 4 Kg/m ³ de fibra sintética (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor a media sección) + empernado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.20 m, distribución en cocada. Adicionalmente, arcos noruegos según indicación del área de Geomecánica.	Menos de 2 horas	s / spam
V	Muy pobre	≤ 20	≤ 0.1	Shotcrete, e = 2", 30 Kg/m ³ de fibra metálica (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor a media sección) + cimbras metálicas, @ = 1.50 m ~ 0.80 m.	Shotcrete, e = 2", 4 Kg/m ³ de fibra sintética (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor a media sección) + arcos noruegos, @ = 1.20 m ~ 1.0 m.	Shotcrete, e = 2", 4 Kg/m ³ de fibra sintética (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor a media sección) + arcos noruegos, @ = 1.50 m ~ 1.20 m.	Colapso inmediato	s / spam

También realizamos un análisis de equilibrio límite para establecer los niveles de sostenimiento requerido para asegurar los bloques y cuñas formados por las discontinuidades estructurales y los bordes de excavación de acuerdo a las diferentes alturas de la sección óptima. Para tal fin utilizamos la información de distribución de discontinuidades y las direcciones de avance principales Norte y Este. Asimismo tomamos la información del backstage para el ángulo de fricción de la roca: 54.3° y el 50 % del valor 1.4 Mpa de cohesión para la caliza silificada, ya que queremos modelar la situación más desfavorable en un punto crítico que es el sostenimiento. Toda esta información la procesaremos en el software Unwedge.

También utilizamos el programa Phases2, para hacer análisis relacionados a la identificación de desarrollos de inestabilidades vinculadas a los esfuerzos.

CAPÍTULO IV

SOSTENIMIENTO DE LA RAMPA ESPERANZA

4.1. UBICACIÓN Y ACCESO

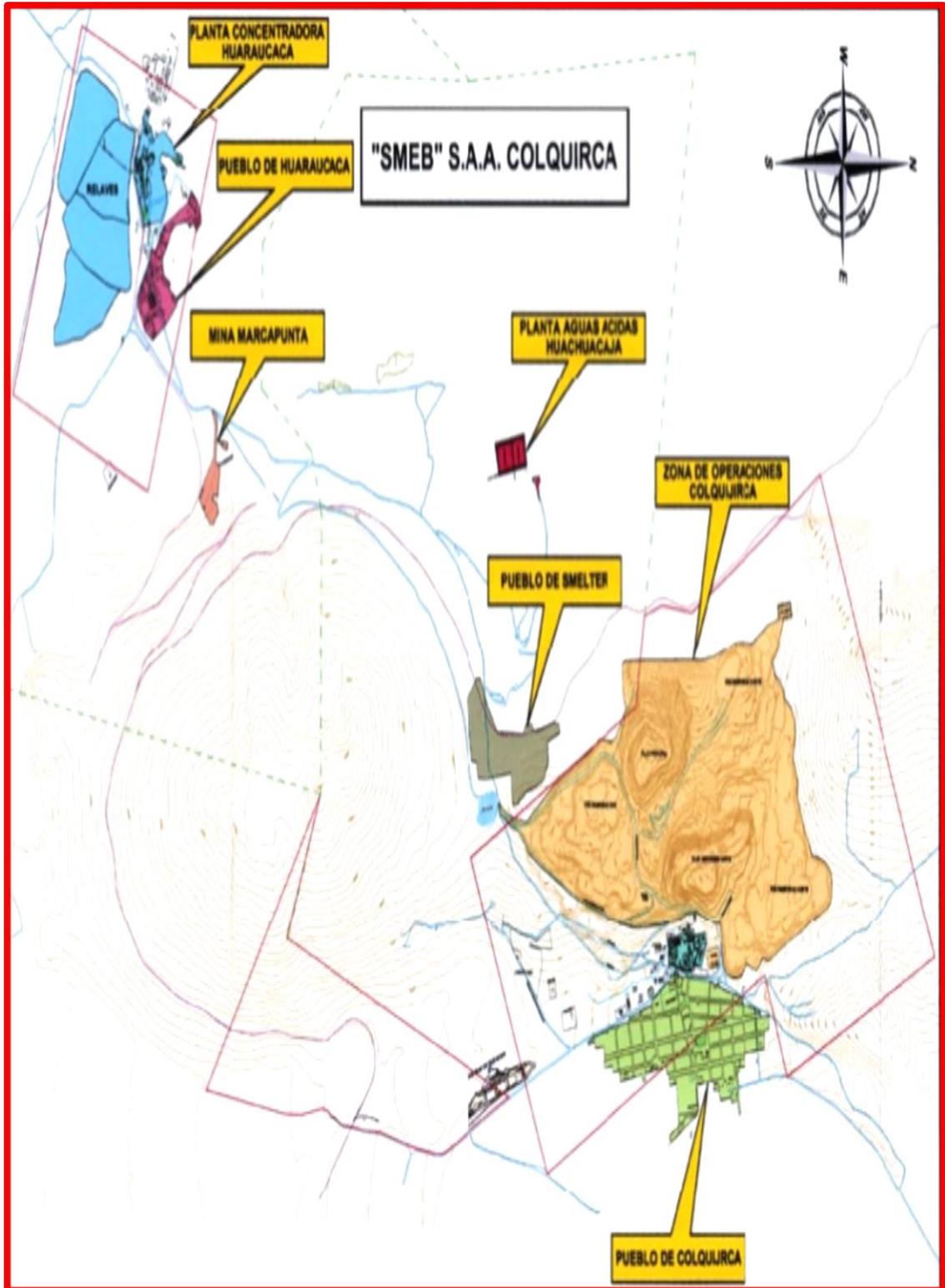
El Proyecto rampa Esperanza se encuentra ubicado a 2 Km. al sur de la mina Colquijirca. Políticamente pertenece al distrito de Tinyahuarco, Provincia y Departamento de Pasco; geográficamente se ubica dentro de la región Puna con una altitud promedio de 4350 msnm, a su vez, el distrito de Tinyahuarco se encuentra a 8 Km. Al sur de Cerro de Pasco. El área específica de estudio es un rectángulo de 1, 900 x 1,500 metros, haciendo un total de 285 Has. Colquijirca es relativamente de fácil acceso hacia la capital; una de ellas es la carretera asfaltada:

Cuadro N° 01: Acceso a la mina Marca Punta Norte

Origen	Destino	distancia (km)
Lima	La Oroya	175.00
La Oroya	Colquijirca	114.50
Total =		289.50

Fuente: Elaboración Propia

Cuyo total recorrido toma un tiempo aproximado de 5 horas. La mina está a una altitud promedio de 4,300 m.s.n.m.



Mapa N° 01: Mapa de ubicación de la mina Marcapunta Norte



DISTRITO MINERO DE COLQUIJIRCA



Figura 50: Ubicación geográfica de la mina Markapunta Norte y Oeste

El ferrocarril central, La Oroya - Cerro de Paseo, que emplea CENTROMIN Perú para el transporte de minerales desde Cerro de Paseo hasta La Oroya atraviesa por las propiedades de El Brocal, bordeando el sector Oeste del cerro Marcapunta, en la actualidad no existe servicio de transporte de pasajeros por tren. Como vía alternativa se tiene el acceso aéreo para lo cual se tiene un pequeño campo de aterrizaje en la localidad de Vicco, desde donde se sigue por una carretera afirmada hasta Colquijirca en aproximadamente 20 minutos. Otra vía, aunque poco empleada lo constituye la carretera Lima, Huaral, Canta, Huayllay y Colquijirca

El cerro Marcapunta en sí, cuenta con una trocha para vehículos livianos cuyo acceso parte desde Colquijirca, llega hasta la cumbre

norte; de donde salen varios ramales que llegan a su parte oriental y hasta el extremo sur.

4.2. HISTORIA

El Yacimiento Minero de Colquijirca es actualmente una de las principales unidades de la Sociedad minera "El Brocal" SA., empresa dedicada a la explotación y exploración de yacimientos de plata, plomo y zinc.

Colquijirca etimológicamente proviene de los vocablos quechua - aymara, Golque = Plata y Jirca = Cerro, que traducido al español significa "Cerro de Plata". La actividad minera en Colquijirca se desarrolla desde la época Pre Incaica, pues los Tinyahuarcos asentados en Marcapunta (Puntamarca) ya extraían plata del Cerro contiguo. El 12 de Marzo de 1,533 los españoles sorprendieron a los Tinyahuarcos conduciendo 400 arrobas de plata fina y 150 arrobas de oro para pagar el rescate del Inca Atahualpa. En el Virreinato la mina fue explotada a través de pequeños tajos abiertos y labores en forma de media barreta que seguían el rumbo y buzamiento de los estratos.

En 1880, se forman sociedades a través de las cuales la familia Clotet extraía mineral con alto contenido de plata. En 1883, se inicia el trabajo en la mina a cargo del Sr. Fernandini, con la apertura del socavón de cortada ya los 13 años de tenaz esfuerzo cortó los mantos mineralizados. Al finalizar 1889, el Ingeniero Antenor Rizo

Patrón Lequerica es contratado para dirigir el establecimiento Metalúrgico de Huaraucaca. En 1904, se inicia la instalación de maquinarias hidráulicas y eléctricas. Formalizándose así las operaciones. En 1914, al iniciarse la primera Guerra Mundial; la Empresa entra en auge al vender sus minerales a Alemania. En 1924, se empezó con la concentración de minerales con un solo molino Hardinge, logrando pasar 140 TPD. Durante las primeras tres décadas del presente siglo fue la mina más productiva de plata de Sudamérica y se encontraron minerales de 6,000 Oz/TM de Ag. En el lapso de 1930 hasta 1937, se paralizaron las operaciones mineras debido a la baja cotización de los metales en los mercados internacionales.

En 1937, se reanudan las operaciones tratando 250 TPD con dos molinos de bolas Hardinge. En 1941, se reanuda la explotación de bismuto manteniéndose hasta 1945; quedando como reservas probadas 5,404 TMS de mineral con 5.4 Oz/TM de Ag en San Gregorio. En 1962, la planta concentradora llega a su máxima producción de aquellos tiempos pasando a 480 TPD. En 1973, se alcanzó un récord de producción de 199,317 TMS de mineral por explotación convencional subterránea. También se inician los trabajos a tajo abierto "Mercedes-Chocayoc" y en la zona de Marcapunta (Minería sin rieles). En 1974, se abandonaron las zonas de minería convencional para intensificar la producción de cobre de

Marcapunta por el repunte de la cotización del metal a 1.5 \$/Lb. En 1975, se intensificó el desbroce del tajo abierto. Ese año se benefició a 580 TPD que fue el máximo volumen, para luego declinar el año siguiente.

En 1976, se cerró definitivamente la explotación convencional subterránea en Colquijirca. En el período de 1976 hasta 1978, se atravesó una etapa de falencia económica al quedar descapitalizada la mina.

El 22 de Mayo de 1979 se ingresó a un período de reactivación económica, gracias a la inversión de capitales tanto del Ingeniero Alberto Benavides de la Quintana, del Sr. Dionisio Romero; como otros. De 1980 hasta 1981, llegaron equipos para las operaciones en el tajo abierto y se trató en la planta 1,500 TPD. El 15 de Diciembre de 1981, comenzó la planta de lavado, una vez concluida la ampliación de la planta (lavado y celdas de circuito Pb y Zn). Entre los años 1984 y 1989, se logró una producción máxima o igual a la capacidad nominal de la concentradora de 1550 TPD. En los años de 1985 a 1988, nuevamente se incrementó el poderío de equipos para el tajo abierto. De 1989 hasta 1990, se continuó implementando equipos para el tajo abierto "Principal" por la contrata COSAPI S.A. En 1991, la mina estaba ampliamente desarrollada, siendo sus labores de explotación dos tajos abiertos ("Mercedes - Chocayoc" y "Principal") y la planta concentradora se amplió para tratar 2,000

TMS diarias. Brocal siempre mostró especial interés por ampliar sus operaciones, es así que las exploraciones en busca de nuevas zonas mineralizadas no cesó y se estaban realizando perforaciones diamantinas en forma simultánea desde la década de 1980 tanto en San Gregorio como en Marcapunta. En 1994, la compañía emprende una campaña de perforaciones diamantinas con mayor intensidad en sus tres proyectos: Tajo Norte, San Gregorio y Marcapunta, el mismo que se prolonga hasta Enero de 1997.

En noviembre de 1996, la planta concentradora de Huaraucaca comienza con la flotación selectiva de zinc, plata y plomo; que anteriormente solo se hacía como un concentrado Bulk. Al mismo tiempo se incrementa la capacidad a 2,200 toneladas diarias. El área de Colquijirca ha sido visitado por innumerables geólogos de renombre, tanto nacionales como extranjeros, específicamente en el área de Marcapunta se han hecho estudios desde mediados de la década del 70, intensificándose en la de 1980. Pudiéndose citar entre otros a: Lindgren (1935), McKinstry (1936), Jenks (1951), Roggers y Frey (1954), De las Casas (1963), Jochamowicz (1970), R. Lehne (1971), Misión Alemana (1973), Instituto de Energía Nuclear y Orlando Orbegoso (1975). Complementándose con el Dr. D. Noble, el Ing. G. Barba de BISA, y el Dr. Cesar Vidal; quienes han

hecho trabajos de cartografiado geológico, revisión de algunos sondajes diamantinos, entre otros.

En Julio de 1990, BISA sugirió investigar el ambiente arsenical de la región, dado su condición favorable en la precipitación del oro.

4.3. RECURSOS

El cuerpo mineralizado de Marcapunta Norte tiene como principal recurso al cobre. Respecto de los volúmenes de producción, la empresa opera una planta con una capacidad de tratamiento estimada de 6,000 toneladas de mineral por día. La empresa beneficia diariamente, 5,000 toneladas de mineral de plata-plomo-zinc y 1,000 toneladas de mineral de cobre. Dicha información consta en las memorias de la empresa.

Brocal estima que tendría una vida de mina de aproximadamente 10 años. Esta estimación considera la capacidad de producción proyectada en el Programa de Expansión de Operaciones.

El Proyecto rampa Esperanza unirá la parte Oeste con el Norte donde la mina subterránea de cobre incrementara sus recursos.

El recurso humano es bueno y capacitado por ser una zona eminentemente minera, cuenta con energía eléctrica; casi el 100%

del agua utilizada por la población minera de Colquijirca y del distrito de Tinyahuarco en general, proviene de la laguna de Angascancha; desde donde el agua es conducida por gravedad a través de un canal de tierra que lleva las aguas hasta una poza de recepción de 3x3 m por 1 m de profundidad. También cuenta con todos los servicios básicos.

4.4. CLIMA

El clima es frígido, variando la temperatura de acuerdo a las estaciones del año en el orden de -5° a $+16^{\circ}$ C.

4.5. VEGETACIÓN

La vegetación es escasa, solamente caracterizado por la presencia de pastos naturales tal como el ichu y sembríos de tubérculos, de manera esporádica.

4.6. FAUNA

La fauna en la zona está representada por el ganado vacuno, ovino, porcino y caballar; así mismo la vizcacha y algunas aves silvestres.

4.7. GEOMORFOLOGÍA

En la clásica zonación morfoestructural de los Andes del Perú central, el área de estudio forma parte de la Altas Planicies,

situándose hacia la terminación septentrional de las mismas. Morfológicamente las altas planicies se distinguen por una topografía relativamente suave, en comparación con las cordilleras Occidental y Oriental que se encuentran hacia sus flancos, y por cotas entre 3,800 y 4,500 m. s. n. m.

La zona de estudio ha quedado delimitada por dos valles casi paralelos, los cuales responden al nombre de Ocshopampa y Andacancha en el E y W del Cerro Marcapunta respectivamente, cuya orientación es N 80° W para ambos casos. El primero tiene su origen en la Laguna de Huaynuacocha a unos 750 m. al norte de Colquijirca, prolongándose 2.5 Km. hasta las inmediaciones de San Gregorio. El segundo, tiene sus nacientes entre los cerros Viscagaga y Vista Alegre, a unos 500 m. al NW de Condorcayán y luego de recorrer 2 Km. se une al río San Juan casi transversalmente.

Las zonas positivas la conforman las lomadas que se encuentran en los flancos de los valles, con pendientes moderadas a fuertes, otra de las manifestaciones está conformada por pequeñas colinas ubicadas hacia el oeste del tajo en operación. Los efectos degradacionales se manifiestan por los valles producidos por los glaciares donde actualmente se desarrollan pequeños riachuelos con numerosos meandros que aumentan su cauce en épocas de lluvias.

Los circos glaciares son otra de las manifestaciones de la erosión glacial, dando como resultado áreas casi redondeadas situadas al NE de Colquijirca en alguna de ellas se han acumulado agua en su interior formando pequeñas lagunas.

Localmente se puede distinguir subunidades geomorfológicas, resumiéndose en las siguientes:

Zona de Pampas

Se caracteriza por presentar una superficie llana donde la pendiente es subhorizontal, los materiales que lo constituyen son mayormente depósitos cuaternarios tales como gravas, arenas y limo-arcillas, ya sean de origen fluvio-aluvial o glacial que por procesos degradacionales y agradacionales, se han ido acumulando en las zona más bajas para luego ser cubiertos por pastizales típicos de esta región.

La mejor exposición de esta unidad se refleja en la parte Este y Sur del Cerro Marcapunta extendiéndose por toda la meseta del Bombón.

Valles y Quebradas

Los valles y quebradas se exponen mejor al Este y Oeste de los tajos en actual operación prolongándose hacia las

localidades de Villa de Pasco y Huaraucaca respectivamente. Estos dos valles principales del lugar están drenados por pequeños riachuelos que tienen por nombres: Río Ocshapampa el del lado este y Río Andacancha el del lado oeste, ambos corresponden a un valle tipo glaciario, con su sección típica en U y casi rectos con una orientación preferencial de NNW - SSE, este rumbo general también lo tiene el valle del Río San Juan en el sector de Sacrafamilia - Jupayrragra, (extremo oeste del área de estudio) por lo que me hace suponer que tienen un control estructural, relacionado a la falla longitudinal al este de Colquijirca.

Las quebradas tributarias son mayormente formadas por las aguas de escorrentía, especialmente en la temporada de lluvias, éstas van profundizando su cauce a consecuencia de las precipitaciones pluviales y llegan a confluir con los valles primarios casi en forma transversal formando un sistema de drenaje subrectangular.

Zona de Cumbres y Lomadas

Constituyen la geomorfología más saltante de la zona, se exponen tanto en los alrededores como en la misma área de estudio, se caracteriza por presentar cumbres de forma

ondulada, con suave pendiente; son escasas las cumbres con topografía agreste como se presenta al oeste del tajo.

En general la altitud promedio de estas cumbres no pasan los 4,400 msnm, lo conforman unidades litológicas variadas, como calizas, areniscas, conglomerados, entre otros. La cumbre más alta la constituye el complejo volcánico Marcapunta con su pico de 4,458 m.s.n.m. con una pendiente suave hacia el flanco E y W de 100.

Depresiones

En forma restringida se puede observar esta unidad, se ubican casi en la periferia de la zona de estudio, donde un mediano circo glaciar es observable a la altura de Yanamate, extremo N del área, es de forma semi circular con aproximadamente 250 m de diámetro, este anfiteatro lo conforman las calizas del Pucará oriental, adyacente a ello tenemos la laguna Angascancha.

También se consideran aquellas labores hechas por la acción humana como son los tajos abiertos, que con el transcurrir del tiempo podrían acumular gran cantidad de agua formando lagunas como se observa en San Gregorio (al sur de Marcapunta).

En el Cerro Marcapunta, se presume que el nivel freático no debe estar muy profundo, puesto que se tiene innumerables manantiales o "puquios" aflorando. Las mediciones piezométricas que se hicieron en la zona de San Gregorio, indican que en la superficie piezométrica se encuentra entre 8 - 10 mts. Debajo de la superficie del terreno en la temporada de lluvias; mientras que en la temporada de sequía, desciende hasta 15 mts. El drenaje en superficie está controlado por dos factores principales; uno de ellos es el control litológico y por otro el control estructural, ambos factores influyen en el tipo de drenaje ya sea por la erosión diferencial o aprovechando las zonas de debilidad. El tipo de drenaje dominante en el área es del tipo subrectangular; con las quebradas mayores en forma sub paralela en dirección NNW - SSE y las quebradas tributarias casi transversales a las principales. En la actualidad, el río San Juan constituye una de las manifestaciones fluviales con mayor efecto de erosión y transporte en el lugar, éste; se caracteriza por presentar dos tipos de drenaje. Desde Sacrafamilia hasta Huaraucaca recorre 1.5 Km. casi en forma recta, después del cual se dirige hacia las pampas de Junín formando numerosos meandros.

4.8. GEOLOGÍA

4.8.1. COMPLEJO VOLCÁNICO DE MARCAPUNTA

Con toda la información obtenida de las campañas de perforación diamantina de 1980-1981 y 1995-1996; además de todos los trabajos de cartografiado geológico y muestreos geoquímicos, realizados por los doctores Donald Noble, César Vidal y el ingeniero Guillermo Barba; y con los posteriores registros geológicos, elaborados por los geólogos de exploraciones de la mina. Se ha establecido que el centro volcánico de Marcapunta, es un complejo, en el cual se han sucedido efusiones volcánicas lávicas y piroclásticas, además del emplazamiento de domos y posterior formación de diatremas, que permiten denominarlo como tal.

Como referencia de toda la variedad de unidades de origen ígneo, interceptadas por los sondajes diamantinos, efectuados en el Proyecto Cobre Marcapunta, describimos algunas de ellas.

Comúnmente, en el tope de la secuencia volcánica, se observan flujos de piroclastos de fraccionometría variada; pudiendo encontrarse desde tobas hasta aglomerados, los cuales pueden ser monomícticos y polimícticos, aun en el

segundo caso, es posible apreciar la notable predominancia de los clastos de origen volcánico, en los cuales incluso se pueden apreciar su textura porfirítica, cuya composición mineralógica predominante, la constituyen feldespatos, seguidos por cuarzo/vidrio volcánico y escasas plagioclasas. Los dos primeros ocurren como fenocristales anhedrales de dimensiones promedio entre 2 milímetros a 5 milímetros, en tanto que las plagioclasas son subhedrales a euhedrales y de tamaño más pequeño. La matriz es comúnmente afanítica y puede presentar alteraciones como cloritización, sericitización o argilización incipiente a intensa. En algunos tramos se pueden apreciar texturas de sedimentación.

Algunas veces, estas unidades piroclásticas tienen características que las asemejan a brechas, debido a la abundancia de matriz que puede ser areniscosa a sabulítica, de granos angulosos. O si no a la abundancia de clastos y escasa matriz, que le da a la roca un aspecto “craquelado”, donde la movilización de dichos clastos ha sido mínima.

En las unidades ígneas magmáticas se han podido determinar tanto cuerpos lávicos como hipabisales, habiéndose clasificado variedades como: monzonita cuarzosa, cuarzo latitas, dacitas, sienitas y sienogranitos. Las cuales son

generalmente porfiríticas, donde se pueden apreciar con facilidad, fenocristales de feldespatos cuyas dimensiones alcanzan hasta 4 centímetros de longitud en sus dimensiones axiales y presentan formas subhedrales, pero de dimensiones menores, inferiores al centímetro.

Muchas de estas unidades, también presentan alteraciones similares a las descritas para las unidades piroclásticas, es decir, cloritización, sericitización o argilización, por lo cual presentan coloraciones verdosas y blanquecinas.

Ha sido posible interceptar en algunos sondeos, ocurrencias de sulfuros (pirita y enargita), masivos, vetiformes y diseminados, los cuales reemplazan y se emplazan tanto en la matriz de la roca como en los fenocristales de sus feldespatos componentes. La enargita, asociada esencialmente a la pirita, ocurre en hábitos similares a ésta. Asimismo, se puede apreciar la ocurrencia conspicua de alunita, la cual reemplaza tanto a los fenocristales de feldespatos como a la matriz de la roca.

Algunas de estas unidades ígneas, en diversos tramos, presentan texturas oquerosas (vuggy silica) en las cuales

ocurren geodas de pirita, enargita y alunita, que se disponen en agregados de diminutos cristales. Estas características, revelan, la naturaleza epitermal de alta sulfuración de la mineralización aurífera del complejo volcánico y la mineralización cuprífera y polimetálica de las formaciones Calera y Shuco.

4.8.2. GRUPO POCOBAMBA

En el área de Smelter y Marcapunta, se han llegado a identificar las siguientes unidades litoestratigráficas, las cuales corresponden a dos secuencias sedimentológicas bien definidas. Las más superiores, conformadas por rocas carbonatadas, pertenecientes a la denominada Formación Calera; y las infrayacentes, a rocas detríticas de fraccionometría gruesa y fina, correspondientes a la Formación Shuco. Ambas conforman la secuencia Terciaria lacustre del Grupo Pocobamba:

Lito estratigrafía de la formación Calera

Cuyos afloramientos se pueden apreciar en el Tajo Norte y se halla constituida por una secuencia sedimentaria mixta: carbonatada, detrítica y piroclástica, en la que se intercalan rocas carbonatadas como calizas, margas y dolomías; con horizontes limoarcillíticos, además de rocas tobáceas de fraccionometrías gruesas a finas. En el perímetro norte del

Cuerpo Marcapunta, se han llegado a identificar las siguientes unidades litoestratigráficas dentro de la denominada formación Calera:

a).- Miembro Colquijirca (Ti-Col-MC)

b).- Miembro Inferior (Ti-Ca-MI)

a).- Miembro Colquijirca.- El cual se subdivide en tres horizontes, en los cuales están emplazados las “franjas de mineralización”, conformando los denominados Horizonte Superior, Horizonte Medio y Horizonte Inferior. Se compone esencialmente por rocas carbonatadas (dolomías y en menor proporción calizas y margas), y rocas silíceas (chert). En menor proporción presentan intercalaciones de delgados horizontes limoarcillíticos y tobáceos.

Las dolomías que predominan en los horizontes Superior e Inferior, derivan fundamentalmente, de procesos de dolomitización, que afectaron a los carbonatos originales, por lo cual, generalmente se presentan en estratos gruesos y muestran una textura porosa, producto del reemplazamiento metasomático. Tienen colores crema, pardo claro y beige. Ocasionalmente se intercalan con delgados niveles de chert y/o contienen nódulos del mismo.

Como rocas silíceas se tiene chert, que es bastante notable en el Horizonte Medio, el cual se presenta en estratos gruesos masivos y como nódulos en niveles dolomíticos. En este horizonte, es común la presencia de silicificación, apreciable en dolomías y calizas, en grados leve a intensa. Y tanto estos niveles silicificados, como los estratos de chert, presentan mineralización, emplazada en cavidades como en planos de fracturamiento.

Tanto los horizontes Medio e Inferior, que han sido mineralizados, presentan un avanzado proceso de sulfuración y silicificación, que mayormente, ha afectado a las dolomías y calizas; y en menor grado a los niveles margosos, que se intercalan muy ocasionalmente con estas. Dicha alteración, deriva del proceso de circulación de los fluidos mineralizantes, que han producido cuerpos masivos de pirita-enargita por metasomatismo; además de minerales como alunita, típico de fluidos de una alta acidez.

b).- Miembro Inferior.- El cual, es muy ligeramente similar al Miembro Colquijirca, por lo mismo, se observan secuencias carbonatadas y detríticas intercaladas, pero a diferencia del anterior, las calizas son más abundantes, y la proporción de

limoarcillitas y arcillitas es mayor. Muy ocasionalmente se han detectado en sondajes delgados niveles tobáceos.

Los horizontes calcáreos, son masivos, de colores grises y pardos, de texturas, “wackestone” y “mudstone”, pero predomina la segunda. Los horizontes margosos y limoarcillíticos son de colores grises de diversas tonalidades, y se intercalan como estratos delgados. En toda la secuencia calcárea se observa microestructuras de presión.

Los niveles margosos, son también masivos y de colores gris verdoso a gris pardo y se encuentran intercalados con los niveles calcáreos. Los horizontes dolomíticos hallados en este miembro, son aún más escasos; y presentan estructuras que determinarían su origen singenético. Son de colores de gris-pardo claro y beige.

Los horizontes detríticos finos (arcillitas y limoarcillitas), son generalmente delgados y presentan colores grises de tonalidades claras y oscuras. Son deleznales y se presentan intercalados con las calizas y margas. Es notable también, que estos niveles detríticos finos, sean más abundantes y de mayores espesores, conforme nos acercamos a la base de este miembro.

Esta secuencia, ha sido mineralizada, de modo muy similar a los horizontes del Miembro Colquijirca; por lo cual, también en estas rocas se aprecia un avanzado proceso de sulfuración y silicificación, que mayormente, ha afectado a las calizas y a los escasos niveles dolomíticos; siendo mucho menor la alteración en las margas, que se intercalan con éstas.

Para el caso específico del Proyecto Cobre Marcapunta, solo se ha interceptado, tanto con los sondajes diamantinos, como con las labores subterráneas; desde los Horizontes Medio e Inferior del Miembro Colquijirca hacia abajo. Habiendo la posibilidad, que todo el Horizonte Superior y Miembro Superior Miembro Inferior (Ti-Ca-MS), haya sido erosionado o su grosor de sedimentación, hubiera sido mucho menor que hacia el Norte.

Litoestratigrafía de la formación Shuco

Esta unidad se divide en dos secuencias:

- a).- Secuencia detrítica fina
- b).- Secuencia Conglomeradita

a) Secuencia detrítica fina.- La secuencia detrítica de es de color gris claro y está constituida por arenas, tobas y limoarcillitas a la vez que engloba pequeños fragmentos

de naturaleza calcárea (calizas y/o dolomías) y chert. Mayormente presenta formas angulosas, subangulosas y subredondeada y generalmente son de tamaños centimétricos a milimétricos.

Esta secuencia detrítica en algunos tramos efervesce con el HCL, debido al contenido de carbonatos en la matriz; así como una moderada silicificación, mientras que en ciertos tramos es posible observar presencia de alunitización incipiente a moderada, también caolín, hematita, pirita diseminada, en vetillas y enargita cristalizada y en vetillas.

b) Secuencia conglomerádica.- La secuencia conglomeradita es polimictica de apariencia brechosa y se encuentra constituida de fragmentos calcáreos (calizas y/o dolomías), chert, volcánicos y cuarzo lechoso (el cuarzo lechoso proviene de la erosión del grupo Mitu, mientras que los fragmentos calcáreos y volcánicos presentan un color gris a gris blanquecino de tamaños centimétricos y son de forma angulosa a subredondeada.

En algunos tramos esta secuencia se intercala con niveles volcánicos y tobáceos de color gris a gris blanquecino, de grano medio a grueso en donde se aprecia la alteración de los feldespatos a caolín.

Esta secuencia generalmente se encuentra de moderada a fuertemente silicificada observándose además una alteración argílica moderada. Los minerales observados en esta secuencia conglomeradita son pirita masiva y en vetillas; enargita masiva, en vetillas y en forma cristalizada. Ocasionalmente se observan calcopirita y novelita mientras que hacia el Sur Este del aparato volcánico Marcapunta se observa esfalerita cristalizada y galena.

4.8.3. GRUPO MITU

Esta unidad se encuentra construida de limoarcillitas, hacia la parte superior presenta una coloración verdosa pero luego se vuelve rojiza probablemente corresponda al Mitu superior.

4.9. Geología Económica

Los depósitos minerales del distrito de Colquijirca pertenecen a un miembro de la familia de los yacimientos relacionados a pórfidos de cobre (Cu) conocida como depósitos Cordilleranos. Este tipo de depósitos, los cuales se forman en general en las partes altas de un pórfido de Cu, se caracterizan fundamentalmente por un prominente zonamiento con partes internas dominadas por Cu y zonas externas donde Zn, Pb y Ag son los principales elementos económicamente interesantes.

En el caso particular del distrito de Colquijirca, más precisamente entre los sectores de Marcapunta Norte y Colquijirca, dicho zonamiento consta a manera general de tres zonas, las cuales mineralógicamente consisten fundamentalmente de enargita en las partes internas, calcopirita en partes intermedias y esfalerita y galena en las partes externas.

El depósito de Colquijirca (parte sur del Tajo Norte) expone estas tres zonas. La parte más profunda del sector suroeste del Tajo Norte (antes Tajo Principal) muestra un núcleo de forma tubular esencialmente constituido por enargita además de cantidades variables de pirita y cuarzo. Este núcleo presenta una envolvente básicamente compuesta por calcopirita y cantidades variables de tenantita además de esfalerita y galena. A su vez esta envolvente está rodeada por una zona relativamente extensa, compuesta esencialmente por esfalerita y galena. Es esta última zona, la cual está desarrollada en su mayor extensión hacia el norte del distrito, la que constituye el grueso del depósito de Colquijirca (Tajo Norte) actualmente en explotación.

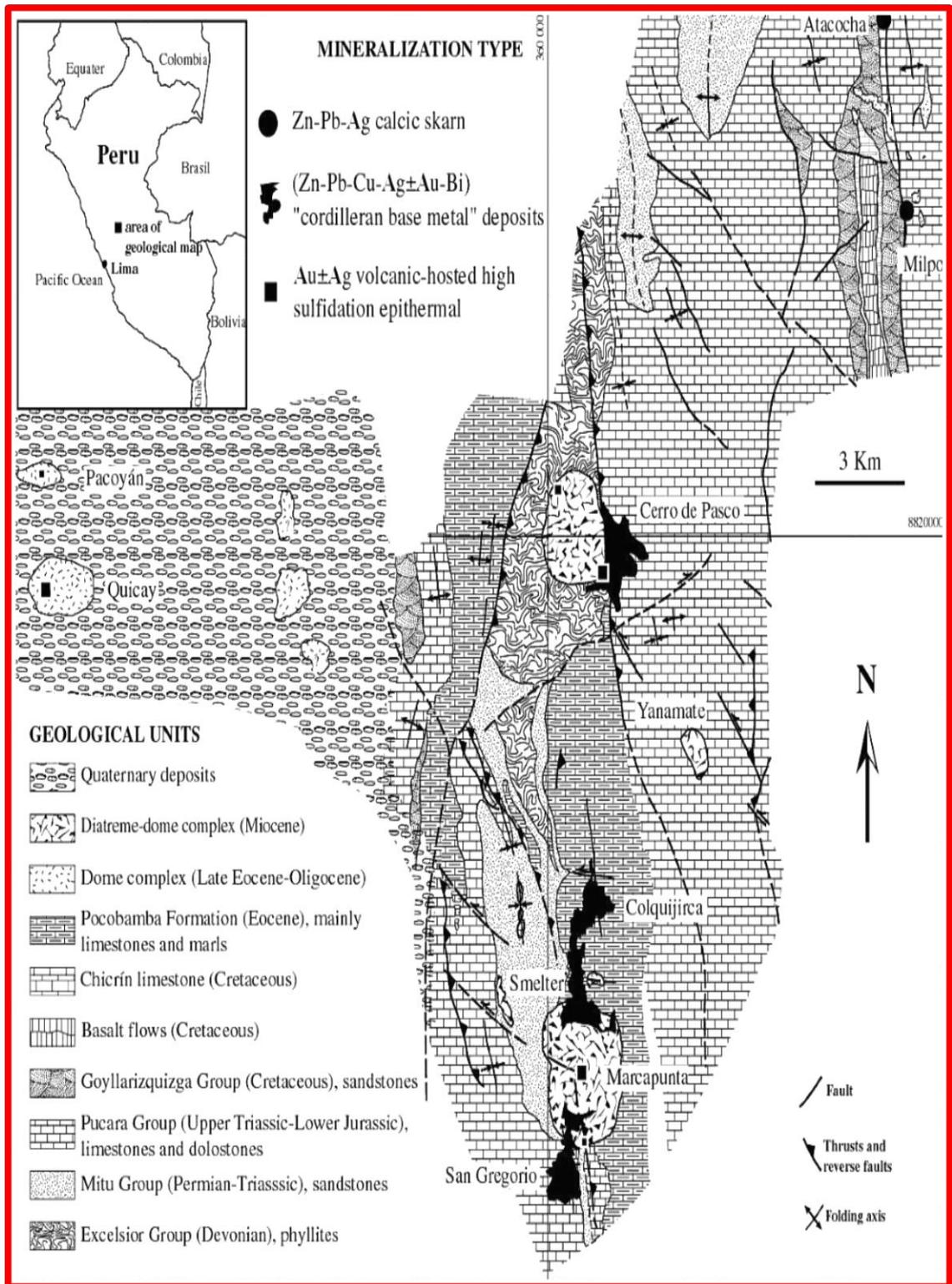
Hacia el sur del Tajo Norte el núcleo de enargita se prolonga por más de 2 km haciéndose más potente y ancho a medida que éste se aproxima hacia el complejo volcánico de Marcapunta.

Del mismo modo la envolvente de este núcleo de enargita, y compuesto por calcopirita, tenantita, esfalerita y galena, se extiende también hacia el sur del Tajo Norte, aunque en mucho menor medida, hasta en unos 400 m a partir de la pared sur del mismo

El sector denominado Marcapunta Norte, localizado inmediatamente al sur del Tajo Norte, constituye la extensión del depósito de Colquijirca. Este sector está compuesto por las dos zonas internas, esto es, por aquella conformada por enargita y por aquella de carácter polimetálico, es decir, de calcopirita, tenantita, esfalerita y galena. A diferencia de sectores ubicados más al sur, el sector de Marcapunta Norte se caracteriza por haber experimentado un proceso de enriquecimiento supérgeno. Este proceso ha generado cuerpos de calcosita, los cuales se han superpuesto a la zona de enargita y en menor grado a aquella polimetálica compuesta por calcopirita, tenantita, esfalerita y galena, conformando un sector de relativa complejidad mineralógica en términos sobre todo de intercrecimientos.

La estructura mineralizada del Manto Superior Central está alojada en rocas carbonatadas del Miembro Medio de la Formación Calera y configura una geometría estratiforme subhorizontal de rumbo Norte 160o y buzamiento de 6o Norte. La estructura tiene una longitud aproximada de 520 m por un ancho de 270 m y una potencia

promedio de 21 m. La ocurrencia de estructuras secantes a la estratificación como cuerpos de brechas y vetas es menos común.



Mapa N° 02: Mapa Geológico de la mina Marcapunta Norte¹

Mineralógicamente el Manto Superior Central consiste esencialmente de enargita, acompañada de cantidades variables de pirita. Fases menos importantes incluyen luzonita, colusita y aún de menor presencia calcocita, tenantita, ferberita y bismutinina. El Manto Superior Central contiene enargita-luzonita (Cu_3AsS_4) con leyes que varían entre 1 y 3% de Cu y 0.3 y 1% de As. Los contenidos de Ag varían entre 15 y 30 g/t. Algunos sectores internos del Manto Superior Central presentan valores de oro entre 0.3 y 0.7 gr/t.

Los minerales de ganga incluyen cuarzo, alunita, zuniyita y arcillas principalmente caolinita, dickita, illita y esmectita.

4.10. Método de explotación

Se ha determinado que tanto el mineral como las cajas que limitan la zona mineralizada están constituidos por rocas de resistencia mecánica alta y escasa ductilidad (no sufren deformaciones significativas cuando se les somete a cargas axiales sin confinamiento).

Además, casi toda la mineralización en Marcapunta ocurre en capas cuyo buzamiento varía entre 0° y 15° , es decir, se trata de mantos horizontales o sub-horizontales.

¹ <http://www.unige.ch/sciences/terre/mineral/publications/onlinepub/sga2002/figura1sga2002.jpg>

Para este tipo de yacimiento se recomienda aprovechar de la resistencia mecánica de las rocas para proporcionar el sostenimiento que requieren las labores de explotación, lo cual supone dejar algo de mineral sin explotar, en la forma de pilares o puentes para soportar los techos. Si la resistencia de la roca fuera insuficiente en algunas zonas de los tajeos, siempre se podrá optar por reforzar el techo con pernos de anclaje.

Las características del yacimiento exigen además el empleo de un método de explotación que permita cierta selectividad, lo cual se puede conseguir con el método de cámaras y pilares, razón por la cual se ha optado por recomendar dicho método, que es además el que se empleó anteriormente cuando la mina estuvo en operación y que ha demostrado en la práctica ser un método seguro

La zona de Marcapunta ofrece condiciones ideales para la aplicación de un método de explotación mecanizado de alta productividad y bajo costo unitario, siendo el que mejor se adapta, el método de cámaras y pilares.

En esta etapa preliminar y teniendo en cuenta la información disponible a la fecha, se han establecido algunas pautas de carácter general que serían aplicables al desarrollo y explotación de todo el yacimiento y algunas otras particulares, cuya aplicación dependerá del buzamiento que tengan las capas mineralizadas: Las labores de

desarrollo para zonas nuevas en las que existen tres mantos por explotar, primero se avanzarán dos galerías de 4 x 4 m de sección transversal, paralelas entre sí y espaciadas 100 m horizontales en dirección del buzamiento medio de los mantos, de tal forma que ambas sigan lo más cercano posible el rumbo medio de los mantos mineralizados. Una de las galerías se ubicará en la parte más alta del manto superior y la otra en la parte más baja del manto inferior.

- Una vez delimitados los paneles de explotación se procederá a abrir las cámaras, dejando pilares longitudinales al principio y recortándolos luego a sus dimensiones finales. La explotación se hará por pisos o niveles, de tal manera que si los mantos tuvieran un buzamiento entre 0° y 8° quedará, luego de la explotación, una cámara de altura relativamente uniforme con pilares regularmente espaciados.
- En Marcapunta, no deberá permitirse que la tensión media en los pilares exceda los 350 kg/cm² y su relación altura/diámetro deberá mantenerse entre 1.0 y 1.8, con la finalidad de limitar su esbeltez y garantizar de ese modo su estabilidad y la del techo de la excavación.
- Es indispensable que se requiera considerar el refuerzo del techo mediante la instalación de pernos cementados.
- El piso de las excavaciones donde se desarrollan labores de explotación no deberán tener pendientes superiores a 15%,

con la finalidad de asegurar una operación eficiente del equipo de producción y acarreo.

- Durante la etapa de explotación se independizará la operación de remoción del material estéril de aquella de extracción de mineral, con la finalidad de reducir al mínimo la dilución de la mena.
- Se empleará perforación horizontal, ya que con ésta se reduce al mínimo los daños en los pilares al momento del disparo.
- En aquellos casos en los que se trate de extraer las capas que están por encima o por debajo de zonas ya explotadas, será necesario efectuar un cuidadoso trabajo topográfico para garantizar que los pilares que se dejen estén ubicados exactamente sobre el eje de los pilares existentes, ya que esta es una condición indispensable para asegurar la estabilidad de la masa rocosa y por lo tanto de las excavaciones que se practiquen.
- Para el caso de zonas nuevas en que ninguno de los mantos haya sido explotado, los pilares deberán tener, desde el inicio de la operación, el ancho previsto para la etapa final de la explotación de las cámaras.
- Durante la explotación convendría observar permanentemente el comportamiento estructural de los pilares y del techo que se estaría dejando.

- En aquellas zonas donde se proyecte explotar más de una capa mineralizada, la operación de minado deberá iniciarse por la parte más alta de la capa superior.
- Una vez abierta la cámara de explotación a su ancho y longitud finales se procederá a rebajar el piso en forma escalonada, de tal manera de contar con dos o tres niveles de trabajo, con 3 a 4 m de desnivel entre uno y otro, desde los que se podrá entonces perforar taladros horizontales.
- Todas las labores de explotación deberán estar conectadas a una o más galerías de transporte cuya superficie de rodamiento deberá ser mantenida en muy buenas condiciones y cuya pendiente deberá ser 6 % como máximo.

El minado de los cuatro cuerpos mineralizados será por el método de cámaras y pilares sin relleno, realizando banqueo descendente hasta lograr, según especificaciones geomecánicas, una altura de minado de 12 metros. Es importante mencionar que la cuota de mineral, a razón de 30,000 TMH/mes, está garantizada para 35 meses; en ese tiempo ya se debe haber definido un método de minado para cuerpos con alturas mayores a 12 metros.

4.11. RESULTADOS GEOMECANICA EN LA RAMPA ESPERANZA

4.11.1. GENERALIDADES

El proyecto de la rampa Esperanza de conexión entre Marcapunta Norte (MPN) con Marcapunta Oeste (MPW), consiste en ejecutar una rampa de 1206.04 m. de longitud, con una sección de 4.5 m de altura x 4.5 m de ancho, la cual tendrá una gradiente promedio de 8.68 % y es tipo Trackless (sin rieles).

Esta rampa debe ejecutarse en simultáneo desde ambos extremos, llevando un estricto control topográfico de gradiente para lograr una buena comunicación. Desde Marcapunta Norte, la galería partirá desde la Rampa existente 1091; y por el otro extremo en Marcapunta Oeste, desde el tope de la Galería 660-N.

Las coordenadas UTM (PSAD 56) de ambos extremos de la galería proyectada son:

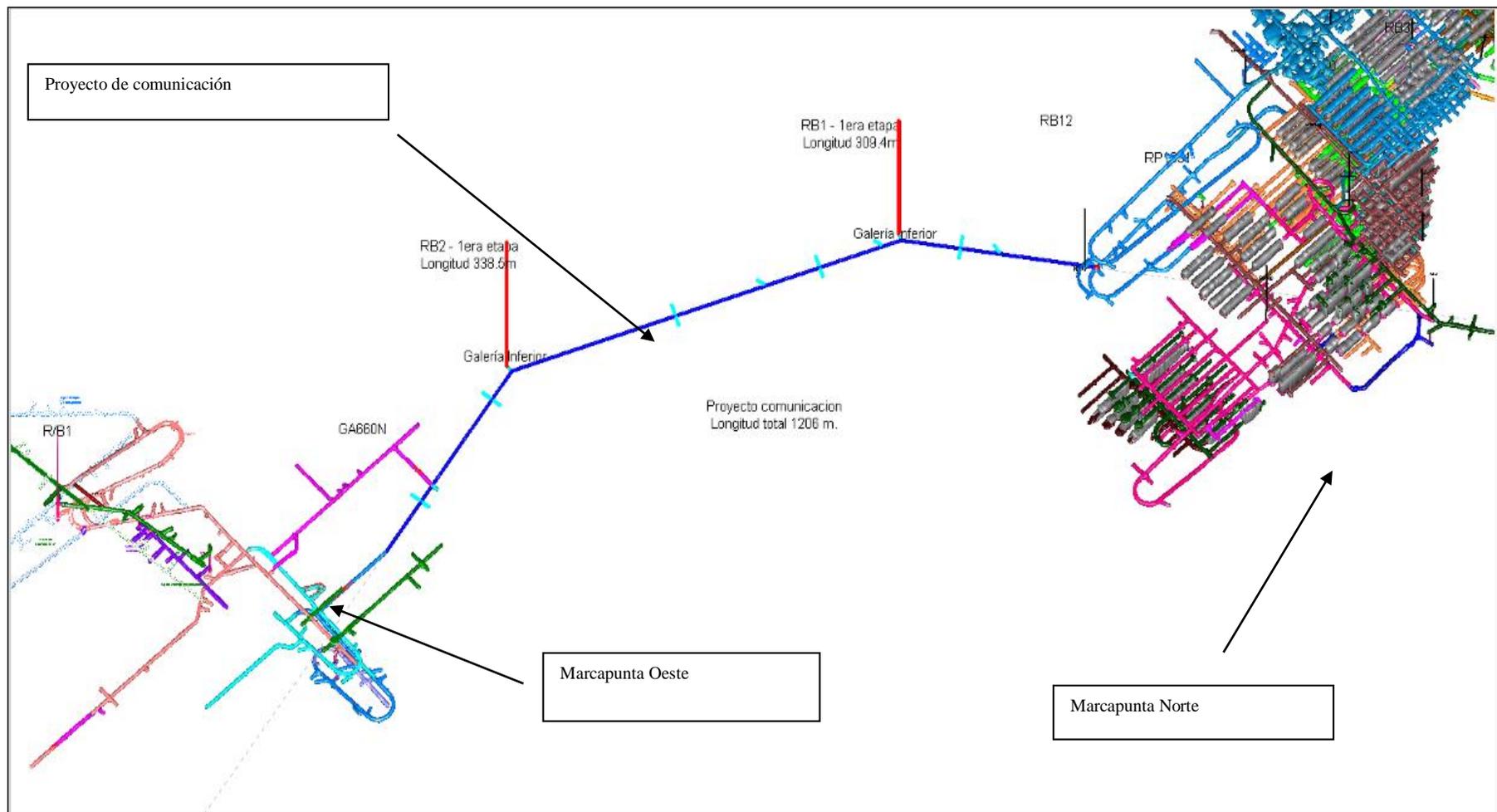
Extremo MPN: E360, 593.58, N8´808,339.93, Cota: 4,145.94 msnm.

Extremo MPW: E 360,660.06, N8´808,027.18, Cota: 4,041.30 msnm.

En el primer tramo por el lado de MPN, hasta 291.8 m, se tendrá ventilación forzada, igualmente desde el lado de MPW se tendrá un tramo de 321.3 m. Al termino de estos 02 tramos,

para mejorar la ventilación se ha proyectado la ejecución de 02 chimeneas Raise Borer de 338.5 m y 309.4 m, respectivamente, hasta superficie, con lo cual se podrá concluir el tramo faltante de 592.91 m. El tramo a ejecutarse por el lado de Marcapunta Norte, tendrá gradiente negativa, por lo que se tendrán pozas para bombeo de agua, mientras que por el lado de Marcapunta Oeste será positiva.

Por otro lado, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional (D.S. N° 055-2010 EM) se tendrán refugios cada 50 m de 2.0 m. x 2.0 m., y además cada 200 m, se construirán accesos laterales adicionales del ancho del vehículo más grande de la mina para facilitar el pase de los vehículos de ida y vuelta y para zonas de carguío de 30 m., de longitud con sección 4.5 m x 4.5 m. Asimismo, se construirán pozas de bombeo de 4.5 m x 4.5 m x 15 m.



Mapa N° 03: Vista del proyecto con las minas Marcapunta Norte y Marcapunta Oeste

4.11.2. CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DEL PROYECTO

En cuanto a la litología del eje de la rampa, se tiene que empezando del lado de MPW se empezará en roca caliza brechada silicificada muy competente la cual podría tener una longitud aproximada de 190 m, luego se prevé que se tendrá un tramo de 280 m de vulcanoclastos que es una roca de moderada a poco competente, luego se proyecta que se tendrá un tramo de 320 m de roca dacita moderadamente argilizada, luego se podría tener un tramo de caliza de unos 170 m que es una roca generalmente competente, y finalmente se tendrá un conglomerado por un tramo de 246 m que en general es una roca medianamente competente.

En cuanto a la mineralización, empezando del lado de MPW, se tendrá un tramo inicial mineralizado de unos 450 m, considerando que la proyección mineralizada hacia MPN es factible, luego se prevé que se tendrá un tramo estéril de unos 250 m, ya que la rampa saldría de la zona mineralizada y finalmente hacia el lado de Marcapunta Norte se podría cortar algunos mantos delgados mineralizados muy irregulares.

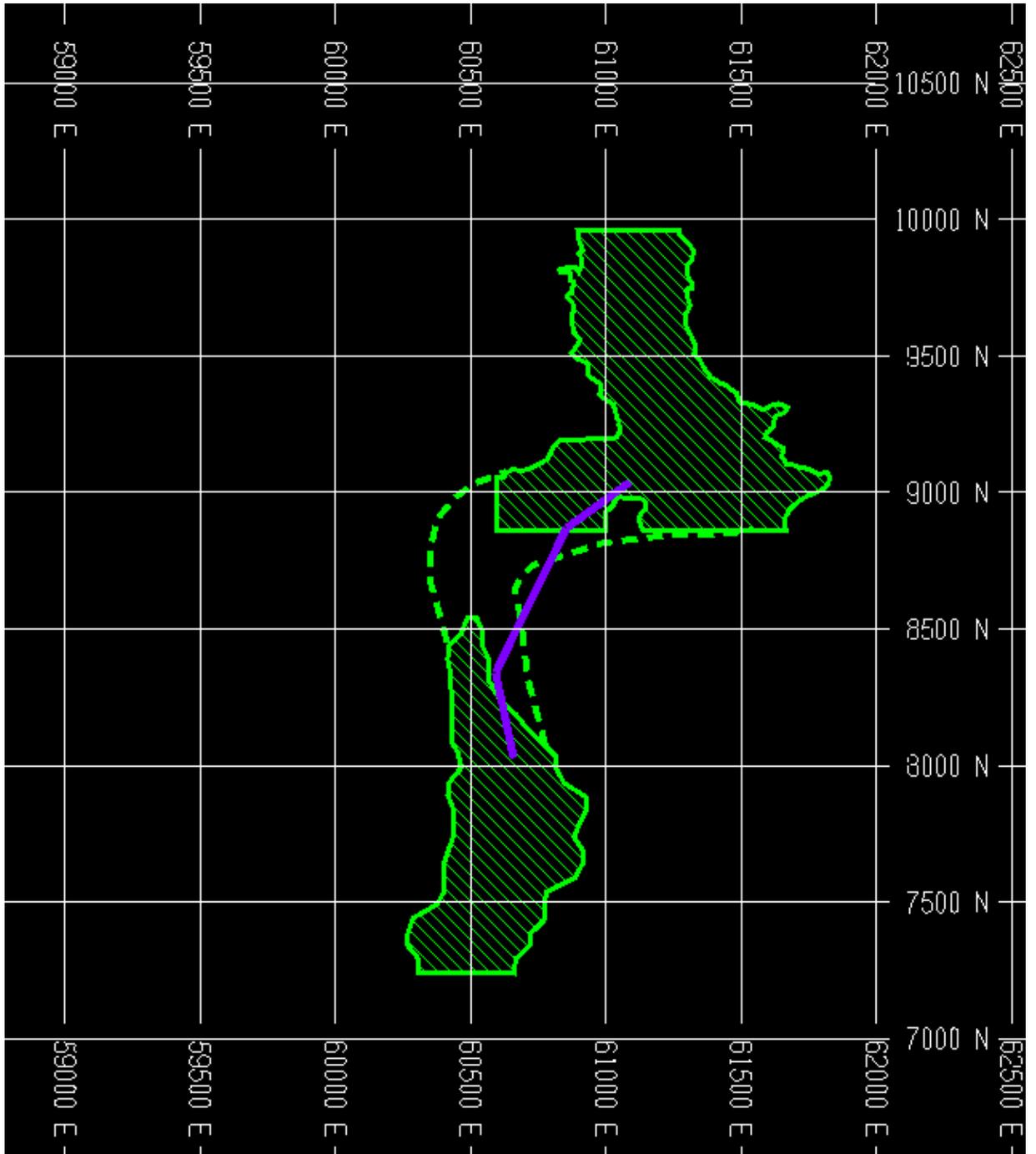


Figura 51: Vista en Planta de las áreas mineralizadas MPN y MPW

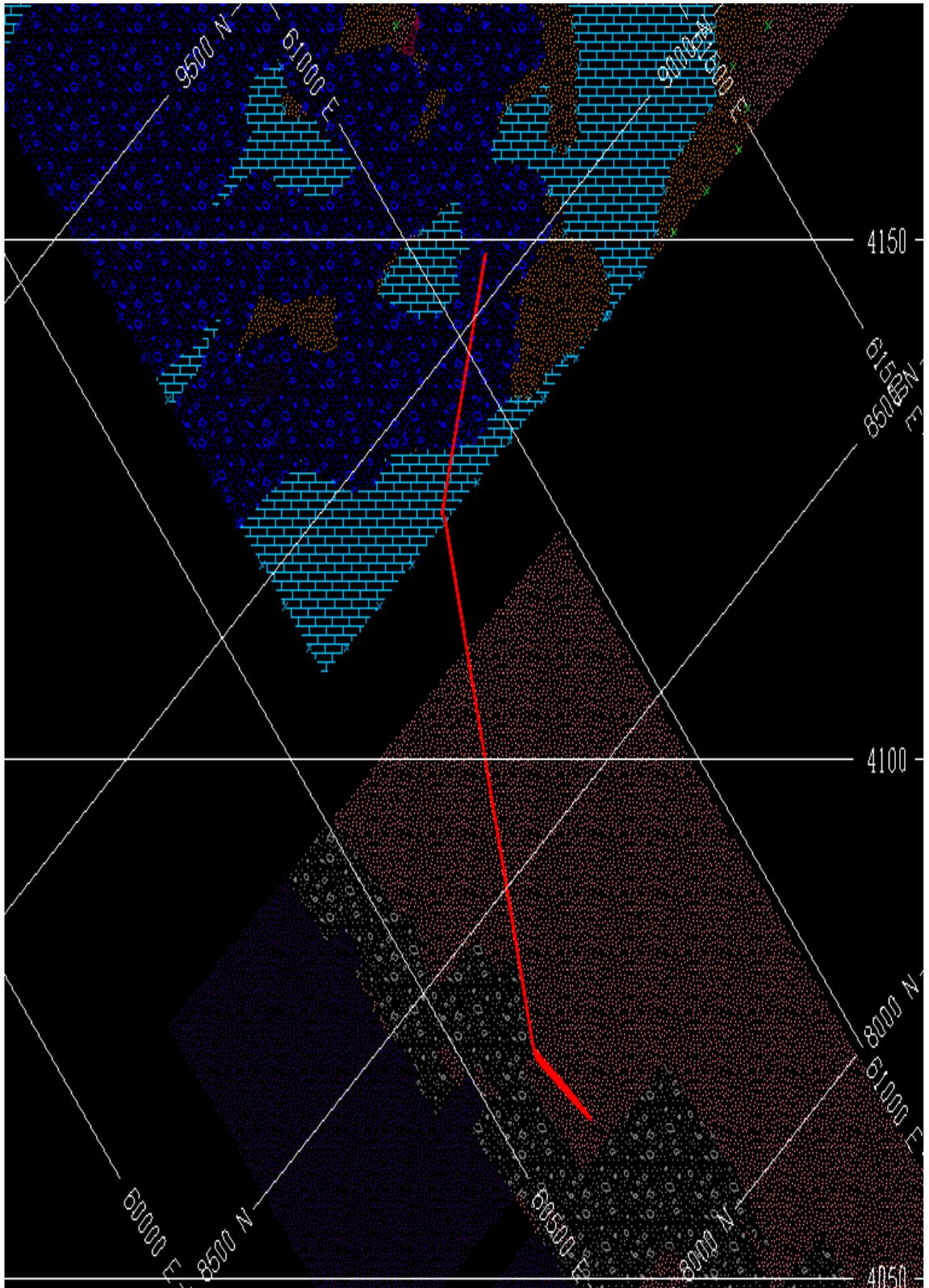


Figura 52: Vista en Planta de la litología MPN y MPW

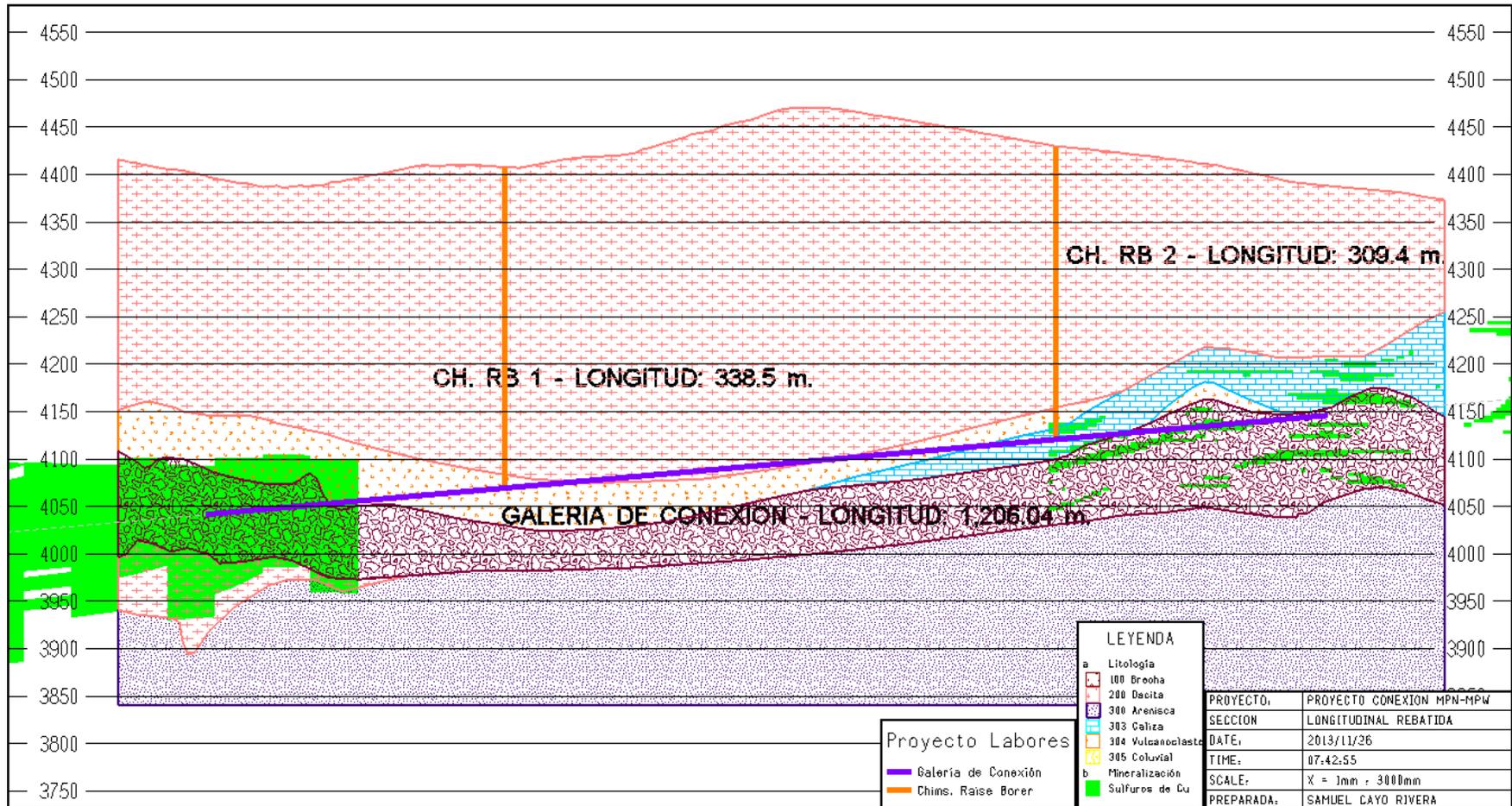


Figura 53: Sección Geológica Longitudinal del Proyecto de Conexión MPN - MPW

MAPEO GEOMECANICO POR RMR

		AREA DE GEOMECANICA		FORMATO DE MAPEO GEOMECANICO POR CELDAS				POR: FLORES CURRI SAUL FECHA: 16/11/2017 HOJA: 1			
N° de Celda: 3		ORIENTACIÓN DE LA EXCAVACIÓN Az: 180, Buzamiento: 0		TRAMO Desde: H3 + 008m, Hasta: H3 + 012m		VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R. M. R.)					
TIPO DE ROCA: A: VOLCANICO (65%), B: Mat Alterado (óxidos y arcilla) (35%)		FRECUENCIA / FRACTURA N° Fracturas/ml.: 20		PARÁMETROS						RANGO DE VALORES	
ESPACIAMIENTO: 0.06 - 0.2 m.		RELLENO: ARC, 1 - 5 mm		VALOR ESTIMADO						Valoración	
TIPO ESTRU CT: FA 1, FA 2, D 1, D 2, D 3, D 4		COMENTARIOS: Presencia de falla transversal al eje de la excavación con material muy alterado y presencia de óxidos. Goteo de agua subterránea y relleno arcilloso suave. Sin embargo los bloques presentan resistencia alta. Se recomienda 2" de shotcrete para controlar el intenso fracturamiento y el uso de MacFast por la presencia de goteo. Disparo corto de 8 pies para controlar el terreno y ver su comportamiento. Realizar Voladura controlada.		R. COMPRES. UNIAxIAL (MPa): > 250 (15) X 100 - 250 (12), 50 - 100 (7), 25 - 50 (4), < 25 (0) < 5 (1) < 1 (0) 1 12 RQD (%): 90-100 (20), 75 - 90 (17), 50 - 75 (13) X 25 - 50 (8), < 25 (0) < 0.06 (3) 2 8 ESPACIAMIENTO (m.): > 2 (20), 0.6 - 2 (15), 0.2 - 0.6 (10) X 0.06 - 0.2 (8), < 0.06 (5) 3 8 PERSISTENCIA: < 1m long (6), 1-3 m long. (4) X 3-10 m. (2), 10 - 20 (1) > 20 (0) 4A 2 APERTURA: Cerrada (6), < 0.1 mm (5), 0.1 - 1.0 mm (4) X 1 - 5 mm (1), > 5 mm (0) 4B 1 RUGOSIDAD: Muy Rugosa (6), Rugosa (5), Lig. Rugosa (3) X Lisa (1), Espejo de falla (0) 4C 1 RELLENO: Limpia (6), Duro < 5mm (4) X Suave < 5mm (1), Suave > 5mm (0) 4D 1 ALTERACIÓN: Sana (6), Lig. Alterada (5), Mod Alterada (3) X Muy Alterada (2), Descompuesta (0) 4E 2 AGUA SUBTERRÁNEA: Seco (15), Húmedo (10), Mojado (7) X Goteo (4), Flujo (0) 5 3						VALOR TOTAL RMR BASICO (Suma de valoración 1 a 5) 39	
Ajuste por Orientación Estructuras: Muy Favorable (2), Favorable (-2), X Moderada (-5), Desfavorable (-10), Desfavorable (-12)				VALOR TOTAL RMR AJUSTADO 34							
CLASE DEL MACIZO ROCOSO		IV A Pobre A		INDICACIÓN GEOMECÁNICA: Shotcrete 2" + P python @ 1.2 m (Uso fibra metalica + Aditivo MacFast)							
RMR: 100 - 81, 80 - 61, 60 - 51, 50 - 41, 40 - 31, 30 - 21, < 20		DESCRIPCIÓN: I Muy Buena, II Buena, III A - Regular A, III B - Regular B, IV A - Mala A, IV B - Mala B, V Muy Mala		Span: Sin Spam							

GRADO	ÍNDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	RANGO RESIST. COMP. AXIAL
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1 - 5.
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 ni desconcha 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 esquilas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	ÍNDICE DE ALTERACIÓN DESCRIPCIÓN
I. SANA	Ningún signo de alteración en el material rocoso. Quizás lig. decoloración sobre superficies de discontinuidades principales
II. LIGERO	La decoloración indica alteración del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso descolorido extremadamente es más débil que en su condición sana
III. MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descomp. y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV. MUY ALT.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descomp. y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un núcleo rocoso.
V. DESCOMPUESTO.	Todo el material rocoso esta descomp. y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

Clza		Caliza		CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA, TIPOS DE SOSTENIMIENTO, TIEMPOS DE AUTO SOPORTE Y SPAM DE EXPOSICIÓN												
Clza	Clza Min	Mar Lar	Bx	Cgl	Clasificación y Tipo de Roca	Calidad de Roca	Índice RMR	Índice "Q"	LABORES DE AVANCE PERMANENTES			LABORES DE AVANCE TEMPORALES			Tempo de Auto Soporte	SPAM de Exposición (m)
D	Fa	Ct	Ox	Arc	Cb	Pz	Py	Pirita	SECCIÓN 4.50 m x 4.50 m	SECCIÓN 4.50 m x 4.50 m	SECCIÓN 8.00 m x 4.00 m	SECCIÓN 4.50 m x 4.50 m	SECCIÓN 4.50 m x 4.50 m	SECCIÓN 8.00 m x 4.00 m		
I	Muy buena	100-81	> 51	Sin sostenimiento o emperrado ocasional con pernos python, L = 7'.	Sin sostenimiento o emperrado ocasional con pernos python, L = 7'.	Sin sostenimiento o emperrado ocasional con pernos split set, L = 7'.	10 años									
II	Buena	80-61	50-30	Sin sostenimiento o emperrado ocasional con pernos python, L = 7'.	Sin sostenimiento o emperrado ocasional con pernos python, L = 7'.	Emperrado sistemático con pernos split set, L = 7', @ = 1.50 m, distribución en cocada.	4 meses									
III A	Regular A	60-51	30-7	Emperrado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.50 m, distribución en cocada.	Emperrado sistemático con pernos split set, L = 7', @ = 1.50 m, distribución en cocada.	Malla electrosoldada de alambre negro de 4" x 3", emperrado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.20 m, distribución en cocada.	48 horas	12								
III B	Regular B	46-50	7-5	Shotcrete, e = 2", 30 Kg/m ³ de fibra metalica; emperrado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.50 m, distribución en cocada.	Malla electrosoldada de alambre negro de 4" x 3", emperrado sistemático con pernos split set, L = 7', @ = 1.50 m, distribución en cocada.	Malla electrosoldada de alambre negro de 4" x 3", emperrado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.20 m, distribución en cocada.	12 horas	9								
IV A	Pobre A	40-31	4-1	Shotcrete, e = 2", 4 Kg/m ³ de fibra metalica; emperrado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.20 m, distribución en cocada.	Malla electrosoldada de alambre negro de 4" x 3", emperrado sistemático con pernos split set, L = 7', @ = 1.50 m, distribución en cocada.	Shotcrete, e = 1.5", 4 Kg/m ³ de fibra sintetica; emperrado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.20 m, distribución en cocada.	2 horas	s / spam								
IV B	Pobre B	30-21	1-0.1	Shotcrete, e = 2", 30 Kg/m ³ de fibra metalica (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor a media sección) + arcos noruegos, @ = 1.50 m - 1.20 m.	Shotcrete, e = 2", 4 Kg/m ³ de fibra sintetica (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor a media sección) + emperrado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.20 m, distribución en cocada. Adicionalmente, arcos noruegos según indicación del área de Geomecanica.	Shotcrete, e = 2", 4 Kg/m ³ de fibra sintetica (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor a media sección) + emperrado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.20 m, distribución en cocada.	Menos de 2 horas	s / spam								
V	Muy pobre	≤ 20	≤ 0.1	Shotcrete, e = 2", 30 Kg/m ³ de fibra metalica (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor a media sección) + cimbras metalicas, @ = 1.50 m - 1.20 m.	Shotcrete, e = 2", 4 Kg/m ³ de fibra sintetica (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor a media sección) + cimbras metalicas, @ = 1.50 m - 1.20 m.	Shotcrete, e = 2", 4 Kg/m ³ de fibra sintetica (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor a media sección) + arcos noruegos, @ = 1.50 m - 1.20 m.	Colapso inmediato	s / spam								

4.11.4. ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE LA MASA

ROCOSA

Para la aplicación racional de los diferentes métodos de cálculo de la mecánica de rocas, es necesario que la masa rocosa bajo estudio esté dividida en áreas de características estructurales y mecánicas similares, debido a que el análisis de los resultados y los criterios de diseño serán válidos solo dentro de masas rocosas que presenten propiedades físicas y mecánicas similares. Por ello, es importante realizar la zonificación geomecánica o lo que es lo mismo establecer los dominios estructurales.

Para realizar una zonificación geomecánica completa se tomó en cuenta los aspectos litológicos, grado de alteración y la calidad de la masa rocosa.

Según lo citado en el párrafo anterior, la zonificación geomecánica se ha realizado utilizando principalmente la información del mapeo geotécnico por celdas tanto en la zona de Marcapunta Norte y Marcapunta Oeste.

En el Cuadro 1 se puede apreciarse los valores promedio de calidad de la masa rocosa en el área del proyecto del túnel, así como de su entorno. Según esto, se tiene las siguientes características de zonificación geomecánica:

- La calidad de la masa rocosa de la zona en estudio se presenta de manera variable, relacionado directamente al grado de alteración a la que ha sido sometida, puede observarse que en zonas de una misma litología la calidad de la masa rocosa varía de manera significativa de Regular B (III B) y Mala A (IV A).
- La masa rocosa en zona de contacto litológico Conglomerado/Caliza, presenta calidades de Mala B (IVB), Mala A (IVA).
- La masa rocosa en zona de contacto litológico Caliza/Vulcanoclasto, presenta calidades de Mala B (IVB), Muy Mala (V).
- La masa rocosa en zona de contacto litológico Dacita/Vulcanoclasto, presenta calidades de Mala B (IVB), Mala A (IVA).
- La masa rocosa en zona de contacto litológico Vulcanoclasto/brecha, presenta calidades de Mala B (IVB), Mala A (IVA) y Muy Mala (V)..

Cuadro N°1

Zonificación geomecánica calidades de la masa rocosa

Litología	Promedio RMR	Calidad RMR	Dominio Estructural
Caliza	36 - 45	Mala A - Regular B	IV A - III B
Conglomerado	36 - 45	Mala A - Regular B	IV A - III B
Vulcanoclasto	36 - 45	Mala A - Regular B	IV A - III B
Dacita	36 - 45	Mala A - Regular B	IV A - III B

Zonificación geomecánica calidades de la masa rocosa en zonas de contacto

Litología	Promedio RMR	Calidad RMR	Dominio Estructural
Conglomerado/Caliza	21 - 40	Mala B (IVB), Mala A (IVA)	IV B - IV A
Caliza/Vulcanoclasto	15 - 30	Muy Mala (V), Mala B (IVB)	V - IV B
Dacita/Vulcanoclasto	21 - 40	Mala B (IVB), Mala A (IVA)	IV B - IV A
Vulcanoclasto/Conglomerado	21 - 40	Mala B (IVB), Mala A (IVA)	IV B - IV A

Sección Geomecánica y Zonificación geomecánica del proyecto de comunicación Marcapunta norte y Marcapunta Oeste (ver plano 1 Y 2 EN ANEXO)

4.11.5. TABLA GEOMECÁNICA Y TIPO DE SOSTENIMIENTO A INSTALAR

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA, TIPOS DE SOSTENIMIENTO, TIEMPOS DE AUTO SOPORTE Y SPAM DE EXPOSICIÓN								
CLASIFICACIÓN Y TIPO DE ROCA	CALIDAD DE ROCA	ÍNDICE "RMR"	ÍNDICE "Q"	TIPOS DE SOSTENIMIENTO TÍPICOS			TIEMPO DE AUTO SOPORTE	SPAM DE EXPOSICIÓN (m)
				LABORES DE AVANCE PERMANENTES		LABORES DE AVANCE TEMPORALES		
				SECCIÓN 4.50 m x 4.50 m ~ 4.00 m x 4.00 m	SECCIÓN 4.50 m x 4.50 m ~ 4.00 m x 4.00 m	SECCIÓN 8.00 m x 4.00 m		
I	Muy buena	100 ~ 81	> 51	Sin sostenimiento o emperrado ocasional con pernos python, L = 7'.	Sin sostenimiento o emperrado ocasional con pernos split set, L = 7'.	Sin sostenimiento o emperrado ocasional con pernos split set, L = 7'.	10 años	
II	Buena	80 ~ 61	50 ~ 10	Sin sostenimiento o emperrado ocasional con pernos python, L = 7'.	Sin sostenimiento o emperrado ocasional con pernos split set, L = 7'.	Emperrado sistemático con pernos split set, L = 7', @ = 1.50 m, distribución en cocada.	4 meses	
III A	Regular A	60 ~ 51	10 ~ 7	Emperrado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.50 m, distribución en cocada.	Emperrado sistemático con pernos split set, L = 7', @ = 1.50 m, distribución en cocada.	Malla electrosoldada de alambre negro de 4" x 3"; + emperrado sistemático con pernos split set, L = 7', @ = 1.50 m, distribución en cocada.	48 horas	12
III B	Regular B	46 ~ 50	7 ~ 5	Shotcrete, e = 2", 30 Kg/m ³ de fibra metálica; + emperrado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.50 m, distribución en cocada.	Malla electrosoldada de alambre negro de 4" x 3"; + emperrado sistemático con pernos split set, L = 7', @ = 1.50 m, distribución en cocada.	Malla electrosoldada de alambre negro de 4" x 3"; + emperrado sistemático con pernos split set, L = 7', @ = 1.20 m, distribución en cocada.	12 horas	9
	Regular B	45 ~ 41	5 ~ 4				12 horas	6
IV A	Pobre A	40 ~ 31	4 ~ 1	Shotcrete, e = 2", 30 Kg/m ³ de fibra metálica; + emperrado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.20 m, distribución en cocada.	Malla electrosoldada de alambre negro de 4" x 3"; + emperrado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.20 m, distribución en cocada.	Shotcrete, e = 1.5", 4 Kg/m ³ de fibra sintética; + emperrado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.20 m, distribución en cocada.	2 horas	s / spam
IV B	Pobre B	30 ~ 21	1 ~ 0.1	Shotcrete, e = 2", 30 Kg/m ³ de fibra metálica (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor a media sección) + arcos noruegos, @ = 1.50 m ~ 1.20 m.	Shotcrete, e = 2", 4 Kg/m ³ de fibra sintética (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor a media sección) + emperrado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.20 m, distribución en cocada. Adicionalmente, arcos noruegos según indicación del área de Geomecánica.	Shotcrete, e = 2", 4 Kg/m ³ de fibra sintética (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor a media sección) + emperrado sistemático con pernos python, L = 7', @ = 1.20 m, distribución en cocada. Adicionalmente, arcos noruegos según indicación del área de Geomecánica.	Menos de 2 horas	s / spam
V	Muy pobre	≤ 20	≤ 0.1	Shotcrete, e = 2", 30 Kg/m ³ de fibra metálica (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor a media sección) + cimbras metálicas, @ = 1.50 m ~ 0.80 m.	Shotcrete, e = 2", 4 Kg/m ³ de fibra sintética (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor a media sección) + arcos noruegos, @ = 1.20 m ~ 1.0 m.	Shotcrete, e = 2", 4 Kg/m ³ de fibra sintética (sostenimiento con shotcrete hasta el frente de la labor a media sección) + arcos noruegos, @ = 1.50 m ~ 1.20 m.	Colapso inmediato	s / spam

4.11.6. EVALUACION DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO PARA CONTROL DE ESTABILIDAD

En la Mina Marcapunta Norte las labores mineras permanentes más comunes están asociadas a labores de avance como por ejemplo rampas y galerías de nivel, estas tienen dimensiones de 4.0 a 4.5 m de abertura máxima, según esto, el sostenimiento a utilizarse según tipos de rocas se presenta en el Cuadro 2.

Cuadro N° 2

Sostenimiento para labores de avance permanentes (4.0 a 4.5 m)		
Dominio	Rango RMR	Sostenimiento
DE-III A	51 – 60	No requiere sostenimiento sistemático, sino solo esporádico, con pernos de roca o shotcrete
DE-III B	41 – 50	Pernos sistemáticos de 7 pies longitud, espaciado cada 1.0 a 1.5 m. Malla metálica de ser requerida. Alternativamente una capa de shotcrete de 2" de espesor.
DE-IV A	31 – 40	Pernos sistemáticos de 7 pies longitud, espaciado cada 1.0 m + malla metálica + 2" a 3" shotcrete. El shotcrete reforzado con fibras de acero podría reemplazar a la malla metálica.
DE-IV B	21 – 30	Pernos sistemáticos de 10 pies longitud en la bóveda y 7 pies en los hastiales, espaciado cada 0.75 m a 1.0 m + shotcrete reforzado de 3" a 4". Alternativamente, cimbras tipo 4W13 o equivalente o cerchas reticuladas, espaciadas cada 1.0 a 1.5 m, previamente una capa de shotcrete reforzado de 2" a 3" de espesor.
DE-V	< 21	Cimbras tipo 6W20 o equivalente, espaciadas cada 1.0 a 1.5 m, previamente una capa de shotcrete reforzado de 3" de espesor como preventivo. Avanzar el frente con spilling bar de fierro corrugado de 1" diámetro y/o de ser necesario avanzar con marchavantes de riel.

4.11.7. CRONOGRAMA DE EJECUCION

Con las características geológicas y geomecánicas de la roca, se prevé que la galería y las 02 chimeneas RB deben concluirse en el lapso de 12 meses.

PARÁMETROS		Proyecto	OBSERVACIONES
TOTAL METROS AVANCE	ML	1,431	
RENDIMIENTO AVANCE LABORES	M/MES	67	Se estima roca de mala calidad
RENDIMIENTO AVANCE LABORES	M/MES	80	Se estima roca de buena calidad
FRENTES DE AVANCE	UND	2	Avanzar por MPN y MPO
TIEMPO DE DESARROLLO	MESES	12	Avanzar por MPN y MPO
INICIO RB 1	MESES	4.8	A partir de inicio de desarrollo – 288 metros para llegar al pie
INICIO RB 2	MESES	5.3	A partir de inicio de desarrollo – 320 metros para llegar al pie
TIEMPO EJECUCIÓN RB1	MESES	1.6	Longitud 309.4
TIEMPO EJECUCIÓN RB2	MESES	1.8	Longitud 338.5
TIEMPO TOTAL ESTIMADO DE EJECUCIÓN	MESES	12	

Para el inicio de actividades, se necesita la aprobación del EIA del Proyecto de Explotación Marcapunta Norte-Oeste, por lo que el cronograma a presentar se referirá como meses de referencia: Mes 1, mes 2, mes 3,....., y se estima que en 12 meses se debe terminar el proyecto, tal como se observa en el siguiente grafico de cronograma:

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE LA GALERÍA DE CONEXION MPN-MPW Y CHIM RAISE BORER													
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Total
AVANCES	73.24 m	67 m	67 m		67 m	24		67 m	67 m	67 m		67 m	
GALERIA (LADO MPN)	45 m			67 m			67 m			45 m			566.04
POZA DE BOMBEO Y ZONA DE CARGUIO				14									90
GAL DE DESCARGA CHIMENEA RB NRO 2						309							14
CHIMENEA RB NRO 1: PILOTO							309.4						309.4
CHIMENEA RB NRO 1: RIMADO													309.4
	1er Mes	2do Mes	3er Mes	4to Mes	5to Mes	6to mes	7mo Mes	8vo Mes	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	
AVANCES	80 m	80 m	40 m		80 m	80 m			80 m	80 m	40 m		80 m
GALERIA (LADO MPW)	30 m			67 m			67 m			30 m			640
ZONA DE CARGUIO				14			14 m						30
DESCARGA CHIMENEA RB NRO 1							338.5 m						14
CHIMENEA RB NRO 2: PILOTO								338.5 m					338.5
CHIMENEA RB NRO 2: RIMADO													338.5

4.11.8. INVERSION

En base a los actuales precios que tenemos en la Unidad y a otros que se ha tenido recientemente, se estima que la inversión sería el siguiente:

A. CONEXION MARCAPUNTA NORTE - OESTE						
ACTIVIDAD / LABOR	SECCION	CANTIDAD (EN METROS O TM)		COSTO UNITARIO X CANTIDAD		COSTO (USD)
AVANCES DE DESARROLLO HORIZONTAL	4.5 X 4.5	1,206	ML	2,200.0	USD/ML	2,653,200
AVANCES - CAMARAS PIE DE RAISE BORE	4.0 X 4.0	30	ML	1,400.0	USD/ML	42,000
AVANCES - POZAS DE AVANCE	4.0 X 4.0	45	ML	1,400.0	USD/ML	63,000
AVANCES - CAMARAS DE CARGUIO ACUMULACION	4.0 X 4.0	150	ML	1,400.0	USD/ML	210,000
AVANCES DE ECHADEROS - CHIMENEA VCR	2.1 X 2.1	-	ML	431.6	USD/ML	-
AVANCES DE DESARROLLO VERTICAL - CHIMENEA RB	Φ 2.4	648	ML	1,540.0	USD/ML	997,766
SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA		1,431	ML	150.0	USD/ML	214,650
VENTILACION DE LABORES		11.9	meses	6,585.4	USD/mes	78,530
DRENAJE DE AGUA		4.8	meses	7,209.3	USD/mes	34,605
OTROS SERVICIOS AUXILIARES		11.9	meses	10,000	USD/mes	119,250
TOTAL COSTOS						4,413,001
Notas:						
El costo unitario de cada tipo de Avance, considera el costo de explosivos, perforación, voladura, sostenimiento de la labor y limpieza.						
Solo se bombeara avanzando por MPN, el bombeo desde Marcapunta Oeste será por gravedad hacia las pozas principales que se cuenta.						

CONCLUSIONES

1. La zona del proyecto de comunicación de Marcapunta norte y Marcapunta oeste va a estar emplazadas litológicamente en conglomerado, caliza, dacita y vulcanoclastos.
2. Los resultados de la clasificación geomecánica de la masa rocosa, efectuando el criterio de Bieniawski (1989), han indicado que el 60% de la masa rocosa es de calidad Regular B (IIIB), 30% de calidad Mala A (IVA), 10% de calidad Mala B (IVB) y 10% de calidad Muy Mala (V).
3. Realizando la sección longitudinal de la rampa de conexión de MKN y MKW, se observa que dicha rampa estará emplazado en zona de Brechas en su tramo inicial al final. Al inicio de la rampa por MKN en el nivel 4032, se tendrá cercano la zona de contacto con el intrusivo dacítico reconocidos en dicho nivel, siendo estas zonas de mala calidad del macizo rocoso ($RMR < 25$), en una longitud total de 70 m. al techo de la longitud de la rampa se observa la presencia de roca vulcanoclástica secuencia que al acercarse a la rampa provocaría posibles realces de la corona siendo controlados por sostenimiento pesado (cimbras metálicas).
4. En rocas de muy mala calidad ($RMR < 25$), se instaló cimbras metálicas tipo H de tres cuerpos.

5. En rocas de mala calidad (RMR: 30-40), el sostenimiento instalado es con shotcrete de 2" de espesor más pernos Python (por ser labores permanentes).

RECOMENDACIONES

1. Se sugiere que el puente entre la brecha y el vulcanoclastos presente en el techo sea de 20 m. como mínimo, esto garantiza la estabilidad de la corona ya que el contacto entre la brecha y el vulcanoclasto encontrado en las labores de MKN evidencia que la calidad del macizo rocoso es muy mala (RMR <20); donde se instaló cimbras metálicas con espaciamientos de 1.0 m y se realizó un avance lento (disparos de avance de 5' pies), esto para evitar complicaciones de realces en la corona.
2. Se recomienda realizar pruebas de convergencia en las zonas en el que el puente entre dichos contactos sea menor (<10 m.), donde se instaló bloques de 5 cimbras, esto para evitar la convergencia que pudieran provocar la carga litostática del contacto litológico supra-yacente.
3. Se recomienda realizar pruebas de Pull Test en las labores permanentes y temporales donde se realizó el sostenimiento de shotcrete con pernos,
4. Se recomienda su verificación cada cierto tiempo de la chimenea (Proyección de RB15), que se encuentra en un contacto litológico (brecha/vulcanoclastos/caliza/dacita), que son de roca mala a muy mala (RMR<25) ya que esta chimenea se realizó con fines de ventilación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. D .F. Coates, Mecánica de Rocas. Dpto. de Minas de Canadá, Toronto, 1974
2. David Córdova Rojas, "MANUAL MECANICA DE ROCAS", Universidad Nacional de Ingeniería - UNI, Lima, Perú – 2004.
3. E. Hoek y E.T. Brown, Underground Excavations in Rock. The Institution of Mining and Metallurgy, Londres 1985
4. E. Hoek. And Brown, ET. "EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS EN ROCA" México, 1980.
5. E. Hoek, Rock Engineering Course Notes, Rocscience Edt. 2000
6. Informe Preliminar del proyecto de Cobre de Marcapunta y de la zona de Smelter
7. Llanque Maquera O. Explotación Subterránea Métodos - Casos Prácticos Lima – Perú 1999 P. 71 - 76

ANEXO



Figura 54: Sostenimiento con pernos python



Figura 55: Sostenimiento con malla más pernos Split set



Figura 56: Sostenimiento de shotcrete con pernos python



Figura 57: Sostenimiento con cimbras tipo H



Figura 58: Materiales de sostenimiento (pernos Split set)



Figura 59: Materiales de sostenimiento (malla electrosoldada)



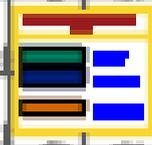
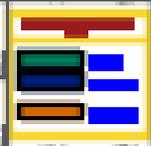
Figura 60: Panel de muestreo para verificar la resistencia del shotcrete

Mina Marca Punta Norte

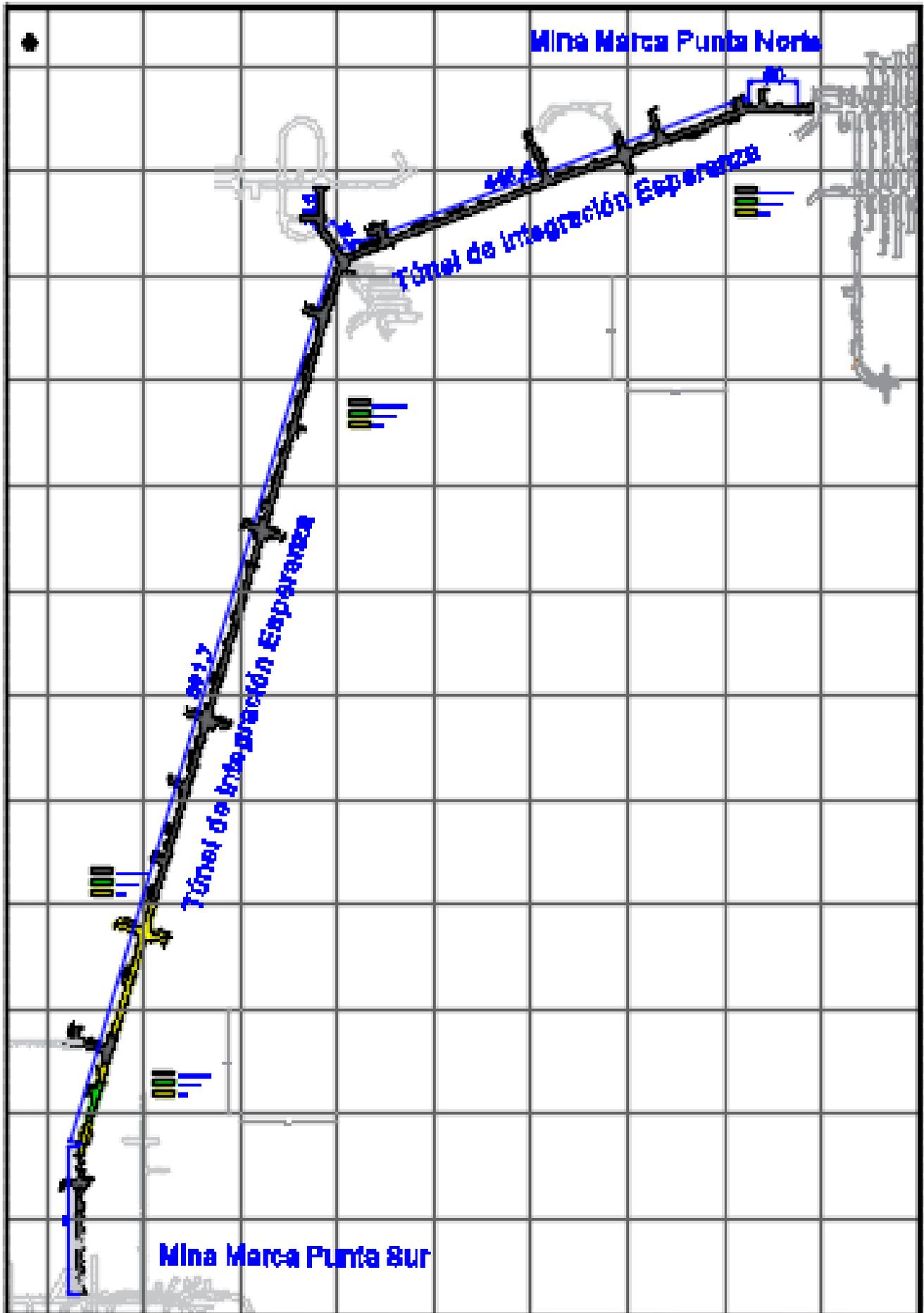
Túnel de Integración Esperanza

TUNEL DE INTEGRACION-ESPERANZA

Mina Marca Punta Sur



PROYECTO:	OPERAÇÃO:	ESCALA:	FECHA:	LEGENDA:	NUMERO:
					01



<p>PROYECTO:</p> <p>ESTADO:</p>	<p>FECHA:</p> <p>ESCALA:</p>	<p>PROYECTADO POR:</p> <p>REVISADO POR:</p> <p>APROBADO POR:</p>	<p>INSTITUCIÓN:</p> <p>LOGO:</p>	<p>LEYENDA:</p> <ul style="list-style-type: none"> [Symbol] [Symbol] [Symbol] 	<p>HOJA:</p> <p>92</p>
---------------------------------	------------------------------	--	----------------------------------	--	------------------------