

# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E INGENIERÍA  
METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



**“CIERRE DE BOCAMINAS Y CHIMENEAS DE  
LA ZONA DE SAN RAFAEL - PUNO”**

**TESIS**

PRESENTADO POR:

**Bach. PERCY ALEJANDRO GOMEZ  
SARMIENTO**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO GEÓLOGO**

Puno - Perú

2013

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E INGENIERÍA METALÚRGICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

**“CIERRE DE BOCAMINAS Y CHIMENEAS DE LA ZONA DE  
SAN RAFAEL - PUNO”**

TESIS

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

**PERCY ALEJANDRO GOMEZ SARMIENTO**

PARA OPTAR EL TITULO DE

**INGENIERO GEÓLOGO**

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE DE JURADO :

  
M.Sc. SOFIA BENAVENTE FERNANDEZ

PRIMER MIEMBRO :

  
ING. GEORGES LLERENA PEREDO

SEGUNDO MIEMBRO :

  
Ing. GERMAN ESPINOZA RIVAS

ASESOR DE TESIS :

  
Ing. RONALD QUIZA VILCA

PUNO – PERU

**ÁREA: Recursos naturales y medio ambiente**

**TEMA: Conservar y preservar el medio ecológico**

*DEDICATORIA*

*A José (†) y Benita (†) (Q.E.P.D.),*

*mis padres quienes me formaron profesional.*



*A mis Hermanos quienes me apoyaron moralmente y económicamente para mi formación profesional.*

## ***AGRADECIMIENTOS***

*Primero mi agradecimiento infinito a Dios por estar siempre conmigo, por no dejarme a pesar de mis equivocaciones y por cuidar siempre de mi y de mi familia y por todo lo que me ha dado.*

*Mi agradecimiento a los docentes de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, por las enseñanzas que nos impartieron durante los años de formación profesional.*

*Un agradecimiento en especial a mis compañeros de trabajo y amigos por su apoyo y colaboración para el desarrollo de esta Investigación.*

*Mi agradecimiento al asesor por la revisión y las sugerencias brindadas durante el desarrollo de la investigación y por su apoyo constante.*

*Del mismo modo a las personas que de alguna manera contribuyeron a la culminación de la presente investigación.*

## **RESUMEN**

El presente estudio tiene la finalidad de cumplir con el estado y contribuir a la mitigación de los pasivos ambientales, en el cuál se plantea el presente trabajo de investigación, “CIERRE DE BOCAMINAS Y CHIMENEAS DE LA ZONA DE SAN RAFAEL - PUNO”.

La mina San Rafael, propiedad de MINSUR S.A., está ubicada en el Departamento de Puno, en el nevado de Quenamari de la Cordillera de Carabaya, un segmento de la cordillera Oriental, a una altitud de 4,500 m.s.n.m. Esta es la única mina de estaño en el Perú.

MINSUR S.A. (Mina San Rafael), elaboración de la Ingeniería de Detalle para el Cierre Progresivo de los Pasivos Ambientales de la Mina San Rafael, compuesto por 35 bocaminas y 22 chimeneas, de manera que los potenciales impactos que se vienen generando.

En el área de influencia del proyecto, se distingue dos rasgos topográficos saltantes: hacia el nevado Quenamari, abrupto, con cerros altos, de laderas pronunciadas y fuertes escarpas, que en su conjunto configuran un circo glaciar en cuyo fondo se ubica la laguna de Chogñacota. Aguas abajo, el relieve es ondulado, con laderas de moderada pendiente, conformando valles en forma de “U” característico de eventos glaciáricos

El área de reconocimiento está constituida por la facie metamórfica con rocas cuyas edades corresponden al Devónico - Silúrico del Paleozoico inferior, en forma localizada discontinua afloran las rocas intrusivas en forma de plutones y stocks; aisladamente existen diques volcánicos.

Las tapas de concreto son recomendadas para el cierre definitivo de las chimeneas. Estas tapas son prefabricadas o vaciadas en el sitio y se diseñan para cada tipo de chimeneas de acuerdo a las condiciones del sitio y el tamaño.

## INDICE

RESUMEN	
CAPITULO I .....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2. ANTECEDENTES.....	3
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.4. JUSTIFICACION.....	4
1.5. HIPOTESIS.....	5
1.6. OBJETIVOS.....	5
1.7. METODOLOGIA.....	6
CAPITULO II .....	7
2. MARCO TEORICO.....	7
2.1. MARCO TEORICO CONCEPTUAL.....	7
CAPITULO III .....	28
3. CARACTERIZACION DEL AREA DE INVESTIGACION.....	28
3.1. ASPECTOS GENERALES.....	28
3.2. ANTECEDENTES.....	29
3.3. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD .....	30
3.4. TOPOGRAFIA Y FISIOGRAFIA .....	34
3.5. CLIMA Y METEREOLOGIA.....	35
3.6. GEOMORFOLOGIA.....	38
3.7. GEOLOGIA LOCAL .....	40
3.7.1 COLUMNA ESTRATIGRAFICA.....	44
3.8. CRITERIOS DE DISEÑO .....	44
3.9. TIPOS DE ROCAS.....	47
CAPITULO IV .....	51
4. EXPOSICION Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	51
4.1. EXPOSICION DE RESULTADOS .....	51
4.2. DISEÑO CIVIL DE BOCAMINAS Y CHIMENEAS .....	55

## CAPITULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

El cierre de minas es una operación técnico-legal altamente compleja y especializada que requiere un apropiado y consistente diseño e implementación de ingeniería para su funcionamiento efectivo en el largo plazo (La garantía real debería extenderse como mínimo 500 años hacia el futuro, aunque las leyes locales prevén tiempos mucho menores en la actualidad). En este contexto analítico es razonable pensar que el cierre va a requerir de todas maneras una investigación profunda del estado actual de las distintas variables y componentes mineros de manera tal que puedan predecirse su comportamiento de largo plazo por medio de rigurosas pruebas técnicas que brinden sustento a cualquier investigación seria de cierre de unidades mineras.

Para lograr un cierre efectivo de mina se requiere combinar soluciones de ingeniería que puedan garantizar en forma simultánea un adecuado cierre minero, ambiental, social, ecológico y de seguridad en toda su extensión para el largo plazo del emplazamiento minero. Es decir, para cada componente, cada instalación y cada habilitación minera en el emplazamiento del entorno de sus antiguas operaciones.

De esta manera el cierre de minas está regulado por las siguientes normas; ley General de Minería (D.S. N° 014-92-EM) El Texto Único Ordenado (TUO) de la Ley General de Minería, Ley que Regula el Cierre de Minas – Ley N° 28090, Ley que Modifica la Primera Disposición Complementaria de la Ley N° 28090 – Ley N° 28234, Reglamento para el Cierre de Minas – Decreto Supremo N° 033-2005-EM, Modifican el Reglamento para el Cierre de Minas – Decreto Supremo N° 035-2006-EM, Modifican artículos del Reglamento de la Ley de Cierre de Minas aprobado por D.S. 033-2005-EM – **Decreto Supremo N° 045-2006-EM**, Modifican los artículos 8° y 51° del Reglamento para el Cierre de Minas aprobado por D.S. 033-2005-EM.

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El sector minero es considerado el sector industrial más contaminante de aguas superficiales y subterráneas, especialmente con cargas contaminantes de metales pesados, (cobre, zinc, plomo, cadmio, plata, arsénico, manganeso, etc. Sin embargo, desde mediados de la década pasada el sector minero ha ido asumiendo progresivamente responsabilidades ambientales en cuanto a la mitigación de los daños y prevención de otros.

En tal sentido el estado realiza cambios en la legislación minera indicando que todo titular de actividad minera está obligado a realizar el cierre de las áreas, labores e instalaciones de una unidad minera, a través del Plan de Cierre de Minas regulado por Ley N° 28090.

El cierre de minas incluye todas las tecnologías que se requieren para alcanzar la seguridad física y la protección ambiental de bocaminas y chimeneas a corto y largo plazo en los alrededores de la instalación minera, y está destinado a adoptar las medidas necesarias antes, durante y después del cierre de operaciones, con la finalidad de eliminar, mitigar y controlar los efectos adversos al área utilizada o perturbada por la actividad minera, para que esta alcance características de ecosistema compatible con un ambiente saludable, adecuado para el desarrollo biológico y la preservación paisajista.

El presente estudio tiene la finalidad de cumplir con el estado y contribuir a la mitigación de los pasivos ambientales, en el cuál se plantea el presente trabajo de investigación, **“CIERRE DE BOCAMINAS Y CHIMENEAS DE LA ZONA DE SAN RAFAEL - PUNO”**.



## 1.2. ANTECEDENTES

Minsur S.A. (MINSUR) tiene la finalidad del cierre progresivo de la Mina San Rafael, compuesto por bocaminas y chimeneas, de manera que el potencial impacto que se vienen generando (drenaje ácido, contaminación de cuerpo de agua superficial y subterráneos, problemas de erosión, estabilidad física, impacto visual y paisajístico) sean controlados y eliminados en todas las áreas donde se encuentra emplazada la bocamina y chimenea, siendo rehabilitada y reintegrada al entorno natural del lugar.

En el año 2006, elaboró el plan de cierre de minas san Rafael pasivo ambientales de la mina San Rafael a nivel de factibilidad, el mismo que fue aprobado por el Ministerio de Energía y Minas (MEM) mediante Resolución Directoral R.D. N° 322-2008-MEM/DGAAM del 31 de diciembre de 2008.

Para la elaboración del estudio y definición del diseño de ingeniería en detalle para el cierre definitivo de las bocaminas y chimeneas, AMEC revisó el plan de cierre a nivel de factibilidad aprobado por el MEM, evaluar los resultados de ensayos de laboratorio tanto geotécnicos como químicos incluidos en dicho plan de cierre, además de la revisión de los siguientes informes técnicos:

Plan de Cierre de Minas de la Unidad Minera Acumulación Quenamari - San Rafael (Cesel, 2006). Ingeniería de Detalles del Cierre de Pasivos Ambientales.

El presente informe de cierre definitivo ha sido elaborado según lo que se establece en el Reglamento para el Cierre de Minas aprobado mediante D.S. N° 033-2005-EM, su modificación mediante D.S. N° 045-2006-EM y las recomendaciones de la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (DGAAM) contenidas en la Guía para Elaboración de Planes de

Cierre de Mina aprobada por R.D. N° 130-2006-AMM con fecha 24 de abril de 2006.

### 1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

1. ¿Cuáles son las bocaminas y chimeneas identificadas como pasivos ambientales en la zona de San Rafael?
2. ¿Cuál es el diseño de tapón que se utilizara para mitigar las bocaminas y chimeneas de los pasivos ambientales en la zona San Rafael?

### 1.4. JUSTIFICACION.

El plan de cierre de minas es un instrumento de gestión ambiental conformado por acciones técnicas y legales efectuadas por los titulares de actividades mineras. Está destinado a adoptar las medidas necesarias antes, durante y después del cierre de operaciones, con la finalidad de eliminar, mitigar y controlar los efectos adversos al área utilizada o perturbada por la actividad minera, para que esta alcance características de ecosistema compatible con un ambiente saludable, adecuado para el desarrollo biológico y la preservación paisajista.

En este sentido, el plan de cierre de minas deberá describir las medidas de rehabilitación, su costo, la oportunidad y los métodos de control y verificación para las etapas de operación, cierre final y post cierre. Asimismo, deberá indicar el monto y plan de constitución de garantías ambientales exigibles.

El titular de la actividad minera que no cuente con el plan de cierre de minas aprobado, está impedido de iniciar el desarrollo de operaciones mineras.

## 1.5. HIPOTESIS.

### 1.5.1. HIPOTESIS GENERAL.

Es posible realizar el cierre de bocaminas y chimeneas de la zona San Rafael, para mitigar impactos ambientales.

### 1.5.2. HIPOTESIS ESPECÍFICA.

- Es posible determinar un tapón con las dimensiones adecuadas a las bocaminas y chimeneas de la zona San Rafael.
- Es posible diseñar el tipo de drenaje más eficiente en las bocaminas y chimeneas de la zona San Rafael.

## 1.6. OBJETIVOS.

### 1.6.1. OBJETIVO GENERAL.

Determinar el cierre de bocaminas y chimeneas de la zona San Rafael, para mitigar impactos ambientales.

### 1.6.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Determinar el y diseñar el tapón con las dimensiones adecuadas a las bocaminas y chimeneas de la zona San Rafael.

- Diseñar el tipo de drenaje más eficiente en las bocaminas y chimeneas de la zona San Rafael.

## 1.7. METODOLOGIA.

El trabajo de investigación se desarrollara de acuerdo al siguiente procedimiento metodológico:

1.7.1. Recopilación y revisión de información bibliográfica de la zona.

1.7.2. Trabajo de campo.

- a. Verificación de las dimensiones de las bocaminas y chimeneas y su estado actual de la roca de cada una de ellas.
- b. Aforo de caudales de las bocaminas
- c. Mapeo de las discontinuidades de las bocaminas y chimeneas.

1.7.3. Trabajo de gabinete:

Simulación de diferentes tipos de tapones.

1.7.4. Redacción del documento final.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEORICO

#### 2.1. MARCO TEORICO CONCEPTUAL

##### **Plan de Cierre de Minas**

Es un instrumento de gestión ambiental conformado por acciones técnicas y legales, que deben ser efectuadas por el titular de actividad minera, a fin de rehabilitar las áreas utilizadas o perturbadas por la actividad minera, para que éstas alcancen características de ecosistema compatible con un ambiente saludable y adecuado para el desarrollo de la vida y la conservación del paisaje.

La rehabilitación se llevará a cabo mediante la ejecución de medidas que sea necesario realizar antes, durante y después del cese de operaciones, para asegurar el cumplimiento de los objetivos de cierre. (Decreto supremo N° 033-2005-EM)

##### **Estabilidad física**

Comportamiento estable en el corto, mediano y largo plazo de los componentes o residuos mineros frente a factores exógenos y endógenos, que evita el desplazamiento de materiales, con el propósito de no generar riesgos de accidentes o contingencias para el ambiente y para la integridad física de personas y poblaciones y de las actividades que éstas desarrollan. (Decreto supremo N° 033-2005-EM).

### **Estabilidad química**

Comportamiento estable en el corto, mediano y largo plazo de los componentes o residuos mineros que, en su interacción con los factores ambientales, no genera emisiones o efluentes, cuyo efecto implique el incumplimiento de los estándares de calidad ambiental; i.e. eviten o controlen los riesgos de contaminación del agua, aire o suelos; efectos negativos sobre la fauna y flora, los ecosistemas circundantes o sobre la salud y seguridad de las personas. (Decreto supremo N° 033-2005-EM).

### **Instalaciones mineras**

Para efectos de la aplicación del presente Reglamento, se consideran como tales a todas aquellas estructuras e infraestructuras que se requieran para el desarrollo de las actividades mineras señaladas en el numeral VI del Título Preliminar del Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería, tales como labores mineras, depósitos de desmontes, instalaciones de beneficio que tengan como objeto la preparación mecánica, separación, metalurgia o refinación de los recursos minerales, incluyendo plantas concentradoras, las plantas de chancado y molienda, depósitos de relaves, fundiciones, refinerías, depósitos de residuos de fundiciones y o refinerías, plantas de tratamiento de residuos, pilas de lixiviación; así como las demás de apoyo necesarias, tales como, maestranzas, casas de fuerza, talleres, polvorines, depósitos de insumos químicos, áreas de embarque y despacho, depósitos de concentrados, campamentos, instalaciones sanitarias, caminos, entre otras. (Decreto supremo N° 033-2005-EM).

### **Concreto y Acero**

Se puede especificar las características durante el diseño y las guías para los valores a ser usados pueden encontrarse en manuales estándar de concreto y de acero. La vida normal prevista de una estructura es de 50 años.

El concreto y el acero usados en dispositivos de salida, estructuras de vertederos, conductos de desviación y alcantarillas podrían tener que usarse durante un largo tiempo. En este caso debería tomarse en consideración la influencia de sustancias nocivas sobre estos materiales así como los efectos a largo plazo del intemperismo, como los ciclos de congelamiento y descongelamiento, y mojado y secado. Podría requerirse del mantenimiento y/o reemplazo periódico. Deben preferirse los conductos de derivación y las alcantarillas excavadas en roca dura y permanente a las estructuras de concreto y acero tanto como sea posible. (Guía Ambiental MEM)

### **Drenaje Acido**

El drenaje ácido es un drenaje de bajo pH que se origina de la oxidación y la lixiviación de metales de rocas sulfurosas cuando son expuestas al oxígeno y al agua. La neutralización del ácido y las complejas reacciones de precipitación que se producen a lo largo del curso del flujo del agua en el drenaje pueden alterar aún más la calidad del agua del drenaje aguas arriba del medio ambiente receptor. (Guía Ambiental MEM).

### **Chimenea**

Abertura vertical o inclinada construida por el sistema convencional y/o por el mecanizado. (DECRETO SUPREMO N° 055-2010-EM)

### **Bocamina**

Es el espacio físico por donde se hace el ingreso a una mina subterránea. Se puede decir que es el límite entre el espacio exterior y el espacio interior donde se realizan las actividades mineras de explotación de minerales. Sus características están en función al tamaño (ancho x alto) que le dan facilidades para los accesos de los trabajadores, los equipos de transporte para la extracción del mineral y/o los camiones.

(<http://www.fonamperu.org/general/pasivos/pasivos.php>)

**Abiótico.**

Sin vida ni derivado de seres vivos. Componente sin vida del ecosistema.  
Lugar en que la vida es imposible.

**Acidez.**

- Calidad de ácido.
- Sabor agraz de boca, producido por exceso de ácido en el estómago.
- Exceso de iones de hidrógeno en una disolución acuosa, en relación con los que existen en el agua pura.
- Cantidad de ácido libre en los aceites, vinos, resinas, etc.

**Área natural.**

Lugar físico o espacio geográfico donde se conservan elementos característicos y/o especies autóctonas del mismo.

**Área rural.**

El espacio rural es el territorio no urbano de la superficie terrestre o parte de un municipio que no está clasificada como Área.

**Biodiversidad.**

Biodiversidad o diversidad biológica es, según el Convenio Internacional sobre la Diversidad Biológica, el término por el que se hace referencia a la amplia variedad de seres vivos sobre la Tierra y los patrones naturales que la conforman, resultado de miles de millones de años de evolución según procesos naturales y también de la influencia creciente de las actividades del ser humano.



### **Límites máximos permisibles.**

El Límite Máximo Permissible (LMP) es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por la respectiva autoridad competente.

### **Conciencia ambiental**

Sistema de ideas, sentimientos y estados de ánimo relacionados con el medio ambiente y sus problemas locales y universales. Convicción de una persona, organización, grupo o una sociedad entera, de que el ambiente debe protegerse y usarse racionalmente en beneficio del presente y el futuro de la humanidad.

### **Contaminación ambiental.**

Es la presencia de sustancias nocivas y molestas en nuestros recursos naturales como el aire, el agua, el suelo, colocadas allí por la actividad humana en tal calidad y cantidad que pueden interferir la salud y el bienestar de las personas.

### **Contaminante natural.**

Se refiere a aquel agente ambiental que, por su presencia natural en el medio en concentraciones peligrosas, se constituye en un factor nocivo para los seres vivos.

**Control ambiental.**

Inspección, vigilancia y aplicación de las medidas necesarias para disminuir o evitar la emisión de contaminantes provenientes de procesos creados por el hombre al medio ambiente, ya sea al agua, aire o suelo, y para abatir los riesgos a la salud humana.

**Diagnóstico ambiental.**

El Diagnóstico Ambiental está constituido por un conjunto de estudios, análisis y propuestas de actuación y seguimiento que abarcan el estado ambiental en todo el ámbito territorial local. Para que el Diagnóstico Ambiental no se reduzca a un mero inventario de datos sin valor operativo, se entiende que el proceso debe incluir una propuesta realista de acciones de mejora que resuelva los problemas diagnosticados y un sistema de parámetros que permitan su medición, control y seguimiento. La determinación clara y el liderazgo del proceso por parte de los representantes políticos, constituye un elemento esencial en su desarrollo.

**Deterioro ambiental.**

Daño progresivo, en mayor o menor grado de uno o varios de los componentes del medio ambiente (por ejemplo, el aire, el suelo, el agua, etc.), Causado principalmente por la acción de la mano del hombre, situación la cual afecta en forma negativa a los organismos vivientes.

**Desechos tóxicos.**

También denominados desechos peligrosos. Son materiales y sustancias químicas que poseen propiedades corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas e inflamables que los hacen peligrosos para el ambiente y la salud de la población.

**Efecto ambiental.**

Es cualquier acción transformadora (o cambio) ocasionada directa o indirectamente por las actividades, productos y servicios de una organización en el Medio Ambiente, sea perjudicial o beneficiosa (ISO/WD 14.050 Gestión Medioambiental. Terminología).

**Equilibrio ecológico.**

Es el estado de balance natural establecido en un ecosistema por las relaciones interactuantes entre los miembros de la comunidad y su hábitat, plenamente desarrollado y en el cual va ocurriendo lentamente la evolución, produciéndose una interacción entre estos factores. La relación entre los individuos y su medio ambiente determinan la existencia de un equilibrio ecológico indispensable para la vida de todas las especies, tanto animales como vegetales.

**Estudio de impacto ambiental.**

Se llama Estudio de Impacto Ambiental (EIA) al procedimiento administrativo que sirve para identificar, prevenir e interpretar los impactos ambientales que producirá un proyecto en su entorno en caso de ser ejecutado, todo ello con el fin de que la administración competente pueda aceptarlo. Conjunto de actividades técnicas y científicas destinadas a la identificación, predicción y control de los impactos ambientales de un proyecto y sus alternativas presentado en forma de informe técnico y realizado según los criterios establecidos por las normas vigentes.

**Evaluación ambiental.**

El propósito de la evaluación ambiental es asegurar, al planificador, que las opciones de desarrollo bajo consideración sean ambientalmente adecuadas y sustentables, y que toda consecuencia ambiental sea reconocida pronto en el ciclo del proyecto y tomada en cuenta para el

diseño del mismo. Es de vital importancia que el planificador tenga en cuenta el conjunto de elementos del sistema ambiental, que le permitan un análisis holístico de la situación a evaluar, tomando en cuenta las potencialidades y oportunidades con que cuenta.

### **Geomecánica**

La Geomecánica es el área que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la Tierra. Se investigan el suelo y las rocas por debajo de la superficie para determinar sus propiedades y diseñar las cimentaciones.

### **TIPOS DE FALLAS**

#### **a) Falla tipo planar**

Las fallas planares, consisten en movimientos de bloques tanto suelo o roca a lo largo de una superficie plana o falla planar bien definida, estos derrumbes pueden ocurrir lentamente como rápidamente. También se puede generar una falla tipo cuña a lo largo de la intersección de dos planos consistente de uno o varios bloques. (Suarez 1988)

#### **b) Falla tipo cuña**

En un macizo, existen dos familias de diaclasas asociadas a esfuerzos cuyas intersecciones generan cuñas, el factor de seguridad a este tipo de fallas depende del buzamiento, resistencia de los planos de discontinuidad y geometría del bloque deslizante. Según Suarez en 1988, las condiciones estructurales que deben cumplir son las siguientes:

- La dirección de la línea de intersección debe ser cercana al buzamiento de la superficie del talud.
- El buzamiento debe ser menor que la superficie del talud.
- El buzamiento debe ser mayor que el ángulo de fricción, en promedio de dos superficies.

### c) Falla tipo volteo

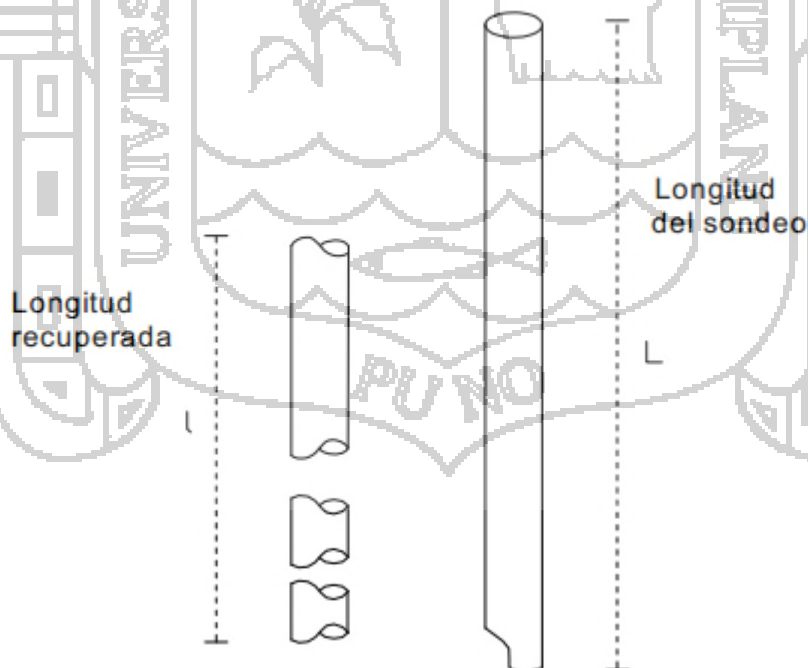
Las fallas por volteo, ocurren en masas de roca que están subdivididas en series de columnas las cuales tienen gran buzamiento y rumbo casi paralelo a la superficie del talud.

Este tipo de falla está conformada por columnas de roca fracturada y alrededor de esta se crea un punto cerca a la base de la misma columna la cual genera la falla.

### ÍNDICE DE CALIDAD DE ROCA (RQD)

El índice de la calidad de roca (Rock Quality Index), el cual se identifica por RQD, se define como el porcentaje representado por la sumatoria de longitudes de tramos de testigos de perforación diamantina, los cuales se recuperan en longitudes enteras  $\geq$  a 100 mm, dividida entre la longitud total del sondeo.

FIGURA N° 2.1 Índice de calidad de roca



Fuente: Percy Gómez S.

$$RQD(\%) = 100x \frac{\text{Longitud recuperada mayores de 100 mm}}{\text{Longitud del sondeo}}$$

Se acepta normalmente que el RQD se establece en núcleos de cuando menos de 50 mm de diámetro, recuperados con una perforadora diamantina de doble tubo. Deere propuso la siguiente relación entre el valor numérico RQD y la calidad de la roca:

**TABLA N° 2.1 Valor numérico del RQD**

<i>Índice de Calidad R.Q.D. (%)</i>	<i>Calidad</i>
0 - 25	Muy mala
25 - 50	Mala
50 - 75	Regular
75 - 90	Buena
90 - 100	Excelente.

Fuente: Excavaciones subterráneas en Roca E.Hoek/E.T. Brown

Cuando no se dispone de núcleos de perforación se podrá estimar el RQD por la calidad de fisuras contenidas en la unidad de volumen, y la cantidad de juntas por metro cúbico, en cada sistema de juntas se suma. Una simple relación podrá usarse para convertir esta cantidad en RQD para una roca sin arcilla, usando este parámetro:

$$RQD = 115 - 3.3 J_v$$

$$RQD = 100 \text{ para } J_v < 4.5$$

Donde  $J_v$ : cantidad total de juntas o fisuras por  $m^3$

### CLASIFICACIÓN RMR

El parámetro que define la clasificación es el denominado índice RMR (Rock Mass Rating), que indica la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de los siguientes parámetros:

1. Resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa.
2. RQD, grado de fracturación del macizo rocoso.
3. Espaciado de las discontinuidades.

4. Condiciones de las discontinuidades, el cual consiste en considerar los siguientes parámetros:

- Abertura de las caras de la discontinuidad
- Continuidad o persistencia de la discontinuidad
- Rugosidad
- Alteración de la discontinuidad
- Relleno de las discontinuidades

5. Presencia del agua, en un macizo rocoso, el agua tiene gran influencia sobre su comportamiento, la descripción utilizada para este criterio con: completamente seco, húmedo, agua a presión moderada y agua a presión fuerte.

**TABLA N° 2.2 Clasificación Geomecánica de Bieniawski - RMR**

Parámetro		Rango de valores							
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo carga puntual	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa			
		Compresión simple	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
		valor	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%		
	valor		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	6-20 cm	< 6 cm		
	valor		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m		
		Valor	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Valor	6	4	2	2	0		
Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta				
valor	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las juntas	Relación Pagua / Pprinc	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5		
		Condiciones Generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo		
	valor	15	10	7	4	0			

Fuente: Excavaciones subterráneas en Roca E.Hoek/E.T. Brown

## CLASIFICACIÓN Q

En esta clasificación se catalogan los macizos rocosos según el denominado índice de calidad Q (Barton et al. 1974):

Dónde:

RQD: Rock Quality Designation

Jn: Número de familias de juntas

Jr: Rugosidad de las juntas

Ja: Meteorización de las juntas

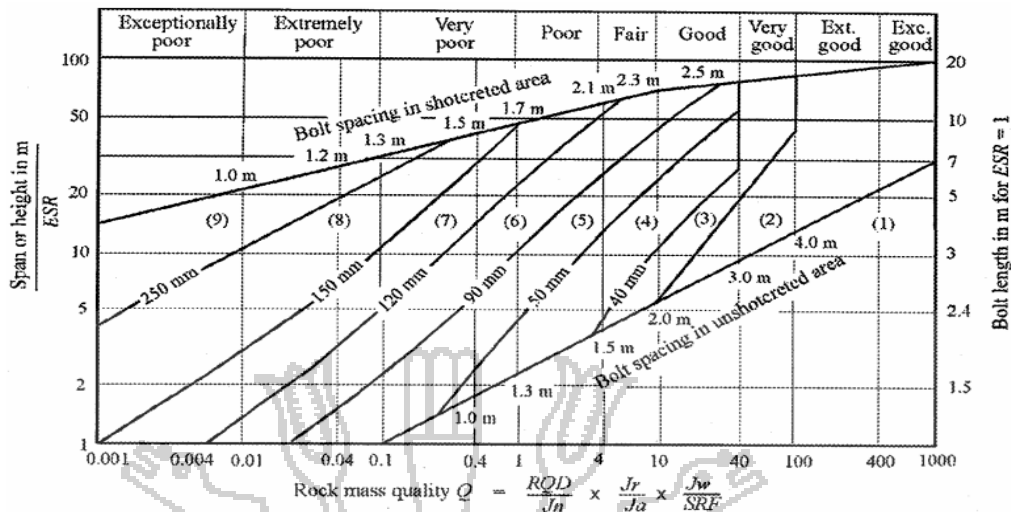
Jw: Agua en las juntas

SRF: Stress Reduction Factor

En función al tipo de roca y dimensión del túnel, Barton, presenta un método “empírico” para estimar los soportes en un túnel que varía desde anclajes ocasionales, hormigón proyectado con y sin malla metálica hasta hormigón moldeado con acero de refuerzo, para este fin utilizamos el siguiente ábaco:

**FIGURA N° 2.2** Abaco de estimación de categorías según Soporte Sistema Q





**REINFORCEMENT CATEGORIES**

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1) Unsupported</li> <li>2) Spot bolting</li> <li>3) Systematic bolting</li> <li>4) Systematic bolting with 40-100 mm unreinforced shotcrete</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>5) Fibre reinforced shotcrete, 50 - 90 mm, and bolting</li> <li>6) Fibre reinforced shotcrete, 90 - 120 mm, and bolting</li> <li>7) Fibre reinforced shotcrete, 120 - 150 mm, and bolting</li> <li>8) Fibre reinforced shotcrete, &gt; 150 mm, with reinforced ribs of shotcrete and bolting</li> <li>9) Cast concrete lining</li> </ul> |
|---|---|

Fuente: Excavaciones subterráneas en Roca E.Hoek/E.T. Brown

**FIGURA N° 2.3 Estimación de los Parámetros Q de Barton**

<b>J<sub>n</sub> número de familias</b>	<b>valor</b>
Roca masiva	0.5 - 1
Una familia de juntas	2
Id. con otras juntas ocasionales	3
Dos familias de juntas	4
Id. con otras juntas ocasionales	6
Tres familias de juntas	9
Id. con otras juntas ocasionales	12
Cuatro o más familias, roca muy fracturada	15
Roca triturada	20
<b>J<sub>r</sub> coeficiente de rugosidad de la junta</b>	<b>valor</b>
Juntas (contacto entre las dos caras)	
Discontinuas	4
Onduladas, rugosas	3
Onduladas, lisas	2
Onduladas, perfectamente lisas	1.5
Planas, rugosas o irregulares	1.5
Planas, lisas	1
Planas y perfectamente lisas	0.5
Juntas rellenas (relleno impide contacto entre las dos caras)	
material arcilloso	1
Material arenoso, de grava o triturado	1

<b>J<sub>a</sub> coeficiente de alteración de la junta</b>	<b>valor</b>
Juntas (sin minerales de relleno intermedios)	
Juntas de paredes sanas	0.75 – 1
Ligera alteración	2
Alteraciones arcillosas	4
Juntas (minerales de relleno en pequeño espesor)	
Con partículas arenosas	4
Con minerales arcillosos no blandos	6
Con minerales arcillosos blandos	8
Con minerales arcillosos expansivos	8 – 12
Juntas (minerales de relleno en gran espesor)	
Con roca triturada/desintegrada y arcilla	6 – 12
Con zonas de arcilla limosa o arenosa	5
Con zonas de arcillosos (espesor grueso)	10 - 20

<b>J<sub>w</sub> coeficiente reductor por la presencia de agua</b>	<b>valor</b>
Excavaciones secas o con <5 l/min localmente	1
Afluencia media con lavado de algunas juntas	0.66
Afluencia importante por juntas limpias	0.5
Id. Con lavado de juntas	0.33
Afluencia excepcional inicial, decreciente con el tiempo	0.2 – 0.1
Id. mantenida	0.1 – 0.05

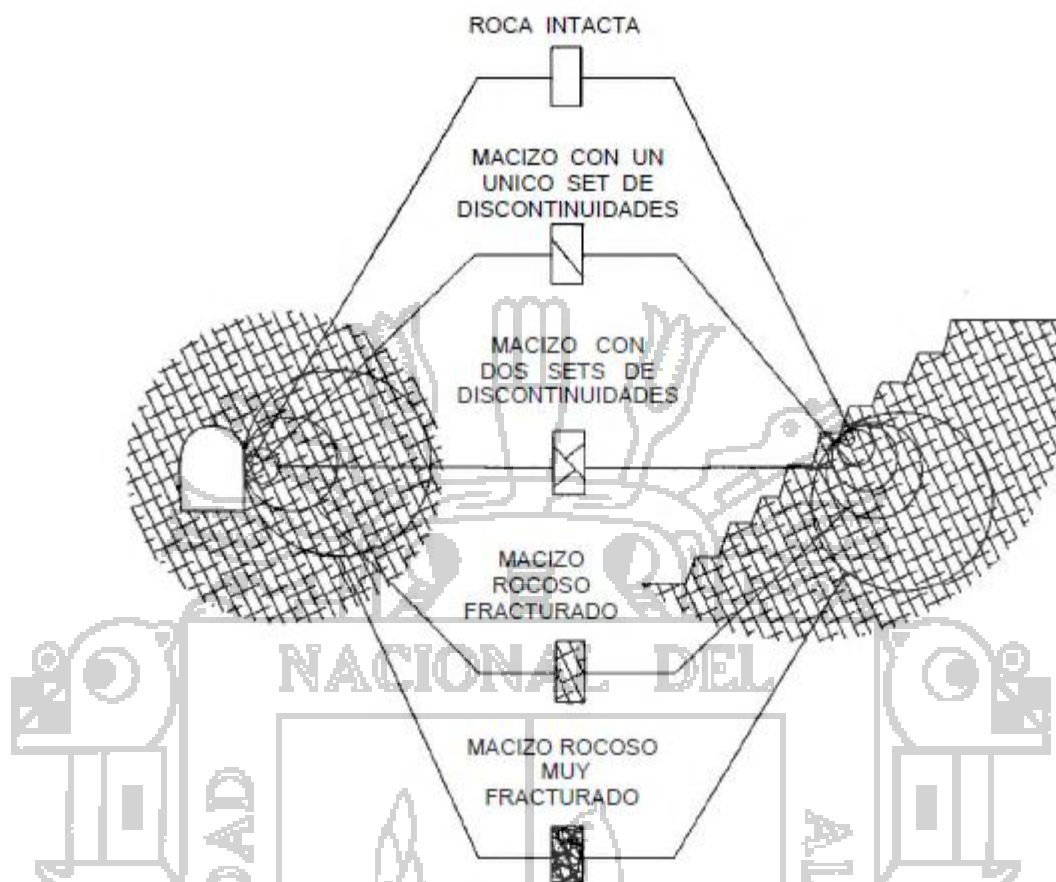
<b>SRF</b>	<b>Valor</b>
<b>Zonas débiles intersectan a la excavación:</b>	
Multitud de zonas débiles o milonitos	10
Zonas débiles aisladas, con arcilla o roca descompuesta (cobertura ≤ 50 m)	5
Id. con cobertura > 50 m	2.5
<b>Abundantes zonas débiles en roca competente</b>	7.5
Zonas débiles aisladas en roca competente (cobertura ≤ 50 m)	5
Id. con cobertura > 50 m	2.5
<b>Roca competente (problemas tensionales en las rocas)</b>	
Pequeña cobertura	2.5
Cobertura media	1
Gran cobertura	0.5 – 2
<b>Rocas deformables (flujo plástico de roca)</b>	
Con bajas presiones	5 – 10
Con altas presiones	10 – 20
<b>Rocas expansivas</b>	
Con presión de hinchamiento moderada	5 – 10
Con presión de hinchamiento alta	10 – 15

Fuente: Excavaciones subterráneas en Roca E.Hoek/E.T. Brown

### INDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA (GSI)

La resistencia de un macizo rocoso fracturado depende de las propiedades de los trozos o bloques de la roca intacta, también de la libertad de estos para desliza y girar bajo distintas condiciones de esfuerzo. Esta libertad está controlada por el perfil geométrico de los trazos o bloques de roca intacta, así también, por la condición de las superficies que separan dichos trozos o bloques. Los trozos de roca angulosos con caras definidas por superficies lisas y abruptas producen un macizo rocoso mucho más competente, que uno el cual contenga bloques completamente redondeados por material intemperizado y/o alterado.

FIGURA N° 2.4 Diagrama transmisión de roca intacta a un macizo rocoso



Fuente: Excavaciones subterráneas en Roca E.Hoek/E.T. Brown

Diagrama idealizado que demuestra la transición desde una condición de roca intacta a la de un macizo rocoso muy fracturado, en la medida que aumenta el tamaño de la muestra considerada.

El índice geológico de resistencia (GSI), propuesto por Hoek, Kaiser y Bawden, proporciona un sistema para estimar la disminución de la resistencia que presentaría un macizo rocoso con diferentes condiciones geológicas. Este sistema se presenta en las tablas 2.3 y 2.4. Una vez que se ha estimado el Índice Geológico de Resistencia, se pueden calcular los parámetros que definen las características de resistencia del macizo rocoso de la siguiente forma:

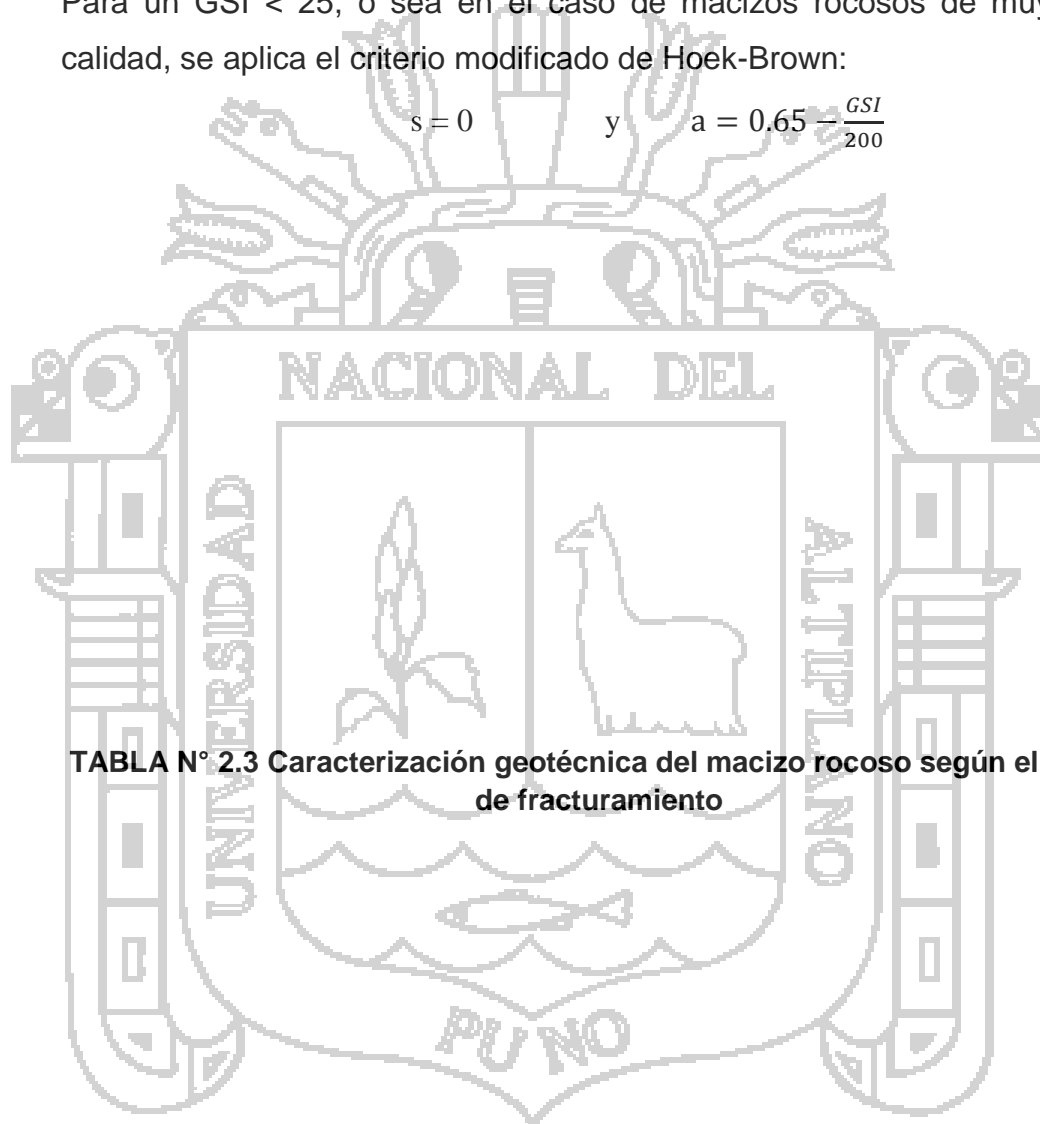
$$m_b = m_i \times \exp\left(\frac{GSI - 100}{28}\right)$$

Para un  $GSI \geq 25$ , o sea en el caso de un macizo rocoso de una calidad no peor que mala, se aplica el criterio original de Hoek-Brown de la siguiente manera:

$$s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9}\right) \quad \text{y} \quad a = 0,5$$

Para un  $GSI < 25$ , o sea en el caso de macizos rocosos de muy mala calidad, se aplica el criterio modificado de Hoek-Brown:

$$s = 0 \quad \text{y} \quad a = 0,65 - \frac{GSI}{200}$$



**TABLA N° 2.3 Caracterización geotécnica del macizo rocoso según el grado de fracturamiento**

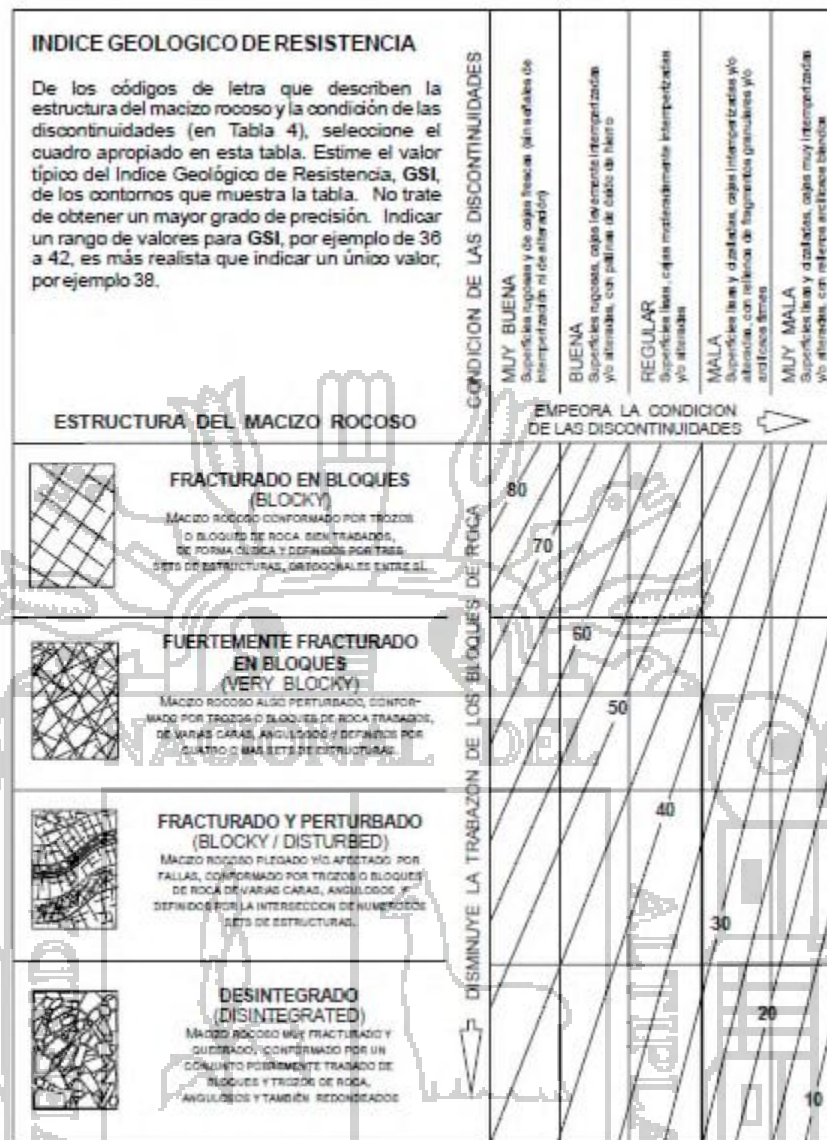
CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO PARA EVALUAR SU RESISTENCIA		CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES				
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		EMPEORA LA CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES				
<p>Basándose en la apariencia del afloramiento de roca, escoja la categoría que, según su criterio, mejor describe la condición "típica" del macizo rocoso in situ en condición no perturbada. Note que superficies expuestas de roca que han sido generadas por tronadura pueden dar una impresión errónea de la calidad de la roca subyacente. Puede ser necesario considerar algún ajuste por tronadura, y un examen de testigos de sondajes y/o superficies definidas con precorte o tronaduras amortiguadas puede ayudar en la definición de este ajuste. Es también importante entender que el criterio de Hoek-Brown solo debe aplicarse a macizos rocosos en que el tamaño del bloque "típico" es pequeño con respecto al tamaño de la excavación considerada.</p>	<p><b>FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY)</b>                      Macizo rocoso conformado por trozos o bloques de roca bien trabados, de forma cúbica y definidos por tres sets de estructuras, ocasionales entre sí.</p>	FB/MB	FB/B	FB/R	FB/M	FB/MM
	<p><b>FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (VERY BLOCKY)</b>                      Macizo rocoso algo perturbado, conformado por trozos o bloques de roca trabados, de varias caras, angulosos y definidos por cuatro o más sets de estructuras.</p>	FF/MB	FF/B	FF/R	FF/M	FF/MM
	<p><b>FRACTURADO Y PERTURBADO (BLOCKY / DISTURBED)</b>                      Macizo rocoso plegado y/o afectado por fallas, conformado por trozos o bloques de roca de varias caras, angulosos y definidos por la intersección de numerosas sets de estructuras.</p>	FP/MB	FP/B	FP/R	FP/M	FP/MM
	<p><b>DESINTEGRADO (DISINTEGRATED)</b>                      Macizo rocoso muy fracturado y quebrado, conformado por un conjunto fuertemente trabado de bloques y trozos de roca, angulosos y también redondeados.</p>	D/MB	D/B	D/R	D/M	D/MM
	<p>EMPEORA LA TRABAZÓN DE LOS BLOQUES DE ROCA</p>					
	<p>DISMINUYE LA TRABAZÓN DE LOS BLOQUES DE ROCA</p>					

Fuente: Excavaciones subterráneas en Roca E.Hoek/E.T. Brown

La caracterización geotécnica del macizo rocoso según el grado de fracturamiento de los bloques o trozos de roca y la condición de las discontinuidades

TABLA N° 2.4 Estimación del Índice Geológico de Resistencia





Fuente: Excavaciones subterráneas en Roca E.Hoek/E.T. Brown

Estimación del Índice Geológico de Resistencia, **GSI**, en base a una descripción Geológica del Macizo Rocosos

**2.2. MARCO TEORICO ESPECÍFICO**

### 2.2.1. Geología regional

La mina San Rafael de MINSUR se encuentra en las estribaciones superiores de la Cordillera Oriental, denominada también Cordillera del Quenamari (4 500 a 5 250 m.s.n.m.)

La principal unidad geomorfológica en la cual se halla el área de la mina, está constituida por la Superficie Puna.

La Superficie Puna en el área de la mina, está conformada por las sub-unidades geomorfológicas, constituidas por cumbres cordilleranas, valles y circos glaciares, quebradas, lomadas, laderas y cubetas.

Las cumbres cordilleranas, corresponden a las elevaciones topográficas más altas y resaltantes en las cuales se halla la mina y localmente delimitan la cabecera de las sub cuencas, a partir de la divisoria de estos cerros se originan varias y pequeñas vertientes secundarias. En esta sub-unidad se hallan algunos cerros con pequeñas áreas con glaciares (hielos), con huellas del retroceso y procesos de desglaciación.

Los valles son las depresiones más importantes en el área de la mina, por el fondo de estos accidentes topográficos drenan las aguas de los ríos principales, los valles más notorios son: Umbral, Chogñacota y Rosario.

Los circos glaciares son geoformas locales con peculiares formas de erosión glaciaria, que se encuentran distribuidos en la mayoría de las cabeceras de los valles y se caracterizan por presentar secciones transversales en forma de "U". Parte de estas geoformas contienen depósitos glaciares en forma de morrenas erosionadas.

Las quebradas son depresiones menores que tienen secciones transversales mixtas e irregulares por donde drenan las aguas de las

precipitaciones, algunos afloramientos y lagunas, con secciones transversales en forma de “V” y localmente en forma de “U”, gran parte de estas geoformas se han labrado o erosionado siguiendo las trazas de discontinuidades y fracturas importantes o persistentes.

Las lomadas en el área de la mina constituyen geoformas aisladas que delimitan ambos márgenes de los valles, con formas de contornos regulares en casi toda su extensión, se hallan cubiertas por los depósitos glaciares en forma de morrenas; esta sub-unidad se aprecia en ambos márgenes del valle glaciar Chogñacota y en forma localizada en el valle Umbral.

Las cubetas corresponden a las áreas donde se encuentran emplazadas las lagunas, algunas de estas cubetas se hallan en la cabecera de los valles y cerca de los circos glaciares, los diques de las lagunas están constituidos por rocas y depósitos morrénicos, las cubetas tienen formas predominantemente irregulares, las más resaltantes se encuentran en el sector de San Rafael.

Las unidades lito-estratigráficas están representadas por las rocas del Paleozoico que, de acuerdo a la geología local, se denomina formación Sandia, estas rocas están constituidas por rocas filitas, pizarras que afloran en algunos sectores con la intercalación de areniscas y cuarcitas.

Las rocas paleozoicas están afectadas por la intrusión de pequeños plutones y stocks, los cuales están conformados por rocas intrusivas de la serie monzogranitos, de grano medio que localmente gradan a granitos. La mayoría de las estructuras geológicas en el área de interés está constituida por fallas, estas discontinuidades determinan en parte el tipo y forma de emplazamiento de los minerales.

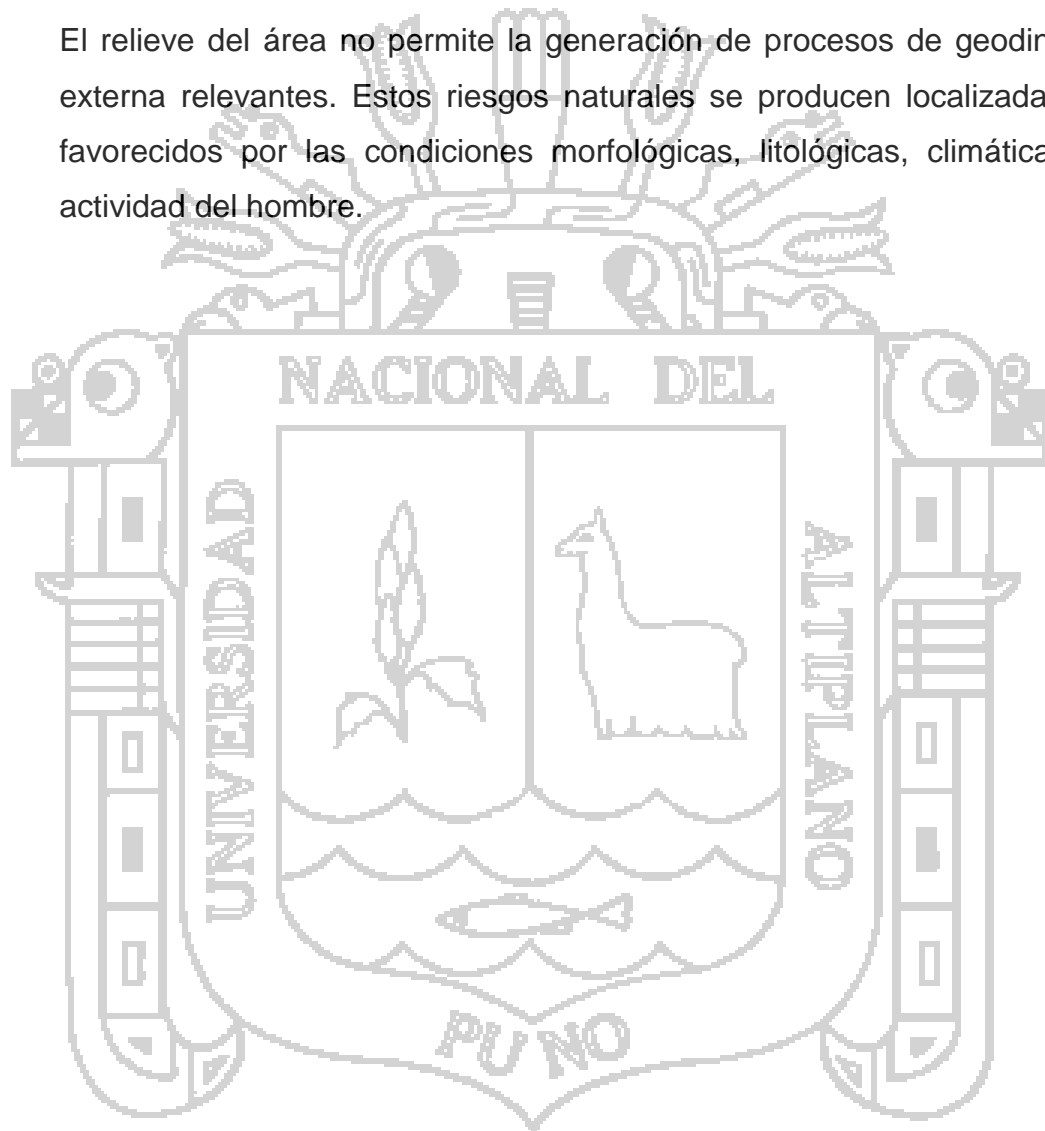
Las rocas paleozoicas e intrusivas se hallan cubiertas por los depósitos cuaternarios de diferente origen, edad y propagación, estos depósitos



están constituidos por depósitos glaciares, fluvio-glaciares, coluviales, tecnógenos y aluviales.

El área de la mina se halla poco deformada por la tectónica, las principales estructuras corresponden a fallas locales y la intrusión de un stock que han determinado el emplazamiento de los minerales.

El relieve del área no permite la generación de procesos de geodinámica externa relevantes. Estos riesgos naturales se producen localizadamente favorecidos por las condiciones morfológicas, litológicas, climáticas y a actividad del hombre.



## CAPITULO III

### 3. CARACTERIZACION DEL AREA DE INVESTIGACION

#### 3.1. ASPECTOS GENERALES

La mina San Rafael, propiedad de MINSUR S.A., está ubicada en el Departamento de Puno, en el nevado de Quenamari de la Cordillera de Carabaya, un segmento de la cordillera Oriental, a una altitud de 4,500 m.s.n.m.. Esta es la única mina de estaño en el Perú y la segunda en producción a nivel mundial, después de P.T. Tima, de Indonesia. San Rafael produce actualmente 2,900t/d con 4.16% Sn y 1'028,360 ton. al año y 60,294 ton. de concentrados de estaño con 62.42 % Sn, en una compleja planta de tratamiento que recupera el 90.33 % de Sn. En su planta concentradora de estaño.

La veta San Rafael y otras vetas fueron exploradas en los niveles superiores principalmente por Lampa Mining en 1950 y por Minsur SL, de la Casa Grace, hasta 1966. En 1977, Minsur S.A., adquirió la mina San Rafael. Desde entonces se intensificaron los estudios geológicos y las exploraciones y desarrollos en todo el nevado Quenamari, para encontrar estaño en el intrusivo.

Filitas y cuarcitas de la formación Sandía del Ordoviciano Superior han sido intruídas por dos stocks monzograníticos peraluminosos de 24 Ma. del Oligoceno Superior – Mioceno Inferior, los que tienden a unirse en profundidad en un solo cuerpo de 2 km. de ancho y 5 km. de largo. En los alrededores de la mina se encuentran rocas del Paleozoico Superior.

Las vetas del distrito minero de San Rafael tienen una mineralización hidrotermal; rellenan fracturas de 3 km. de longitud con rumbos NW-SE y buzamientos al NE, como las vetas San Rafael, Mariano, Vicente, Jorge, Quenamari y Nazareth de 0,50 m. a 2,00 m. de ancho, con rumbos NW-SE y buzamientos al SW, como las vetas Diagonal, Jorge y Herrería, con

anchos similares. Cambios de rumbo de la veta San Rafael han formado 7 cuerpos de mineral, prismoidales en el intrusivo, excepcionalmente ricos en estaño y de gran tonelaje.

La edad de la mineralización es de 22.6 Ma. Se distinguen 4 etapas de mineralización: 1) Vetas de cuarzo turmalina; 2) Casitería botroidal-cuarzoclorita; la principal 3) Chalcopirita-estaño aguja-cuarzo-clorita; y 4) Vetas de cuarzo calcitas. El cobre está en chalcopirita, es abundante en los niveles superiores y decrece en profundidad. El estaño como casiterita botroidal es abundante en los niveles inferiores; como casiterita en agujas o estaño fino está asociada con el cobre.

Intrusivos como el del prospecto Santo Domingo, cuya composición, edad radiométrica y temperaturas de las inclusiones fluidas de la mineralización son semejantes a la mina San Rafael, permiten asegurar que ésta mina no será la única mina de estaño en el Perú.

### 3.2. ANTECEDENTES

MINSUR S.A. (Mina San Rafael). la elaboración de la Ingeniería de Detalle para el Cierre Progresivo de los Pasivos Ambientales de la Mina San Rafael, compuesto por 35 bocaminas y 22 chimeneas, de manera que los potenciales impactos que se vienen generando (drenajes ácidos, contaminación de cuerpos de agua superficial y subterráneos, problemas de erosión, estabilidad física, impacto visual y paisajístico) sean controlados y eliminados en todas las áreas donde se encuentran emplazadas las bocaminas y chimeneas, siendo éstas rehabilitadas y reintegradas al entorno natural del lugar.

En el año 2006, Cesel Ingenieros S.A. (CESEL) elaboró el plan de cierre de los pasivos ambientales de la mina San Rafael (Cesel, 2006) a nivel de factibilidad, el mismo que fue aprobado por el Ministerio de Energía y Minas (MEM) mediante Resolución Directoral R.D. N° 322-2008-MEM/AAM del 31 de diciembre de 2008.

Para la elaboración del estudio y definición de los diseños de ingeniería en detalle para el cierre definitivo de las bocaminas y chimeneas, AMEC revisó el plan de cierre a nivel de factibilidad aprobado por el MEM, evaluar los resultados de ensayos de laboratorio tanto geotécnicos como químicos incluidos en dicho plan de cierre, además de la revisión de los siguientes informes técnicos:

- Plan de Cierre de Minas de la Unidad Minera Acumulación Quenamari – San Rafael (Cesel, 2006).
- Ingeniería de Detalles del Cierre de Pasivos Ambientales - Canchas de Desmonte - San Rafael (Amec, 2010).

El presente informe de cierre definitivo ha sido elaborado según lo que se establece en el Reglamento para el Cierre de Minas aprobado mediante D.S. N° 033-2005-EM, su modificación mediante D.S. N° 045-2006-EM y las recomendaciones de la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (DGAAM) contenidas en la Guía para Elaboración de Planes de Cierre de Mina aprobada por R.D. N° 130-2006-AMM con fecha 24 de abril de 2006.

### **3.3. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD**

#### **Ubicación**

En el nevado Quenamari se encuentran dos minas: San Rafael y Quenamari. La mina San Rafael está en el SW del nevado San Bartolome de Quenamari (5299 m.). Políticamente se ubica en el distrito de Antauta, provincia de Melgar, Dpto. de Puno en las coordenadas geográficas 70°19' longitud oeste y 14°14' latitud sur, o en las coordenadas U.T.M. 357730 E y 8426570 N de la hoja Macusani 29v. La mina Quenamari está al SE del nevado San Francisco de Quenamari (5997 m.); pertenece al distrito de Ajoyani, provincia de Carabaya Dpto. de Puno y es propiedad de Minera Carabaya S.A. En la actualidad está arrendada a MINSUR S.A.

### **Accesibilidad**

La mina es accesible directamente desde Lima por vía Aérea en un viaje de dos horas y desde Lima Juliaca durante una hora, luego por carretera en un viaje de 265 Km., o sea cuatro horas

### **Ubicación de las Bocaminas y Chimeneas**

Para el cierre de bocaminas y chimeneas, el Plan de Cierre de Minas de la Unidad Minera Acumulación Quenamari - San Rafael (PCM) contempla el cierre de 45 bocaminas y 33 chimeneas, de las cuales 35 bocaminas y 22 chimeneas son parte de la ingeniería de detalle para el cierre progresivo y están distribuidos en cinco zonas: San Germán, Umbral, Patrón, San Rafael y Quebrada Rosario.

El inventario de las bocaminas y chimeneas en el cual se indican la zona de trabajo, las coordenadas, las dimensiones de bocaminas y chimeneas, además de la presencia de agua subterránea en bocaminas y chimeneas, son detalladas en la Tabla 3.1, 3.2.

**TABLA N° 3.1 Ubicación de bocaminas**

Item	Zona	Bocamina	Norte	Este	Dimensiones	
			m	m	B m	H m
1	San Germán	BM-01	8,428,225.6	355,282.7	2.0	3.2
2		BM-02	8,428,306.5	355,249.5	2.6	2.4
3	Umbral	BM-03	8,429,361.4	356,046.6	2.0	2.7
4		BM-04	8,429,285.5	356,093.1	2.9	1.6
5		BM-07	8,428,981.9	356,888.3	2.1	2.1
6		BM-08	8,429,715.1	353,788.8	1.5	1.3
7		BM-09	8,428,916.3	356,293.6	2.0	1.8
8	Patrón	BM-10	8,428,207.7	356,490.2	1.8	1.8
9		BM-11A	8,428,352.8	355,503.0	2.2	2.4
10		BM-12	8,427,720.2	355,812.4	2.2	2.6
11		BM-13	8,427,732.8	356,795.4	2.7	2.8
12		BM-14	8,427,879.8	357,954.1	2.6	2.5
13		BM-15	8,427,548.5	357,284.4	2.3	2.3
14		BM-15A	8,427,541.1	357,283.6	2.6	1.5
15		BM-16	8,427,518.6	357,195.0	2.6	2.3
16		BM-19	8,427,406.4	356,790.1	2.0	2.5
17		BM-20	8,427,269.5	355,908.3	2.1	1.9
18	BM-21	8,427,209.9	357,271.7	2.4	2.4	
19	BM-22	8,427,469.3	357,379.7	2.9	2.2	
20	BM-22A	8,427,427.6	356,867.2	2.7	2.6	
21	BM-22B	8,427,418.3	356,858.6	2.3	2.1	
22	San Rafael	BM-23A	8,427,327.6	358,105.5	3.1	2.6
23		BM-24	8,427,218.2	356,818.5	2.5	2.1
24		BM-25	8,427,371.0	358,544.2	2.2	2.9
25		BM-26	8,427,025.0	357,127.3	2.8	1.9
26		BM-27	8,427,384.0	356,677.0	2.8	2.5
27		BM-31	8,427,174.8	356,807.7	5.5	2.2
28		BM-38	8,427,288.7	356,431.7	1.7	2.2
29		BM-39	8,427,080.1	356,875.4	3.3	3.8
30		BM-41	8,427,021.4	355,658.3	3.2	3.3
31		BM-41A	8,427,024.4	355,667.7	5.0	2.7
32	BM-41B	8,427,025.2	355,667.8	3.0	3.0	
33	BM-42	8,427,300.3	356,252.4	2.2	1.8	
34	BM-42A	8,427,301.3	356,267.1	5.3	2.7	
35	Rosario	BM-29	8,426,759.3	358,139.8	1.9	3.1

Fuente: pgs

**TABLA N° 3.2 Ubicación de chimeneas**

Item	Zona	Bocamina	Norte	Este	Dimensiones	
			m	m	A m	L m
1		CH-23	8,427,658.8	357,079.7	3.0	4.0
2		CH-24	8,427,640.5	357,103.7	2.0	3.0
3		CH-25	8,427,631.2	357,115.8	2.0	3.0
4		CH-26	8,427,611.3	357,132.7	3.5	3.5
5		CH-27	8,427,592.1	357,161.6	2.0	2.0
6		CH-28	8,427,590.7	357,165.5	1.5	1.5
7		CH-29	8,427,586.4	357,169.9	1.5	1.5
8		CH-30	8,427,583.9	357,175.8	2.0	2.0
9		CH-31	8,427,581.8	357,182.5	2.5	3.0
10		CH-32	8,427,574.7	357,203.3	2.0	3.5
11		CH-33	8,427,572.9	357,209.2	2.0	4.5
12		CH-35	8,427,567.3	357,262.2	1.5	1.5
13		CH-38	8,427,547.6	357,285.7	1.5	2.0
14		CH-38A	8,427,549.9	357,276.7	1.5	1.8
15		CH-38B	8,427,548.1	357,272.1	3.0	4.0
16	SANRAFAEL	CH-38C	8,427,552.6	357,265.9	2.0	4.0
17		CH-39	8,427,536.5	357,307.8	1.5	2.0
18		CH-40	8,427,526.0	357,275.0	3.5	3.5
19		CH-44	8,427,527.0	357,330.0	3.5	4.0
20		CH-44A	8,427,517.2	357,335.9	2.0	3.0
21		CH-44B	8,427,511.2	357,342.8	2.0	2.0
22		CH-44C	8,427,497.1	357,356.9	1.8	2.0
23		CH-46	8,427,462.0	357,392.0	2.2	2.8
24		CH-52	8,427,520.0	356,981.0	3.5	4.0
25		CH-52A	8,427,490.9	356,986.2	1.5	1.5
26		CH-54	8,427,415.0	357,057.0	Tapado	
27		CH-60	8,427,359.0	357,130.0	3.0	3.0
28		CH-61	8,427,308.0	357,200.0	Tapado	
29		CH-68	8,427,017.0	357,149.0	Tapado	
30		CH-69	8,427,098.0	357,362.0	Tapado	
31		CH-72	8,427,047.5	357,422.7	4.0	4.5

Fuente: pgs



### 3.4. TOPOGRAFIA Y FISIOGRAFIA

Geográficamente, la Unidad Minera de Acumulación Quenamari - San Rafael, se emplaza entre el flanco Suroccidental de la Cordillera Oriental hacia el Norte, y las estribaciones occidentales de la misma hacia el Sur, los cuales bordean y delimitan la prolongación más septentrional de la Meseta del Collao (Depresión de Antauta - Crucero). En este sector la Cordillera Oriental, cuyo eje actúa como divisoria de aguas de las cuencas hidrográficas del Titicaca al Sur y la del río Amazonas al Norte, está caracterizada por exhibir una topografía muy accidentada y agreste donde destaca el nevado de San Francisco de Quenamari, que alcanza una cota de 5 294 m.s.n.m.; en contraste al altiplano que es una zona relativamente menos accidentada, conformada por periplanicies disectadas por valles profundos, con cerros bajos; que conforman una superficie heterogénea aplanada a ondulada.

En el área de influencia del proyecto, se distingue dos rasgos topográficos saltantes: hacia el nevado Quenamari, abrupto, con cerros altos, de laderas pronunciadas y fuertes escarpas, que en su conjunto configuran un circo glaciar en cuyo fondo se ubica la laguna de Chogñacota. Aguas abajo, el relieve es ondulado, con laderas de moderada pendiente, conformando valles en forma de "U" característico de eventos glaciáricos. Estos se distinguen por su poca profundidad, con respecto a los cerros colindantes. La quebrada Chogñacota, en su nacimiento es amplia, estrechándose aguas abajo, exhibiendo ligeras sinuosidades producto de la erosión diferencial del cauce.

El área de influencia no presenta capacidad para el desarrollo de la agricultura y la silvicultura debido a que se presenta un ecosistema típico de altura donde la mayor parte del área se encuentra cubierta por pastos naturales, que sirven como alimento para la fauna existente en el área.



### 3.5. CLIMA Y METEREOLOGIA

#### Clima

Para los fines de identificación práctica de los diferentes climas existentes en el Perú y, tomando como base los criterios de clasificación climática de Köppen, ONERN identificó y caracterizó 9 tipos principales de climas, de los cuales la zona de estudio se halla comprendida dentro de este tipo climático, conocido como “Clima Tundra Pluvial”.

Según esta clasificación, la zona en estudio estaría considerada dentro de la zona de vida “Tundra pluvial – alpino subtropical (tp-AS)”, la cual ocupa la franja inmediata inferior del piso a nivel, entre los 4,300 y 5,000 metros de altitud y a lo largo de la cordillera de los Andes; caracterizándose por una bio-temperatura anual entre 2,5 y 3,2 °C, y el promedio de evapotranspiración potencial total por año, que varía entre la octava y la cuarta parte del promedio de la precipitación total por año; ubicándola en la provincia de humedad superhúmeda.

Las condiciones térmicas extremadamente frías eliminan toda posibilidad de cultivos agrícolas, aún los criofílicos, pero los sectores involucrados conforman el centro geográfico de los pastizales naturales alto andinos, donde se localiza la integridad de la población ganadera del país (más del 90%), representada por ovinos y camélidos sudamericanos, principalmente. Además, centralizan la mayor actividad minera del país.

#### Temperatura

La unidad de Producción Minera San Rafael, cuenta con un equipo meteorológico, con el que se obtiene las siguientes mediciones que son registradas cada media hora.

- Dirección del viento
- Velocidad del viento
- Temperatura ambiental

- Mediciones pluviales

A continuación se presenta la información meteorológica actualizada en promedios anuales:

Temperatura en verano	: 1.94
Promedio Verano	: 4.06°C
Máxima invierno	: 20.12°C
Promedio invierno	: 3.62°C
Precipitación mensual promedio estimada	: 67.6 mm.
Dirección del viento	: Norte - Sur
Velocidad de viento máxima	: 15 Km./h tarde
Altitud Promedio	: 4 500 msnm

La estación más cercana del SENAMHI se encuentra en la localidad de Macusani, Capital de la Provincia de Carabaya, localizada a 22 Km al NO en línea recta a partir de la Planta Concentradora, la cual es accesible por una carretera afirmada de 30 Km.

Existen estaciones meteorológicas ubicadas en áreas de la hoya hidrográfica del lago Titicaca similares al área del proyecto, las que nos permiten tener una buena idea del régimen de temperatura. De acuerdo a estudios existentes ("Plan Director Binacional de aprovechamiento de recursos del lago Titicaca – Estudios de Climatología", Rep. Perú y Bolivia, 1993), el gradiente de temperatura en la cuenca de río Carabaya, por encima de los 4 000 msnm es de  $-0.6^{\circ}$  por cada 100 metros.

Tomando como modelo la estación meteorológica de Macusani, ubicada a 4 250 msnm, se tendría los siguientes valores de temperatura en la cuenca alta del río Carabaya, a la altura de la Unidad Minera San Rafael (4 700 msnm).

**TABLA N° 3.3 Temperatura de la Cuenca Alta del Río Carabaya**

Temp	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Media	4,4	4,0	3,8	3,6	1,8	0,5	-0,2	0,9	2,2	2,3	4,0	4,3
Max. Abs	18,0	18,1	19,2	20,1	22,4	20,0	19,8	18,6	22,4	19,5	19,4	19,0
Min Abs	-8,0	-5,0	-10,0	-9,6	-12,0	-14,0	-28,0	-12,0	-15,0	-10,0	-11,0	-5,0

Fuente: Estación Meteorológica Macusani-SENAMHI

### Velocidad y Dirección del Viento

El viento, que no es otra cosa que el aire en movimiento, es un factor importante del ciclo hidrológico porque influye en el transporte del calor y la humedad y en el proceso de evaporación. El viento es susceptible a la influencia del relieve y de la vegetación, por lo que tiende a estandarizar su medida a algunos metros sobre el suelo. Del viento interesa su velocidad (se mide con anemómetros) su dirección (se mide con veletas). La dirección del viento es la dirección por donde sopla. La velocidad se expresa en m/s. A fin de obtener una idea la magnitud de la velocidad de los vientos, se reproduce la escala de Beaufort que consta de 13 grados:

En los riscos y en las cumbres, la velocidad del aire a 10 o más metros de la superficie es mayor que la velocidad del aire a la misma altura; esto se debe a la convergencia forzada del aire por las barreras orográficas. Debido a la diferencia de presiones existen variaciones diarias en la dirección del viento en áreas montañosas y durante la noche es al revés.

La dirección predominante de los vientos fue hacia el Sur Oeste con una intensidad promedio de 5,4 m/s.

### Precipitación Pluvial

El promedio mensual de precipitación durante el año varía por causas propias de las estaciones, existiendo un período relativamente lluvioso que generalmente es de Enero a Marzo y siendo un período con escasas

precipitaciones los meses de Julio a Septiembre. La variación media de la precipitación estacional es superior a 100 mm disminuyendo de Julio a Agosto.

A continuación se muestra el siguiente cuadro con datos de Precipitación Total, proporcionados por el SENAMHI de su estación meteorológica de Macusani - Puno.

**TABLA N° 3.4 Resumen Datos de Precipitación**

Promedio Anual	812 mm
Promedio Mensual	67,6 mm
Máximo Mensual	442 mm
Máxima Diaria	40 mm

Fuente: Estación Meteorológica Macusani-SENAMHI

### 3.6. GEOMORFOLOGIA

#### **Cumbres cordilleranas**

Constituyen las elevaciones topográficas más altas y resaltantes en las que se halla la mina y localmente delimitan la cabecera de las sub-cuencas, a partir de la divisoria de estos cerros se originan varias y pequeñas vertientes secundarias.

La cadena de cerros tiene diferentes elevaciones, orientaciones, así como formas; es discontinuada con formas predominantemente irregulares, las laderas de estos cerros presentan pendientes variables, desde moderadas a localmente abruptas.

La mayoría de los cerros en la divisoria de aguas han sido afectados por el modelado glaciar; en la actualidad parte de estas cumbres contienen pequeñas áreas con glaciares, como los glaciares San Francisco y San Bartolomé.

### **Valles y circos glaciares**

Constituyen geformas peculiares de erosión, los circos se encuentran en la cabecera de los valles y se caracterizan por presentar secciones transversales en forma de “U”, gran parte de sus laderas están constituidas por afloramientos de roca y en algunas laderas contienen restos de depósitos glaciares que en algunos casos aún conservan sus formas originales de morrenas, en el sector denominado como Patrón los circos glaciares se hallan escalonados con una cubeta donde se encuentra la laguna Patacocha, estas geformas también se pueden observar en las inmediaciones de las lagunas Chicacocha, Suytocochoa y Estancocochoa.

Los valles en las áreas adyacentes a la mina, son las geformas más resaltantes sus orígenes son producto del modelado glaciar y tectónico, en el área tienen diferentes orientaciones, los principales se denominan Umbral, Chogñacota y Rosario, cerca de la cabecera de la última existen lagunas de diferentes tamaños y formas. Las lagunas al Noreste de las labores mineras han sido represadas, incluyendo la laguna Chogñacota; estos valles drenan las aguas de las lagunas y afloramientos de agua que existen en el área peri-glaciar y las aguas de las precipitaciones líquidas y sólidas. Ver en el Plano CSL-050900-1-GE-02 y CSL-050900-1-GE-03.

### **Quebradas**

Constituyen numerosas depresiones por donde drenan las aguas de las precipitaciones, afloramientos y lagunas, con secciones transversales en forma de “V” y localmente en forma de “U”, gran parte de estas geformas fueron modeladas en roca, en las cabeceras de las áreas de Cognadota y Patrón. Se observa quebradas con causes escalonados y modelado glaciar; parte del alineamiento de las quebradas coincide con la traza de fallas y contactos litológicos.

### **Lomadas**

Las lomadas constituyen geoformas que delimitan ambos márgenes de los valles, con formas regulares en casi toda su extensión, constituidas por depósitos glaciares en forma de morrenas; esta sub-unidad se aprecia en ambos márgenes del valle glaciar Cognadota y en ambos márgenes del valle Umbral.

### **Cubetas**

Las cubetas corresponden a las áreas donde se encuentran las lagunas, estas áreas se hallan en la cabecera de los valles y cerca de los circos glaciares, tienen diques de roca y morrenas, sus formas son muy irregulares. La más resaltante se denomina laguna Cognadota.

## **3.7. GEOLOGIA LOCAL**

### **Lito-estratigrafía**

El área de reconocimiento está constituida por la facie metamórfica con rocas cuyas edades corresponden al Devónico - Silúrico del Paleozoico inferior, en forma localizada discontinua afloran las rocas intrusivas en forma de plutones y stocks; aisladamente existen diques volcánicos.

Las rocas paleozoicas e intrusivas están cubiertas por depósitos cuaternarios de diferente naturaleza, origen y composición, a continuación se describe las características generales de las unidades litológicas, desde la más antigua a la más reciente:

## **Rocas metamórficas**

### **Formación Ananea (Pai-a)**

Esta unidad aflora casi en toda el área de la Mina San Rafael, está constituida por rocas filitas y pizarras, en menor porcentaje por areniscas cuarzosas, en estratos con espesores delgados y gruesos en el caso de las areniscas cuarzosas; las filitas presentan marcada foliación y casi siempre paralela a la estratificación, con niveles de limonitas pizarrosas, generalmente de color gris oscuro y las rocas areniscas cuarcíticas de color gris claro a blanquecino, en el área las filitas se hallan alteradas por la tectónica local y por la intrusión a que está sujeta esta unidad. En esta área no se ha determinado su contacto con las rocas del grupo Ambo.

### **Formación Sandia**

Esta unidad aflora casi en toda el área de la Mina San Rafael, está constituida por rocas filitas, pizarras en menor porcentaje e intercaladas de areniscas cuarzosas, en estratos con espesores delgados y gruesos en el caso de las areniscas cuarzosas; las filitas presentan marcada foliación y casi siempre paralela a la estratificación, con niveles de limonitas pizarrosas, generalmente de color gris oscuro y las rocas areniscas cuarcíticas de color gris claro a blanquecino, en el área fueron identificados en estas rocas fósiles pertenecientes al Ordovícico superior.

### **Rocas Intrusivas (Ti –mg)**

En la Cordillera Oriental y en el área de la mina San Rafael se presentan en forma localizada grupos de rocas intrusivas en forma de plutones y stocks, en el área están relacionadas probablemente a los procesos de mineralización. Ocurren con cierta continuidad al noroeste de la mina, donde se distribuyen irregularmente. Los intrusivos están constituidos por las rocas monzogranitos, de grano medio generalmente porfiríticas, en

superficie afloran con una coloración gris marrón y en estado inalterado de color gris claro, generalmente estas rocas presentan buena dureza.

### **Depósitos Cuaternarios (Q)**

Tapizando a las rocas del paleozoico inferior y rocas intrusivas anteriormente descritas se encuentran los depósitos cuaternarios, con espesores y propagaciones muy variables; se observa que mantienen cierta continuidad y espesor en las áreas con pendiente suave a moderada, los principales depósitos cuaternarios son los siguientes:

#### **Depósitos Glaciares (Q-gl)**

Estos depósitos se encuentran en forma discontinua en el área de la mina y con mayor propagación en las áreas adyacentes a la mina o reconocimiento. Los depósitos antiguos se caracterizan por estar conformados por una mezcla mal gradada de fragmentos de roca de diferentes formas y tamaños que contienen como matriz arenas con limos y arcillas; generalmente se encuentran muy compactos, con espesores muy variables, y los depósitos recientes son más granulares y sueltos con poco espesor.

#### **Depósitos Fluvio- glaciares (Q-fg)**

Estos materiales se encuentran en el lecho de las quebradas de origen glaciar, algunos circos glaciares y áreas adyacentes a las lagunas; en la mayoría de estos lugares están constituidos por una mezcla mal gradada de limos con arenas y gravas, con poco porcentaje de fracciones gruesas, se hallan parcialmente compactas.



### **Depósitos Coluviales (Q-co)**

Están constituidos predominantemente por mezclas de fragmentos de rocas de diferentes tamaños y formas angulosas a subangulosas; los más antiguos contienen como relleno arenas y finos; estos materiales se encuentran acumulados al pie de algunas laderas rocosas de notorio pendiente de donde han caído por gravedad. Estas acumulaciones varían de espesor y generalmente presentan alta porosidad; se encuentran en forma muy localizada.

### **Depósitos Tecnógenos (Q-te)**

Se denomina a los materiales producto de la actividad minera, están constituidos por mezclas de partículas de roca del tamaño de gravas, arenas con fragmentos del tamaño de bolones y con variado porcentaje de finos, se encuentran acumulados cerca de las labores mineras como canchas de desmonte.

### 3.7.1 COLUMNA ESTRATIGRAFICA

UNIDADES ESTRATIGRAFICAS DE TIEMPO			UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS		
ERA	SISTEMA	SERIE	NOMBRE	SIMBOLO	LITOLOGIA
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEPOSITO TECNOGENOS	Q - te	Canchas de Desmonte de la Actividad Minera
			DEPOSITO ALUVIAL	Q - al	Grava y Arena, suelos Hidromorfos.
			DEPOSITO FLUVIO GLACIAL	Q - fg	Grava, Arena y Finos
	TERCIARIO	PLIOCENO	DEPOSITO GLACIAL	Np - ag	Morrena, Lutitas y Conglomerados
PALEOZOICO	CARBONIFERO	MISISSIPIANO	GRUPO AMBO	Ci - a	Conglomerado, Arenisca y Lutitas
	SILURICO DEVONICO		FORMACION ANANEA	Sd - a	Andesita, Pizarra Negra
	ORDOVICIO	SUPERIOR	FORMACION SANDIA	Ds - s	Filita, Cuarcita con Pizarra
		INFERIOR	FORMACION SAN JOSE	Oj - sj	Lutitas Pizarrosa.

FUENTE: pgs.

### 3.8. CRITERIOS DE DISEÑO

Para definir los criterios de diseño, se ha revisado el Plan de Cierre de Minas aprobado por el Ministerio de Energía y Minas. En julio de 2011 se realizó una visita de campo con la finalidad de recolectar información disponible, reunirse con el personal clave de la mina, familiarizarse con las condiciones de sitio para fines del diseño de los tapones para las bocaminas y chimeneas.

### **3.8.1. Condiciones Existentes de Bocaminas y Chimeneas**

El plan de cierre de pasivos ambientales de la mina San Rafael presentado y aprobado por el MEM contempla el cierre progresivo y final de canchas de desmonte, bocaminas, chimeneas, entre otros.

A la fecha todos los desmontes generados durante la construcción de bocaminas y chimeneas de la mina fueron depositados en las canchas de desmonte durante la construcción del cierre final de pasivos ambientales de la Mina San Rafael (2009-2011).

Debemos resaltar que, durante la visita de campo se observó que el número de bocaminas húmedas (con flujo de agua) no coinciden con el número de bocaminas húmedas inventariadas en el Plan de Cierre de Minas probablemente se debe a que la visita de campo fue realizado en época de estiaje.

Por lo tanto, para el diseño de las bocaminas y chimeneas tendremos como referencia a la información presentada en el Plan de Cierre de Minas e información recogida durante la construcción del cierre de las canchas de desmonte.

### **3.8.2. Condiciones Geomecánicas de Bocaminas y Chimeneas**

Como parte de los trabajos de caracterización de las bocaminas y chimeneas para el desarrollo del Plan de Cierre de Minas, CESEL desarrolló un programa de evaluación geomecánica y ensayos de laboratorio de mecánica de rocas. La presente sección ha sido extraída de dicho informe, la cual ha sido considerada para el diseño detallado del cierre progresivo de bocaminas y chimeneas.

Para el análisis de las condiciones geomecánicas actuales de las bocaminas y chimeneas, CESEL realizó diversos trabajos con el objeto de determinar in situ y en laboratorio los parámetros de resistencia del macizo rocoso.

### **Exploración en Campo**

Los trabajos de exploración de campo fueron desarrollados entre los meses de febrero y marzo de 2005, por personal de CESEL, con el apoyo de MINSUR, y se desarrollaron las siguientes actividades:

- Evaluación geomecánica de las bocaminas.
- Excavación de 68 trincheras, con profundidades variables entre 1.0 y 4.0 m.
- Ejecución de 144 sondajes de penetración dinámica ligera (DPL), cuyas profundidades alcanzadas varían entre 0.60 y 5.3 m.
- Excavación de 55 calicatas, cuyas profundidades varían entre 0.2 y 3.0 m, de donde se obtuvieron 48 muestras disturbadas para la caracterización física de los suelos.

### **Ensayos de Laboratorio**

#### **Ensayo de Carga Puntual en Roca**

Este ensayo tiene como objetivo, estimar la resistencia a la compresión simple de la roca intacta que será empleada para determinar los parámetros físicomecánicos del macizo rocoso. El ensayo se realizó siguiendo la norma ASTM D-5731 y consiste en comprimir la muestra de roca entre dos puntos situados en generatrices opuestas, realizando así la deformación y falla de la

roca. Estos ensayos fueron realizados con las muestras extraídas de las bocaminas.

### Evaluación Geomecánica

Se revisó el estudio de evaluación geomecánica de las bocaminas realizado por CESEL, en total evaluaron 42 bocaminas. Los parámetros de evaluación fueron: litología de la roca, RQD, RMR, capacidad admisible, entre otros.

#### 3.8.3. Sismicidad en la zona del proyecto

Se revisó el estudio de peligro sísmico realizado por Cesel, donde se determinó por medio de la probabilidad de ocurrencia de un sismo la aceleración máxima igual o superior a ciertos valores esperados.

En la tabla se resume los resultados de las máximas aceleraciones esperadas para períodos de retorno de 30, 50, 100, 190, 285, 475 y 950 años para la zona del proyecto.

**TABLA N° 3.5 Máximas Aceleraciones Esperadas en la Zona del Proyecto**

Ubicación	Periodo de Retorno / Aceleración (g)						
	30	50	100	190	285	475	950
U.M. San Rafael	0.087	0.112	0.142	0.178	0.204	0.243	0.296

Fuente:

(1) Plan de Cierre de Minas de la Unidad Minera Acumulación Quenamari-San Rafael (Cesel 2006).

En base a los resultados obtenidos en el lugar del proyecto, se recomienda los siguientes valores:

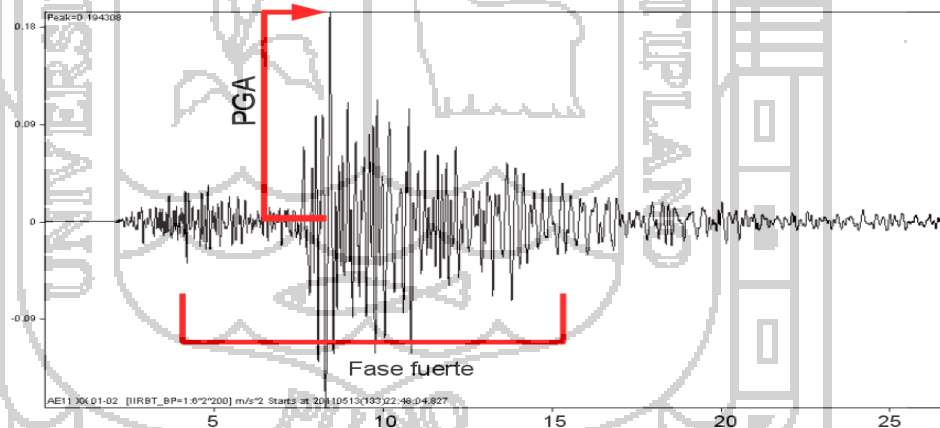
Aceleración máxima para el sismo de Diseño = 0.24 g

Aceleración máxima para el sismo Extremo = 0.18 g

Es usual considerar la aceleración efectiva en vez de utilizar la aceleración instrumental pico, del orden del 25 al 30% más baja. Por lo tanto, la aceleración efectiva de diseño será de 0.24g y la aceleración efectiva para el sismo extremo de 0.18g.

Toda ésta información ha sido empleada para el diseño detallado y el diseño de los tapones de concreto para las bocaminas. Recomendándose, usar en la zona del proyecto un coeficiente de sísmico ( $a$ ) de 0.12g.

La aceleración pico efectiva es considerada como una aceleración más representativa de la sacudida del sismo que la aceleración máxima o aceleración pico (llamada también PGA). La aceleración pico o máxima (que es la que reportamos nosotros) solamente se da en un instante muy corto de tiempo como lo muestra la figura siguiente.



No sería bueno diseñar suponiendo que durante toda la fase fuerte del sismo (que es aquella en la que la sacudida es más intensa), esta aceleración se mantuvo en, por ejemplo, 30 segundos. Esto implicaría grandes desplazamientos y fuerzas sísmicas asociadas, que no son reales.

#### 3.8.4. Condiciones Geoquímicas de Bocaminas y Chimeneas

Está comprobado que los minerales sulfurosos, al estar expuestos al oxígeno y al agua, se oxidan y acidifican el agua que entra en contacto con ellos. Estas aguas reaccionan con los minerales con los que posteriormente entra en contacto, y de no haber en estos últimos, suficientes elementos con capacidad de neutralización, los metales contenidos en dichos minerales podrían ser lixiviados por las aguas ácidas.

Este fenómeno puede dar origen a la generación de efluentes con un alto grado de acidez y/o con una elevada concentración de metales disueltos, lo que podría dar lugar a la generación de impactos ambientales en el entorno inmediato de la operación minera.

De acuerdo al PCM se considera que, en las bocaminas que presenten flujos de agua se plantea el control de los agentes oxidantes como es el caso del agua y el aire, como el agua siempre se encontrará fluyendo del interior de la mina, el planteamiento es eliminar la presencia de oxígeno con lo cual controlaremos la generación de aguas ácidas y metales disueltos.

### 3.9.- TIPOS DE ROCAS

#### 3.9.1 Monzogranitos

El monzogranito es una roca plutónica ácida. Está constituida por cuarzo, feldespato y plagioclasas junto con biotita como único mineral máfico. Este último es minoritario y se encuentra en posiciones intersticiales entre el resto de minerales y tiene textura que está formada por agregados de cuarzo y feldespato.

### 3.9.2 Andesitas

Es una roca ígnea volcánica de composición intermedia. Su composición mineral comprende generalmente plagioclasa y varios otros minerales ferromagnésicos como piroxeno, biotita y hornblenda. También pueden haber cantidades menores de sanidina y cuarzo. Los minerales más grandes como la plagioclasa suelen ser visibles a simple vista mientras que la matriz suele estar compuesta de granos minerales finos o vidrio.

### 3.9.3 Cuarcitas

La cuarcita o metacuarcita es una roca metamórfica dura con alto contenido de cuarzo. En composición la mayoría de las cuarcitas llegan a ser más de 90% de cuarzo y algunas incluso 99%. El término *cuarcita* a menudo es usado erróneamente para designar a la cuarzoarenita u ortocuarcita.

### 3.9.4 Filitas

La filita es una roca que representa una gradación en el grado de metamorfismo entre la pizarra y el esquisto. Sus minerales planares son más grandes que los de la pizarra, pero no lo bastante como para ser fácilmente identificables a simple vista. Aunque la filita parece similar a la pizarra, puede distinguirse con facilidad por su brillo satinado y su superficie ondulada. La filita, normalmente, muestra pizarrosidad y está compuesta fundamentalmente por cristales muy finos de moscovita, clorita o ambas.



## CAPITULO IV

## 4. EXPOSICION Y ANALISIS DE RESULTADOS

## 4.1. EXPOSICION DE RESULTADOS

## 4.1.1. Ensayos de Laboratorio

## Ensayo de Carga Puntual en Roca

Los ensayos de carga puntual lo realizó CESEL, en cual se presentan los resultados de los ensayos de carga puntual obtenidos de las muestras tomadas en las bocaminas.

TABLA N° 4.1

Bocamina	Tipo de Roca	Dureza	Resistencia a la Compresión Simple (MPa)		
			Máximo	Mínimo	Promedio
BM-1	Andesita con intercalaciones de cuarcitas	R5	150.2	113.8	133.1
BM-2	Filita	R5	225.6	161.3	201.4
BM-3	Filita	R4, R5	239.9	95.7	165.3
BM-7	Cuarcita	R3, R4, R	115.7	41.1	85.2
BM-8	Filita	R4, R5	122.3	88.1	107.3
BM-9	Cuarcita	R4, R5	176.9	96.1	130.6
BM-11	Filita	R5	125.5	112.9	120.2
BM-11A	Filita	R5	167.7	102.1	130.8
BM-12	Cuarcita	R5	202.7	143.3	175.2
BM-13	Filita	R4, R5	110.8	83.3	95.1
BM-14	Filita	R5	188.1	144.6	175.1
BM-15	Filita	R5	189.5	149.2	167.3
BM-15A	Filita	R4, R5	197.7	83.6	139.0
BM-16	Filita	R4, R5	167.8	78.8	117.7
BM-18	Filita	R4, R5	152.0	50.2	95.9
BM-19	Filita	R5	166.7	104.3	121.6
BM-20	Filita	R5	178.3	120.0	148.4
BM-21	Filita	R4, R5	109.8	91.6	98.4
BM-22	Filita	R5	145.3	117.2	128.5
BM-22A	Filita	R5	221.5	189.7	205.0
BM-25	Filita	R4, R5	108.3	73.7	92.7
BM-26	Filita	R4, R5	141.8	96.4	108.4
BM-29	Filita	R4, R5	136.8	99.2	123.8
BM-31	Filita	R5	218.8	141.1	183.3
BM-32	Filita	R4, R5	120.8	76.0	90.8
BM-33	Filita	R4, R5	103.9	51.9	69.1
BM-34	Filita	R5	191.4	146.5	167.7
BM-36	Filita	R5	163.6	102.7	134.1
BM-39	Filita	R4	83.0	55.9	69.3
BM-41	Filita	R4, R5	108.3	73.7	92.7

Unidad Minera Acumulación Quenamari - San Rafael (Cesel, 2006).

Fuente: MINSUR

### Evaluación Geomecánica

Los resultados del estudio de evaluación geomecánica de las bocaminas fue realizado por CESEL, en total se evaluaron 42 bocaminas. Los parámetros de evaluación fueron: litología de la roca, RQD, RMR, capacidad admisible, entre otros. En los anexos se encuentra los informes de evaluación geomecánica de las bocaminas y en la siguiente tabla se presenta un resumen del mismo.

TABLA N° 4.2

Item	Zona	Bocamina	Litología	RQD	RMR	Capacidad Admisible kN/m <sup>2</sup>
1	San Germán	BM-01	Andecita	39	37	1,283.8
2		BM-02	Filita	34	38	2,089.5
3	Umbra	BM-03	Filita	32	30	1,108.5
4		BM-04	Filita	-	-	-
5		BM-07	Cuarcita	43	28	510.1
6		BM-08	Filita	39	32	745.6
7		BM-09	Cuarcita	33	31	922.1
8	Patrón	BM-10	Filita	Bocamina tapado con material de desmonte		
9		BM-11A	Filita	40	35	1,059.5
10		BM-12	Cuarcita	42	33	1,383.2
11		BM-13	Filita	36	23	491.6
12		BM-14	Filita	34	36	1,638.3
13		BM-15	Filita	36	40	1,628.5
14		BM-15A	Filita	31	40	1,922.8
15		BM-16	Filita	29	30	735.8
16		BM-19	Filita	Bocamina tapado con material de desmonte		
17		BM-20	Filita	37	42	1,824.7
18	BM-21	Filita	31	28	598.4	
19	BM-22	Filita	36	40	1,402.8	
20	BM-22A	Filita	34	37	2,020.9	
21	San Rafael	BM-22B	Filita	Bocamina parcialmente cerrado		
22		BM-23A	Filita	-	-	-
23		BM-24	Filita	41	46	1,628.5
24		BM-25	Filita	40	46	1,461.7
25		BM-26	Filita	33	30	667.1
26		BM-27	Filita	31	34	755.4
27		BM-31	Filita	34	32	1,344.0
28		BM-38	Filita	34	40	1,520.6
29		BM-39	Filita	29	23	294.3
30		BM-41	Filita	36	28	539.6
31		BM-41A	Filita	34	29	524.8
32		BM-41B	Filita	34	29	510.1
33		BM-42	Filita	31	28	392.4
34	BM-42A	Filita	33	30	539.6	
35	Rosario	BM-29	Filita	30	41	1,481.3

Fuente:

### **Zona San Germán**

Las bocaminas BM-01 y BM-02 se encuentran ubicadas cerca de la laguna Aciruni a 4705 y 4652 msnm respectivamente. Ambas bocaminas se emplazan sobre un talud rocoso de gran pendiente, presencia de material de relleno, de gravas pobremente gradadas con limos y arenas, con humedad media, de consistencia media, de color marrón amarillento y con presencia de óxidos.

La Bocamina BM-01 y BM-02 se encuentra construido sobre el macizo de roca andesita y filita respectivamente.

### **Zona Umbral**

En la zona Umbral se encuentran ubicadas cinco bocaminas (BM-03, BM-04, BM-07, BM-08 y BM-09), el material de superficie se trata un depósito glaciar, con gravas arcillosas y arenas, húmedo, plástico a medianamente plástico de compacidad media. Debajo de este material superficial se encuentra el macizo rocoso formado por roca filita y cuarcita.

### **Zona Patrón**

En la zona Patrón se encuentran ubicadas tres bocaminas (BM-10, BM-11A y BM-12). La zona Patrón se encuentra emplazada sobre un depósito glaciar de gravas arcillosas con arenas y limos, húmedo, plástico a medianamente plástico y compacidad media a compacta. Debajo de este material superficial se encuentra el macizo rocoso formado por roca filita y arenisca cuarcita.

### **Zona San Rafael**

En esta zona se encuentran ubicadas 24 bocaminas (BM-13, BM-14, BM-15, BM-15<sup>a</sup>, BM-16, BM-19, BM-20, BM-21, BM-22, BM-22A, BM-22B, BM-23A, BM-24, BM-25, BM-26, BM-27, BM-31, BM-38, BM-39, BM-41, BM-41A, BM-41B, BM-42 y BM-42A) y 22 chimeneas (CH-23, CH-24, CH-25, CH-26, CH-27, CH-28, CH-29, CH-30, CH-31, CH-32, CH-33, CH-35, CH-38, CH-40, CH-44, CH-46, CH-52, CH-54, CH-60, CH-61, CH-68 y CH-69). La zona San Rafael se encuentra emplazado sobre un depósito glaciar compuesto por suelo de gravas con limos y arenas, húmedo, no plástico y de compacidad media. El espesor de este depósito glaciar es variable. Debajo del depósito glaciar encontramos un macizo rocoso formado por roca filita.

### **Zona Rosario**

En la zona Rosario se ubica la bocamina BM-29, esta bocamina se encuentra emplazado sobre un depósito glaciar constituida por gravas, arenas y limos, ligeramente húmedo y no plástico. Debajo del depósito glaciar encontramos un macizo rocoso formado por roca filita.

#### **4.1.2. Parámetros de Diseño**

Se presentan a continuación los criterios de diseño que han sido propuestos para el diseño detallado del cierre definitivo de las bocaminas y chimeneas de la mina San Rafael. La Tabla presenta la descripción de criterios: técnicos, medioambientales y normativa vigente.

TABLA N° 4.3 Parámetros de Diseño de Bocaminas y Chimeneas

Item	Descripción	Unidad	Cantidad
<b>1.00</b>	<b>Bocaminas</b>		
1.01	Ancho	M	(1)
1.02	Altura	M	(1)
1.03	Longitud	M	(1)
<b>2.00</b>	<b>Chimeneas</b>		
2.01	Ancho	M	(1)
2.02	Altura	M	(1)
2.03	Longitud	M	(1)
<b>3.00</b>	<b>Características Sísmicas</b>		
3.01	Periodo de retorno para el sismo de diseño	años	475
3.02	Aceleración pico del terreno	m/s <sup>2</sup>	0.24g
3.03	Coefficiente sísmico	m/s <sup>2</sup>	0.12g
<b>4.00</b>	<b>Características del Concreto Armado</b>		
4.01	Resistencia a la compresión del concreto – Bocaminas (f <sub>c</sub> )	MPa	30
4.01	Resistencia a la compresión del concreto – Chimeneas (f <sub>c</sub> )	MPa	20
4.03	Cemento		Tipo V
4.04	Resistencia a la fluencia del acero (f <sub>y</sub> )	MPa	420

Notas:

- (1) Valores estimados en la Tabla 2-1 y Tabla 2-2.
- (2) Valores de RMR se muestra en la Tabla 3-2.

Fuente: MINSUR – San Rafael.

#### 4.2. DISEÑO CIVIL DE BOCAMINAS Y CHIMENEAS

Basado en las observaciones hechas durante la visita de campo, el informe del PCM, criterios de diseño propuestos en la anterior capítulo, y experiencia de proyectos similares, considerando los requerimientos de servicio del tapón propuesto y cumplir con los compromisos del PCM, se realizó el diseño detallado del tapón de concreto para las bocaminas y la losa de concreto para las chimeneas.

Para asegurar el funcionamiento adecuado de los tapones y losa de concreto será imprescindible implementar un buen control de calidad durante la construcción. Antes de la construcción del tapón y la losa de concreto, el área del tapón y la losa que estará en contacto con la roca, deberá ser limpiada rigurosamente para retirar cualquier roca o material suelto. El flujo de agua de mina será controlada con la instalación de una tubería de derivación provisional.

Para la construcción del tapón, el concreto será preparado afuera de la bocamina y para la construcción de la losa, el concreto será preparado en los alrededores de la chimenea. En algunos casos el concreto tendrá que ser bombeado o transportado hasta la ubicación de la construcción del tapón o losa. Antes del inicio de la construcción, las bocaminas y chimeneas tendrán que ser evaluados para poder brindar un acceso y una salida segura. Así mismo, se deberá acondicionar el área de construcción de los taponos y losas de concreto con un sistema adecuado de ventilación, agua e iluminación.

#### **4.2.1. Cierre de Bocaminas - Tapón de Concreto con Drenaje**

El diseño de los taponos de concreto con drenaje de las bocaminas se realizó siguiendo los lineamientos de la Guía para el Diseño de Taponos para el Cierre de Labores Mineras (DGAAM, 2007). Para el diseño se consideraron tanto los efectos de las cargas estáticas (condición normal de esfuerzos) como los efectos de las cargas dinámicas (sismos).

Para el diseño del tapón no se consideraron las cargas debidas a la presión de agua (cargas hidrostáticas), debido a que en el PCM contempla el diseño de un tapón monolítico con bloqueo del aire, es decir el tapón de concreto tendrá adosado una tubería de drenaje y a la vez cumplirá la función de impedir el ingreso de aire y en lo posible drenar la existencia de posibles filtraciones de agua.

La Tabla 3-1 y Tabla 3-2 presenta un resumen de la caracterización geomecánica de las bocaminas. Estas tablas resumen ensayos de carga puntual, capacidad de carga de la roca, RMR, RQD, litología, entre otros.

El diseño del tapón toma en cuenta las dimensiones de la bocamina, la distancia desde el portal hasta donde será construido el tapón, así como los siguientes componentes relacionados con el diseño:

Cargas ponderadas  
Cargas de corte ponderadas  
Momentos ponderados  
Distribución del acero de refuerzo y espesor del tapón  
Anclaje en la roca  
Carga en el concreto

Además de lo mencionado anteriormente, en el diseño se tuvieron las siguientes consideraciones:

El tapón se diseñó de acuerdo a los estándares del CSA, CAN3-A23.3-M84, "Diseño de estructuras de concreto para edificaciones", que requieren de:

Resistencia ponderada Efecto de cargas ponderadas

Se considera que el tapón es una losa que está simplemente apoyada en cuatro lados.

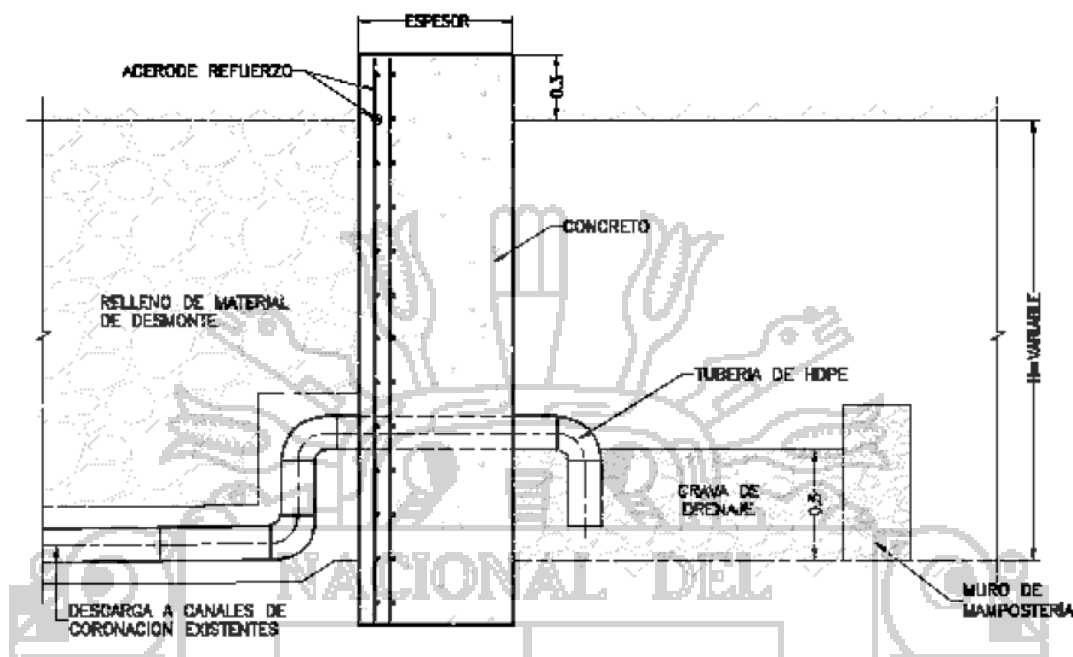
No aplica el "análisis" de flexión de viga gruesa.

No se ha considerado el potencial de la fractura hidráulica dentro de la roca alrededor del tapón.

El diseño del tapón se ha realizado para no soportar la presión hidrostática estática.



FIGURA N° 4.1 Tapón de concreto típico con drenaje



Fuente: MINSUR

De acuerdo a la información del PCM, se entiende que el tapón de concreto incorporará una tubería de drenaje, la cual también tiene la función de impedir el ingreso de aire. Las consideraciones para implicaciones medio ambientales, socioeconómicas y otras relacionadas al uso actual del agua tratada no se encuentran dentro del alcance de trabajo.

Al no disponer de información sobre el volumen agua que se descarga por las bocaminas, se asume que las tuberías de drenaje propuesto en el PCM (4" de diámetro) contemplaban los volúmenes de descarga que en su momento fueron aforados.

Sin embargo, de lo observado durante la construcción del cierre de pasivos ambientales (canchas de desmonte), se considera que el diámetro de la tubería de drenaje propuesto en el PCM no tiene la capacidad suficiente para descargar las aguas que provienen de las bocaminas. En tal sentido se prevé la colocación de un dren (tubería) de HDPE de 6" o 10" según sea el caso, para poder de esa manera garantizar la salida del agua del interior

y para evitar el ingreso de aire (oxígeno) se colocará una trampa (codo) en la misma tubería.

La memoria de cálculo para el diseño de los tapones de concreto se presenta en el Anexo y los resultados del diseño se muestran en la Tabla siguiente.

Según las propiedades estimadas de la roca y del concreto, la falla por corte es controlada por el esfuerzo de corte total admisible del macizo rocoso.

**TABLA N° 4.4 Resumen del Diseño de los Tapones de Concreto con Drenaje**

Item	Zona	Bocamina	Dimensión de la Bocamina		Tipo de Tapón	Dimensiones del Tapón de Concreto		Espesor del Tapón de Concreto	Diámetro de la Tubería de Drenaje	Distancia al tapón desde la superficie
			B	H		B	H			
			m	m			m	puig	m	
1	San Germán	BM-01	2.0	3.2	II	2.4	3.6	1.00	6	25.0
2		BM-02	2.6	2.4	I	2.9	2.7	0.70	6	1.8
3		BM-03	2.0	2.7	II	2.4	3.1	1.00	6	12.5
4	Umbrales	BM-04	2.9	1.6	I	3.2	1.9	0.70	6	2.4
6		BM-08 (1)	-	-		0.3	0.3	0.70	6	-
8	Patron	BM-10	1.8	1.8	I	2.1	2.1	0.70	6	0.8
9		BM-11A	2.2	2.4	I	2.5	2.7	0.70	6	2.2
10		BM-12	2.2	2.6	II	2.6	3.0	1.00	6	1.8
11		BM-13	2.7	2.8	I	3.0	3.1	0.70	6	5.5
12		BM-14	2.6	2.5	I	2.9	2.8	0.70	6	2.0
13		BM-15	2.3	2.3	I	2.6	2.6	0.70	6	2.5
14		BM-15A	2.6	1.5	I	2.9	1.8	0.70	6	1.0
17		BM-20	2.1	1.9	I	2.4	2.2	0.70	6	0.8
18		BM-21 (4)	2.4	2.4	I	2.7	2.7	0.70	6	4.0
19		BM-22	2.9	2.2	I	3.2	2.5	0.70	6	1.5
22	BM-23A	3.1	2.6	II	3.5	3.0	1.00	6	1.5	
23	San Rafael	BM-24	2.5	2.1	I	2.8	2.4	0.70	6	5.0
24		BM-25	2.2	2.9	I	2.6	3.3	1.00	6	4.0
25		BM-26	2.8	1.9	I	3.1	2.2	0.70	6	0.5
26		BM-27	2.8	2.5	II	3.2	2.9	1.00	6	1.5
28		BM-38	1.7	2.2	II	2.1	2.6	1.00	6	3.8
29		BM-39	3.3	3.8	I	3.7	4.2	1.00	6	1.2
30		BM-41 (2)	3.2	3.3	III					1.5
31		BM-41A (2)	5.0	2.7	III					1.5
32		BM-41B (2)	3.0	3.0	III					1.5
33		BM-42	2.2	1.8	I	2.5	2.1	0.70	6	2.0
34	BM-42A (3)	5.3	2.7	II	5.7	3.1	1.00	10	2.0	
35	Rosario	BM-29	1.9	3.1	I	2.2	3.4	0.70	6	0.5

Fuente: pgs

#### Nota

- El diseño de la bocamina BM-08 se realizará durante la construcción, según el levantamiento topográfico y los datos recogidos durante la visita de campo, se deberá evaluar si su cierre será con un tapón o losa de concreto.
- Las bocaminas BM-41, BM-41A y BM-41B en el PCM fueron registrados como bocaminas húmedas, sin embargo durante la visita de campo y el levantamiento topográfico se observó que las bocaminas son secas, además que cuentan con dos chimeneas aparentemente en operación, por lo tanto su evaluación para el diseño se realizará durante la construcción en coordinación con MINSUR.
  - Para la bocamina BM-42A se propone una tubería de drenaje de 10" de diámetro, sin embargo será necesario datos más precisos de aforo de caudales en la bocamina, por lo tanto durante la construcción se deberá aforar el caudal de la bocamina para tener un diseño definitivo de la bocamina.
  - Actualmente la bocamina BM-21 se encuentra cerrada con un tapón de mampostería, demoler para construir el tapón Tipo I.

El espacio entre el muro y el portal, será rellenado con material local no seleccionado intentando que en la parte externa mantenga un talud de 1.5H:1.0V o 2.0H:1.0V que luego permitirá la revegetación de manera natural para su adaptación al entorno.

El diseño del tapón de concreto propuesto ha sido desarrollado con las incertidumbres y observaciones detalladas abajo. Puede ser necesario modificar el diseño del tapón y/o su ubicación en base a los resultados de la limpieza, evaluación geomecánica de la roca durante la construcción, presencia de agua y el modelamiento a largo plazo de la carga hidráulica.

## Incertidumbres y Observaciones

Las principales incertidumbres y observaciones relacionadas con el diseño y construcción del tapón de concreto incluyen:

- Condiciones del macizo rocoso desconocidas de las bocaminas que fueron cerrados parcial o totalmente.
- No se tiene un estimado confiable del nivel freático, volumen de descargas y calidad de agua de las bocaminas.
- Condiciones desconocidas y/o indocumentadas de la extensión de las labores de mina y aberturas a la superficie.
- La limpieza adecuada del área donde se construirán los tapones de concreto ayudara a resolver la incertidumbre de las condiciones del macizo rocoso.

### Cierre de Bocaminas - Tapón de Mampostería sin Drenaje

El diseño de los tapones de mampostería sin drenaje son muros que brindan seguridad para impedir el ingreso de personas y/o animales a la bocamina, es decir su función principal será solo el de cerramiento y no tendrá un comportamiento estructural.

El tapón de mampostería se considera como un muro de gravedad y dependerá principalmente de su peso propio para asegurar su estabilidad; estará construido de piedras y mortero, y no llevaran ningún refuerzo de acero. El ancho de la base varía entre el 60 y el 70% de la altura total y el ancho de la corona debe ser por lo menos de 30 cm.

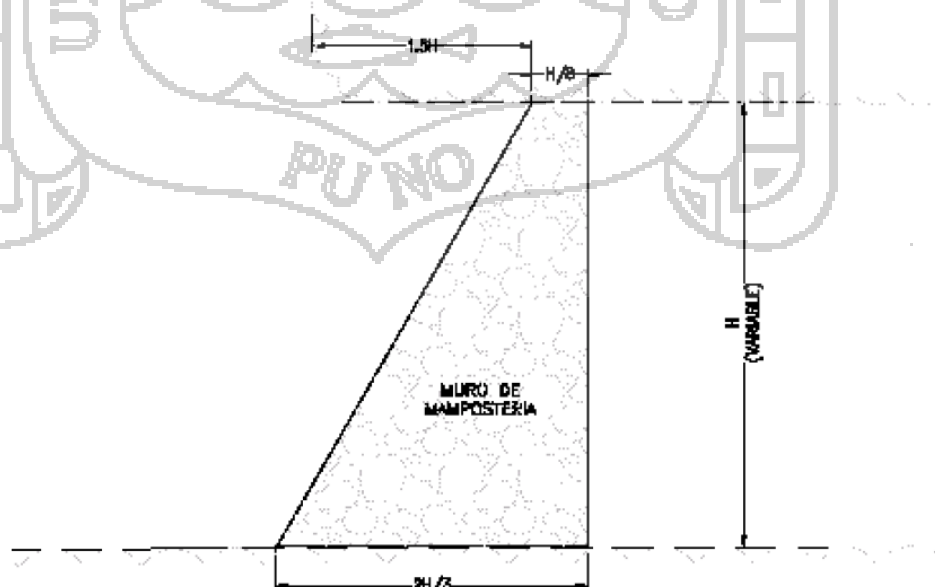
El diseño del muro de mampostería toma en cuenta las dimensiones de la bocamina, la distancia desde el portal hasta donde será construido el tapón, así como los siguientes componentes relacionados con el diseño:

- Peso propio del muro de mampostería
- Esfuerzo máximo sobre el suelo

Además de lo mencionado anteriormente, en el diseño se tuvieron las siguientes consideraciones:

- Se considera que el muro de mampostería no cumple una función estructural.
- El diseño del tapón se ha realizado para no soportar la presión hidrostática estática.
- No se ha considerado el potencial de la fractura hidráulica dentro de la roca alrededor del tapón.
- La figura 4-2 ilustra el tapón de mampostería típico sin drenaje.

**FIGURA N° 4.2 Tapón de Concreto con Drenaje**



Fuente: MINSUR

De acuerdo a la información del PCM, se entiende que el tapón de concreto incorporará una tubería de drenaje, la cual también tiene la función de impedir el ingreso de aire. Las consideraciones para implicaciones medio ambientales, socio económico y otras relacionadas al uso actual del agua tratada no se encuentran dentro del alcance del trabajo.

Al no disponer de información sobre el volumen agua que se descarga por las bocaminas, se asume que las tuberías de drenaje propuesto en el PCM (4" de diámetro) contemplaban los volúmenes de descarga que en su momento fueron aforados.

La memoria de cálculo para el diseño de los tapones de concreto se presenta en el Anexo y los resultados del diseño se muestran en la siguiente Tabla.

Según las propiedades estimadas de la roca y del concreto, la falla por corte es controlada por el esfuerzo de corte total admisible del macizo rocoso.

**TABLA N° 4.5 Resumen del Diseño de los Tapones de Mampostería sin Drenaje**

Item	Zona	Bocamina	Dimensión de la bocamina		Tipo de Tapón	Dimensiones del Tapón de Mampostería			Distancia al tapón desde la superficie
			B	H		B	b	H	
			m	m				m	
1	Umbra	BM-07	2.1	2.1	III	1.4	0.3	2.10	1.7
2		BM-09	2.0	1.8	III	1.2	0.2	1.80	1.8
3	San Rafael	BM-16	2.6	2.3	III	1.5	0.3	2.30	2.5
4		BM-19	2.0	2.5	III	1.7	0.3	2.50	0.8
5		BM-22A	2.7	2.6	III	1.7	0.3	2.60	0.5
6		BM-22B	2.3	2.1	III	1.4	0.3	2.10	3.2
7		BM-31	5.5	2.2	III	1.5	0.3	2.20	1.5

Fuente: pgs

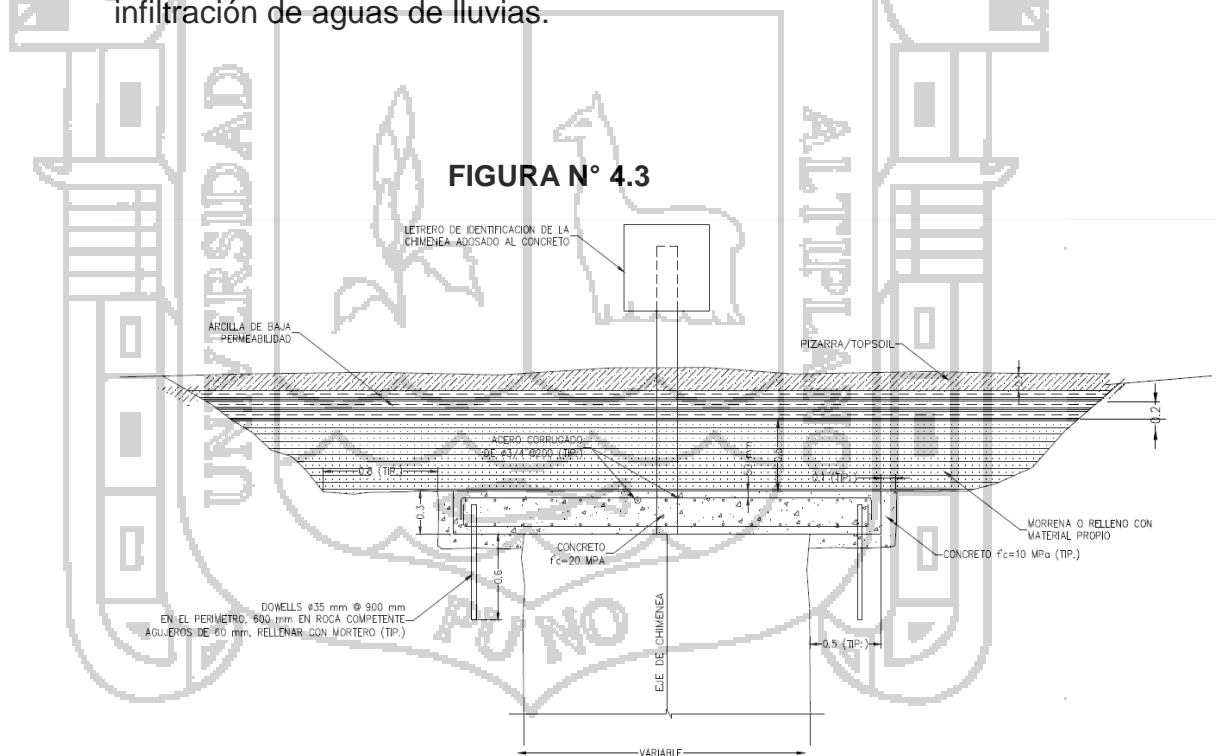
El espacio entre el muro de mampostería y el portal, será relleno con material local no seleccionado intentando que en la parte externa

mantenga un talud de 1.5H:1.0V o 2.0H:1.0V que luego permitirá la revegetación de manera natural para su adaptación al entorno.

### Cierre de Chimeneas - Losa de Concreto

Las tapas de concreto son recomendadas para el cierre definitivo de las chimeneas y Raise Boring. Estas tapas son prefabricadas o vaciadas en el sitio y se diseñan para cada tipo de chimenea o Raise Boring de acuerdo a las condiciones del sitio y el tamaño.

Estas labores normalmente son aberturas verticales que se comunican con las labores subterráneas. En los dos casos hay problemas de infiltración de aguas de lluvias.



Fuente: MINSUR

Para iniciar los trabajos, el área deberá tener condiciones geomecánicas especiales.



Fijado el punto o zona de construcción, cualquier roca suelta alrededor del perímetro de la abertura incluido el piso, deberá ser removida para asegurar una construcción estable.

Si el piso tiene un desnivel y la mampara de bloqueta de concreto es elegida como método de clausura, puede que sea necesario nivelar el piso con concreto o desquinchar los desniveles existentes para crear un nivel liso en la fundación (base).

Se construirán muros provisionales de mampostería o se colocarán sacos de arena con el fin de mantener seca la zona de trabajo.

Al mismo tiempo debe instalarse una tubería de drenaje de polietileno de un diámetro mínimo de 6".

## **MEDIDAS DE REMEDIACIÓN**

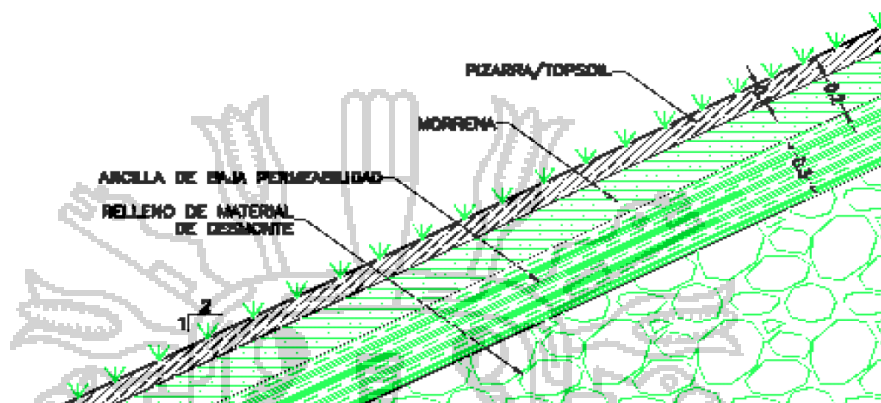
### **Cobertura**

Una vez evaluada las condiciones y características del cierre de las bocaminas y chimeneas, se propone la siguiente cobertura:

Cobertura conformada por una capa de material impermeable (arcilla) de 0.30 m de espesor, otra capa de material morrénico de 0.20 m de espesor (material de soporte) y una capa de topsoil de 0.10 m de espesor, que servirá para revegetar el área rehabilitada.

La Figura se muestra y en el plano del Anexo se muestra el detalle de la coberturas típica definida para el cierre de bocaminas y chimeneas.

**FIGURA N° 4.4 Cobertura para el Cierre de Bocaminas y Chimeneas**



Fuente: MINSUR

Los materiales empleados en la conformación de las coberturas se detallan a continuación.

#### **Topsoil (Material Orgánico)**

Este material orgánico será empleado como material de cobertura en áreas rehabilitadas donde se requiere implantar la revegetación.

#### **Material Morrénico**

La morrena será empleada como material de soporte del topsoil que contiene la parte radicular de la vegetación, además que ayudará a impermeabilizar el material residual. También sirve como material drenante de las aguas que se infiltran a través de las capas superiores. Este material consiste en una arena arcillosa con algo de grava y que antes de su uso deberá ser preparado (zarandeado), siendo el tamaño máximo de 3/4".

El material a emplear no deberá contener elementos extraños, residuos ni materias orgánicas, pues en el caso de encontrarse material no apto, este será retirado.

**TABLA N° 4.6 Envoltura para granulometría de Morrena**

TAMIZ	AASHTOT-27 (mm)	Max	Min
2 1/2"	63.5	100%	100%
2"	50.8	100%	90%
1"	25.4	97%	75%
3/4"	19	87%	66%
1/2"	12.7	79%	57%
N#4	4.75	64%	40%
N#10	2	53%	31%
N#20	0.84	46%	26%
N#40	0.425	40%	22%
N#100	0.15	33%	18%
N#200	0.075	30%	16%

Fuente: pgs.

### **Arcilla (Material Impermeable)**

La arcilla es un material impermeable cuya función principal es impedir la infiltración de las aguas provenientes de las precipitaciones hacia el interior de las canchas. Este material está compuesto por aluminosilicatos hidratados, sus partículas tiene diámetros menores a 2 micras, lo cual corresponde a suelos de textura fina, siendo muy elástico y pegajoso cuando está húmedo y su velocidad de consolidación muy lenta.

Antes de su uso, este material deberá ser preparado (zarandeado).

**TABLA N° 4.7 Envoltura para granulometría de Arcilla**

TAMIZ	AASHTOT- 27 (mm)	Max	Min
2 1/2"	63.5	100	100%
1 1/2"	38.1	93%	100%
1"	25.4	85%	100%
3/4"	19	79%	100%
1/2"	12.7	68%	99%
Nº 4	4.75	53%	90%
Nº 10	2	40%	74%
Nº 60	0.24	26%	47%
Nº 100	0.15	23%	44%
Nº 200	0,075	21%	40%

Fuente: pgs.



## CONCLUSIONES

- El tapón de concreto de bocaminas tendrá adosado una tubería de drenaje y a la vez cumplirá la función de impedir el ingreso de aire y en lo posible drenar la existencia de posibles filtraciones de agua. Y el diseño del tapón se ha realizado para no soportar la presión hidrostática estática.
- El tapón de mampostería sin drenaje se considera como un muro de gravedad y dependerá principalmente de su peso propio para asegurar su estabilidad; estará construido de piedras y mortero, y no llevarán ningún refuerzo de acero. El ancho de la base varía entre el 60 y el 70% de la altura total y el ancho de la corona debe ser por lo menos de 30 cm.
- Las tapas de concreto son recomendadas para el cierre definitivo de las chimeneas y Raise Boring. Estas tapas son prefabricadas o vaciadas en el sitio y se diseñan para cada tipo de chimenea o Raise Boring de acuerdo a las condiciones del sitio y el tamaño.
- Así mismo la cobertura será conformada por una capa de material impermeable (arcilla) de 0.30 m de espesor, otra capa de material morrénico de 0.20 m de espesor (material de soporte) y una capa de topsoil de 0.10 m de espesor, que servirá para revegetar el área rehabilitada.
- De acuerdo a la información del PCM, se entiende que el tapón de concreto incorporará una tubería de drenaje, la cual también tiene la función de impedir el ingreso de aire. Las consideraciones para implicaciones medio ambientales, socioeconómicas y otras relacionadas al uso actual del agua tratada no se encuentran dentro del alcance de trabajo.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda ser imprescindible implementar un buen control de calidad durante la construcción.
- Antes de la etapa de construcción del tapón y la losa de concreto, el área del tapón y la losa que estará en contacto con la roca, deberá ser limpiada rigurosamente para retirar cualquier roca o material suelto.
- Se recomienda que el flujo de agua de mina deberá ser controlada con la instalación de una tubería de derivación provisional.
- Así mismo, se deberá acondicionar el área de construcción de los tapones y losas de concreto con un sistema adecuado de ventilación, agua e iluminación.

## ABREVIATURAS

- **DGAAM:** Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros.
- **MEM:** Ministerio de Energía y Minas.
- **PCM:** Plan de Cierre de Mina.
- **ONERN:** Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales.
- **SENAMHI:** Servicio Nacional de Meteorología e hidrología.
- **EM:** Energía y Minas
- **GSI:** Índice geológico de Resistencia.
- **BM:** Bocamina.
- **CH:** Chimenea.

**BIBLIOGRAFIA.**

**APARICIO, FRANCISCO (1999):** Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa, México.

**APAZA MAMANI, EDSON. (2007)** “Compendio de Formulación y Evaluación de Proyectos Ambientales” Maestría en Ingeniería Ambiental C.U. UNA-Puno.

**BARTON, N LIEN, R. Y LUNDEN, J. (1974)** Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. Rock Mechanics, Springer Verlag, vol,6 pp 189 – 236.

**BOLETÍN 55: CARTA GEOLÓGICA NACIONAL (1995)** “Instituto Geológico Minero y Metalúrgico” Sector Energía y Minas.

**BRACK, A et al. (2000):** El medio ambiente en el Perú. Instituto Cuanto, USAID. Isbn 9972-869-00-8. Lima Perú

**CARRANZA NORIEGA RAYMUNDO, (2001),** “Medio Ambiente Problemas y Soluciones”, Universidad Nacional del Callao.

**CHAVEZ ROSENDO, (1996):** Recursos de agua. Lima, Fondo Editorial de la PUCP.

**CHOW, VEN TE (1994):** Hidráulica de canales abiertos. McGraw-Hill, Bogotá.

**CONESA FDEZ-VITORA. (1996)** “Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental” Ediciones Mundi – Madrid – España.

**CONDORI M. ELIAS. (2000)** (Docente UNA - Puno) “Sistemática de Faneromagas”.

**COLLAZOS CERRON, JESUS, (2005)** “Manual de Evaluación Ambiental de Proyecto” Anibal Paredes Galvan – Editor, Composición, Diagramación y Montaje Editor San Marcos, Primera Edición, 2005.

**DAVILA BURGOS, JORGE. (1995)** “Diccionario Geológico” UNI – Lima.

**DAVILA FLOREZ, BENJAMÍN JOSÉ. (2007)** “Métodos de Medición Ambiental” Maestría Ingeniería Ambiental – C.U. UNA – Puno.

**DECRETO SUPREMO No 010-2010-MINAM, (2010),** Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas, Ministerio de Energía y Minas.



**Decreto supremo N° 033-2005-EM**

**DECRETO SUPREMO N° 055-2010-EM**

**FLORES FRANCO, ROGELIO. (2007)** Compendio de Economía y Evaluación Ambiental. – Maestría en Tecnologías de Protección Ambiental C.U. UNA – PUNO.

**GERARD KIELLY:** Fundamentos, Entornos, tecnologías y sistemas de gestión. McGraw-Hill/ Interamericana de España.

**Guía Ambiental MEM**

**HOEK E. & BRAY, J.W. (1981):** Rock Slope Engineering. Institution of Mining and Metallurgy, London. UK. 358 p.

**HUGO RIVERA MANTILLA (2011).** Geología General, Editorial Megabyte.

**INSTITUTO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE. (1999)** “Lineamientos Metodológicos para la Evaluación de Proyectos Ambientales” Noviembre – España.

**KIELY GERARD, (1999),** “Ingeniería Ambiental”, McGraw-Hill/Interamericana de España S.A.U.

**PERALES CALDERON, FERNANDO. (1999)** Glosario y Tabla de Correlación de las Unidades Estratigráficas del Perú. Lima – Perú.

**QUINTERO, MARCELA: (2010)** Servicios Ambientales Hidrológicos en la Región Andina- Instituto de Estudios Peruanos Lima.

#### **WEBGRAFIA**

**WEB,** Página de Internet peruecológico.com

**WEB,** Página de Internet conam.com

**WEB,** Página de Internet mem.pe.gob.

**WEB,** <http://www.fonamperu.org/general/pasivos/pasivos.php>