

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA**

**Facultad de Ingeniería**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS MECANIZADOS  
PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CHIMENEAS EN LA  
UNIDAD MINERA RETAMAS - PARCOY”**

**TESIS**

Presentado por:

**Bach. CARLOS ALBERTO CHOQUE CATARE**

Para optar el Título Profesional de:

**INGENIERO DE MINAS**

**TACNA - PERÚ**

**2011**

A MI PADRE FELIPE, MI MADRE LUCIA Y  
DOCENTES DE LA FACULTAD QUE  
HICIERON POSIBLE LA CULMINACIÓN DE  
MI CARRERA PROFESIONAL, QUE CON  
SU COMPRENSIÓN Y CONSTANCIA  
SUPIERON GUIAR MI FORMACIÓN  
PROFESIONAL; MI AGRADECIMIENTO Y  
GRATITUD INFINITA.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi agradecimiento, es para todos los Ingenieros de la Facultad de Ingeniería de Minas, de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, quienes me brindaron los conocimientos necesarios para poder iniciarme en la carrera profesional de Ingeniero de Minas.

Un agradecimiento en especial al Ingeniero que con sus consejos, me encamino por el camino correcto demostrándome las bondades de la carrera de Ingeniería de Minas, quien me impulso a realizar la presente Tesis, con la cual obtendré el Título de Ingeniero de Minas, gracias Ingeniero Humberto Urbano Pérez Rudas.

# CONTENIDO

|                 |     |
|-----------------|-----|
| Dedicatoria     | iii |
| Agradecimientos | iv  |
| Resumen         | xi  |
| Introducción    | 1   |

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

|  |   |
|--|---|
| 1.1 Planteamiento General del Problema | 3 |
| 1.2 Justificación de la Investigación  | 4 |
| 1.3 Objetivos                          | 5 |
| 1.3.1 Objetivo general                 | 5 |
| 1.3.2 Objetivos específicos            | 6 |
| 1.4 Hipótesis                          | 6 |
| 1.5 Variables                          | 7 |
| 1.5 Operacionalización de Variables    | 7 |

## **CAPÍTULO II**

### **GENERALIDADES**

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 2.1 Ubicación                | 9  |
| 2.2 Accesibilidad            | 10 |
| 2.3 Fisiografía y Topografía | 12 |
| 2.4 Clima                    | 12 |

## **CAPÍTULO III**

### **GEOLOGIA**

|   |    |
|---|----|
| 3.1 Litología.  | 13 |
| 3.1.1 Depósitos Deluviales                                | 15 |
| 3.1.2 Depósitos Coluviales                                | 15 |
| 3.1.3 Roca Basamento                                      | 15 |
| 3.2 Estructuras Tectónicas                                | 16 |
| 3.3 Definición de los Dominios Estructurales              | 17 |
| 3.4 Condiciones Hidrogeológicas                           | 26 |
| 3.5 Condiciones de Sismicidad                             | 28 |
| 3.5.1 Análisis espacio – temporal de la actividad sísmica | 28 |
| 3.5.2 Determinación del Peligro Sísmico                   | 32 |

## **CAPÍTULO IV**

### **GEOMECÁNICA**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>4.1 Geomecánica de discontinuidades geológicas</b>                                  | <b>34</b> |
| 4.1.1 Factores que controlan la estabilidad de bloques rocosos.                        | 34        |
| 4.1.2 Características de las discontinuidades geológicas.                              | 35        |
| 4.1.3 Interacción característica de las discontinuidades y las aberturas subterráneas. | 37        |
| 4.1.4 Clasificación de bloques rocosos.  | 38        |
| <b>4.2 Metodología de análisis de movimientos de bloques</b>                           | <b>40</b> |
| 4.2.1 Orientación de las discontinuidades  | 42        |
| 4.2.2 Identificación de bloques móviles  | 43        |
| 4.2.3 Determinación del Factor de Seguridad  | 46        |
| 4.2.4 Prevención de fallas de bloques rocosos mediante refuerzos o sostenimiento.      | 47        |
| <b>4.3 Evaluación de la Perforación diamantina</b>                                     | <b>49</b> |
| 4.3.1 Criterios de evaluación de las condiciones Geomecánica                           | 49        |
| 4.3.2 Identificación de los Parámetros para la Clasificación de las rocas              | 68        |
| 4.3.3 Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso para la construcción de la chimenea  | 89        |

## **CAPÍTULO V**

### **CONSTRUCCIÓN DE CHIMENEAS**

|   |     |
|---|-----|
| 5.1 Métodos Mecanizados en la construcción de chimeneas     | 95  |
| 5.1.1 Ejecución de Chimeneas Sistema Alimak                 | 95  |
| 5.1.2 Costos de Sistema Alimak                              | 100 |
| 5.2 Construcción de Chimeneas con Raise Boring              | 104 |
| 5.2.1 Tipos de Raise Boring                                 | 106 |
| 5.2.2 Preparación del emplazamiento y transporte de equipos | 110 |
| 5.2.3 Taladro piloto  | 111 |
| 5.2.4 Evacuación de los detritus                            | 115 |
| 5.2.5 Escariado al diámetro final                           | 116 |
| 5.2.6 Cabeza del escariador                                 | 118 |
| 5.2.7 Cortadores  | 119 |
| 5.2.8 Sarta de perforación y estabilizadores                | 122 |
| 5.2.9 Costos de perforación con Raise Boring                | 124 |

## **CAPÍTULO VI**

### **INYECCIONES EN CONSTRUCCIÓN DE CHIMENEAS**

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 6.1 Historia de las inyecciones | 126 |
| 6.2 Propiedades de las lechadas | 128 |
| 6.3 Inyección tradicional       | 129 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 6.3.1 | Suspensiones inestables  | 130 |
| 6.3.2 | Suspensiones estables  | 132 |
| 6.3.3 | Equipo básico en las inyecciones de cemento.                               | 133 |
| 6.3.4 | Registro de Inyecciones en sondeos de la Unidad<br>Minera Retamas - Parcoy | 142 |
| 6.4   | Método Gin   | 147 |
| 6.4.1 | Mezcla   | 147 |
| 6.4.2 | Curva Límite   | 150 |
| 6.4.3 | Saturación de la roca  | 154 |
| 6.4.4 | Parada de la inyección   | 155 |

## **CAPÍTULO VII**

### **ANÁLISIS COMPARATIVO Y RESULTADOS**

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 7.1 | Análisis comparativo de factibilidad de ejecución  | 156 |
| 7.2 | Análisis comparativo de tiempos de ejecución       | 158 |
| 7.3 | Análisis comparativo de costos de ejecución        | 160 |
| 7.4 | Análisis comparativo de seguridad para el personal | 162 |
| 7.5 | Resultado de factibilidad de ejecución             | 163 |
| 7.6 | Resultado de tiempos de ejecución                  | 164 |
| 7.7 | Resultado de costos de ejecución                   | 165 |
| 7.8 | Resultado de seguridad para el personal            | 166 |

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXO

## **RESUMEN**

El presente proyecto se realizó en la Unidad Minera Retamas – Parcoy, es una operación del Consorcio Minero Horizonte S.A., se requiere ejecutar un desarrollo vertical del nivel 1 604 a superficie, con una longitud vertical de 180 metros. La excavación se realizara ya sea con el empleo de métodos de perforación y voladura; con métodos mecanizados mediante el uso del Raise boring o el equipo Alimak. Analizamos los diferentes métodos para ejecutar desarrollos verticales con los índices geomecánicos iguales y determinamos cuales se pueden emplear. Demostrando que utilizando inyecciones con y el Raise Boring, se puede disminuir y controlar la inestabilidad de la zona donde se ejecutara el desarrollo vertical.

Comparamos los diferentes resultados de métodos para ejecutar desarrollos verticales, en tiempo, seguridad para el personal y costos, para determinar el más óptimo. Se realizaran inyecciones de cemento para mejorar el macizo rocoso, para evitar utilizar la colocación de pernos y shotcrete.

## INTRODUCCIÓN

La Unidad Minera Retamas – Parcoy, es una operación del Consorcio Minero Horizonte y se encuentran ubicada en el distrito de Parcoy, provincia de Pataz, departamento de La Libertad, en la sierra norte del Perú. Presenta una superficie puna, que comprende a las nacientes del río Parcoy, donde el relieve es suave, con terrenos ondulados y numerosas lagunas de origen glacial, cuyos terrenos tienen pendientes moderadas y relieve suave como resultado del modelado de los depósitos glaciales antiguos que cubren las laderas.

En el estudio de inestabilidad local se ha recurrido a la proyección estereográfica o semiesférica la cual permite representar las orientaciones e inclinaciones principales de las discontinuidades detectadas en el trabajo de campo y sus posiciones relativas con respecto al plano del talud.

El macizo rocoso en el ámbito regional está afectado por un conjunto de plegamientos, formando anticlinales y sinclinales con dirección NO-SE del eje axial. En el territorio de interés, es decir

localmente, se presenta un monoclinial con inclinación de los planos de estratificación. Se recopila los parámetros, recursos y resultados de los diferentes procesos que se emplean en los desarrollos verticales mecanizados y de los empleados en Raise Boring aplicando Inyecciones, obtenidos los datos se realiza la comparación entre los procesos.

Inyectando cemento en tres puntos, se controlara la inestabilidad del macizo rocoso, y así poder evitar la colocación de un sostenimiento, como es la colocación de pernos y shotcrete.

La presente tesis consta de siete capítulos que se titulan así:

- Planteamiento del problema
- Generalidades
- Geología
- Geomecánica
- Construcción de chimeneas.
- Inyecciones en construcción de chimeneas
- Análisis comparativo y resultados

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Planteamiento General del Problema**

Se requiere ejecutar una chimenea del nivel 1 604 a superficie, con una longitud vertical de 180 metros. El macizo rocoso en su estado natural se encuentra muy fracturado, y los índices geomecánicos, identifican condiciones poco estables durante la excavación ya sea con el empleo de métodos de excavación utilizando voladura o con métodos mecanizados. De allí se plantea responder la siguiente interrogante:

¿Cuál será el método a emplearse, con el cual podemos optimizar el tiempo y reducir los costos en la ejecución de una chimenea de la unidad minera Retamas - Parcoy?

Para el presente trabajo se ha considerado los siguientes métodos:

- Método por Profundización de Pozos Mediante Plataforma de Superficie (Shaft Drilling).
- Método por Profundización de Pozos con Maquinas (Shaft Boring).
- Método por Perforación de Chimeneas Mediante Escariador de Realce (Raise Boring).
- Método por Excavación de Chimenea con Plataforma Mecanizada (Alimak).

## **1.2 Justificación de la Investigación**

La investigación se justifica por las siguientes razones:

- Es original porque trabaja con datos reales de campo tomados en formatos y muestras.

- Es relevante porque ayudara a la empresa en:
  - Reducción de sus costos operativos en el sistema de excavación de chimeneas.
  - Mejoramiento en el ciclo operativo con la sincronización en el proceso de excavación, mejor conocimiento de la roca y equipo a utilizar.
  - Seguridad para el personal operativo.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Analizar en forma comparativa el método de excavación de chimeneas más óptimo en tiempo de ejecución y a un bajo costo, donde las condiciones geomecánicas del macizo rocoso presente un gran fracturamiento. Evitando emplear voladura.

### **1.3.2 Objetivos Especifico**

- a) Analizar en forma comparativa el método de excavación de chimeneas que optimice el tiempo con bajo costo en la unidad minera Retamas - Parcoy.
  
- b) Desarrollar el análisis comparativo de factibilidad de ejecución entre los diferentes métodos de construcción de chimenea por Shaft Drilling – Raise Boring, Shaft Boring – Alimak y Raise Boring – Alimak.
  
- c) Desarrollar el análisis comparativo de costos de ejecución entre los métodos Raise Boring – Alimak.

### **1.4 Hipótesis**

Empleando inyecciones de cemento en tres puntos, en la zona donde se va a ejecutar la chimenea, se mejora las condiciones geomecánicas del macizo rocoso y empleando el Raise Boring, se perfora la chimenea, reduciendo los costos y optimizando los tiempos de ejecución. Sin utilización de sostenimiento ni voladura.

## **1.5 Variables**

### **A. Variable Independiente**

La optimización de tiempos con bajos costos de ejecución.

### **B. Variable Dependiente**

El sostenimiento y la voladura.

## **1.6 Operacionalización Variables**

En concordancia con la formulación de la hipótesis, a continuación se explica, que operaciones se tomaron en cuenta:

- **Tamaño de la Perforación.-**Referido a las dimensiones de la sección de la chimenea.
- **Profundidad de la Perforación.-** Referido a la longitud total que se desarrollara.

- **Verticalidad de la Perforación.**-Referido la desviación producida en la ejecución de la perforación.
- **Alteración del macizo rocoso.**- Referido a las alteraciones que se producen en el macizo rocoso por causa del método de perforación.
- **Aguas Subterráneas.**- Referido a las medidas de control si presenta afloramientos de agua en la ejecución del desarrollo vertical.
- **Sostenimiento durante la excavación.**- Referido a los tipos de sostenimiento que se requiere.

Siendo los indicadores: Mano de obra, Materiales y herramientas, Implementos, Equipo y maquinaria, Mantenimiento, Costo de inyección.

## **CAPÍTULO II**

### **GENERALIDADES**

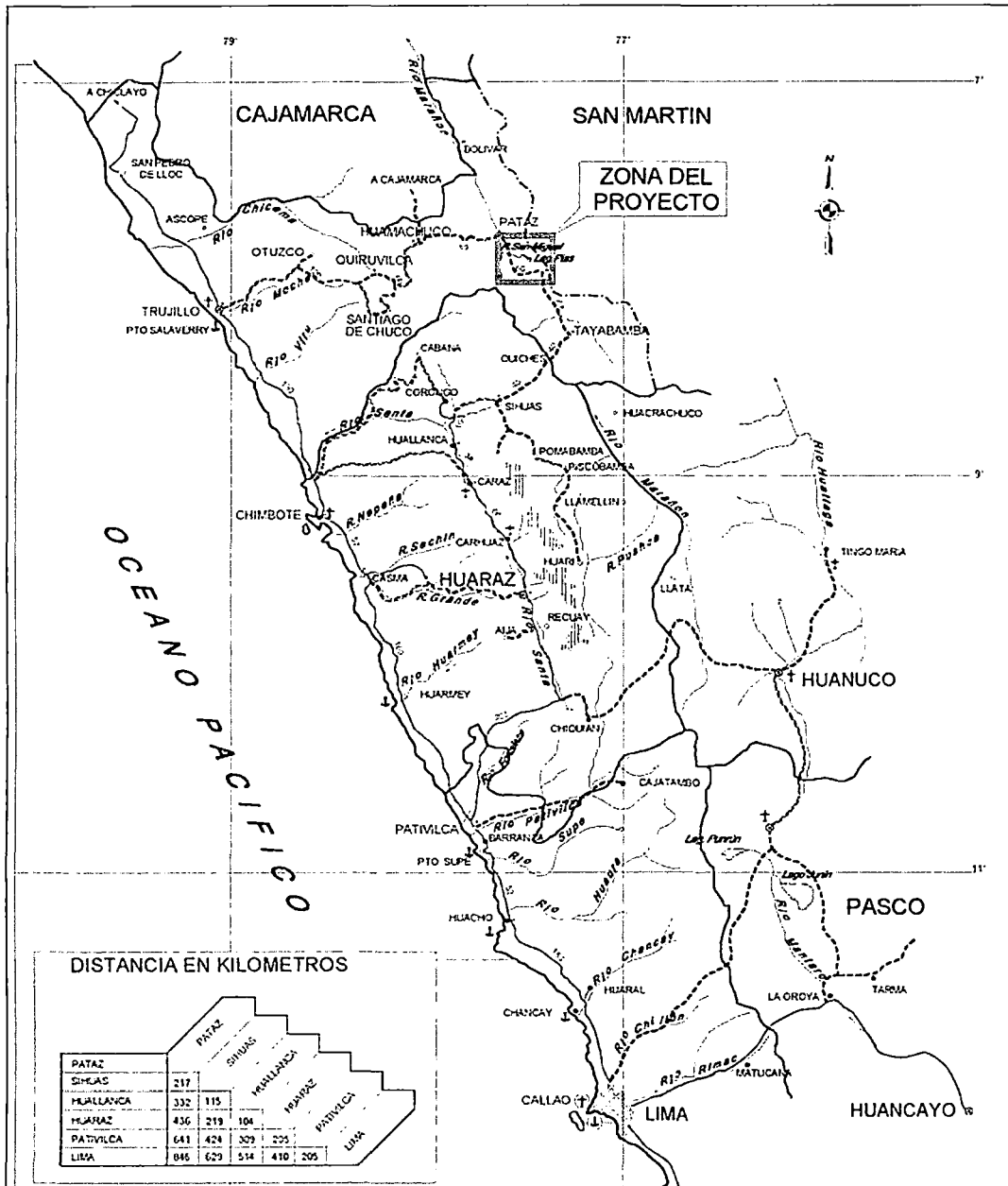
#### **2.1 Ubicación**

El presente proyecto de ejecución de chimenea se realizó en la Unidad Minera Retamas - Parcoy, que pertenece al Consorcio Minero Horizonte S.A., una empresa peruana que realiza labores de exploración, explotación y metalurgia de minerales auríferos. Fue fundada en 1978, por los ingenieros Rafael Navarro Grau y Jaime Uranga Bustos.

La Unidad Minera Retamas – Parcoy, se encuentra ubicada en el distrito de Parcoy, provincia de Pataz, departamento de La Libertad en la sierra norte del Perú.

## **2.2 Accesibilidad**

La Unidad Minera Retamas – Parcoy, es accesible desde Lima o Trujillo por vía aérea, llegando hasta el aeropuerto de Pías, desde allí se realiza un viaje por carretera afirmada de aproximadamente 30 minutos. También es accesible vía terrestre desde la ciudad de Trujillo, con un recorrido aproximado de 380 km. Ver plano de ubicación N° 2.1.



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS**

|                                |  |           |
|--------------------------------|--|-----------|
| Dibujo: C.A.C.C                | <b>UBICACIÓN<br/>DE UNIDAD MINERA<br/>RETAMAS - PARCOY</b> | Plano N°: |
| Escala:<br>1:2 500             |  | 2.1       |
| Fecha:<br>17 Febrero del 2 010 |  |           |

### **2.3 Fisiografía y Topografía**

La Unidad Minera Retamas – Parcoy, presenta una superficie Puna, que comprende a las nacientes del río Parcoy, donde el relieve es suave, con terrenos ondulados y numerosas lagunas de origen glacial, que están comprendidas entre 4 000 y 4 500 m.s.n.m . La Superficie de Glaciación, entre los 3 000 y 4 000 m.s.n.m, cuyos terrenos tienen pendientes moderadas y relieve suave como resultado del modelado de los depósitos glaciales antiguos que cubren las laderas.

### **2.4 Clima**

En la Unidad Minera Retamas – Parcoy, la temperatura varía entre los 16°C y 24°C, teniendo 2 temporadas bien marcadas, la primera con un clima bien lluvioso entre los meses de diciembre y marzo, y el otro con un clima bien seco desde abril y noviembre.

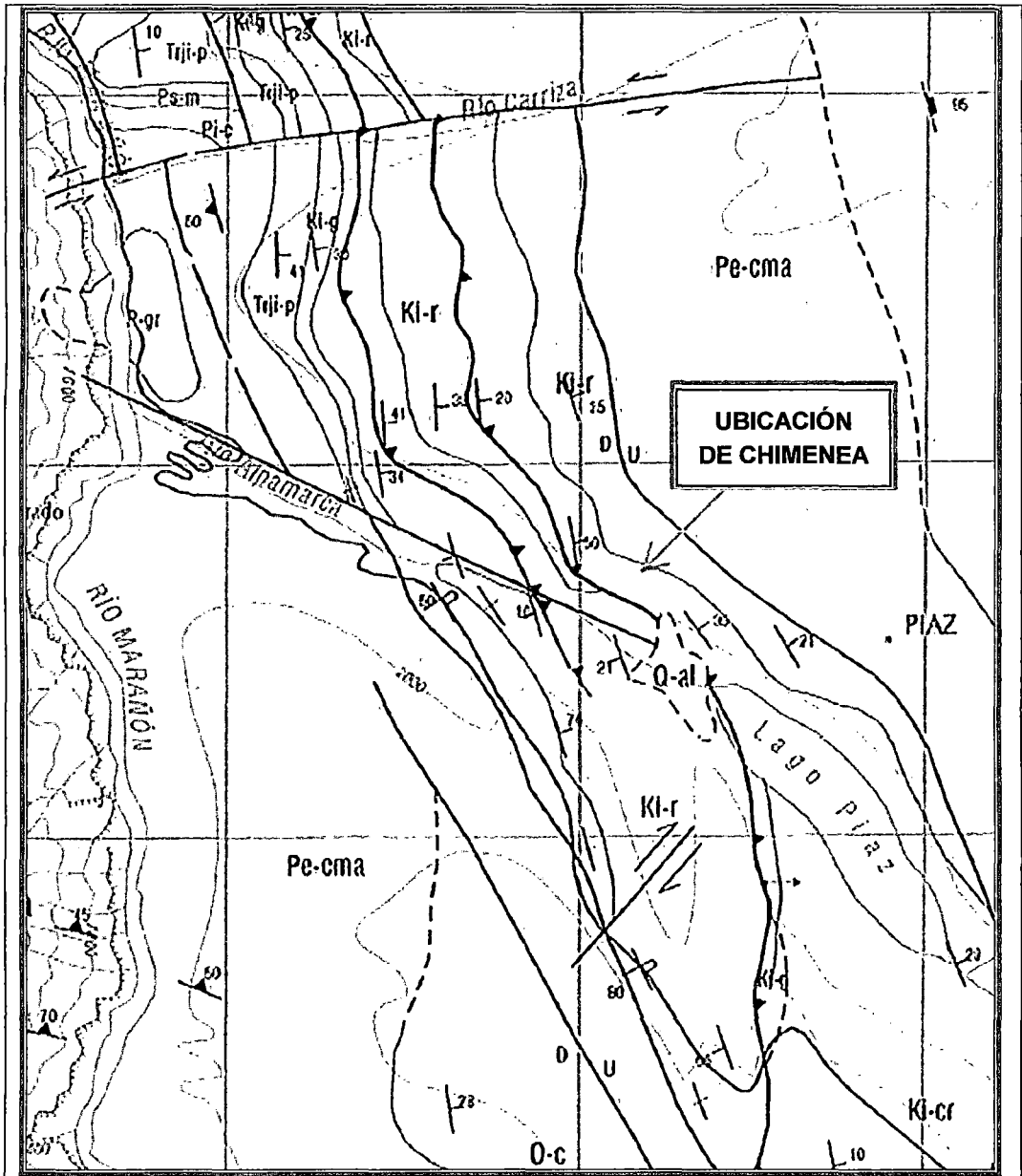
## **CAPÍTULO III**

### **GEOLOGÍA**

#### **3.1 Litología**

Las rocas que afloran en torno al área del Proyecto son rocas metamórficas de esquistos y pizarras del llamado Complejo Metamórfico del Marañón, rocas sedimentarias y carbonatadas del Cretáceo que corresponden a la formación Rosa y Crisnejas, así como extrusivas andesíticas y pequeños stocks de gabros porfíricos. Cubriendo a las anteriores se tienen depósitos de materiales aluviales, y fluviales.

En el plano N° 3.1, se puede observar que las rocas metamórficas corresponden al color marrón. Las rocas sedimentarias y carbonatadas corresponden al color verde y los tonos rojizos corresponden a los intrusivos. Nótese la dirección de los ejes de anticlinales y sinclinales que siguen una dirección andina (NO – SE).



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS**

Dibujo: C.A.C.C

Escala:

1: 500

Fecha:

17 Febrero del 2 010

**MAPA GEOLOGICO**

**DEL PROYECTO**

Plano N°

**3.1**

En el área del proyecto se observan las siguientes unidades litológicas:

### **3.1.1 Depósitos Aluviales**

Se denomina así a manto limo arcilloso, con inclusiones de fragmentos rocosos de tonalidad rojiza, que cubre a la roca basamento. En estado seco es muy duro, mientras que en estado húmedo es moderadamente plástico.

### **3.1.2 Depósitos Coluviales**

Constituidos por suelo arenoso limoso friable, con abundantes inclusiones de bloques.

### **3.1.3 Roca Basamento**

El macizo rocoso donde se ejecutara la perforación de la chimenea, está constituido por areniscas cuarzosas, las que presentan en superficie variado grado de alteración y fracturamiento. Pertenecen a la formación Goyllarisquizga del

Cretáceo inferior y tienen unos 200 – 300 metros de espesor. Localmente, en la parte superior de la columna ocurren intercalaciones de areniscas con delgadas capas de lutitas rojizas a gris oscuras, mientras que la parte basal de la columna consiste de gruesos bancos de areniscas cuarcíferas, de tonalidades blanquecinas. Con las perforaciones en el cuerpo del macizo rocoso también se presentan algunas interdigitaciones de paquetes o “sill” andesítico de hasta 5 a 25 metros de espesor.

### **3.2 Estructuras Tectónicas**

El macizo rocoso en el ámbito regional está afectado por un conjunto de plegamientos, formando anticlinales y sinclinales con dirección NO-SE del eje axial. En el territorio de interés, es decir localmente, se presenta un monoclinal con inclinación de los planos de estratificación. Los Fallamientos son de tipo local, de corta extensión, no fueron observados Fallamientos de extensión regional. Dichas fallas menores tienen alineamiento aproximadamente N-S, con fuerte ángulo de buzamiento.

### **3.3 Definición de los Dominios Estructurales**

Mediante registros de fracturamiento realizados en la superficie natural del terreno y en la cara de los taludes de corte, y mediante el empleo del programa DIPS, se ha identificado las familias de discontinuidades predominantes que influyen en la estabilidad del talud.

En el estudio de la estabilidad de taludes rocosos, se debe atender a la estabilidad del talud en su conjunto, pero también a inestabilidades locales.

Para el análisis de estabilidad de taludes en su conjunto se aplican clasificaciones geomecánico que permiten obtener índices cuantitativos de la calidad de la roca.

De todos, los más utilizados por ser de aplicación directa en taludes son:

- Índice RMR, clasificación Geomecánica de Bieniawski, utilizado para la construcción de túneles, taludes y cimentaciones.
- Índice SMR, clasificación Geomecánica de Romana, más enfocado a la clasificación de taludes.

En el estudio de inestabilidad local se ha recurrido a la proyección estereográfica o semiesférica la cual permite representar las orientaciones e inclinaciones principales de las discontinuidades detectadas en el trabajo de campo y sus posiciones relativas con respecto al plano del talud. De esta manera se puede deducir cual es el tipo de rotura más probable en el talud, estudiándose si se dan las condiciones para que se produzca alguna de los cuatro tipos principales de rotura que se pueden presentar en un talud en roca:

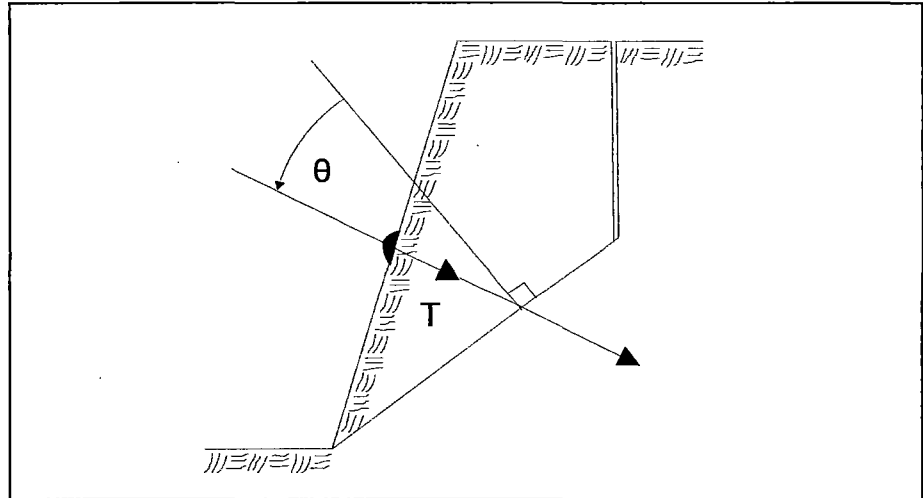
- Rotura planar.
- Rotura en cuña.
- Rotura por vuelco.
- Rotura por pandeo de estratos.

**a) Rotura planar. (Ver figura N° 3.1)**

Es aquella en la que el deslizamiento se produce a través de una única superficie plana. Se producen cuando existe una fracturación dominante en la roca y orientada paralelamente con respecto al talud.

También puede producirse en terrenos granulares, cuando entre dos estratos resistentes se intercala uno de poco espesor y de material menos resistente.

El factor de seguridad se entiende como la relación entre la resistencia al corte del terreno y la resistencia al deslizamiento necesaria para mantener el equilibrio estricto. En el caso de que sea insuficiente se puede mejorar la estabilidad por medio de la colocación de anclajes.



Fuente: Texto Hoek y Brayán, 1 977.

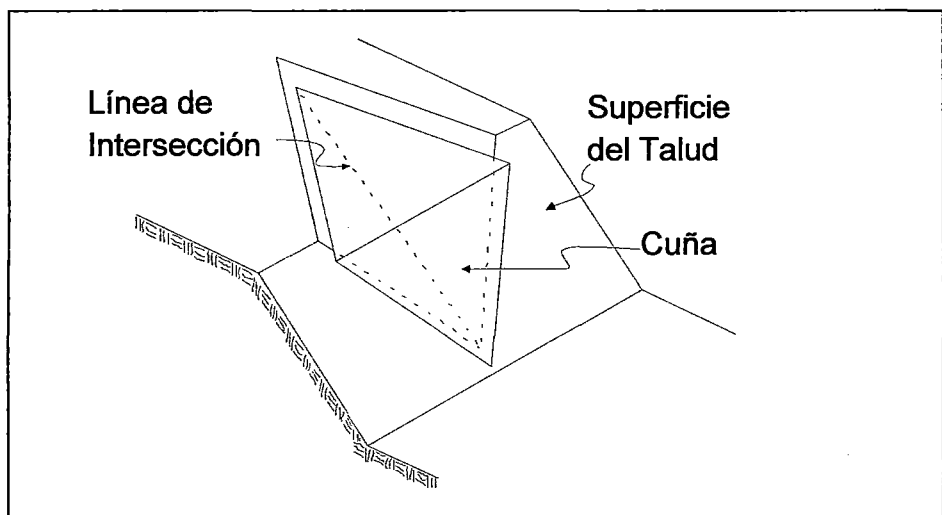
Figura N° 3.1: Colocación de anclajes en talud con rotura planar.

**b) Rotura por cuña. (ver figura N° 3.2)**

Es la que se produce a través de dos discontinuidades de rumbos oblicuos respecto al del talud (el rumbo de este queda comprendido entre los de las discontinuidades), con la línea de intersección de ambas aflorando en la superficie del talud y buzamiento en sentido desfavorable.

Este tipo de rotura se origina preferentemente en macizo rocoso en los que se da la disposición adecuada, en orientación y buzamiento de las diaclasas.

La dirección de deslizamiento es la de las dos familias de discontinuidades, y tendrá menor inclinación que el talud.



Fuente: Texto de Hoek y Bray, 1 977.

Figura Nº 3.2: Rotura por Cuña

También en este caso el concepto de factor de seguridad es el cociente entre las resistencias al corte y la resistencia al deslizamiento. Sin embargo su cálculo es más

complejo que en rotura planar puesto que ha de hacerse en tres dimensiones.

Asimismo de existir cuñas de seguridad precaria, esta se puede mejorar colocando anclajes que unen las cuñas al macizo rocoso.

**c) Rotura por vuelco o rotura rotacional.**

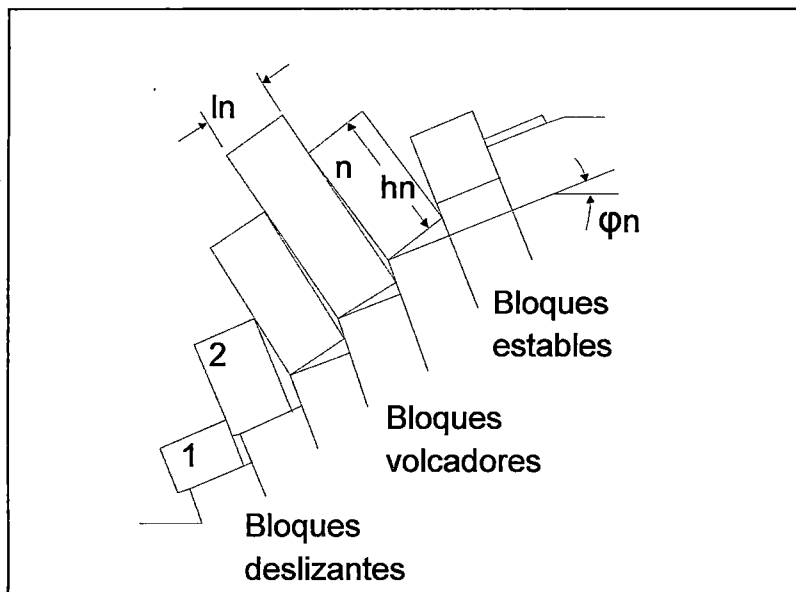
Supone la rotación de columnas o bloques de roca. El concepto de factor de seguridad utilizado en los casos de rotura planar o por cuña no es aplicable aquí ya que la estabilidad del talud no está proporcionada únicamente por la resistencia al deslizamiento.

**d) Vuelco de bloques.**

En macizos donde hay dos familias de discontinuidades ortogonales convenientemente orientadas se origina un sistema de bloques. El empuje sobre los inferiores origina su deslizamiento lo que permite la rotación

de los bloques superiores, hasta la rotura definitiva. (Ver Figura N° 3.3)

Por tanto la estabilidad del talud se cuantifica por medio de la fuerza estabilizador a que se ha de aplicar en la columna situada en al pie del talud para obtener el equilibrio estricto.



Fuente: Texto de Hoek y Bray, 1 977.

Figura N° 3.3: Conjunto de bloques en el momento de la rotura

**e) Rotura por pandeo de estratos.**

En taludes con elevado ángulo de inclinación y con una estratificación o fracturación de la roca paralela al talud. Si los estratos son suficientemente estrechos puede llegar a producirse el pandeo, el cual puede progresar hacia el interior del talud afectando sucesivamente a estratos subyacentes. La inestabilidad por pandeo se ve favorecida por la presencia de empujes sobre la placa o estrato superficial, procedentes del terreno subyacente.

**f) Pandeo por flexión de placas continuas.**

Consecuencia del peso propio de la placa por lo que puede evitarse limitando la altura del talud.

**g) Pandeo por flexión de placas fracturadas en taludes con frentes planos.**

Ha de existir una familia de juntas aproximadamente ortogonales a la estratificación paralela al talud. Las causas

de la inestabilidad son externas a la placa, tales como empujes del terreno adyacente o presiones intersticiales. De hecho el peso del estrato superior actúa como estabilizador en oposición al giro de los bloques.

**h) Pandeo por flexión de placas fracturadas en taludes con frentes curvados.**

Se diferencia de la anterior en que la curvatura del talud hace que la inestabilidad pueda producirse con sobrecargas pequeñas.

De las evaluaciones realizadas y las comparaciones con, los criterio expuesto, los resultados del análisis de las fracturas, revelan que las estratificaciones presentan orientación paralela al talud natural, generando condiciones propicias para la ocurrencia de fallas planar y en menor grado fallas por cuñas o por efecto de volteo.

Además de la inestabilidad del talud por deslizamiento planar, también pueden originarse algunos desprendimientos de bloques.

### **3.4 Condiciones Hidrogeológicas**

Se analizó la variación de la precipitación con la altitud asumiendo un mecanismo de precipitación orográfico. En base a la precipitación media anual del periodo 1 964 – 2 006 de las estaciones disponibles, se intentó obtener la correlación de precipitación vs. Altitud, pero no fue posible encontrar una correlación aceptable; sin embargo, es válido admitir un valor de 1 000 mm como precipitación media de las cuencas estudiadas; desde el mes de noviembre hasta el mes de abril se presentan los registros más altos de precipitación.

En el cuadro N° 3.1 se muestra la precipitación media anual del periodo 1 964 – 2 006 de las estaciones disponibles.

Cuadro N° 3.1: Precipitación anual media del periodo 1 964 – 2 006 (INFORME GEOLOGICO CESEL)

| Estación   | Altitud<br>(msnm) | Precipitación<br>Anual Media<br>(mm) |
|------------|-------------------|--------------------------------------|
| Huamachuco | 3 220             | 968,6                                |
| Tayabamba  | 3 250             | 614,1                                |
| Buildibuyo | 3 243             | 755,6                                |
| Cajabamba  | 2 491             | 935,6                                |
| Angón      | 1 315             | 1 070,6                              |
| Siguas     | 2 716             | 844,0                                |
| Celendín   | 2 620             | 971,5                                |
| H. Jocos   | 2 630             | 920,3                                |
| Huancas    | 2 800             | 1 569,8                              |
| Huaycot    | 3 200             | 1 229,2                              |

Fuente: Informe Geológico Cesel.

De la información hidrológica se desprende que, en el área del proyecto existe una considerable precipitación pluviométrica. Parte de dicha escorrentía se infiltra hacia el interior del macizo rocoso, generando procesos de alteración y desestabilización.

### **3.5 Condiciones de Sismicidad**

Se realizaron los análisis de la sismicidad instrumental y geotectónica existente dentro del área que comprende la evaluación geológica y geotécnica para la ubicación de la chimenea a ejecutarse, en el distrito de Pías, provincia de Pataz, departamento de la Libertad.

La evaluación del peligro sísmico ha sido realizada por medio de los métodos probabilísticos y determinístico, de donde se definen los niveles sísmicos del movimiento máximo del suelo en el área del proyecto. Además, se proponen valores del coeficiente sísmico para el diseño pseudoestático de estructuras.

#### **3.5.1 Análisis Espacio – Temporal de la Actividad Sísmica**

El análisis espacio – temporal de la actividad sísmica se ha efectuado considerando el tipo y la cantidad de información que se encuentra disponible en la actualidad.

Esta información corresponde al presente siglo y es fundamentalmente de carácter instrumental, por lo que se

puede disponer de la ubicación de epicentros y de la magnitud de por lo menos los sismos más importantes. A partir de agosto de 1 963 se comenzó a instalar una red estándar a escala mundial, que para 1 964 aumento en forma notable la cantidad de estaciones sismológicas, mejorando enormemente la ubicación hipocentral y la determinación de las magnitudes.

Se debe indicar que esta información se encuentra recopilada en el Catalogo Sísmico del Proyecto SISRA (1 985) hasta el año 1 992, con los datos verificados y publicados por el ISN (International Seismological Center).

Los sismos en el área de influencia presentan el mismo patrón general de distribución espacial que el resto del territorio peruano; es decir, la mayor actividad sísmica se concentra en la fosa marina, paralelamente a la costa. Se aprecia la subducción de la placa de Nazca, ya que hacia el continente la profundidad focal de los sismos aumenta. También se producen sismos en el continente que son superficiales e intermedios, y que estarían relacionados a fallas existentes.

En el perfil transversal perpendicular a la costa que pasa por el área del proyecto, se aprecia la subducción de la Placa de Nazca y la distribución de los sismos continentales.

Según el estudio de la neotectónicas del Perú (Sebrier Et al, 1 982), en el área vecina al proyecto se pueden distinguir las siguientes fallas como principal influencia.

- Falla Chalquibamba (PE-04)
- Falla Shonita (PE-05)
- Sistema de fallas de la Cordillera Blanca (PE-07)
- Falla Quiches (PE-08)
- Falla limite Este (PE-09)

Considerando los sismos de la zona de subducción, es posible definir dos áreas de actividad concentrada y con una influencia significativa sobre la zona del proyecto.

La primera se encuentra de ellas se encuentra ubicada fuera del límite costero, a distancias focales mínimas del orden de 120,31 km.

La segunda se encuentra ubicada al oeste del proyecto a distancias focales mínimas de 209,42 km.

Estas dos zonas representan la fuente Costera y Continental de la Subducción respectivamente. Ver los resultados en el Cuadro N° 3.2.

Cuadro N° 3.2: Zonas de Subducción

| Fuente  | Distancia<br>(km) | m   | a <sub>max</sub> (g)<br>Subducción | a <sub>max</sub> (g)<br>Transcurrido |
|---|-------------------|-----|------------------------------------|--------------------------------------|
| Zona Costera de subducción                        | 120,31            | 7,5 | 0,194                              | --                                   |
| Zona Continental de subducción                    | 209,42            | 7,5 | 0,050                              | --                                   |
| Falla Chalquibamba (PE-04)                        | 65,29             | 6,5 | --                                 | 0,027                                |
| Falla Shonita (PE-05)                             | 39,34             | 6,2 | --                                 | 0,036                                |
| Sistema de fallas de la Cordillera Blanca (PE-07) | 69,48             | 7,9 | --                                 | 0,038                                |
| Falla Quiches (PE-08)                             | 29,75             | 6,9 | --                                 | 0,052                                |
| Falla limite Este (PE-09)                         | 9,76              | 7,6 | --                                 | 0,065                                |

Fuente: ISN (International Seismological Center).

### 3.5.2 Determinación del Peligro Sísmico

Se ha determinado el peligro sísmico del área del proyecto utilizando la metodología e información pertinente disponibles en la literatura. Para esto, se ha empleado el programa RISK desarrollado por R. Mc Guire (1 976) con datos de la ley de atenuación de Casaverde y Vargas (1 890) para los sismos de subducción y de Mc Guire (1 974) para los sismos continentales. Se han usado las fuentes sismogénicas definidas por Lava y Castillo (1 993) y los parámetros de recurrencia actualizados por CESEL S.A. hasta el 2 007.

En el siguiente cuadro N° 3.3 muestra las máximas aceleraciones esperadas para periodos de retorno de 30, 50, 100, 190, 285, 475 y 950 años.

Cuadro N° 3.3: Máximas Aceleraciones

| Proyecto         | Periodo de Retorno / Aceleración (g) |      |      |      |      |      |      |
|------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                  | 30                                   | 50   | 100  | 190  | 285  | 475  | 950  |
| Zona de Chimenea | 0,16                                 | 0,19 | 0,25 | 0,30 | 0,34 | 0,39 | 0,47 |

Fuente: ISN (International Seismological Center).

De los análisis de peligro sísmico determinístico y probabilístico, se definen los siguientes valores de diseño, ver cuadro N° 3.4

Cuadro N° 3.4: Aceleraciones de Diseño

| <b>Lugar</b>      | <b>Aceleración de Diseño</b> | <b>Aceleración Efectiva de Diseño</b> |
|-------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Zona del Proyecto | 0,39                         | 0,27                                  |

Fuente: ISN (International Seismological Center).

Para el caso de diseño de taludes y obras de retención empleando el método pseudoestático, se recomienda utilizar los valores del Cuadro N° 3.5

Cuadro N° 3.5: Aceleración Seudoestático

| <b>Lugar</b>     | <b>Aceleración Seudoestático (a)</b> |
|------------------|--------------------------------------|
| Zona de Proyecto | 0,195                                |

Fuente: ISN (International Seismological Center).

## **CAPÍTULO IV**

### **GEOMECÁNICA**

#### **4.1 Geomecánica de Discontinuidades Geológicas**

##### **4.1.1 Factores que controlan la estabilidad de bloques rocosos.**

En el minado subterráneo, cuando las discontinuidades geológicas son las que determinan el comportamiento mecánico de la masa rocosa, y están ubicadas relativamente a pocas profundidades, el tipo más común de inestabilidad es producida por caídas y deslizamientos de bloques rocosos alrededor de las aberturas, como consecuencia de la fuerza gravitatoria. En estas condiciones, los parámetros que controlan la estabilidad del bloque rocoso serían:

- **Parámetros Geométricos**

Tamaño, forma, y ubicación del bloque rocoso

- **Parámetros de resistencia al corte**

Se refiere en los planos de discontinuidad que forman la cuña rocosa.

- **Esfuerzos in situ**

Opcional, especialmente cuando se trata a mayores profundidades o se encuentran en zonas con altos esfuerzos horizontales.

#### **4.1.2 Características de las discontinuidades geológicas.**

Generalmente, las discontinuidades geológicas se presentan en la naturaleza en forma sistemática, es decir, formando familias o sistemas con orientaciones más o menos homogéneas. Los resultados de sus caracterizaciones se

determinan y analizan mediante métodos estadísticos. Se menciona las siguientes características:

### **Características Geométricas**

- Orientación
- Espaciado
- Persistencia o continuidad
- Número de familias

### **Características de resistencia al corte**

- Rugosidad,
- Abertura
- Relleno
- Intemperismo
- Flujo de agua.

### **4.1.3 Interacción característica de las discontinuidades y las aberturas subterráneas.**

#### **a) Tamaño y grado de fracturas (RQD)**

Es el resultado de la interacción de la continuidad, el espaciamiento promedio y el número de familias de las discontinuidades.

#### **b) Forma de bloques rocosos**

Es el resultado de la interacción del espaciamiento promedio con la orientación media de cada familia de discontinuidad.

#### **c) Estabilidad de las excavaciones**

Lo definen la orientación media de las discontinuidades con respecto a la orientación y tamaño de las superficies de las excavaciones, las características de

resistencia al corte y deformabilidad de los planos de discontinuidades.

#### **4.1.4 Clasificación de bloques rocosos.**

##### **a) Bloques Infinitos (Tipo 1)**

Son bloques muy grandes, imposibles de moverse hacia el espacio vacío, no dan lugar a ningún tipo de inestabilidad.

##### **b) Bloques finitos (Tipo 2)**

Formado por la intersección de discontinuidades originan bloques discretos. Pueden ser a su vez: No movable o cónicos y móviles.

*Clasificación de los bloques móviles: Esta a su vez pueden ser:*

**c) Estables sin resistencia al corte (Tipo 3)**

Tienen ubicación y orientación favorable con respecto a la fuerza resultante, de manera que tiende a permanecer estable aún sin fricción ni cohesión en sus planos de discontinuidades.

**d) Estables con suficiente resistencia al corte (Tipo 4)**

Es definido como un bloque potencialmente inestable, es decir tiene tendencia de moverse hacia la cara de la excavación, pueden ser estables a menos que la resistencia al corte en el plano de discontinuidades de deslizamiento sea más pequeño que la fuerza que tiende a deslizarla. Sin embargo son considerados bloques potencialmente inestables o claves (Key block).

**e) Estable solo con refuerzo artificial (Key block) (Tipo 5)**

Típico; No solamente es movable sino que su posición y orientación es insegura, es posible a deslizarse a

menos que se pueda colocar algún sistema de sostenimiento o refuerzo del bloque.

#### **4.2 Metodología de Análisis de Movimientos de Bloques**

En el minado subterráneo sobre minerales y rocas competentes y fracturadas, ubicadas a bajas profundidades, el tipo más común de fallas son aquellos que involucran las caídas y deslizamientos de bloques del techo como de las paredes de las aberturas por efecto de la gravedad y la pérdida o rotura del empalme de estos bloques a lo largo de los planos de las discontinuidades

Si estos bloques sueltos no son reforzados oportunamente la estabilidad de las aberturas puede deteriorarse rápidamente. Cada bloque que se desprende o desliza, reducirá la capacidad de embone de la masa rocosa, induciendo a los bloques contiguos a fallar. Este proceso puede continuar produciendo el desmoronamiento de la abertura hasta la formación de un arco natural en el techo o su colapso total.

Las diferentes etapas que son necesarias para el análisis de este problema son:

- Determinación de la orientación promedio de las familias de discontinuidades más significativas.
- Identificación de los bloques potencialmente inestables, que pueden caerse o deslizarse del techo o paredes de la abertura. (Clasificación de bloques).
- Cálculo del factor de seguridad de los bloques según el modo de falla.
- Diseño del tipo de sostenimiento requerido, que brinde un factor de seguridad aceptable individual para cada bloque.

El presente planteamiento de puede observar en el ejemplo aplicativo. Ver figura N° 4.1



Para el análisis iterativo de la orientación y determinación del número de familias de discontinuidades geológicas se utiliza el software DIPS.

El DIPS permite al usuario, analizar y visualizar los datos geológicos estructurales, siguiendo las mismas técnicas usadas en el procedimiento estereográfico manual, como el contorno estadístico de agrupamiento de orientación de polos, determinación de la orientación media, el número de familias y las características adicionales de la calidad, cantidad y velocidad que le atribuye al método de análisis.

#### **4.2.2 Identificación de bloques móviles**

Únicamente los bloques móviles, son los que ameritan un análisis de estabilidad. Para comprender mejor la naturaleza de los bloques potencialmente inestables, es necesario tener en cuenta las siguientes diferencias de los tipos de bloques:

- **Bloques de Discontinuidades (Joint block).-**

Se forman en su totalidad por la intersección de los planos de discontinuidades de cada familia. No se exponen ni son visibles en la superficie de la excavación, se ubican detrás de ellas o en el interior de la masa rocosa.

- **Bloques claves (Key block).-**

Se forman por las intersecciones de los planos de las discontinuidades de cada familia, y el plano de la superficie de la excavación, están visibles alrededor de la abertura subterránea.

Para identificar los bloques movibles y definir su posibilidad de movimiento, se sigue las siguientes recomendaciones:

Sobre la base de libertad de movimiento, posición y dirección de la fuerza resultante, sin

considerar los parámetros de resistencia al corte de los planos de discontinuidades, se identifica los bloques estables (tipo 3) y los bloques potencialmente inestables (tipo 4).

Considerando, los parámetros de resistencia al corte ( $\phi$ ), y cohesión ( $c$ ), de los planos de discontinuidades, comparando y evaluando las fuerzas que tienden a estabilizar y desestabilizar el bloque rocosos por el método de "Equilibrio límite", identificamos los bloques potencialmente inestables (tipo 4), y los bloques claves (tipo 5).

El tamaño y la forma de un bloque potencialmente inestable (Key block), depende por un lado del tamaño, forma y orientación de las aberturas, y por otro lado de las orientaciones de las familias de discontinuidades más significativas.

### **4.2.3 Determinación del Factor de Seguridad**

El máximo número de bloques tetraédricos simples que pueden originarse por la intersección de tres planos de discontinuidades y la superficie de la abertura en un túnel de forma circular es de seis, para un túnel cuadrado o rectangular es de cuatro, para uno de forma de bóveda en el techo permite la formación de una cuña adicional dando un total de cinco, que siendo este pequeño podemos ignorarlo en los cálculos.

El bloque rocoso que se ubica en el techo, por su forma y posición, tiende a desprenderse como consecuencia de la carga gravitatoria, y que al liberarse de los planos de discontinuidad su factor de seguridad se considera cero. En algunos casos, en el techo pueden existir bloques que tienden a deslizarse a través de una cara o la línea de intersección de los planos de discontinuidades, en este caso el factor de seguridad tiene un cierto valor finito.

Por otro lado, los bloques que se forman en las paredes opuestas del túnel, son idénticas en su forma y en peso, y diferentes en su posición y factor de seguridad. El deslizamiento puede ocurrir sobre diferentes caras o líneas de intersección. Para el caso de los “key block” situados en el piso del túnel, estas son completamente estables y no requieren de ningún tipo de consideraciones.

#### **4.2.4 Prevención de fallas de bloques rocosos mediante refuerzos o sostenimiento.**

Un rasgo característico de la falla de bloques rocosos tanto del techo como de las paredes de la abertura, es que estos bloques pueden experimentar un pequeño movimiento de la masa rocosa antes de su desprendimiento.

En el caso de bloques del techo, la falla puede ocurrir tan pronto como la base de la cuña sea expuesta en la superficie de la abertura. Para bloques situados en las paredes, el deslizamiento de unos pocos milímetros a lo largo del plano o línea de deslizamiento, pueden ser suficientes para vencer la

resistencia al corte pico de las discontinuidades, por lo que el sistema de soporte a utilizarse debe de contrarrestar rígidamente a este tipo movimiento.

La presión total que debe ejercer los elementos de soporte para mantener el bloque en el techo, es la fuerza que tiende a soportar el peso muerto del bloque ( $W$ ), más un porcentaje (30 – 50%) por seguridad o deficiencias que se pudieran haber cometido en la instalación. La tensión total que se aplica al perno o cable sería:

$$\text{Fuerza total} = (1,3 \text{ a } 1,5) W$$

El valor del factor de seguridad más bajo de 1,3 puede darse para aberturas subterráneas temporales, mientras que el factor de seguridad más alto de 1,5; para aberturas permanentes. Cuando el centro de gravedad del bloque es claramente identificado, los elementos de soporte se pueden distribuir alrededor de este centro, de manera que se evita cualquier indicio de rotación y reduzca el factor de seguridad.

En la selección de la longitud de los pernos o cables de anclaje, deben de tenerse cuidado en elegir la longitud que atraviesa el bloque ( $L_w$ ), y la longitud de anclaje detrás en la roca madre ( $L_r$ ). Ambas deben de tener la longitud necesaria para asegurar un anclaje adecuado.

Para el caso de los bloques situados en las paredes de la abertura, los pernos deben colocarse de manera que se incrementa los esfuerzos normales en las superficies de las discontinuidades, incrementándose los esfuerzos de corte en las mismas.

### **4.3 Evaluación de la Perforación Diamantina**

#### **4.3.1 Criterios de Evaluación de las Condiciones Geomecánica**

Ante la carencia de tecnología para la obtención de parámetro geotécnico (macizos rocosos) nacen dos sistemas de clasificación:

- Sistema RMR de Bieniawski (1 989).
- Sistema Q de Barton (1 974).

#### a) Clasificación de Barton

Esta clasificación Geomecánica se basa en el índice de calidad "Q" denominado también índice de Calidad tunelera, que da una estimación de la calidad del macizo rocoso, teniendo en cuenta los siguientes factores: (Los valores se obtienen de los Cuadros N° 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 4.5, 4.6, 4.7, 4.8

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

Donde:

RQD = Índice según la valuación de Deere.

J<sub>n</sub> = Índice según el número de fracturas.

J<sub>r</sub> = Índice según la forma de la superficie de las fracturas.

Ja = Índice según la alteración en la superficie de las fracturas o de su relleno.

Jw = Coeficiente reductor por presencia de agua.

SRF = (Stress reducción factor) coeficiente dependiente del estado tensional del macizo rocoso.

Asociados estos parámetros en grupo, obtenemos que:

$(RQD / J_n)$  = Representa el tamaño del bloque.

$(J_r / J_a)$  = Representa la resistencia al corte de bloque.

$(J_w / SRF)$  = Representa la influencia del estado tensional

Cuadro N° 4.1: Clasificación de Barton – Índice de Calidad del roca.

| Índice de Calidad de roca | RQD      | Observaciones  |
|---------------------------|----------|--|
| A.- Muy mala              | 0 – 25   | 1. Cuando RQD 10, incluyendo cero; se puede utilizar el valor 10 para RQD.<br>2. Intervalos de 5 para RQD, o sea 100, 95, 90 son precisos. |
| B.- Mala                  | 25 – 50  |  |
| C.- Regular               | 50 – 75  |  |
| D.- Bueno                 | 75 – 90  |  |
| E.- Excelente             | 90 – 100 |  |

Fuente: Texto Hoek and Brown.

Cuadro N° 4.2: Clasificación de Barton – Número de Familias de Juntas

| Número de Familias   | Jn      | Observaciones   |
|--|---------|---|
| A. Masivo, sin o con pocas juntas.                                 | 0,5 – 1 | 1. Para cruces en túneles utilizar (3 x Jn).<br>2. Para portales utilizar (2 x Jn). |
| B. Una familia de juntas.  | 2       |   |
| C. Una familia y algunas juntas ocasionales.                       | 3       |   |
| D. Dos familias de juntas  | 4       |   |
| E. Dos familias y algunas juntas                                   | 6       |   |
| F. Tres familias de juntas   | 9       |   |
| G. Tres familias y algunas juntas                                  | 12      |   |
| H. Cuatro familias o más, roca muy fracturada. Terrones de azúcar. | 15      |   |
| I. Roca triturada terrosa.   | 20      |   |

Fuente: Texto Hoek and Brown

Cuadro N° 4.3: Clasificación de Barton – Rugosidad de Juntas

| Numero de rugosidad de las Juntas   | Jr  | Observaciones  |
|---|-----|--|
| - Contacto entre las dos caras de la junta.<br>- Contacto entre las dos caras de la junta mediante un desplazamiento lateral 10 cm. |     | 1. Se añade 1,0 si el espaciamiento medio de juntas es mayor de 3 m.<br>2. Jr = 0,5 se puede usar para juntas de fricción planas y que tengan alineaciones orientadas para resistencia mínima. |
| A. Juntas discontinuas.   | 4,0 |  |
| B. Junta rugosa o irregular ondulada.   | 3,0 |  |
| C. Suave ondulada   | 2,0 |  |
| D. Espejo de falla, ondulada.   | 1,5 |  |
| E. Rugosa o irregular plana.  | 1,5 |  |
| F. Suave plana.   | 1,0 |  |
| G. Espejo de falla o superficie de fricción plana.  | 0,5 |  |
| - Sin contacto entre las dos caras de la junta desplazados lateralmente.  |     |  |
| H. Zona que contiene minerales arcillosos de espesor suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras.           | 1,0 |  |
| I. Zona arenosa de grava o roca triturada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras de la junta.          | 1,0 |  |

Fuente: Texto Hoek and Brown

Cuadro N° 4.4: Clasificación de Barton – Alteración de Juntas.

| Numero de alteración de las juntas   | Ja   | Ør (aprox.) | Observación   |
|--|------|-------------|---|
| - Contacto entre las dos caras de la junta.  |      |             | 1. Los valores de de Ør el ángulo De fricción residual, se indican como guía aproximada de las propiedades mineralógicas de los productos de la alteración si es que están presentes. |
| A. Junta sellada, dura, sin reblandamiento relleno impermeable, ej. Cuarzo.  | 0,75 |             |   |
| B. Caras de la junta únicamente manchadas.   | 1    | 25° - 35°   |   |
| C. Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no reblandecibles, partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.   | 2    | 25° - 30°   |   |
| D. Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fracción arcillosa no reblandecible.   | 3    | 20° - 25°   |   |
| E. Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción, ej. Caolinita, mica, clorita, talco, y pequeñas cantidades de arcillas expansivas, los recubrimientos son discontinuos con espesores de 162 mm. | 4    | 8° - 16°    |   |
| - Contacto entre las dos caras de la junta con menos de 10 cm de desplazamiento lateral.   |      |             |   |
| F. Partículas de arena, roca desintegrada, libre de arcilla.   | 4    | 25° - 30°   |   |

| <b>Numero de alteración de las juntas</b>   | <b>Ja</b>          | <b>Ør (aprox.)</b> | <b>Observación</b> |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|
| G. Fuertemente sobre consolidados, rellenos de minerales arcillosos no reblandecidos. Los recubrimientos son continuos menores de 5 mm. de espesor.                     | 6                  | 16° - 24°          |                    |
| H. Sobre consolidación media a baja, reblandecimiento, relleno de mineral arcilloso. Los recubrimientos son continuos menores de 5 mm. de espesor.                      | 8                  | 8° - 16°           |                    |
| I. Relleno de arcillas expansivas ej. Montmorillonita, de espesor continuo de 5mm. El Valor Ja depende del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva. | 8 - 12             | 6° - 12°           |                    |
| - No existe contacto entre las dos caras de la junta cuando esta es cizallada.  |                    |                    |                    |
| J. Zonas o bandas de roca desintegrada o machacada y arcilla.   | 6 - 8 ó<br>8 - 12  | 6° - 24°           |                    |
| K. Zonas blandas de arcilla limosa o arenosa con pequeña fracción de arcilla sin reblandamiento.  | 5                  | 6° - 24°           |                    |
| L. Zonas o capas gruesas de arcilla.  | 10 - 13<br>13 - 20 | 6° - 24°           |                    |

Fuente: Texto Hoek and Brown

Cuadro N° 4.5: Clasificación de Barton – Factor de Reducción por Agua.

| Factor de reducción por presencia de agua en las juntas   | Jw         | Presión agua Kg/cm <sup>2</sup> | Observaciones   |
|---|------------|---------------------------------|---|
| A. Excavaciones secas o de fluencia poco importante, menos de 5 l/min localmente.                 | 1          | < 1                             | 1. Los factores de C a E, son estimaciones aproximadas aumenta Jw si se instalan drenes.    |
| B. Fluencia o presión media, ocasional lavado de los rellenos de las juntas.                      | 0,66       | 1 – 2,5                         |   |
| C. Fluencia grande o presión alta, considerable lavado de los rellenos de las juntas.             | 0,33       | 2,5 - 10                        | 2. Los problemas especiales causados por la presencia de hielo no se toman en consideración |
| D. Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas con la voladuras disminuyendo con el tiempo. | 0,1 – 0,2  | > 10                            |   |
| E. Fluencia o presión de agua excepcionalmente alta y continua, sin disminución.                  | 0,05 – 0,1 | > 10                            |   |

Fuente: Texto Hoek and Brown

Cuadro N° 4.6: Clasificación de Barton – Factor de Reducción por Esfuerzo.

| <b>Factor de Reducción de esfuerzos</b>  | <b>S.R.F<br/>(Factor de Reducción de Tensiones)</b> | <b>Observaciones</b>  |
|--|---|---|
| Zonas débiles que intersectan la excavación y pueden causar caídas de bloques, según avanza la misma.                            |   | 1. Redúzcanse estos valores SRF de 25% - 50% si las zonas de fractura solo se intersectan pero no cruzan la excavación. |
| A. Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor (cualquier profundidad). | 10  |   |
| B. Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación menor de 50 m).           | 5   |   |
| C. Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación mayor de 50 m).           | 2,5   |   |
| D. Varias zonas de fractura en roca  | 7,5   |   |

| <b>Factor de Reducción de esfuerzos</b>   | <b>S.R.F<br/>(Factor de Reducción de Tensiones)</b> | <b>Observaciones</b> |
|---|---|----------------------|
| competente (libre de arcilla), roca suelta alrededor (cualquier profundidad).                                 |   |                      |
| E. Solo una zona fractura en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación menor de 50 m).   | 5   |                      |
| F. Solo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación mayor de 50 m). | 2,5   |                      |
| G. Juntas abiertas sueltas, muy fracturadas, etc. (cualquiera profundidad).                                   | 5   |                      |

Fuente: Texto Hoek and Brown

Cuadro Nº 4.7: Clasificación de Barton – Factor de Reducción por Esfuerzo.

| Factor de Reducción de esfuerzos   | $\sigma_c / \sigma_1$ | $\sigma_T / \sigma_1$ | S.R.F (Factor de Reducción de Tensiones) | Observaciones  |
|--|-----------------------|-----------------------|--|--|
| Roca Competente, problemas de esfuerzos en roca.   |                       |                       |  | 2. Para un campo virgen de esfuerzos fuertemente anisotrópico, medidas: cuando $5 \leq \sigma_1 / \sigma_3 \leq 10$ , redúzcase:   |
| H. Esfuerzo bajo, cerca de la superficie.  | >200                  | >13                   | 2,5                                      |  |
| I. Esfuerzo medios.  | 200 - 10              | 13 - 0,66             | 1,0                                      |  |
| J. Esfuerzo grande, estructura muy cerrada (normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales). | 10 - 5                | 0,66 - 0,33           | 0,5 - 2,0                                | Reducir $\sigma_c$ y $\sigma_T$ a $0,8\sigma_T$ y $0,8\sigma_c$ .<br>cuando $\sigma_1 / \sigma_3 > 10$ , redúzcase:<br>Reducir $\sigma_c$ y $\sigma_T$ a $0,2\sigma_c$ y $0,6\sigma_T$ .<br>$\sigma_c =$<br>Resistencia Compresiva.<br>$\sigma_T =$ Esfuerzo |

| <b>Factor de Reducción de esfuerzos</b>       | $\sigma_c / \sigma_1$ | $\sigma_T / \sigma_1$ | <b>S.R.F (Factor de Reducción de Tensiones)</b> | <b>Observaciones</b>  |
|---|-----------------------|-----------------------|---|---|
|   |                       |                       |   | a la tracción<br>$\sigma_1$ = Esfuerzo Principal Mayor.<br>$\sigma_3$ = Esfuerzo Principal Menor.   |
| K. Desprendimiento moderado de roca masiva.   | 5 – 2,5               | 0,33 – 0,16           | 5 – 10  | 3. Hay los casos donde el techo debajo de la superficie sea menor que el ancho del claro. Se sugiere que el SRF sea aumentado de 2,5 a 5 para estos casos, ver H. |
| L. Desprendimiento intenso de la roca masiva. | < 2,5                 | <0,16                 | 10 - 20   |   |

Fuente: Texto Hoek and Brown

Cuadro Nº 4.8: Clasificación de Barton – Factor de Reducción por Esfuerzo.

| Factor de Reducción de esfuerzos   | S.R.F<br>(Factor de Reducción de Tensiones) | OBSEVACIONES |
|--|---|--------------|
| Roca fluyente, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostáticas. |   |              |
| M. Presión de flujo suave.   | 5 – 10                                      |              |
| N. Presión de flujo intenso.   | 10 – 20                                     |              |
| Rocas expansivas, actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua.                     |   |              |
| O. Presión de expansión suave.   | 5 – 10                                      |              |
| P. Presión de expansión suave.   | 10 - 15                                     |              |

Fuente: Texto Hoek and Brown

## **b) Clasificación de Bieniawski O RMR (Rock Mass Rating)**

Este sistema fue desarrollado por Z.T. Bieniawski en los años 70 siendo reformado en numerosas ocasiones y siendo la actual por el momento la de 1 989 que coincide con la de 1 979 en bastantes cosas, es un sistema empírico basado en más de 300 casos reales de túneles, galerías, minas, cavernas, cimentaciones y taludes, y usada extensamente por todo el mundo para el sostenimiento de estas construcciones.

Se basa en la suma de una serie de parámetros del terreno para evaluar su capacidad y por tanto el sostenimiento necesario, estos parámetros son los siguientes:

- Resistencia a la compresión simple de la roca inalterada.
- RQD (existe un sistema basado en este mismo parámetro).
- Espaciamiento discontinuidades (fisuras, diaclasas).
- Estado de las fisuras.
- Presencia de agua subterránea.
- Corrección por orientación de las discontinuidades

### **Resistencia a la compresión simple de la roca.**

Se realiza una serie de ensayos de la roca para averiguar su resistencia

### **RQD (Rock Quality designation).**

Se basa en el porcentaje de sondeo recuperado en el que la roca se encuentra relativamente intacta.

$$\text{RQD} = \frac{\text{Longitud de los núcleos mayores de 10 cm}}{\text{Largo del Barreno (cm)}} - 100$$

### **Espaciamiento de las discontinuidades.**

Se da una valoración del espaciamiento entre las diaclasas.

### **Estado de las fisuras.**

Este parámetro es fundamental se puede usar con la tabla general aunque para mayor precisión se recomienda la tabla Guía para valorar el estado de las discontinuidades (Diaclasas)

### **Presencia de agua.**

El agua en las juntas (diaclasas, fisuras...) es un factor que genera una gran inestabilidad no solo por la presión hidrostática que puede ejercer sino también por las alteraciones que puede provocar en la junta (disolución, deslizamientos).

### **Corrección por orientación de las discontinuidades.**

En función de la orientación de nuestro túnel u obra respecto de las juntas, se puede acrecentar el riesgo de deslizamientos o por el contrario disminuirlo.

$$\text{RMR} = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) - \text{Correcciones}$$

Estos factores se cuantifican mediante una serie de parámetros definiéndose unos valores para dichos parámetros, cuya suma, en cada caso nos da el índice de Calidad del RMR que varía entre 0 – 100.

Los objetivos de esta clasificación son:

- Determinar y/o Estimar la calidad del macizo rocoso.
- Dividir el macizo rocoso en grupos de conducta análoga.
- Proporcionar una buena base de entendimiento de las características del macizo rocoso.
- Facilitar la planificación y el diseño de estructuras en roca, proporcionando datos cuantitativos necesarios para la solución real de los problemas de ingeniería.

### **4.3.2 Identificación de los Parámetros para la Clasificación de las Rocas**

Para la definición y puntuación de los parámetros que intervienen en identificación de la calidad del macizo rocoso, se clasifican las rocas en 5 categorías en cada categoría se estiman los valores de la cohesión y del ángulo de rozamiento interno del macizo rocoso, a continuación se definen y valoran cada uno de los factores que intervienen en la clasificación:

#### **a) Resistencia de la roca intacta (ver cuadro N° 4.9)**

Es decir del material rocoso que no presenta discontinuidades estructurales. Los criterios que se utilizan para clasificar la resistencia de la roca intacta es la siguiente.

Cuadro N° 4.9: Clasificación de la Resistencia de la roca intacta.

| <b>DESCRIPCIÓN</b>   | <b>RESISTENCIA A LA<br/>COMPRESION<br/>SIMPLE<br/>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | <b>INDICE DE<br/>RESISTENCIA BAJO<br/>CARGA PUNTUAL<br/>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b> |
|----------------------|---|---|
| Muy Resistente       | > 2 000   | > 80  |
| Alta Resistencia     | 1 000 --- 2 000   | 40 --- 80   |
| Media Resistencia    | 500 --- 1 000   | 20 --- 40   |
| Baja Resistencia     | 250 --- 500   | 10 --- 20   |
| Muy baja Resistencia | 100 --- 250   | < 10  |
|                      | 30 --- 100  |   |
|                      | 10 --- 30   |   |

Fuente: Texto Hoek and Brown

Los materiales de la resistencia menor de 10 Kg/cm<sup>2</sup>  
se consideran suelos

La determinación de la resistencia a compresión simple de un material rocoso, se puede realizar de una forma sencilla con un equipo portátil para el ensayo de puntual.

También se puede utilizar en laboratorios una prensa hidráulica en la que se introduce las probetas talladas, que deben cumplir unas especificaciones dadas.

La resistencia de un material rocoso no se debe confundir con su dureza, así, la resistencia no se puede determinar con las pruebas del martillo de geólogo y no con la navaja, aunque si se puede estimar.

El producto de la dureza por la densidad aparente, se puede utilizar para estimar la resistencia a compresión simple del material rocoso no se puede determinar con el esclerómetro o el martillo de schmitd.

La resistencia a compresión simple del material rocoso sirve de medida indirecta de su grado de alteración o meteorización. La alteración no se considera en la clasificación de Bieniawski, ya que este parámetro está incluido en el de resistencia a compresión simple.

#### **b) Calidad de la roca**

La alteración no se considera en la calidad de la roca en los testigos de sondeos, en la clasificación de Bieniawski.

Se recomienda el uso del RQD también se puede utilizar el criterio de facturación, la relación que existe entre el RQD, y la frecuencia es: un RQD del 100 % se corresponde con una frecuencia de una fractura por cada 30 cm un RQD próximo a cero se corresponde con frecuencia de 5 a 6 facturas por cada 30 cm

### **c) Espaciado de las juntas**

Se ha comprobado que el espaciado tiene gran influencia sobre la estructura del macizo rocoso. La resistencia del macizo rocoso va disminuyendo según va aumentando el número de juntas, siendo el espaciado de las juntas el factor más influyente en esta disminución de resistencia. (ver cuadro N° 4.10)

A continuación se presenta la clasificación de Deere del macizo rocoso, en lo referente al espaciado de las juntas, que es la que se recomienda utilizar en la clasificación de Bieniawski.

Cuadro N° 4.10: Clasificación de Deere – Espacio de Juntas.

| <b>DESCRIPCIÓN DEL<br/>ESPACIADO</b> | <b>ESPACIO DE LAS<br/>JUNTAS</b> | <b>TIPO DE MACIZO<br/>ROCOSO</b> |
|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Muy ancho                            | > 3 m                            | Solido                           |
| Ancho                                | 1--- 3 m                         | Masivo                           |
| Moderadamente<br>cerrado             | 0,3 – 1m                         | En bloques                       |
| Cerrado                              | 50 – 300 mm                      | Fracturado                       |
| Muy cerrado                          | < 50                             | Machacado                        |

Fuente: Texto Hoek and Brown

#### **d) Condición de las juntas**

En este apartado se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

- Apertura.
- Tamaño.
- Rugosidad

- Dureza de los labios de la discontinuidad.
- Relleno

Todos estos parámetros fueron explicados ampliamente al hablar del modelo geológico ahora se van a tratar desde el punto de vista de la clasificación de los macizos rocosos.

#### **a. Apertura**

La apertura de las juntas es un criterio para la descripción cuantitativa de un macizo rocoso.

La clasificación de Bieniawski es la siguiente:  
ver cuadro N° 4.11

Cuadro N° 4.11: Clasificación de Bieniawski – Apertura de Juntas.

| <b>DESCRIPCIÓN</b>    | <b>SEPARACIÓN</b> |
|-----------------------|-------------------|
| Abierta               | > 5 mm            |
| Moderadamente abierta | 1 – 5 mm          |
| Cerrada               | 0,1 – 1 mm        |
| Muy cerrada           | < 0,1             |

Fuente: Texto Hoek and Brown

### **b. Tamaño**

El tamaño de las juntas influye en la importancia que el material rocoso y la separación de las juntas tienen en el comportamiento del macizo rocoso.

### **c. Rugosidad**

En esta clasificación se establecen 5 categorías de rugosidad: rugoso, ligeramente rugosa, suave, espejo de falla y relleno blando.

**d. Dureza de los labios de la Discontinuidad.**

Se consideran 3 categorías de dureza: dura, media, blanda.

**e. Relleno**

Se define por su espesor, tipo de material, consistencia y continuidad.

**f. Presencia de Agua**

El efecto del agua tiene especial importancia en los macizos rocosos diaclasados. Se tendrá en cuenta el flujo de agua en el macizo rocoso. El criterio que se utilizara será el siguiente: completamente seco, húmedo, agua a presión moderada y agua a presión fuerte.

**g. Orientación de las discontinuidades.**

A la hora de considerar los efectos de la orientación de las discontinuidades para la clasificación del macizo rocoso, con vistas a la construcción de un túnel, normalmente, es suficiente considerar si las orientaciones del rumbo y del buzamiento son más o menos favorables con relación a la obra que se va realizar.

Bieniawski ha propuesto la siguiente clasificación: ver en los Cuadros N° 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16

Cuadro N° 4.12: Clasificación de Bieniawski – Orientación de Discontinuidades

| RUMBO PERPENDICULAR AL EJE    |                 |                                |                 | RUMBO PARALELO    |                 | Buzamiento<br>0 – 20°<br>(Independiente<br>del rumbo) |
|-------------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|---|
| Dirección según<br>buzamiento |                 | Dirección contra<br>buzamiento |                 | AL EJE DEL TUNEL  |                 |   |
| Bz.<br>45 – 90°               | Bz.<br>20 - 45° | Bz.<br>45 – 90°                | Bz.<br>20 - 45° | Bz.<br>45 – 90°   | Bz.<br>20 – 45° |   |
| Muy favorable                 | Favorable       | Regular                        | Des-favorable   | Muy des-favorable | Regular         | Desfavorable  |

Fuente: Texto Hoek and Brown

Esta clasificación no es aplicable a rocas expansivas fluyentes.

En la tabla viene indicados los valores de los parámetros anteriores, así como los criterios utilizados para su valoración.

Cuadro N° 4.13: Parámetros de Clasificación y sus Valores

| Parámetros                     |                                   | ESCALA DE VALORES   |  |   |  |   |                              |                             |
|--------------------------------|-----------------------------------|---|--|---|--|---|------------------------------|-----------------------------|
| Resistencia de la roca Intacta | Carga Puntual                     | 80 kg./cm <sup>2</sup>                                      | 40 - 80 kg./cm <sup>2</sup>                                    | 20 - 40 kg./cm <sup>2</sup>                                     | 10 - 20 kg./cm <sup>2</sup>  | 10 kg./cm <sup>2</sup>  |                              |                             |
|                                | A<br>Com presión Simple           | 2 000 kg./cm <sup>2</sup>                                   | 1 000 - 2 000 kg./cm <sup>2</sup>                              | 500 - 1 000 kg./cm <sup>2</sup>                                 | 250 - 500 kg./cm <sup>2</sup>  | 100 - 250 kg./cm <sup>2</sup>   | 30 - 100 kg./cm <sup>2</sup> | 10 - 30 kg./cm <sup>2</sup> |
| VALOR                          |                                   | 15  | 12   | 7   | 4  | 2   | 1                            | 0                           |
| R.Q.D.                         |                                   | 90% - 100%  | 75% - 90%  | 50% - 75%   | 25% - 50%  | 25%   |                              |                             |
| VALOR                          |                                   | 20  | 17   | 13  | 8  | 3   |                              |                             |
| Espaciado de Juntas            |                                   | 3 m.  | 1 m. - 3 m.  | 0,3 m. - 1 m.   | 50 mm. - 300 mm.   | 50 mm.  |                              |                             |
| VALOR                          |                                   | 30  | 25   | 20  | 10   | 5   |                              |                             |
| Condición de Juntas            |                                   | Muy rugosas sin continuidad cerradas. Paredes de roca dura. | Ligeramente rugosa < 1mm. de separación. Paredes de roca dura. | Ligeramente rugosa < 1mm. de separación. Paredes de roca suave. | Espejo de falla o relleno de espesor < 5mm. o abiertos 1 - 5mm. Figuras Continuas. | Relleno blando de espesor < 5mm. o abiertas < 5mm. figuras continuas. |                              |                             |
| VALOR                          |                                   | 25  | 20   | 12  | 6  | 0   |                              |                             |
| Aguas Subterráneas             | Cant. Infiltración 10 m. de tunel | Ninguna   |  | 25 litros/min.  | 25 - 125 litros/min.   | > 125 litros/min.   |                              |                             |
|                                | Presión de Agua                   | Cero  |  | 0,0 - 0,2   | 0,0 - 0,5  | 0,5   |                              |                             |
|                                | Esfuerzo Principal                |   |  |   |  |   |                              |                             |
|                                | Situación General                 | Totalmente seco   |  | Solo humedo agua interst.                                       | Ligera presión de agua   | Serios problemas de agua  |                              |                             |
| VALOR                          |                                   | 10  |  | 7   | 4  | 0   |                              |                             |

Fuente: Texto Hoek and Brown

Cuadro N° 4.14: Ajuste de Valores por las Orientaciones de las Juntas

| Orientación de rumbo y buzamiento de las fisuras |               | Muy Favorable | Favorable | Regular | Desfavorable | Muy Desfavorable |
|--|---------------|---------------|-----------|---------|--------------|------------------|
| Valores  | Túneles       | 0             | -2        | -5      | -10          | -12              |
|  | Cimentaciones | 0             | -2        | -7      | -15          | -25              |
|  | Taludes       | 0             | -5        | -25     | -50          | -60              |

Fuente: Texto Hoek and Brown

Cuadro N° 4.15: Determinación de la Clase del Macizo Rocosos

| Valor total del RMR | 81-100    | 61-80 | 41-60 | 21-40 | <20      |
|---------------------|-----------|-------|-------|-------|----------|
| Clase Número        | I         | II    | III   | IV    | V        |
| Descripción         | Muy Bueno | Bueno | Medio | Malo  | Muy Malo |

Fuente: Texto Hoek and Brown

Cuadro N° 4.16: Significado de las Clases de Macizos Rocosos

| Clase Número            | I                      | II                     | III                      | IV                       | V                      |
|-------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| Tiempo de Mantenimiento | 10 años para 5m.       | 6 meses para 4 m.      | 1 semana para 3 m.       | 5 horas para 1.5 m.      | 10 minutos para 0.5 m. |
| Cohesión                | > 3 Kg/cm <sup>2</sup> | 2-3 Kg/cm <sup>2</sup> | 1.5-2 Kg/cm <sup>2</sup> | 1-1.5 Kg/cm <sup>2</sup> | < 1 Kg/cm <sup>2</sup> |
| Angulo de fricción      | > 45°                  | 40°-45°                | 30°-40°                  | 30°-35°                  | < 30°                  |

Fuente: Texto Hoek and Brown

### **e) Dureza de las rocas**

La resistencia a la compresión simple es el mejor indicador de la dureza de las rocas frente a su aptitud a la trituración. Esta resistencia puede estimarse, sea directamente en el laboratorio, ensayando muestras provenientes de perforaciones con recuperación de núcleos, o indirectamente en el campo, a partir de muestras irregulares mediante el ensayo de carga puntual, o aún en el mismo macizo mediante la lectura de rebote del martillo Schmidt, o, finalmente, a partir de tablas de clasificación de dureza. Si esta dureza de la roca se grafica en mapas temáticos próximos a las localizaciones de los barrenos o sitios de muestreo, podrá definirse la distribución espacial de la dureza.

**f) Grado de resistencia.**

En el siguiente cuadro N° 4.17 se muestra diferentes fuentes para definir la calidad de la roca según su resistencia a la compresión simple.

Cuadro N° 4.17: Criterios de identificación de campo – Resistencia a la compresión simple de suelo y roca a partir de índices de campo

| Clase | Descripción                | Identificación de campo  | Aproximación al rango de resistencia a compresión simple (MPa) |
|-------|----------------------------|--|--|
| $S_1$ | Arcilla muy blanda         | El puño penetra fácilmente varios cm.  | <0,025   |
| $S_2$ | Arcilla débil              | El dedo penetra fácilmente varios cm.  | 0,025-0,05   |
| $S_3$ | Arcilla firme              | Se necesita una pequeña presión para hincar el dedo.   | 0,05-0,1   |
| $S_4$ | Arcilla rígida             | Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo   | 0,1-0,25   |
| $S_5$ | Arcilla muy rígida         | Con cierta presión puede marcarse con la uña.  | 0,25-0,5   |
| $S_6$ | Arcilla muy dura           | Se marca con dificultad al presionar con la uña.   | >0,5   |
| $R_0$ | Roca extremadamente blanda | Se puede marcar con la uña.  | 0,25-1,0   |
| $R_1$ | Roca muy blanda            | La roca se desmenuza al golpear con la punta del martillo. Con una navaja se talla fácilmente            | 1,0-5,0  |
| $R_2$ | Roca blanda                | Se talla con dificultad con una navaja. Al golpear con la punta del martillo se producen pequeñas marcas | 5,0-25   |
| $R_3$ | Roca moderadamente dura    | No puede tallarse con la navaja. Puede fracturarse con un golpe fuerte del martillo                      | 25-50  |
| $R_4$ | Roca dura                  | Se requiere más de un golpe con el martillo para fracturarla.  | 50-100   |
| $R_5$ | Roca muy dura              | Se requieren muchos golpes con el martillo para fracturarla.   | 100-250  |
| $R_6$ | Roca extremadamente dura   | Al golpearlo con el martillo sólo saltan esquirlas.  | >250   |

Fuente: Texto Hoek and Brown

También existen otros criterios para la clasificación de las rocas a partir de su resistencia a la compresión simple, como se muestra en el siguiente cuadro N° 4.18

Cuadro N° 4.18: Clasificación de las rocas a partir de su Resistencia a la Compresión Simple.

| Resistencia a la compresión simple (MPa) | ISRM(1981)         | Geological Society of London (1970) | Bieniawski (1973) | Ejemplos   |
|--|--------------------|-------------------------------------|-------------------|--|
| < 1                                      | Suelos             |                                     |                   |  |
| 1 - 5                                    | Muy blanda         | Blanda                              |                   |  |
| 5 - 12,5                                 | Blanda             | Moderadamente blanda                |                   |  |
| 12,5 - 25                                |                    | Moderadamente                       |                   |  |
| 25-50                                    | Moderadamente dura | dura                                | Baja              | Esquisto, pizarra  |
| 50-100                                   | Dura               | Dura                                | Media             | Rocas metamórficas esquistosas, mármol, granito, gneis, arenisca, caliza porosa. |
| 100-200                                  | Muy dura           | Muy dura                            | Alta              | Rocas ígneas y metamórficas duras, arenisca muy cementada, caliza, dolomía.      |
| > 200                                    |                    | Extremadamente                      | Muy alta          | Cuarcita, grabo, basalto   |
| > 250                                    | Extremad. dura     | dura                                |                   |  |

Fuente: Texto Hoek and Brown

**g) Grado de alteración.**

En los siguientes cuadros N° 4.19, 4.20 y 4.21 se consigna los términos establecidos por la Comisión on Engineering Geological Mapping (IAEG), para la identificación del grado de alteración.

Cuadro N° 4.19: Términos de descripción del Grado de Alteración.

| <b>Calidad</b> | <b>Término</b>                        | <b>Grado de cambio en (%)</b> |
|----------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| A-1            | Roca no alterada, fresca, sana        | 0                             |
| A-2            | Roca ligeramente alterada, decolorada | 0 – 10                        |
| A-3            | Roca moderadamente alterada           | 10 – 35                       |
| A-4            | Roca muy alterada                     | 35 – 75%                      |
| A-5            | Roca completamente alterada           | mayor a 75%                   |
|                | Suelo                                 |                               |

Fuente: Texto Hoek and Brown

Cuadro N° 4.20: Términos de descripción del Grado de Dureza de la roca.

| <b>Calidad</b> | <b>Término</b>    |
|----------------|-------------------|
| D-1            | Muy dura          |
| D-2            | Dura              |
| D-3            | Medianamente dura |
| D-4            | Ligeramente suave |
| D-5            | Débil o suave     |

Fuente: Texto Hoek and Brown

Cuadro N° 4.21: Términos de descripción del Grado de Fractura de las rocas.

| <b>Calidad</b> | <b>Término</b>                        |
|----------------|---------------------------------------|
| F-1            | Menor A 1 fractura /m (masiva).       |
| F-2            | 2-5 fracturas /m (poco fracturada)    |
| F-3            | 6-10 fracturas /m (fracturada)        |
| F-4            | 11-20 fracturas /m (Muy fracturada)   |
| F-5            | Mayor a 20 fracturas /m (fragmentada) |

Fuente: Texto Hoek and Brown

#### **h) Índice Geológico de Resistencia - GSI (1994)**

Este sistema de clasificación fue propuesto por Hoek (1994). Evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteraciones de discontinuidades.

En las figuras N°4.2 y figuras N°4.3 se muestran los diagramas de clasificación GSI.

**CARACTERISTICAS DEL MACIZO ROCOSO PARA EVALUAR SU RESISTENCIA**

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.

**ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO**



**FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY)**

MACIZO ROCOSO CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA BIEN TRABADOS, DE FORMA CÚBICA Y DEFINIDOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS, ORTOGONALES ENTRE SI.



**FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (VERY BLOCKY)**

MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA TRABADOS, DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MAS SETS DE ESTRUCTURAS.



**FRACTURADO Y PERTURBADO (BLOCKY / DISTURBED)**

MACIZO ROCOSO PLEGADO Y/O AFECTADO POR FALLAS, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCION DE NUMEROSOS SETS DE ESTRUCTURAS.



**DESINTEGRADO (DISINTEGRATED)**

MACIZO ROCOSO MUY FRACTURADO Y QUEBRADO, CONFORMADO POR UN CONJUNTO POBREMENTE TRABADO DE BLOQUES Y TROZOS DE ROCA, ANGULOSOS Y TAMBIEN REDONDEADOS

CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES

- MUY BUENA**  
Superficies rugosas y de cajas frescas (sin señales de intemperización ni de alteración)
- BUENA**  
Superficies rugosas, cajas levemente intemperizadas y/o alteradas, con patinas de óxido de hierro
- REGULAR**  
Superficies lisas, cajas moderadamente intemperizadas y/o alteradas
- MALA**  
Superficies lisas y cizalladas, cajas intemperizadas y/o alteradas, con rellenos de fragmentos granulares y/o arcillosos firmes
- MUY MALA**  
Superficies lisas y cizalladas, cajas muy intemperizadas y/o alteradas, con rellenos arcillosos blandos

EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES

DISMINUYE LA TRABAZON DE LOS BLOQUES DE ROCA

|       |      |      |      |       |
|-------|------|------|------|-------|
| FB/MB | FB/B | FB/R | FB/M | FB/MM |
| FF/MB | FF/B | FF/R | FF/M | FF/MM |
| FP/MB | FP/B | FP/R | FP/M | FP/MM |
| D/MB  | D/B  | D/R  | D/M  | D/MM  |

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS**

Dibujo: C.A.C.C

Escala: S/E

Fecha: 17 Febrero del 2 010

**CARACTERIZACION GEOTECNICA DEL MACIZO ROCOSO**

Figura Nº: 4.2

**INDICE GEOLOGICO DE RESISTENCIA**

De los códigos de letra que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades (en Tabla 4), seleccione el cuadro apropiado en esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia, **GSI**, de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mayor grado de precisión. Indicar un rango de valores para **GSI**, por ejemplo de 36 a 42, es más realista que indicar un único valor, por ejemplo 38.

**ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO**



**FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY)**

MACIZO ROCOSO CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA BIEN TRABADOS, DE FORMA CÚBICA Y DEFINIDOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS, ORTOGONALES ENTRE SI.



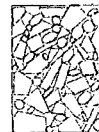
**FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (VERY BLOCKY)**

MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA TRABADOS, DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MAS SETS DE ESTRUCTURAS.



**FRACTURADO Y PERTURBADO (BLOCKY / DISTURBED)**

MACIZO ROCOSO PLEGADO Y/O AFECTADO POR FALLAS, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCION DE NUMEROSOS SETS DE ESTRUCTURAS.



**DESINTEGRADO (DISINTEGRATED)**

MACIZO ROCOSO MUY FRACTURADO Y QUEBRADO, CONFORMADO POR UN CONJUNTO POBREMENTE TRABADO DE BLOQUES Y TROZOS DE ROCA, ANGULOSOS Y TAMBIEN REDONDEADOS

**CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES**

**MUY BUENA**

Superficies rugosas y de cajas frescas (sin señales de intemperización ni de alteración)

**BUENA**

Superficies rugosas, cajas levemente intemperizadas y/o alteradas, con patinas de óxido de hierro

**REGULAR**

Superficies lisas, cajas moderadamente intemperizadas y/o alteradas

**MALA**

Superficies lisas y cizalladas, cajas intemperizadas y/o alteradas, con rellenos de fragmentos granulares y/o arcillosos firmes

**MUY MALA**

Superficies lisas y cizalladas, cajas muy intemperizadas y/o alteradas, con rellenos arcillosos blandos

EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES

**DISMINUYE LA TRABAZON DE LOS BLOQUES DE ROCA**



|    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|
| 80 | 70 | 60 | 40 | 30 | 20 | 10 |
|    |    |    |    |    |    |    |
|    | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 |
|    | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 |    |

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS**

Dibujo: C.A.C.C.

Escala:

S/E

Fecha:

17 Febrero del 2 010

**ESTIMACION DEL  
INDICE GEOLOGICO  
GSI**

Figura N°:  
4.3

### **4.3.3 Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso para la Construcción de la Chimenea**

En el siguiente cuadro N°4.22 se muestra los parámetros asumidos para el cálculo del índice RQD y RMR a lo largo de la perforación y que son representativos para la construcción de Chimenea de Ventilación. Los valores ponderados del índice RMR identifican predominantemente rocas de regular a mala calidad.

Cuadro N° 4.22: Clasificación Geomecánica de Perforación Diamantina en la Zona del Proyecto

06

| Profundidad   | Litología                          | Resistencia Compresión Simple (MPa) | Valor | RQD     | Valor | Espesamiento | Valor | Condiciones de las discontinuidades  | Valor | Agua Subterránea | Valor | Ajuste Orientación | Valor | RMR | Q    | GSI |
|---------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------|---------|-------|--------------|-------|--|-------|------------------|-------|--------------------|-------|-----|------|-----|
| 0,00 - 7,45   | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 25 - 50                             | 5     | 15 - 20 | 1     | 0,02 - 0,05  | 3     | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 10    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 14  | 0,04 | 9   |
| 7,45 - 20,00  | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 70 - 80                             | 8     | 40 - 90 | 16    | 0,20 - 0,60  | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 1 mm. Ligeramente alterada. | 20    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 49  | 1,74 | 44  |
| 20,00 - 21,40 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 40 - 60                             | 7     | 15 - 20 | 3     | 0,05 - 0,10  | 4     | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 1 mm. Ligeramente alterada. | 16    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 25  | 0,12 | 20  |
| 21,40 - 25,80 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 70 - 80                             | 8     | 50 - 77 | 13    | 0,2 - 0,5    | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 1 mm. Ligeramente alterada. | 20    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 46  | 1,25 | 41  |
| 25,80 - 29,50 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 70 - 80                             | 7     | 20 - 40 | 8     | 0,05 - 0,10  |       | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 1 mm. Ligeramente alterada. | 15    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 25  | 0,12 | 20  |
| 29,50 - 32,00 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 23 - 50                             | 5     | 15 - 20 | 1     | 0,01 - 0,05  | 3     | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 10    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 14  | 0,04 | 9   |
| 32,00 - 32,50 | Roca Volcánica Andesítica          | 25 - 50                             | 5     | 10      | 1     | 0,02 - 0,05  | 3     | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 10    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 14  | 0,04 | 9   |
| 32,50 - 35,00 | Roca Volcánica Andesítica          | 70 - 80                             | 8     | 50 - 80 | 14    | 0,2 - 0,6    | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 20    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 47  | 1,40 | 42  |
| 35,00 - 35,60 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 25 - 50                             | 5     | 10      | 1     | 0,02 - 0,05  | 3     | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 10    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 14  | 0,04 | 9   |

va...

Viene...

| Profundidad   | Litología                          | Resistencia Compresión Simple (MPa) | Valor | RQD     | Valor | Especielemento | Valor | Condiciones de las discontinuidades  | Valor | Agua Subterránea | Valor | Ajuste Orientación | Valor | RMR | Q    | GSI |
|---------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------|---------|-------|----------------|-------|--|-------|------------------|-------|--------------------|-------|-----|------|-----|
| 35,60 - 37,45 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 70 - 80                             | 8     | 65 - 80 | 13    | 0,02 - 0,60    | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 20    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 46  | 1,25 | 41  |
| 37,45 - 45,00 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 70 - 80                             | 8     | 40 - 70 | 12    | 0,20 - 0,60    | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 15    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 40  | 0,64 | 35  |
| 45,00 - 48,65 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 25 - 50                             | 5     | 10      | 1     | 0,02 - 0,05    | 3     | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 10    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 14  | 0,04 | 9   |
| 48,65 - 57,35 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 70 - 80                             | 8     | 100     | 20    | 0,02 - 0,60    | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 20    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 53  | 2,72 | 48  |
| 57,35 - 59,75 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 70 - 80                             | 8     | 70      | 13    | 0,20 - 0,60    | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 10    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 36  | 0,41 | 31  |
| 59,75 - 60,50 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 25 - 50                             | 5     | 10      | 1     | 0,02 - 0,05    | 3     | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 10    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 14  | 0,04 | 9   |
| 60,50 - 62,00 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 70 - 80                             | 8     | 70      | 13    | 0,20 - 0,60    | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 20    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 46  | 1,25 | 41  |
| 62,00 - 63,80 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 25 - 50                             | 5     | 10      | 1     | 0,02 - 0,05    | 3     | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 10    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 14  | 0,04 | 9   |
| 63,80 - 67,15 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 50 - 70                             | 7     | 70      | 13    | 0,20 - 0,60    | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 20    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 45  | 1,12 | 40  |

91

va...

Viene...

| Profundidad     | Litología                          | Resistencia Compresión Simple (MPa) | Valor | RQD | Valor | Especiemento | Valor | Condiciones de las discontinuidades  | Valor | Agua Subterránea | Valor | Ajuste Orientación | Valor | RMR | Q    | GSI |
|-----------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------|-----|-------|--------------|-------|--|-------|------------------|-------|--------------------|-------|-----|------|-----|
| 67,15 - 69,70   | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 25 - 50                             | 5     | 10  | 1     | 0,02 - 0,05  | 3     | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 10    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 14  | 0,04 | 9   |
| 69,70 - 73,00   | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 60 - 70                             | 7     | 65  | 12    | 0,20 - 0,60  | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 10    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 34  | 0,33 | 29  |
| 73,00 - 81,00   | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 25 - 50                             | 5     | 10  | 1     | 0,02 - 0,05  | 3     | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 10    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 14  | 0,04 | 9   |
| 81,00 - 99,80   | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 70 - 80                             | 8     | 75  | 14    | 0,20 - 0,60  | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 20    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 47  | 1,40 | 42  |
| 99,80 - 105,00  | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 25 - 50                             | 5     | 10  | 1     | 0,02 - 0,05  | 3     | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 10    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 14  | 0,04 | 9   |
| 105,00 - 108,50 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 70 - 80                             | 8     | 80  | 17    | 0,20 - 0,60  | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 20    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 50  | 1,95 | 45  |
| 108,50 - 114,00 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 60 - 70                             | 7     | 65  | 12    | 0,20 - 0,60  | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 10    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 34  | 0,33 | 29  |
| 114,00 - 117,15 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 60 - 70                             | 7     | 70  | 13    | 0,20 - 0,60  | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 20    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 45  | 1,12 | 40  |
| 117,15 - 119,45 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 25 - 50                             | 5     | 20  | 3     | 0,02 - 0,60  | 3     | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 10    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 16  | 0,04 | 11  |

va...

Viene...

| Profundidad     | Litología                          | Resistencia Compresión Simple (MPa) | Valor | RQD | Valor | Especiemento | Valor | Condiciones de las discontinuidades  | Valor | Agua Subterránea | Valor | Ajuste Orientación | Valor | RMR | Q    | GSI |
|-----------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------|-----|-------|--------------|-------|--|-------|------------------|-------|--------------------|-------|-----|------|-----|
| 119,45 - 122,00 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 50 - 70                             | 7     | 70  | 13    | 0,20 - 0,60  | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 20    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 45  | 1,12 | 40  |
| 122,00 - 124,50 | Roca Volcánica Andesítica          | 70 - 80                             | 8     | 75  | 16    | 0,20 - 0,60  | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 20    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 49  | 1,74 | 44  |
| 124,50 - 129,20 | Roca Volcánica Andesítica          | menor a 25                          | 1     | 10  | 1     | 0,02 - 0,05  | 2     | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 6     | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 5   | 0,01 | 0   |
| 129,20 - 142,25 | Roca Volcánica Andesítica          | 70 - 80                             | 8     | 80  | 17    | 0,20 - 0,60  | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 20    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 50  | 1,95 | 45  |
| 142,25 - 146,10 | Roca Volcánica Andesítica          | 60 - 70                             | 7     | 40  | 7     | 0,20 - 0,60  | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 15    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 34  | 0,33 | 29  |
| 146,10 - 150,20 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 60 - 70                             | 7     | 70  | 13    | 0,20 - 0,60  | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 20    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 45  | 1,12 | 40  |
| 150,20 - 154,85 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 25 - 50                             | 5     | 10  | 1     | 0,02 - 0,05  | 3     | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 10    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 14  | 0,04 | 9   |
| 154,85 - 158,20 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | menor a 25                          | 2     | 10  | 1     | 0,02 - 0,05  | 3     | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 6     | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 7   | 0,02 | 2   |
| 156,20 - 159,10 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 25 - 50                             | 5     | 10  | 1     | 0,02 - 0,05  | 3     | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 10    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 14  | 0,04 | 9   |

va...

Viene...

| Profundidad     | Litología                          | Resistencia Compresión Simple (MPa) | Valor | RQD     | Valor | Especielemento | Valor | Condiciones de las discontinuidades  | Valor | Agua Subterránea | Valor | Ajuste Orientación | Valor | RMR | Q    | GSI |
|-----------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------|---------|-------|----------------|-------|--|-------|------------------|-------|--------------------|-------|-----|------|-----|
| 159,10 - 160,70 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 60 - 70                             | 7     | 34      | 6     | 0,20 - 0,60    | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 15    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 33  | 0,29 | 28  |
| 160,70 - 162,40 | Arenisca cuarzosa gris blanquecina | 25 - 50                             | 5     | 10      | 1     | 0,02 - 0,05    | 3     | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 10    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 14  | 0,04 | 9   |
| 162,40 - 170,10 | Brecha Volcanica                   | 60 - 75                             | 7     | 55 - 75 | 12    | 0,20 - 0,60    | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 20    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 44  | 1,00 | 39  |
| 170,10 - 172,30 | Brecha Volcanica                   | 60 - 70                             | 7     | 44      | 8     | 0,20 - 0,60    | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 15    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 35  | 0,37 | 30  |
| 172,30 - 173,90 | Brecha Volcanica                   | 60 - 70                             | 7     | 72      | 13    | 0,20 - 0,60    | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 20    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 45  | 1,12 | 40  |
| 173,90 - 178,05 | Brecha Volcanica                   | 60 - 70                             | 7     | 40 - 50 | 7     | 0,20 - 0,60    | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 20    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 39  | 0,57 | 34  |
| 178,05 - 179,75 | Brecha Volcanica                   | 60 - 70                             | 7     | 66      | 10    | 0,20 - 0,60    | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 20    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 42  | 0,80 | 37  |
| 179,75 - 180,60 | Brecha Volcanica                   | 60 - 70                             | 7     | 34      | 6     | 0,20 - 0,60    | 10    | Superficie es ligeramente rugosa, de planares a onduladas apertura 0,1 - 2 mm. Ligeramente alterada. | 20    | Seco             | 15    | Regular            | -20   | 38  | 0,51 | 33  |

Fuente: Departamento de Geomecánica mina Horizonte.

# **CAPÍTULO V**

## **CONSTRUCCIÓN DE CHIMENEAS**

### **5.1 Métodos Mecanizados en la Construcción de Chimeneas**

#### **5.1.1 Ejecución de Chimeneas Sistema Alimak**

##### **a) Concepto de Jaula Automotriz**

El sistema de jaula automotriz conocido como Alimak por sus fabricantes, emplea una jaula mecánica que sube la chimenea por una cremallera empernada en la pared. La jaula tiene un piñón que encaja en la cremallera y es autopropulsado desde el interior de la jaula. La jaula sirve tanto para subir al personal y equipo hasta el frente, como de plataforma de perforación.

El equipo necesario para este método es la jaula con su motor autopropulsor, la cremallera para todo el

largo de la chimenea y algunos accesorios como carrete para enrollar las mangueras. El accionamiento es normalmente con aire comprimido pero también son con energía eléctrica (Arenas, 2 005).

#### **b) Métodos de Trabajo con Alimak**

En el método Alimak la jaula sirve tanto como plataforma y como medio de transporte hasta el frente; corre sobre una cremallera empernada en la caja techo, consta de cinco pasos que juntos constituyen un ciclo. Los cinco pasos del ciclo son:

- **Perforación**

Que es efectuada desde la plataforma de la jaula automotriz. La plataforma se adapta al tamaño y forma de la chimenea.

- **Carguío**

Es también efectuado desde la plataforma.

- **Disparo**

Después de la perforación y carguío la plataforma es bajada hasta su posición de estacionamiento. Durante el disparo la plataforma está bien protegida.

- **Ventilación**

Los gases nitroso y el polvo creados por el disparo son limpiados rociando una mezcla de agua y aire a través de las tuberías en la cremallera.

- **Escalamiento**

Cuando el aire ha sido limpiado, la jaula asciende hasta el frente, escala e instala una nueva sección

de la cremallera, todo protegido por el techo de la plataforma, previo desquinche.

**c) Componentes principales del Alimak (Ver Figura N° 5.1)**

- Plataforma de trabajo.
- Equipo de accionamiento.
- Jaula o cabina.
- Carril o monocarril con cremallera.
- Ascensores de servicio y de seguridad.
- Carretes de manguera y/o cable eléctrico.
- Circuito de aire, agua, electricidad.
- Equipo de seguridad.

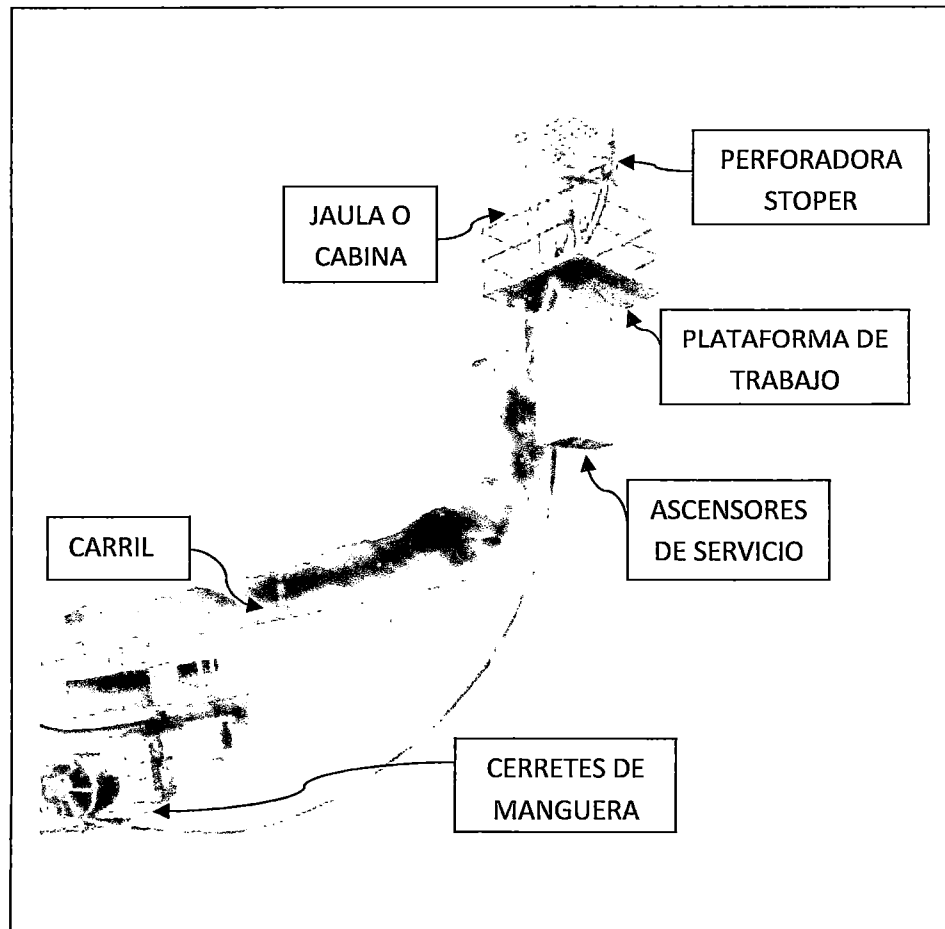
**d) Perforación de la Chimenea**

- Equipo de Perforadora stoper.
- Barrenos Integrales.
- Compresor

### **e) Voladura de la Chimenea**

El disparo es rotativo con el fin de ir formando la secuencia de cara libre que facilite la acción de los taladros de ayuda, cuadradores y de contorno.

Mientras no se concluya la chimenea, es decir no se comunique con el nivel superior, su laboreo es ciego, por lo que después del disparo, se debe emplear ventilación.



Fuente: Revista Atlas Copco 2 005

Figura N°5.1: Equipo de Perforación Alimak

### 5.1.2 Costos de Sistema Alimak

Ver el Análisis en los Cuadros N° 5.1, 5.2, 5.3

Cuadro N° 5.1: Análisis de costo con Alimak.

| ANALISIS DE COSTOS CON ALIMAK            |   |                             |        |               |            |                      |           |                 |               |
|--|---|-----------------------------|--------|---------------|------------|----------------------|-----------|-----------------|---------------|
| DIMENSIONES:                             | 2,5 x 2,5                               | Rendimiento:                | 2,20   | 7,22 mt:pie   |            |                      |           |                 |               |
| UNIDAD DE MEDIDA:                        | ML                                      | Longitud barra:             | 2,44   | 8,00 mt:pie   |            |                      |           |                 |               |
| ELABORADO POR:                           | Bach. Carlos Choque Catare              | Longitud efectiva:          | 2,32   | 7,60 mt:pie   |            |                      |           |                 |               |
| TIPO DE ROCA:                            | III - IV                                | Eficiencia voladura:        | 95%    |               |            |                      |           |                 |               |
| INCLINACION MAXIMA:                      | 85 °                                    | No. De taladros Perforados: | 40,00  | tal/frente    |            |                      |           |                 |               |
| LONGITUD DE EXCAVACION:                  | 180 mts                                 | No. De taladros disparados: | 37,00  | tal/frente    |            |                      |           |                 |               |
|  |   | Volumen roto:               | 13,75  | m3 / disparo  |            |                      |           |                 |               |
| FECHA DE ELAVORACION:                    | jun-10                                  | Horas por guardia:          | 12,00  | Hr / guardia  |            |                      |           |                 |               |
| Item                                     | Descripcion                             | Cantidad                    | Unidad | % Incid.      | P.U (US\$) | Parcial              | Sub Total | Total (US\$/mt) |               |
| <b>1</b>                                 | <b>MANO DE OBRA</b>                     |                             |        |               |            |                      |           |                 |               |
|  | Perforista de Alimak                    | 10,00                       | hh     |               | 3,78       | 37,76                | 17,16     |                 |               |
|  | Ayte. Perforista Alimak                 | 10,00                       | hh     |               | 3,02       | 30,21                | 13,73     |                 |               |
|  | Operador de Alimak                      | 10,00                       | hh     |               | 3,78       | 37,76                | 17,16     |                 |               |
|  | Valvulero de Alimak                     | 10,00                       | hh     |               | 3,02       | 30,21                | 13,73     |                 |               |
|  | Mecanico - Electricista                 | 5,00                        | hh     |               | 3,78       | 18,88                | 8,58      |                 |               |
|  | Soldador                                | 5,00                        | hh     |               | 3,40       | 16,99                | 7,72      |                 |               |
|  | Bodeguero                               | 2,00                        | hh     |               | 2,64       | 5,29                 | 2,40      |                 |               |
|  | Capataz                                 | 5,00                        | hh     |               | 5,54       | 27,69                | 12,58     |                 |               |
|  | Ing. Supervisor de Alimak               | 5,00                        | hh     |               | 8,21       | 41,04                | 18,65     | 111,72          |               |
| <b>2</b>                                 | <b>MATERIALES Y HERRAMIENTAS</b>        |                             |        |               |            |                      |           |                 |               |
|  | Barrenos Integrales 2'                  | 304,00                      | Pp     | 25%           | 0,08       | 6,08                 | 2,76      |                 |               |
|  | Barrenos Integrales 4'                  | 304,00                      | Pp     | 25%           | 0,09       | 6,84                 | 3,11      |                 |               |
|  | Barrenos Integrales 6'                  | 304,00                      | Pp     | 25%           | 0,10       | 7,60                 | 3,45      |                 |               |
|  | Barrenos Integrales 8'                  | 304,00                      | Pp     | 25%           | 0,11       | 8,36                 | 3,80      |                 |               |
|  | Barra Porta Rimadora de 8'              | 24,00                       | Pp     | 100%          | 0,15       | 3,60                 | 1,64      |                 |               |
|  | Broca Rimadora 2 1/2"                   | 24,00                       | Pp     | 100%          | 0,25       | 6,00                 | 2,73      |                 |               |
|  | Manguera 1" (Perforación y Ventilación) | 60,00                       | ml     |               | 0,03       | 1,80                 | 0,82      |                 |               |
|  | Manguera 1/2"                           | 30,00                       | ml     |               | 0,01       | 0,30                 | 0,14      |                 |               |
|  | Aceite de perforación                   | 1,00                        | gal    |               | 0,02       | 0,02                 | 0,01      |                 |               |
|  | Afiladora de barrenos                   | 304,00                      | Pp     |               | 0,02       | 6,08                 | 2,76      |                 |               |
|  | Herramientas                            | 1,00                        | Global |               | 11,10      | 11,10                | 5,04      | 26,26           |               |
| <b>3</b>                                 | <b>IMPLEMENTOS</b>                      |                             |        |               |            |                      |           |                 |               |
|  | Implementos de Seguridad Normal         | 1,83                        | und    |               | 0,99       | 1,82                 | 0,82      |                 |               |
|  | Implementos de Seguridad Agua           | 3,33                        | und    |               | 0,53       | 1,77                 | 0,80      | 1,63            |               |
| <b>4</b>                                 | <b>EQUIPOS Y MAQUINARIAS</b>            |                             |        |               |            |                      |           |                 |               |
|  | Perforadora Stoper                      | 304,00                      | pp     |               | 0,11       | 33,44                | 15,20     |                 |               |
|  | Cargador de lámparas                    | 62,00                       | hm     |               | 0,17       | 10,54                | 4,79      |                 |               |
|  | Radios                                  | 24,00                       | hm     |               | 0,80       | 19,20                | 8,72      |                 |               |
|  | Camioneta                               | 4,00                        | hm     |               | 7,50       | 30,00                | 13,63     |                 |               |
|  | Scoop 2,5 yd3                           | 2,00                        | hm     |               | 55,00      | 110,00               | 49,99     |                 |               |
|  | Jaula trepadora ALIMAK                  | 5,00                        | hm     |               | 50,00      | 250,00               | 113,60    |                 |               |
|  | Compresora Eléctrica 500 CFM            | 5,00                        | hm     |               | 25,00      | 125,00               | 56,80     | 262,73          |               |
| <b>5</b>                                 | <b>MANTENIMIENTO DE EQUIPO ALIMAK</b>   |                             |        |               |            |                      |           |                 |               |
|  | Bracket                                 | 2,00                        | Und    |               | 24,00      | 48,00                | 21,81     |                 |               |
|  | Espaciadores                            | 4,00                        | Global |               | 14,50      | 58,00                | 26,36     |                 |               |
|  | Pernos de Amarre 3/4"x2,52" ,3" , 5"    | 4,00                        | Jgo    |               | 12,00      | 48,00                | 21,81     |                 |               |
|  | Pernos de Anclaje de Riel               | 5,00                        | Und    |               | 28,00      | 140,00               | 63,62     |                 |               |
|  | Mantenimiento de equipo Alimak          | 1,00                        | Global |               | 92,00      | 92,00                | 41,81     | 175,40          |               |
| <b>COSTO DIRECTO</b>                     |   |                             |        |               |            |                      |           | <b>577,73</b>   |               |
| <b>GASTOS GENERALES</b>                  |   | <b>15%</b>                  |        |               |            |                      |           | <b>86,66</b>    |               |
| <b>UTILIDAD</b>                          |   | <b>10%</b>                  |        |               |            |                      |           | <b>57,77</b>    |               |
| <b>COSTO TOTAL (De 0 a 100 Metros)</b>   |   | <b>US\$ / ML</b>            |        |               |            |                      |           |                 | <b>722,17</b> |
| <b>COSTO TOTAL (De 100 a 180 Metros)</b> |   | <b>US\$ / ML</b>            |        | Incremento de | 25%        | Sobre el Costo Total |           | <b>902,71</b>   |               |

Fuente: Departamento de planeamiento mina Horizonte

Cuadro N° 5.2: Costo para la instalación de perno Helicoidal

| ANÁLISIS DE COSTOS PARA INSTALACION DE PERNO HELICOIDAL 6" CEMBOL<br>DENTRO DE LA CHIMENEA ALIMAK |                                     |                            |        |                    |            |         |           |              |
|---|-------------------------------------|----------------------------|--------|--------------------|------------|---------|-----------|--------------|
| UNIDAD DE MEDIDA:   |                                     | Pza                        |        | Rendimiento:       |            | 20,00   |           | Pza.         |
| ELABORADO POR:  |                                     | Bach. Carlos Choque Catare |        | Long. Barra        |            | 6,00    |           | pies         |
| TIPO DE ROCA:   |                                     | III - IV                   |        | Long. Efectiva     |            | 5,50    |           | pies         |
| INCLUYE:  |                                     | Perforadora Neumatica      |        | Pies perforados:   |            | 180,00  |           | pp           |
| FECHA DE ELAVORACION:   |                                     | jun-10                     |        | Horas por guardia: |            | 12,00   |           | Hr/guardia   |
| ITEM  | DESCRIPCION                         | Cantidad                   | Unidad | % Incid.           | P.U (US\$) | Parcial | Sub Total | TOTAL(US\$)  |
| 1,00  | <b>MANO DE OBRA</b>                 |                            |        |                    |            |         |           |              |
|   | Perforista de Alimak                | 10,00                      | hh     |                    | 3,78       | 37,76   | 1,89      |              |
|   | Ayte. Perforista de Alimak          | 10,00                      | hh     |                    | 3,02       | 30,21   | 1,51      |              |
|   | Operador de alimak                  | 10,00                      | hh     |                    | 3,78       | 37,76   | 1,89      |              |
|   | Valvulero de Alimak                 | 10,00                      | hh     |                    | 3,02       | 30,21   | 1,51      |              |
|   | Mecanico - Electricista             | 5,00                       | hh     |                    | 3,78       | 18,88   | 0,94      |              |
|   | Bodeguero                           | 2,00                       | hh     |                    | 2,64       | 5,29    | 0,26      |              |
|   | Capataz                             | 5,00                       | hh     |                    | 5,54       | 27,69   | 1,38      |              |
|   | Ing. Supervisor de Alimak           | 5,00                       | hh     |                    | 8,21       | 41,04   | 2,05      | 11,44        |
| 2,00  | <b>MATERIALES DE PERFORACION</b>    |                            |        |                    |            |         |           |              |
|   | Barrenos Integrales                 | 180,00                     | Pp     | 100%               | 0,09       | 16,20   | 0,81      |              |
|   | Manguera 1"                         | 30,00                      | ml     |                    | 0,03       | 0,90    | 0,05      |              |
|   | Manguera 1/2"                       | 30,00                      | ml     |                    | 0,01       | 0,30    | 0,02      |              |
|   | Aceite de perforación               | 0,27                       | gal    |                    | 8,24       | 2,22    | 0,11      |              |
|   | Afiladora de barrenos               | 180,00                     | Pp     |                    | 0,02       | 3,60    | 0,18      |              |
|   | Adaptador para Perno Helicoidal     | 180,00                     | Pp     |                    | 0,05       | 9,00    | 0,45      | 1,61         |
| 3,00  | <b>MATERIALES</b>                   |                            |        |                    |            |         |           |              |
|   | Perno Helicoidal 8" (Perno + placa) | 20,00                      | Pza    |                    | 5,2        | 104,00  | 5,20      |              |
|   | Resina                              | 20,00                      | Pza    |                    | 0,68       | 13,60   | 0,68      |              |
|   | Cembol                              | 120,00                     | Pza    |                    | 0,24       | 28,80   | 1,44      | 7,32         |
| 4,00  | <b>IMPLEMENTOS Y HERRAMIENTAS</b>   |                            |        |                    |            |         |           |              |
|   | Implementos de seguridad normal     | 5,50                       | Und    |                    | 0,82       | 4,51    | 0,23      |              |
|   | Implementos de Seguridad Agua       | 2,00                       | Und    |                    | 0,43       | 0,86    | 0,04      |              |
|   | Herramientas                        | 1,00                       | Global |                    | 11,10      | 11,10   | 0,56      | 0,82         |
| 5,00  | <b>EQUIPOS</b>                      |                            |        |                    |            |         |           |              |
|   | Perforadora Jackleg                 | 180,00                     | pp     |                    | 0,11       | 19,80   | 0,99      |              |
|   | Cargador de lámparas                | 44,00                      | hh     |                    | 0,17       | 7,48    | 0,37      |              |
|   | Compresora Electrica 500 CFM        | 5,00                       | hm     |                    | 20         | 0,00    | 0,00      | 1,36         |
| <b>COSTO DIRECTO</b>  |                                     |                            |        |                    |            |         |           | <b>22,56</b> |
| <b>GASTOS GENERALES</b>   |                                     | <b>15%</b>                 |        |                    |            |         |           | <b>3,38</b>  |
| <b>UTILIDAD</b>   |                                     | <b>10%</b>                 |        |                    |            |         |           | <b>2,26</b>  |
| <b>COSTO TOTAL</b>  |                                     | <b>US\$ / PZA</b>          |        |                    |            |         |           | <b>28,20</b> |

Fuente: Departamento de planeamiento mina Horizonte

Cuadro N° 5.3: Análisis de costo para Shotcrete

| ANALISIS DE COSTOS PARA SHOTCRETE 2" (DRAMIX:20 Kg/m3) |        |              |       |         |              |
|--|--------|--------------|-------|---------|--------------|
|  |        | Rendimiento: |       | 60 m2   | 6 m3         |
| DESCRIPCION  | UNIDAD | CANTIDAD     | C.U.  | U.S. \$ | U.S. \$/GDIA |
| <b>MANO DE OBRA</b>                                    |        |              |       |         |              |
| Maestro Prepara Mezcla                                 | Tarea  | 1            | 21,45 | 21,45   |              |
| Ayudantes Prepara Mezcla                               | Tarea  | 2            | 19,00 | 38,00   |              |
| Maestro Shotcretero                                    | Tarea  | 1            | 21,45 | 21,45   |              |
| Ayudantes Prep. Shotcrete                              | Tarea  | 3            | 19,00 | 57,00   |              |
| Capataz  | Tarea  |              | 22,06 |         |              |
| Ing. Guardia   | Tarea  |              |       |         |              |
| Peon (acarrea arena hasta labor)                       | Tarea  | 1            | 17,16 | 17,16   |              |
| Operador Scoop   | Tarea  | 0,5          | 24,51 | 12,26   |              |
|  |        |              |       | 8,5     | 167,32       |
|  |        |              |       |         | <b>2,79</b>  |
| <b>IMPLEMENTOS SEGURIDAD</b>                           |        |              |       |         |              |
| Tarea con ropa de agua                                 |        | 5            | 1,43  | 7,15    |              |
| Tarea sin ropa de agua                                 |        | 3,5          | 1,43  | 5,01    |              |
|  |        |              |       | 12,16   | <b>0,20</b>  |
| <b>MATERIAL Y HERRAMIENTAS</b>                         |        |              |       |         |              |
| Otras herramientas                                     | Global |              |       | 1,10    |              |
| Cemento  | Bolsas | 60           | 8,82  | 529,20  |              |
| Acelerante   | Kg.    | 60           | 0,75  | 45,00   |              |
| Dramix   | Kg.    | 120          | 1,86  | 223,20  |              |
| Calibradores   | Pza.   | 60           | 0,08  | 4,80    |              |
|  |        |              |       | 803,30  | <b>13,39</b> |
| <b>EQUIPO DE PERFORACION</b>                           |        |              |       |         |              |
| Scooptram de 2,5 Yd3                                   | Hrs.   | 2            | 40,00 | 80,00   |              |
| Shotcretera y accesorios                               | Hrs.   | 7            | 3,59  | 25,13   |              |
| Mezcladora   | Hrs.   |              |       |         |              |
|  |        |              |       | 105,13  | <b>1,75</b>  |
| <b>SUB - TOTAL COSTOS DIRECTOS</b>                     |        |              |       |         | <b>18,13</b> |
| Contingencias  |        | 3%           |       |         | <b>0,54</b>  |
| Utilidad   |        | 10%          |       |         | <b>1,81</b>  |
| <b>COSTO TOTAL U.S. \$/M2</b>                          |        |              |       |         | <b>20,49</b> |

Fuente: Departamento de planeamiento mina Horizonte

## **5.2 Construcción de Chimenea con Raise Boring**

Raise Boring también llamado Raise Drilling, es el sistema de ejecución de una chimenea o pozo por medios mecánicos entre dos o más niveles. Todos los niveles pueden ser subterráneos, o el nivel superior estar en superficie.

Este método se desarrollo en Estados Unidos durante los años 50. Para ello se diseño un método en el que primero se efectuaba un sondeo piloto siguiendo después con el ensanche de la chimenea en sentido ascendente. Utilizando un tamaño mayor de cabeza de corte se ensanchaba la perforación en una o varias etapas logrando al final el diámetro requerido. La primera vez que se utilizó una máquina de este tipo fue en 1 962 en la mina Homer Wanseca (Michigan). Se trataba de un taladro piloto de 250 mm de diámetro, llegando al final a un diámetro de 1 016 mm.

Desde entonces se añadieron diversas innovaciones al método Raise Boring con el fin de solucionar la necesidad de conectar perpendicularmente galerías horizontales.

En un principio la potencia de estas maquinas era de 75 kw incrementándose después hasta 250 kw y alcanzando actualmente hasta 400 kw. Las primeras maquinas hidráulicas utilizaban 2 cilindros de empuje, actualmente el empuje necesario lo facilitan 4 o 6 cilindros. En un primer momento las cabezas de corte estaban equipadas por rodillos de botones. Actualmente se emplean rodillos de discos con varias filas de corte, según el tipo de roca y el fabricante. Con el avance técnico creció el número de países en que se empezó a utilizar este método. La aplicación comenzó en EE.UU. extendiéndose a continuación a Australia, Canadá, México, Sudáfrica y finalmente Europa.

Finalmente, este método también se aplica con éxito en la construcción de chimeneas de ventilación, en la construcción de centrales hidroeléctricas y en depósitos subterráneos.

El empleo principal del Raise Boring suele desarrollarse para una gama de diámetros entre 2 000 y 3 000 mm y a unas profundidades de 100 a 200 m, pero de todas formas se encuentran maquinas que responden a otras exigencias más altas.

Una de las chimeneas más grandes realizado por el método de Raise Boring, es la chimenea de ventilación de Rustenberg Plate Mine en Sudáfrica con un diámetro de 6 022 mm y una profundidad de 1 099 m.

### **5.2.1 Tipos de Raise Boring**

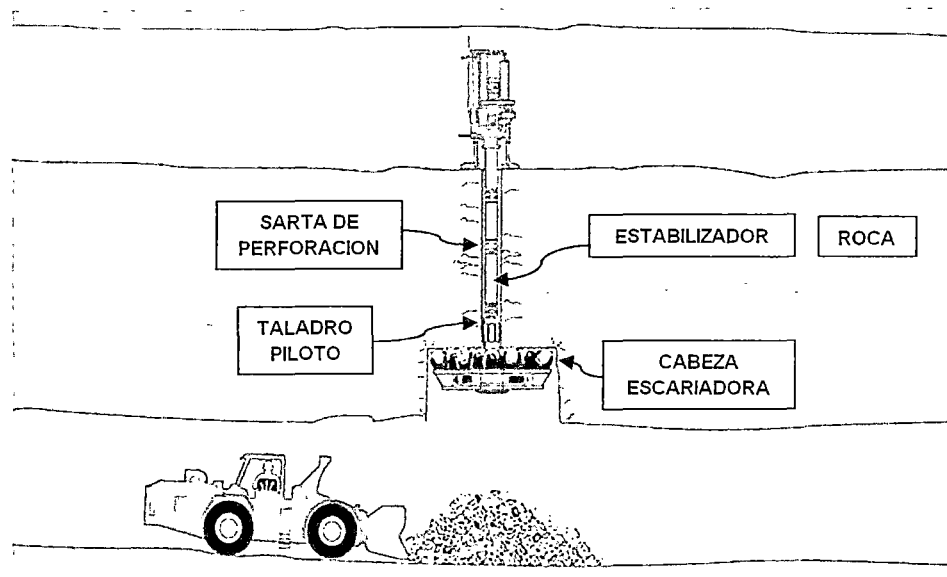
Existen tres variantes posibles en la perforación con Raise Boring:

- **Raise Boring Estándar**

El Raise Boring estándar consiste en perforar (frecuentemente con tricono) un taladro piloto en sentido descendente hasta llegar al nivel inferior, para posteriormente acolar una cabeza escariadora con el fin de ir ensanchando en sentido ascendente hasta alcanzar el diámetro deseado. (ver Figura N° 5.2)

La evacuación del detritus en esta variante se realiza por medio del barrido con agua o aire,

mientras que los fragmentos menores caen por gravedad al inferior.



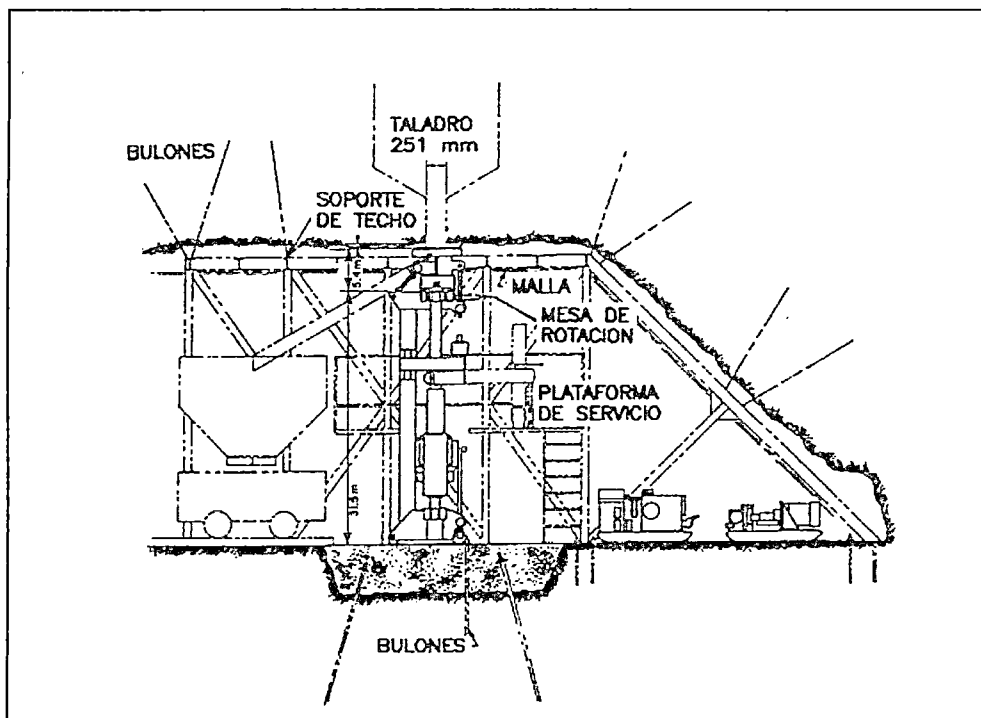
Fuente: Revista Sandvik Mining and Construction

Figura Nº 5.2: Raise Boring Estandar.

- **Raise Boring Reversible**

Consiste en perforar el taladro piloto en sentido ascendente. La principal ventaja que presenta este método es que no se necesita barrido de aire o agua; pero, por el contrario, la mayor parte del detritus que produce la perforación no puede atravesar el

espacio anular existente entre el varillaje y la pared del taladro piloto, lo que obliga a aumentar el diámetro de este. Otro problema radica en que los detritus caen al nivel inferior donde se encuentran la maquina y el perforista, de esta forma hay que protegerlos, y esta protección hace que la operación se realice de manera intermitente. Ver Figura N° 5.3

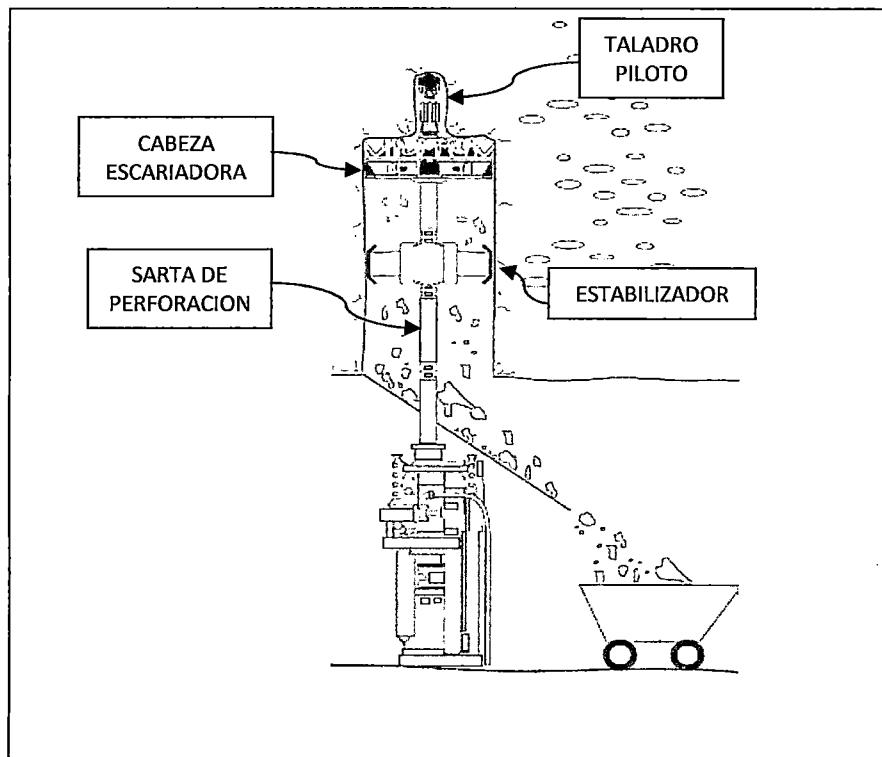


Fuente: Revista Sandvik Mining and Construction

Figura N° 5.3: Raise Boring Reversible.

- **Raise Boring para labores Ciegas.**

La máquina Raise Boring se coloca en un nivel inferior y va perforando hasta un nivel superior (a plena sección) sin la necesidad de perforar barrenos pilotos. Este método está pensado para chimeneas (dos metros de diámetro o inferior) y poco profundas (menos de 400 m). La máxima dificultad de este método radica en el control de la dirección de perforación. Ver figura N° 5.4



Fuente: Revista Sandvik Mining and Construction

Figura N° 5.4: Raise Boring para Labores ciegas

### 5.2.2 Preparación del Emplazamiento y Transporte de Equipos

Cuando se ha seleccionado el lugar de emplazamiento hay que realizar unas labores de ensanche en el caso de situar la maquina y el equipamiento bajo tierra. También será necesario realizar una losa de hormigón de unos 20 cm de espesor que servirá para nivelar y anclar la maquina. Para el barrido con aire será necesario instalar un

compresor; si, por el contrario, el barrido se realiza con agua habrá que instalar una balsa de decantación. Una vez preparado el emplazamiento se transportara la maquina (mediante orugas, rieles o ruedas) y se posicionara mediante los cilindros de empuje con el ángulo de inclinación requerido.

### 5.2.3 Taladro Piloto (ver Figura N° 5.5)

El taladro piloto se realiza con un diámetro que es función del diámetro del varillaje y del escariado, ver la relación en el Cuadro N° 5.4

Cuadro N° 5.4: Relación entre el diámetro del varillaje y el tricono.

|                            |     |           |     |     |     |     |
|----------------------------|-----|-----------|-----|-----|-----|-----|
| Diámetro de varillaje (mm) | 171 | 203       | 254 | 286 | 327 | 352 |
| Diámetro de tricono (mm)   | 198 | 229 - 250 | 279 | 311 | 349 | 381 |

Fuente: Revista Sandvik Mining and Construction

Es muy importante que el taladro se desvíe lo menos posible (se aceptan desviaciones del 1%). Entre los factores que pueden influir en esta desviación esta:

- **Inclinación del taladro**

A medida que aumenta la inclinación se produce una mayor desviación del taladro, sobre todo si este es largo.

- **Empuje aplicado**

Un empuje excesivo sobre la sarta de perforación favorece las desviaciones. Hay que tener en cuenta que a partir de una cierta profundidad el peso de la sarta puede superar el empuje necesario, así que la maquina en lugar de empujar deberá compensar el peso excesivo de la sarta.

- **Buzamiento de la formación**

Si el taladro es vertical y los estratos buzanan menos de  $45^\circ$  el tricono avanza menos en la zona más dura del barreno, produciéndose desviaciones. Por el contrario, si los estratos buzanan más de  $45^\circ$  el

taladro avanzara paralelamente al plano de estratificación.

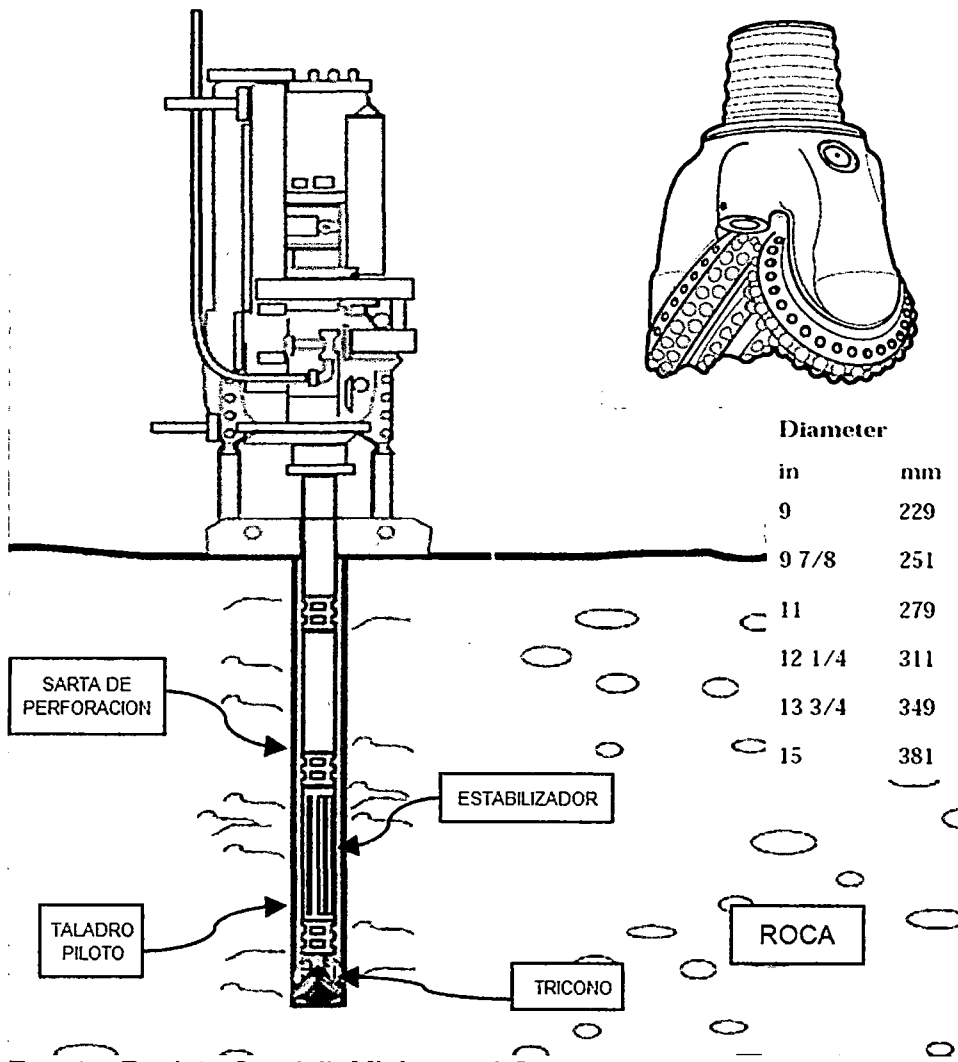
- **Duración de la formación**

Al igual que con el factor anterior, la mayor dificultad para perforar la roca dura produce desviaciones hacia la formación más blanda

- **Diseño de la sarta de perforación**

La utilización de barras de mayor diámetro rigidiza la sarta e incrementa al afecto péndulo que mantiene la dirección del sondeo. Hay que reseñar que la holgura entre la sarta y el taladro afecta de una forma considerable a la desviación del sondeo.

La desviación influye de tal manera que cada pique o chimenea realizado por el método Raise Boring correspondiente a la medida de verticalidad en que se realizo la perforación del sondeo piloto.



Fuente: Revista Sandvik Mining and Construction

Figura N° 5.5: Realización del sondeo Piloto.

#### **5.2.4 Evacuación de los Detritus**

Para evacuar el detritus del fondo del taladro, como se ha comentado anteriormente, se utiliza aire o agua; el flujo generado por cualquiera de estos fluidos es un flujo turbulento, cuya capacidad de sustentación de las partículas del detritus se basa en la turbulencia y remolinos que se producen más que en la resistencia originada por la viscosidad del fluido.

Esta capacidad de sustentación depende de:

- Forma, tamaño y densidad del detritus.
- Densidad del fluido.
- Velocidad relativa del fluido respecto al detritus en suspensión.

De todos estos factores es el último parámetro sobre el que más fácilmente se puede actuar para asegurar la

elevación correcta del detritus. Así, para la velocidad de circulación adecuada el caudal del fluido (Q) necesario dependerá de la sección anular entre el taladro y la varilla (S).

$$V = Q/S$$

En el caso de que el fluido sea agua, la velocidad de circulación suele estar comprendida entre 30 – 60 m/min; en cambio si el fluido es de aire la velocidad requerida será de 900 – 1 800 m/min.

Cuando se utiliza agua la refrigeración de los cojinetes es mejor que si se utilizara aire, pero con el inconveniente de que el agua puede llegar a oxidar los elementos de perforación.

#### **5.2.5 Escariado al Diámetro Final**

La operación de escariado comienza cuando se ha realizado el taladro piloto; antes hay que realizar unas operaciones previas:

- Perfilar la superficie de emboquille de la cabeza del escariador para evitar desviaciones y flexiones del tren de varillaje.
- Retirar los estabilizadores, excepto uno, del extremo de la sarta antes de colocar la cabeza del escariador.

Una vez terminada la operación se iniciara el escariado con cuidado, evitando al máximo que las irregularidades de la superficie de emboquille puedan torcer la cabeza de corte y flexar el varillaje. Las roscas de las varillas deben engranarse a medida que estas se van retirando.

Una vez terminada la operación se procede a sujetar la cabeza al techo mediante vigas y cables para retirar la maquina.

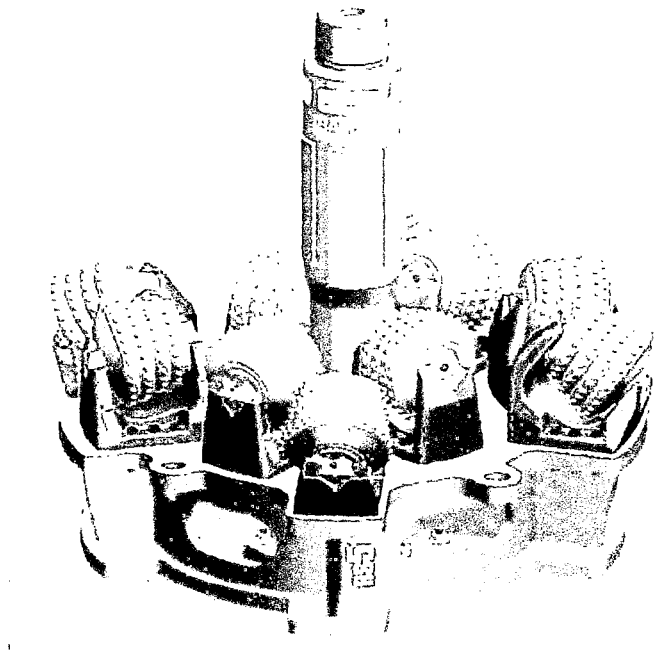
### **5.2.6 Cabeza del Escariador (Ver figura N° 5.6)**

Una selección correcta de la cabeza del escariador es imprescindible para un buen rendimiento de la maquina. Las configuraciones más típicas de la cabeza de corte son planas, escalonada, abovedada o doble abovedada.

El perfil plano está equipado con un menor número de cortadores que las demás configuraciones. Este perfil resulta más fácil de desplazarse bajo tierra.

El perfil escalonado proporciona una ventaja esencial, y es que el diámetro del hueco puede variarse con la adición o eliminación de escalones, pero tiene el inconveniente en calibres de corte demasiado grandes.

Los perfiles abovedados proporcionan buena estabilidad en el hueco y un perfil redondo.



Fuente: Revista Sandvik Mining and Construction

Figura N° 5.6: Cabeza del Escariador

### 5.2.7 Cortadores (ver figura N° 5.7)

La estructura de corte varía según el tipo de roca y su resistencia a compresión; de este modo en rocas blandas (50 – 150 Mpa) tendrán menor número de filas con un mayor espaciado entre ellas (para incrementar la velocidad de penetración) que los de roca media (150 – 250 Mpa), y los insertos son más largos y apuntados (para reducir el desgaste).

Los tres tipos principales de cortadores en la perforación de pozos y chimeneas mediante Raise Boring son cortadores de discos, cortadores de entalladura y cortadores de rodillo de insertos de carburo.

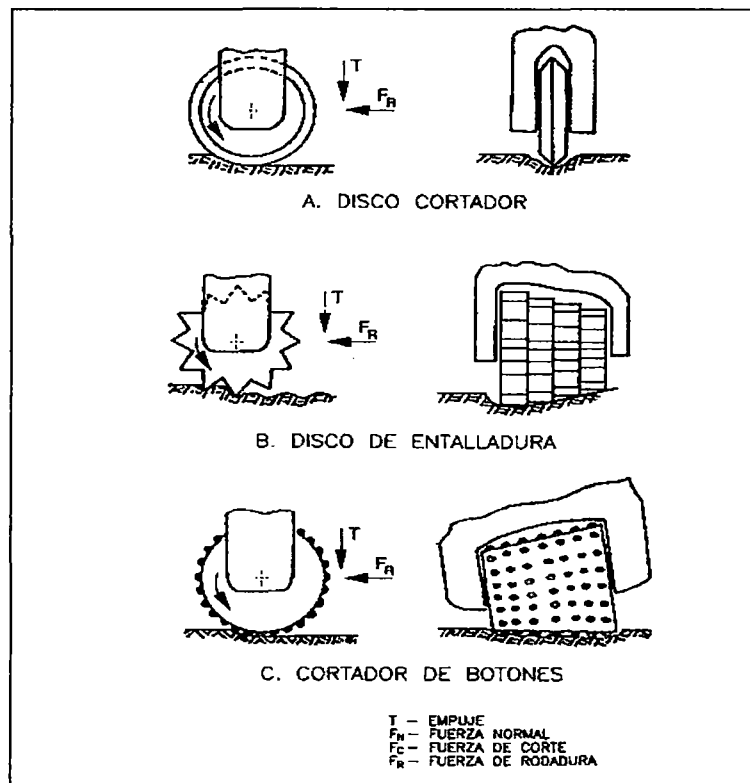
- **Discos Cortadores**

El disco cortador es capaz de cortar una amplia gama de rocas, variando desde una resistencia a compresión de 7 Mpa a 300 Mpa; esto es posible cambiando el ángulo del filo del disco. Un disco cortador utiliza un alto empuje y un área pequeña de contacto de corte con la roca, lo que favorece una penetración profunda y una producción con alto porcentaje de grandes trozos de roca.

El punto límite de utilización del disco cortador está en una roca cuya resistencia a compresión a lo largo de toda la chimenea se de 225 a 275 Mpa.

- **Cortadores de Entalladura**

El cortador de entalladura es un tipo de disco, pero con varias estructuras de corte montadas en una sola serie de cojinetes. El cortador de entalladura se usa principalmente para rocas blandas, un cortador de entalladura no es tan económico como un disco cortador, ya que no puede cortar una roca tan dura como puede un disco cortador.



Fuente: Revista Sandvik Mining and Construction

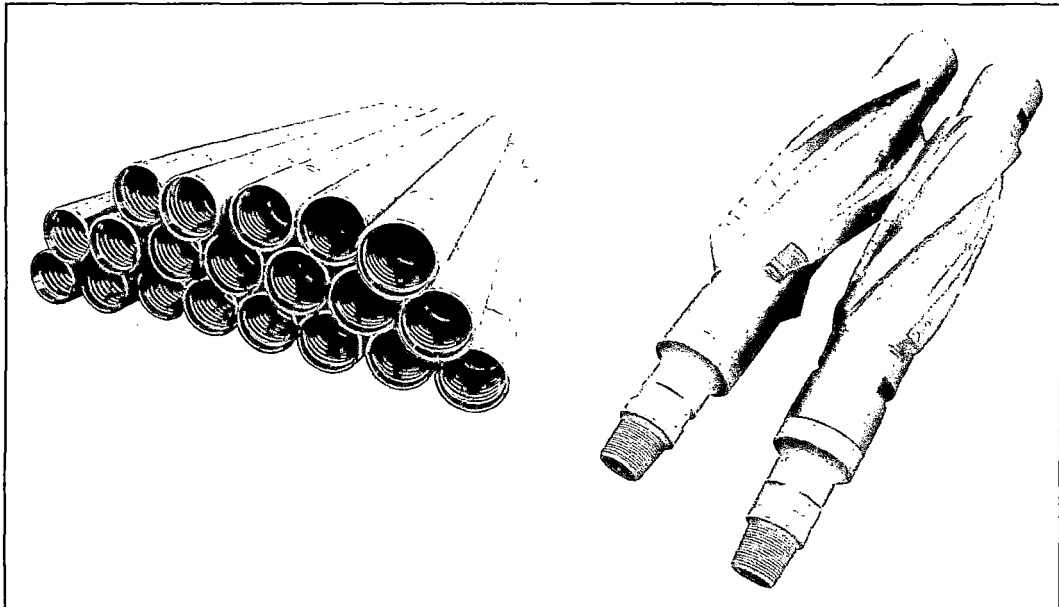
Figura N°5.7: Tipos de cortadores.

- **Cortadores de rodillo de insertos de carburo**

Este cortador utiliza insertos de carburo de tungsteno, y se utiliza en formaciones rocosas muy duras. Los cortadores se suministran con varios tamaños, formas y espaciamentos de los insertos. Los cortadores de rodillo de insertos de carburo producen un porcentaje alto de finos que pueden originar problemas en la evacuación del detritus.

#### **5.2.8 Sarta de Perforación y Estabilizadores**

Cada máquina Raise Boring se diseña en conjunto con una configuración propia de la sarta de perforación. La sarta de perforación se diseña para transmitir el máximo empuje sin que se produzcan fallos. Aunque estos fallos sean inusuales, y casi siempre atribuidos a defectos de fabricación, alguno de ellos se deben en su mayor parte al momento de flexión aplicados a los componentes de la sarta, así si la relación entre el diámetro de la cabeza y el tamaño de la sarta aumenta, los momentos de flexión llegan a ser mayores, y la frecuencia de fallos aumenta. (ver figura N°5.8)



Fuente: Revista Sandvik Mining and Construction

Figura N° 5.8: Varillas de Perforación y Estabilizadores

Para prevenir los fallos habrá que tomar una serie de precauciones:

- **Inspeccionar** periódicamente las zonas críticas para observar las posibles grietas por fatiga.
- **Un estabilizador** largo junto con un vástago largo puede prevenir que ocurra esto.

- **Verificar** que el punto de emboquille del escariador sea aproximadamente de la misma forma que el escariador.
- **Comprobar** que los estabilizadores no estén gastados.
- Realizar una minuciosa **inspección y mantenimiento** de la sarta de perforación después de aproximadamente 2 500 h de trabajo del escariador.

### **5.2.9 Costos de Perforación con Raise Boring**

Ver el análisis en el cuadro N° 5.5

Cuadro N° 5.5: Costo para la Construcción de chimenea con Raise Boring

| ANALISIS DE COSTOS PARA CHIMENEA RAISE BORING |                                     |                            |        |                                  |            |         |              |                 |
|---|-------------------------------------|----------------------------|--------|----------------------------------|------------|---------|--------------|-----------------|
| DIMENSIONES:                                  |                                     | 2,5 m                      |        | Rendimiento de Piloto:           |            | 20,00   | 65,82 mt:pie |                 |
| UNIDAD DE MEDIDA:                             |                                     | ML                         |        | Rendimiento de Escariado:        |            | 18,00   | 59,06 mt:pie |                 |
| ELABORADO POR:                                |                                     | Bach. Carlos Choque Catare |        | Varillaje de perforación:        |            | 1,50    | 4,92 mt:pie  |                 |
| TIPO DE ROCA:                                 |                                     | III - IV                   |        | Distancia entre estabilizadores: |            | 10,00   | 32,81 mt:pie |                 |
| LONGITUD DE EXCAVACION:                       |                                     | 180 590,5512 mt:pie        |        | Horas por guardia:               |            | 12,00   | Hr / guardia |                 |
| FECHA DE ELAVORACION:                         |                                     | jun-10                     |        |                                  |            |         |              |                 |
| Item  | Descripción                         | Cantidad                   | Unidad | % Incid.                         | P.U (US\$) | Parcial | Sub Total    | Total (US\$/mt) |
| <b>1</b>                                      | <b>MANO DE OBRA</b>                 |                            |        |                                  |            |         |              |                 |
|   | Operador de REASE BORING            | 30,00                      | hh     |                                  | 3,78       | 113,29  | 6,29         |                 |
|   | Asistente de REASE BORING           | 90,00                      | hh     |                                  | 3,02       | 271,90  | 15,11        |                 |
|   | Electromecanico                     | 5,00                       | hh     |                                  | 3,78       | 18,88   | 1,05         |                 |
|   | Bodeguero                           | 10,00                      | hh     |                                  | 2,64       | 26,43   | 1,47         |                 |
|   | Capataz                             | 5,00                       | hh     |                                  | 5,54       | 27,69   | 1,54         |                 |
|   | Ing. Supervisor de REASE BORING     | 5,00                       | hh     |                                  | 8,21       | 41,04   | 2,28         | 27,74           |
| <b>2</b>                                      | <b>MATERIALES Y HERRAMIENTAS</b>    |                            |        |                                  |            |         |              |                 |
|   | Triconos                            | 590,55                     | Pp     |                                  | 4,85       | 2864,17 | 143,21       |                 |
|   | Varillaje de perforación            | 108,00                     | Und    |                                  | 1,39       | 150,12  | 7,51         |                 |
|   | Estabilizadores                     | 12,00                      | Und    |                                  | 2,48       | 29,76   | 1,49         |                 |
|   | Escariador                          | 590,55                     | Pp     |                                  | 2,98       | 1759,84 | 97,77        |                 |
|   | Cortadores                          | 590,55                     | Pp     |                                  | 7,52       | 4440,94 | 246,72       |                 |
|   | Aditivos                            | 1,00                       | Global |                                  | 500,00     | 500,00  | 27,78        |                 |
|   | Herramientas                        | 1,00                       | Global |                                  | 50,00      | 50,00   | 2,78         | 527,25          |
| <b>3</b>                                      | <b>IMPLEMENTOS</b>                  |                            |        |                                  |            |         |              |                 |
|   | Implementos de Seguridad Normal     | 12,08                      | und    |                                  | 0,99       | 11,96   | 0,66         |                 |
|   | Implementos de Seguridad Agua       | 0,00                       | und    |                                  | 0,53       | 0,00    | 0,00         | 0,66            |
| <b>4</b>                                      | <b>EQUIPOS Y MAQUINARIAS</b>        |                            |        |                                  |            |         |              |                 |
|   | Robbins 71R                         | 590,55                     | Pp     |                                  | 5,68       | 3354,33 | 186,35       |                 |
|   | Cargador de lámparas                | 145,00                     | hm     |                                  | 0,17       | 24,65   | 1,37         |                 |
|   | Radios                              | 24,00                      | hm     |                                  | 0,80       | 19,20   | 1,07         |                 |
|   | Camioneta                           | 4,00                       | hm     |                                  | 7,50       | 30,00   | 1,67         |                 |
|   | Scoop 2,5 yd3                       | 4,00                       | hm     |                                  | 55,00      | 220,00  | 12,22        |                 |
|   | Grua                                | 2,00                       | hm     |                                  | 50,00      | 100,00  | 5,56         |                 |
|   | Compresora Electrica 500 CFM        | 0,50                       | hm     |                                  | 25,00      | 12,50   | 0,69         | 208,93          |
| <b>5</b>                                      | <b>MANTENIMIENTO DE EQUIPO</b>      |                            |        |                                  |            |         |              |                 |
|   | Mantenimiento de equipo Robbins 71R | 1,00                       | Global |                                  | 400,00     | 400,00  | 22,22        | 22,22           |
| <b>COSTO DIRECTO</b>                          |                                     |                            |        |                                  |            |         |              | <b>786,80</b>   |
| <b>GASTOS GENERALES</b>                       |                                     | <b>15%</b>                 |        |                                  |            |         |              | <b>118,02</b>   |
| <b>UTILIDAD</b>                               |                                     | <b>10%</b>                 |        |                                  |            |         |              | <b>78,68</b>    |
| <b>COSTO TOTAL</b>                            |                                     |                            |        |                                  |            |         |              | <b>983,49</b>   |
| <b>US\$ / ML</b>                              |                                     |                            |        |                                  |            |         |              |                 |

Fuente: Departamento de Planeamiento Mina Horizonte

## **CAPÍTULO VI**

# **INYECCIONES EN CONSTRUCCIÓN DE CHIMENEAS**

### **6.1 Historia de las Inyecciones**

La historia de las inyecciones, se ah clasificado en:

- **Pre – Historia:**
  - 1 802 Charles Berigny. Inyecciones de arcilla y cal hidráulica para reparar una compuerta desrripiadora en el puerto de Dieppe.
  - 1 876 Thomas Hawksley. Inyecciones de cemento para sellar grietas en roca

- **Historia Moderna:**

- 1 933 Maurice Lugeon. Libro "Barrage et Géologie".
- 1 938 Armand Mayer . Inyección de arcilla tratada.
- 1 953 USBR. Libro "Pressure Grouting".
- 1 964 Henry Cambefort. Libro "Injection des Sols".

- **Historia Contemporánea:**

- 1 982 Ibáñez y Echeverría . Fórmula "Presión-Caudal".
- 1 984 Gandais et Delmàs . Coulis a Haute Penetrabilité.
- 1 985 Echeverría . Lechadas con aditivos fluidificantes.
- 1 993 Lombardi & Deere. El método GIN

## **6.2 Propiedades de las Lechadas**

Las propiedades y características de estas lechadas dependen de las dosis de las mezclas utilizadas. En todo caso, sus propiedades comunes son las siguientes

- Estabilidad y fluidez dependiendo de las dosis de sus distintos constituyentes y de sus cualidades.
- Resistencia a la compresión simple relacionada a la relación cemento sobre agua.
- Durabilidad relacionada con la cantidad y calidad de los constituyentes.

Estas lechadas se caracterizan por lo siguiente:

- Su facilidad de preparación y de suministro.  
Su facilidad de puesta en obra.

- La posibilidad de obtener mezclas relativamente económicas.

Estas lechadas sobre la base de cemento se dividen en tres grandes grupos:

- Las lechadas a base de cemento puro.
- Las mezclas de arcilla (bentonita) y cemento.
- Las lechadas con carga.

### **6.3 Inyección Tradicional**

La inyección como sistema de mejora y tratamiento del terreno es hoy por hoy uno de los métodos más utilizados en todo tipo de obras, especialmente en las subterráneas.

Consiste en el proceso por el cual se pretende inyectar un fluido en el terreno a una cierta presión, con el que se quiere conseguir, bien mediante la deposición en grietas y huecos, bien

desplazando el material ya existente y sustituyéndolo o bien formando una mezcla con el terreno primitivo, una mejora de las características geotécnicas de la zona o disminuir la permeabilidad mediante la creación de pantallas.

La inyección se realiza con materiales que pueden ir desde cemento con agua, mezclas de cemento y arcilla, compuestos químicos que reaccionan pasado un tiempo predeterminado, puzolanas, y combinaciones de todos estos productos con otros inertes, como por ejemplo la arena como elemento de carga.

### **6.3.1 Suspensiones inestables**

Se llaman suspensiones inestables a aquellas de cemento diluido con agua en exceso en proporciones variables. Las inyecciones con estas lechadas, se utilizan cuando el terreno o la roca no presentan grandes dificultades, pueden ser método barato y eficaz

El fenómeno de la sedimentación en estas suspensiones dependerá del tipo de cemento y de la dilución.

En el cuadro N° 6.1 se indican los porcentajes de decantación en función de la relación agua/cemento.

Cuadro N° 6.1: Relación Agua/Cemento – Decantación.

| Agua/Cemento | Decantación |
|--------------|-------------|
| 1/1          | 5 - 35      |
| 1/2          | 15 - 60     |
| 1/3          | 32 - 72     |

Fuente: Departamento de Planeamiento Mina Horizonte

En una suspensión como las lechadas de cemento, la capacidad para penetrar en las grietas y poros del terreno depende de la forma y tamaño de las partículas sólidas más grandes, de la concentración, estabilidad y tixotropía de la mezcla.

La estabilidad de una mezcla es importante y su ausencia provocara la decantación de las partículas, lo cual llevara consigo que en algunas partes del terreno no se inyecten de forma homogénea o también que se produzcan fallas en los equipos, como por ejemplo obturaciones en las

tuberías. Es por estas razones que las suspensiones más utilizadas sean las estables.

### **6.3.2 Suspensiones Estables**

Se definen como lechadas estables a las suspensiones en agua de partículas finas, tales como arcilla pura, cemento, bentonita o cementos activados por aditivos, que no presentan una decantación apreciable durante las operaciones de inyección.

Estas lechadas son tanto menos estables cuanto mayor sea su relación agua/cemento.

Las inyecciones de cemento son normalmente las más usadas para el tratamiento de macizos rocosos, ya que, además de ofrecer unos buenos resultados, los productos son bastante más baratos y se necesita un grado de tecnificación bajo.

En la mayoría de los casos la inyección de cemento está constituida por cemento Portland, ASTM Tipo I.

### **6.3.3 Equipo Básico en las Inyecciones de Cemento.**

El equipo básico para realizar inyecciones de cemento se debe componer de los siguientes aparatos:

- Mezclador coloidal.
- Agitador.
- Bomba.
- Manómetro y caudalímetro.
- Mangueras y obturadores.

El proceso básico de una inyección se puede resumir en la forma siguiente: Los materiales de inyección como cemento, el agua y los aditivos se añaden al mezclador coloidal, el cual normalmente es de alta velocidad, y son mezclados todos ellos enérgicamente, rompiéndose los conglomerados de cemento y arena e individualizándose las partículas. Al cabo de unos minutos la mezcla es impulsada al

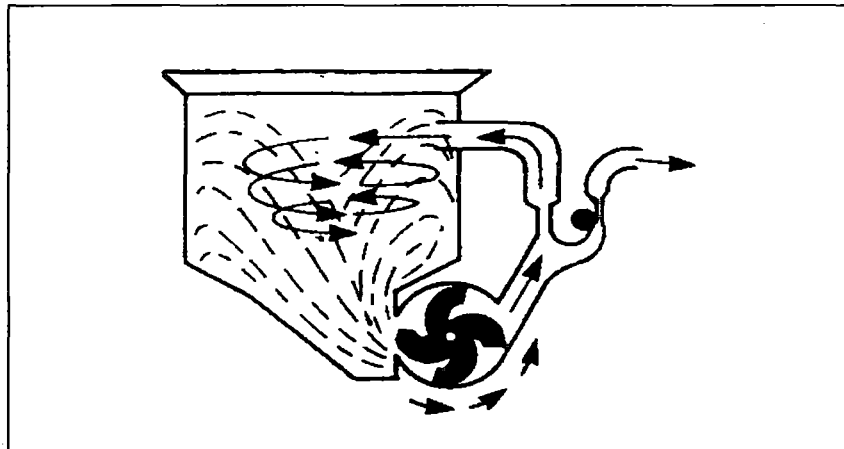
agitador donde se batirá lentamente. El papel de este equipo es mantener la mezcla agitada hasta que se realiza la inyección. En el momento en el que se produce esta, la mezcla es extraída por las bombas y trasladada al sondeo a través de las tuberías. Una vez dentro de este, para distribuirla de forma correcta se usan obturadores y manguitos.

**a) Mezcladores (Ver figura N° 6.1)**

El amasado de la mezcla debe realizarse en maquinas que trabajen a velocidades, como mínimo, de 1 500 r/min, de ahí que se utilicen los mezcladores de alta velocidad en vez de los mecánicos. Algunos mezcladores de alta velocidad están además dotados de un efecto ciclón que el trabajar con una elevada velocidad hacen que el cemento y los demás compuestos sean cometidos a una gran acción de disgregación, individualizando las partículas y eliminando cualquier impureza superficial en los granos.

Todas estas características de los mezcladores coloidales de alta velocidad hacen que la mezcla producida

tenga una gran estabilidad, con mejor penetración y mayor duración para trayectos largos.



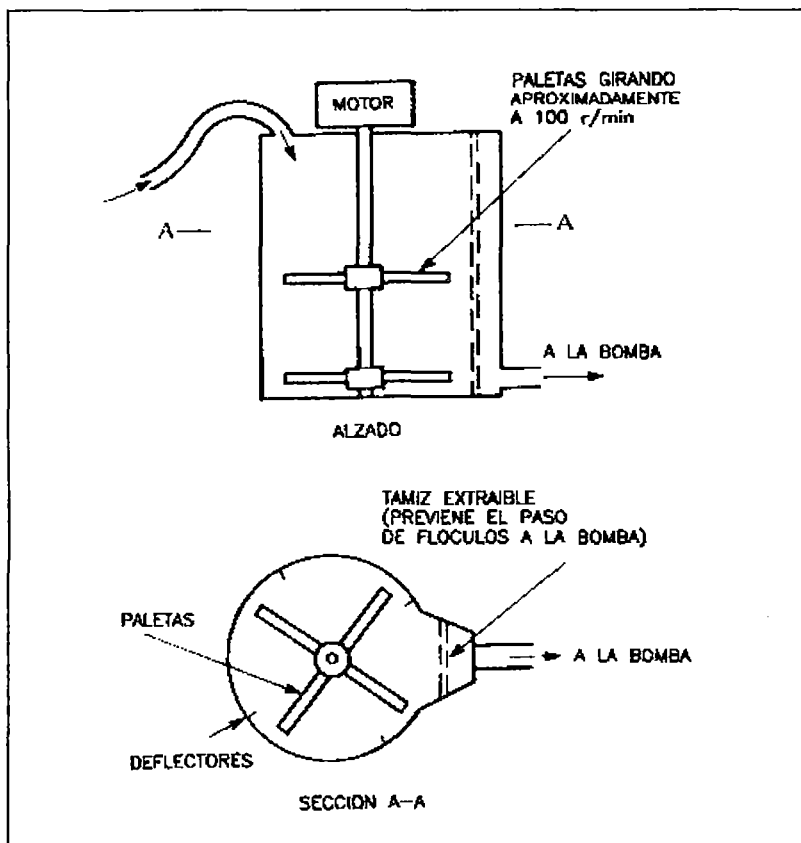
Fuente: Diseño propio

Figura N°6.1: Mezclador de alta velocidad con giro del rotor a más de 500 r/min.

**b) Agitador (ver figura N° 6.2)**

Los agitadores son elementos intermedios entre el mezclador y la bomba de inyección, que tiene como misión mantener la mezcla en estado de suspensión hasta que sea bombeada al sondeo, normalmente se trata de un recipiente con una capacidad doble que la del mezclador y

está provisto de una serie de paletas que giran lentamente, a unas 100 r/min.



Fuente: Diseño propio

Figura N°6.2: Agitador de paletas.

El giro producido por las paletas hace que los sólidos se mantengan en suspensión y que liberan las burbujas de aire que se han originado durante el amasado.

### **c) Bombas de Inyección**

Las bombas de inyección deben ser capaces de impulsar el material a zonas que por sus características harán que la velocidad del fluido sea baja y que puedan sedimentar los granos. Además deberán resistir la abrasión ocasionada por las partículas de cemento.

Hay tres tipos básicos de bombas de inyección: de pistón, de diafragma y de tornillo helicoidal.

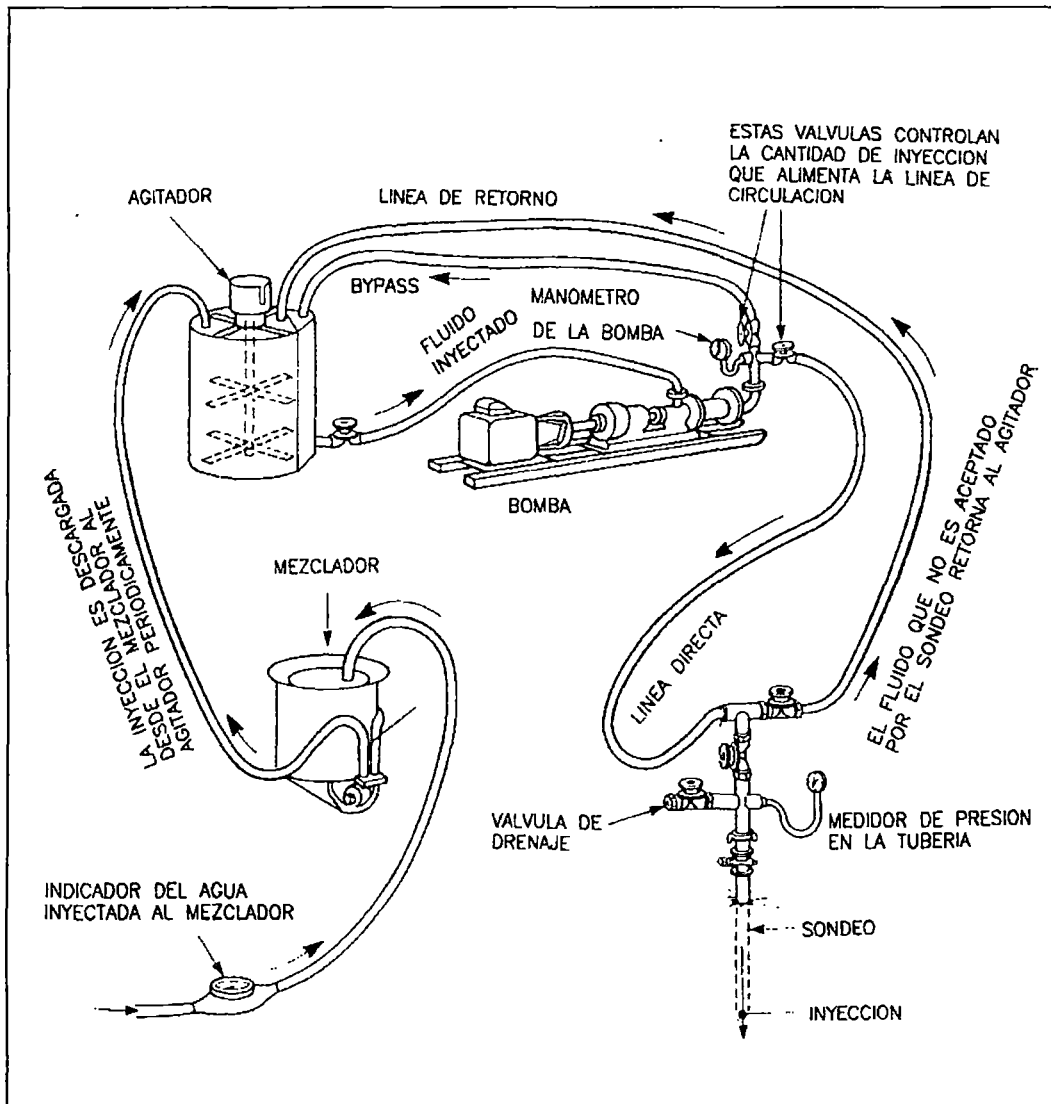
### **d) Líneas de Circulación**

Las líneas de circulación están constituidas por las tuberías que serán las encargadas de transportar el fluido. Existen dos grandes familias de líneas de circulación, las que tiene retorno y las que carecen de él. En la actualidad la gran mayoría de los equipos trabajan con retorno de la mezcla sobrante. En el sistema de circulación con retorno existen dos líneas: la de salida de la inyección que conecta

con la bomba a los accesorios de la inyección en el sondeo y la de retorno que une el sondeo con el agitador.

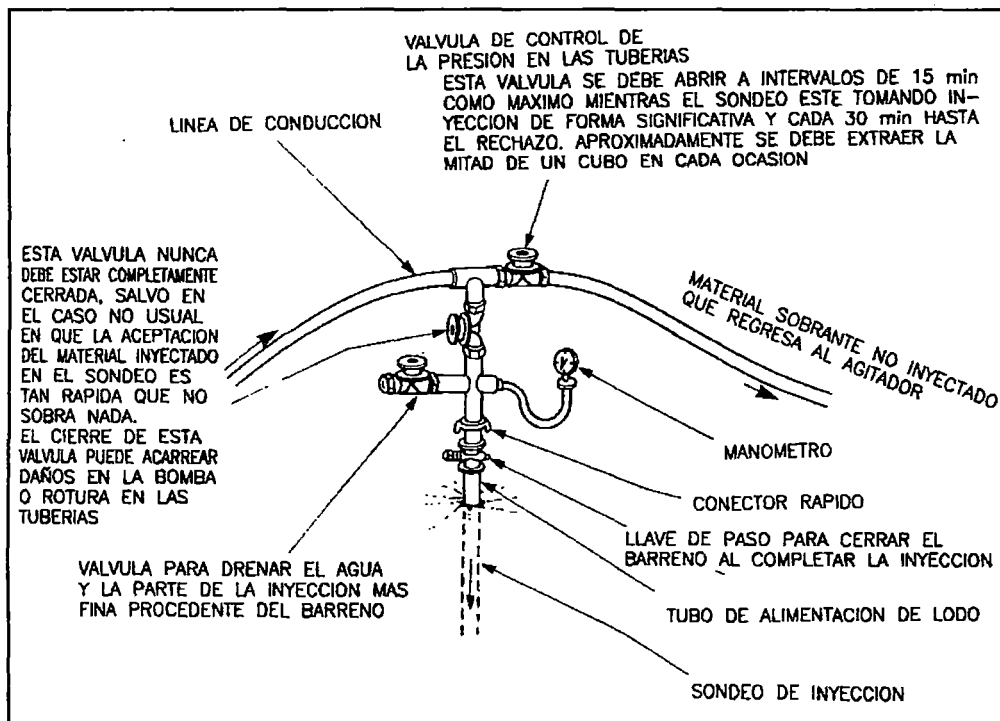
Todas las líneas están equipadas con manómetros de presión, válvulas de compensación y a veces con una llave de paso para mantener la presión en el sondeo después de inyectar la mezcla.

Tanto la presión como el caudal son regulados mediante la llave colocada en la línea de retorno, la cual permite que el fluido sobrante retorne al agitador. Ver el proceso en las Figuras N° 6.3, 6.4



Fuente: Diseño propio

Figura N°6.3: Diseño Básico del equipo de inyección de cemento.



Fuente: Diseño propio

Figura N°6.4: Mecanismos y accesorios para el control de la inyección, medida de la presión y drenaje.

### e) Equipo de Medición

El equipo de medición está constituido por manómetros de presión y caudalímetro. Normalmente estas lecturas se realizan con un grupo registrador de forma simultánea, con el fin de seguir con todo detalle los cambios de presión y caudal que pudieran producirse.

## **f) Obturadores**

Los obturadores son los elementos encargados de aislar partes del sondeo inyectado. Existen dos tipos de obturadores: los neumáticos y los mecánicos.

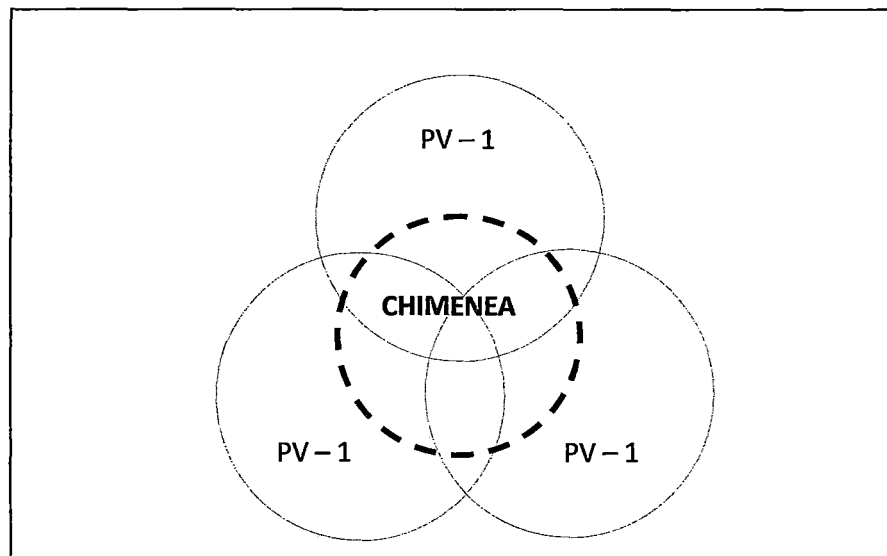
Los obturadores neumáticos están constituidos por un tubo de goma blanda, la cual se hincha hidráulicamente o neumáticamente, expandiéndose contra las paredes del sondeo aunque estas sean irregulares. La longitud de expansión del manguito de goma es grande, así como la presión de hinchado que debe ser alta para conseguir una buena obturación. El inconveniente de estos obturadores es que tienen tendencia a romperse durante la subida o bajada por el sondeo.

Los obturadores mecánicos son muchos más resistentes, pero únicamente pueden instalarse en sondeos de sección circular. Están compuestos por una junta de goma gruesa, la cual se expande contra las paredes del

sondeo por una compresión longitudinal usando un tornillo en la superficie.

#### 6.3.4 Registro de Inyecciones en Sondeos de la Unidad Minera Retamas - Parcoy

Se realizaron tres puntos en los cuales se ejecuto la inyección. Ver el proceso en los cuadros 6.2, 6.3



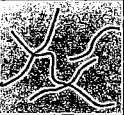
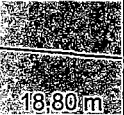


Fuente: Diseño propio

Diagrama de ubicación de puntos de inyección PV – 1, PV – 2, PV – 3.

Cuadro N° 6.2: Registro de inyección en sondeo PV - 1

| PROFUNDIDAD | DESCRIPCION LITOLÓGICA   | POTENCIA LITOLÓGICA          | REGIS. DE CEMENTO |
|-------------|--|------------------------------|-------------------|
| 9           | 0,00 - 9,00<br>Roca sedimentaria de Areniscas cuarzosas gris blanquecinas, con intercalacaladas con capas de lutitas de color gris oscuras.<br>Muy duras y fracturadas con rellenos de oxid.<br>Rellenos de cemento a los 6,70 m | 19,20 mts de Areniscas Qzas. | A los 6,70 m      |
| 19,2        | 9,00 - 19,20<br>Areniscas cuarzosas de tonalidad gris blanquecinas, bien duras, con fracturamiento moderado.   |                              |                   |
| 20,7        | 19,20 - 20,70<br>Lutitas de color gris plomiso muy fracturadas   | 1,40 m                       |                   |
| 27,8        | 20,7 - 27,80<br>Areniscas cuarzosas de tonalidad gris blanquecinas bien duras, con fuerte fracturamiento con oxidos en las fracturas.  | 7,10 m                       |                   |
| 34,9        | 27,80 - 34,90<br>Roca volcanica, Andesita muy fracturada y alterada de color gris pardo rojiso .   | 7,10 m                       |                   |
| 47          | 34,90 - 47,00<br>Areniscas cuarzosas de tonalidad gris blanquecina, moderadamente fracturada.<br>Relleno de cemento a los 46,50 m  | 5,1 m                        | 46,5              |
| 58,3        | 47,00 - 58,30<br>Areniscas cuarzosas de tonalidad gris blanquecinas bien duras, intensamente fracturadas con oxidos y rellenos de calcita en facturas.   | 11,3 m                       |                   |
| 72          | 58,30 - 72,00<br>Areniscas cuarzosas gris blanquecinas moderadamente fracturadas.<br>Relleno de cemento a los 63,50 m  | 13,7 m                       | 63,5              |
| 85          | 72,00 - 85,00<br>Areniscas cuarzosas de tonalidad gris blanquecinas bien duras, intensamente fracturadas con oxidos y rellenos de calcita en facturas.   | 13,00 m                      |                   |
| 100         | 85,00 - 100<br>Areniscas cuarzosas de tonalidad gris blanquecinas, bien duras, con fracturamiento moderado.<br>A los 95,50 m relleno de cemento de 0,05 cm   | 15,00 m                      | 95,5 va...        |

Viene...

| PROFUNDIDAD | DESCRIPCION LITOLOGICA  | POTENCIA LITOLOGICA   | REGIS. DE CEMENTO |
|-------------|---|---|-------------------|
| 106,5       | <b>100 - 106,50</b><br>Areniscas cuarzosas de tonalidad gris blanquecinas bien duras, bien fracturadas con oxidos y rellenos de calcita en facturas.          |    | 142,5             |
| 125,3       | <b>106,50 - 125,30</b><br>Areniscas cuarzosas gris blanquecinas bien duras, con intercalaciones de lutitas de color pardo rojiso.                             |    |                   |
| 126,1       | <b>125,30 - 126,10</b><br>Adesitas muy alteradas y intensamente fracturadas de color gris verdosa.  |    |                   |
| 139,5       | <b>126,10 - 139,50</b><br>Andesita gris verdosa, bien dura poco alterada<br>Relleno de cemento a los 142,50 m 0,04 cm   | 14,20 m   |                   |
| 151,35      | <b>139,50 - 151,35</b><br>Areniscas cuarzosas de tonalidad gris blanquecinas bien duras, intensamente fracturadas con oxidos y moderadamente alteradas.       |  |                   |
| 157,7       | <b>151,35 - 157,70</b><br>Pizarras de color gris oscuro, bien duras, con venillas de cuarzo y calcita.  | 6,35 m  |                   |
| 168,5       | <b>157,70 - 168,50</b><br>No hay recuperacion de muestras,<br><br>Pizarras de color gris oscuro, bien duras, a los 163,85 m<br>FIN DEL TALADRO HASTA 168,50 m | 10,80 m   |                   |

Fuente: Dpto. Geotécnico de Unidad Minera Retamas – Parcoy.

Cuadro N°6.3: Registro de inyección en sondeo PV - 2

| PROFUNDIDAD | DESCRIPCION LITOLOGICA   | POTENCIA LITOLOGICA | REGIS. DE CEMENTO |
|-------------|--|---------------------|-------------------|
| 9           | 0,00 - 9,00<br>Roca sedimentaria de Areniscas cuarzosas de tonalidad gris blanquecinas, con intercalaciones de capas de lutitas de color gris oscuras. | 1,35 m              | 18,9              |
|             | Muy duras y fracturadas con rellenos de oxid.  | 19,2 m              |                   |
| 19,2        | 9,00 - 19,20<br>Areniscas cuarzosas gris blanquecina bien duras, con fracturamiento moderado.<br>Relleno de cemento a los 18,90 m                      |                     |                   |
| 20,7        | 19,20 - 20,70<br>Lutitas de color gris plumiso muy fracturadas   | 1,00 m              |                   |
| 26,4        | 20,7 - 26,40<br>Arenisca Qza gris blanquecina bien duras, con fuerte fracturamiento .  | 5,70 m              | 24                |
|             | Relleno de cemento a los 24,00 m   |                     |                   |
| 33,75       | 26,40 - 33,75<br>Roca volcanica, Andesita muy fracturada y alterada de color gris pardo rojiso.  | 7,35 m              |                   |
| 47,5        | 33,75 - 47,50<br>Areniscas cuarzosas de tonalidad gris blanquecina, moderadamente fracturada.  | 13,75 m             | 43,4              |
|             | Relleno de cemento a los 43,40 m   |                     |                   |
| 49,5        | 47,50 - 49,50<br>Arenisca Qza gris blanquecina bien duras, intensamente fracturadas.   | 2,00 m              |                   |
| 61          | 49,50 - 61,00<br>Areniscas cuarzosas gris blanquecinas moderadamente fracturadas.  | 11,50 m             | 54                |
|             | Relleno de cemento a los 51 m  |                     |                   |
| 65          | 61,00 - 65,00<br>Arenisca Qza gris blanquecina intensamente bien fragmentadas, con oxidos de fierro.   | 4,00 m              |                   |
| 72          | 65,00 - 72,00<br>Areniscas cuarzosas de tonalidad gris blanquecinas, bien duras, con fracturamiento moderado.  | 7,00 m              |                   |

va...

Viene...

| PROFUNDIDAD | DESCRIPCION LITOLOGICA   | POTENCIA LITOLOGICA | REGIS. DE CEMENTO |
|-------------|--|---------------------|-------------------|
| 74          | 72,00 - 74,00 Arenicas muy fracturadas   | 2,00 m              |                   |
| 106         | 74,00 - 106,00<br>Arenicas cuarzosas gris blanquicinas bien duras y fracturadas con oxidos y rellenos de calcita en facturas.<br>Moderadamente alterada hematizada.<br>Relleno de cemento a los 105,40 m                                 | 32,00 m             | 105,4             |
| 109,9       | 106,00 - 109,90<br>Lutitas gris plumiso a pardo rojizo, bien fracturada con venillas de pirita a los 107.45 mts.   | 3,90 m              |                   |
| 111,5       | 109,90 - 111,50 Areniscas blancas  | 1,60 m              |                   |
| 113,5       | 111,50 - 113,50<br>Areniscas Qza muy fragmentadas.   | 2,00 m              |                   |
| 122,5       | 113,50 - 122,30<br>Areniscas de colo gris blanquecinas a pardo pardo rojizo, moderadamente fracturadas.  | 9,80 m              |                   |
| 140,6       | 122,50 - 140,60<br>Roca volcanica, Andesita muy fracturada y alterada de color gris verdoso a pardo rojizo. Desde el tramo 137,70 - 140,60 moderadamente alteradas de color gris gris pardo rojizo con rellenos de calcita en fracturas. | 18,10 m             |                   |
| 146,7       | 140,60 - 146,70<br>Areniscas cuarzosas gris blanquicinas bien duras y fracturadas con oxidos y rellenos de calcita en facturas. Moderadamente alterada, con rellenos de calcita.   | 6,10 m              |                   |
| 150         | 146,70 - 150<br>Lutitas de color gris verdoso a negro oscuro bien alteradas  | 3,30 m              |                   |
| 162,8       | 150,00 - 162,80<br>Lutitas pizarrosas de color negro oscuro, moderadamente fracturadas, con relleno de calcita y venillas de cuazo lechoso bien duras.   | 12,80 m             |                   |
| 169         | 162,80 - 169<br>Pizarras negras bien duras, fracturadas con venillas de cuarzo y rellenos de calcita en las fracturas.<br>FIN DEL TALADRO HASTA 169,00 m   | 6,20 m              |                   |

Fuente: Dpto. Geotécnico de Unidad Minera Retamas – Parcoy.

## **6.4 METODO GIN**

Los principios esenciales del método GIN se indican a continuación.

### **6.4.1 Mezcla**

- Se utiliza una sola mezcla para la totalidad de los trabajos de inyección (consolidación e impermeabilización) partiendo del principio que una sola mezcla puede ser la mejor.
- La mezcla debe tener la retracción mínima posible al fraguado, porque toda re-tracción se traduce luego en la formación de caminos preferenciales de circulación del agua y entonces en una mayor posibilidad futura de disolución de la lechada misma.
- La penetración de la mezcla en las fisuras está limitada por el diámetro de los granos de cemento en relación a la abertura de las fisuras. Es un error creer que agregando

agua a la mezcla la penetración mejore (de hecho, sólo el agua penetra en las fisuras finas, no el cemento).

- Claramente, los cementos finos y superfinos son los más eficientes para sellar las grietas, pero lamentablemente muchas veces no son disponibles o son de precio excesivo.
- La penetración a más grandes distancias (obviamente en las fisuras suficiente-mente abiertas) se obtiene para la misma presión de inyección con la reducción de la cohesión y de la viscosidad de la mezcla añadiendo un súper fluidificante de tipo adecuado.
- La definición de la mezcla debe hacerse sobre ensayos cuidadosos de laboratorio para obtener la relación Agua/Cemento la más favorable (por ejemplo 0,7/1,0 para cemento Portland Normal) escogiendo el tipo de súper fluidificante y su dosaje más favorables. Los criterios bien conocidos son:

- Decantación limitada (mínima).
- Densidad alta.
- Viscosidad baja.
- Cohesión baja.
- Tiempos de fraguado aceptables en función de la inyección a hacer.
- Resistencia mecánica y especialmente.
- Resistencia al deslave elevada.

(Según los casos cuenta también la resistencia química a varios agentes). Los primeros criterios se refieren a la mezcla fresca; los dos últimos a la mezcla fraguada.

Los parámetros determinantes que se pueden manejar para optimizar la mezcla son:

- Tipo de cemento, (granulometría, fineza).
  - Relación Agua/Cemento.
  - Tipo del superfluidificante.
  - Dosaje del superfluidificante.
- El uso de bentonita debe evitarse en las inyecciones en roca, debido a la separación que se produce frecuentemente en la mezcla. La bentonita penetra en la fisura, y el cemento (de tamaño superior) no lo puede y se queda afuera.

#### **6.4.2 Curva Límite**

La curva límite de la inyección se define por tres parámetros:

1º La intensidad o número GIN =  $p.V$ . [bar.l/m] siendo:

**p** = presión; [bar]

**V** = absorción de lechada por metro de taladro; [l/m]

o mejor [kg cemento/m]

**p.V** = GIN = constante = "energía específica"

(es decir energía de inyección por metro de taladro).

2º La presión máxima (en la boca del taladro).

3º La toma máxima.

La limitación por intensidad (número GIN) evita la combinación de presiones elevadas con volúmenes de mezcla altos: es decir presiones elevadas actuando sobre grandes superficies. Se elimina así o por lo menos se reduce substancialmente, el riesgo de hidro-fracturación y de hidrogateo.

La presión máxima ( $P_{max}$ ) es más bien un valor de diseño de los equipos de inyección (Bombas, tuberías,

obturadores, etc.). Debe ser lo suficientemente alta (2 a 3 veces la presión futura del agua en el sitio – es decir en la boca del taladro) para que al llenar el embalse las fisuras no se abran de nuevo por hidrogateo.

El volumen máximo (V) elegido no es un límite fijo absoluto, sino un punto donde debe tomarse una decisión. Se trata según los casos de:

- Continuar la inyección.
- Pararla para continuarla después del fraguado.
- Darla por terminada o bien.
- Darla por terminada decidiendo de perforar e inyectar otro u otros taladros en la cercanía.

También se define un valor crítico que es en general

$$V_{cr} = 0,5 \text{ GIN}/P_{max} \text{ [l/m]}$$

(o bien  $V_{cr} = a$  algo como de  $V_{max}/20$  a  $V_{max}/10$ ).

Cuando en un tramo de inyección de un cualquier taladro se sobrepasa este valor, se deben perforar los taladros cercanos por lo menos hasta dicha profundidad, o mejor hasta un tramo de inyección más profundo.

La selección del valor GIN depende de las condiciones geológicas y del proyecto. Debe ser escogido al inicio (por ejemplo 1 500 bar.kg/m.) y adaptado durante el desarrollo de los trabajos. Sin embargo deben ser evitados cambios frecuentes de los parámetros que dificultan el control y el análisis de la inyección.

Claro es que la distancia (d) entre los taladros y el valor GIN son relacionados. (Vale aproximadamente la relación: d proporcional a  $\sqrt[3]{GIN}$ ). Ambos valores dependen

obviamente de las características de la roca y del objetivo a conseguir.

#### **6.4.3 Saturación de la roca**

La roca seca puede absorber el agua de la mezcla lo que para muy rápidamente la penetración por el efecto de la fricción que se genera entre los granos de cemento, a faltar la lubricación por el agua. (Lo mismo pasa si el agua se escapa por las fisuras finas dejando el cemento detrás.).

Es entonces importante que la roca se encuentre saturada al momento de la inyección. Antes de empezar la inyección de lechada es necesario entonces inyectar un cierto volumen de agua en el taladro (obviamente sólo en los tramos por encima de la capa freática).

#### **6.4.4 Parada de la Inyección**

La inyección se para con un caudal de inyección nulo (o muy reducido) cuando el producto p.V llega al valor GIN prescrito.

En la práctica se puede sobrepasar el valor GIN fijado de por ejemplo 10 % y esperar algunos minutos para ver si el p.V. final se acerca lo suficiente al valor GIN mientras que la presión baje leve y lentamente.

Obviamente la inyección se para igualmente al llegar a la presión máxima (manteniéndola algunos minutos) o al volumen máximo (para tomar una decisión).

# **CAPÍTULO VII**

## **ANÁLISIS COMPARATIVO Y RESULTADOS**

### **7.1 Análisis Comparativo de Factibilidad de Ejecución**

En los cuadros N° 7.1 y 7.2 podemos apreciar el Análisis comparativo de la factibilidad de ejecución.

Cuadro N° 7.1: Análisis comparativo entre Shaft Drilling vs Raise Boring

| ANALISIS COMPARATIVO DE FACTIBILIDAD DE EJECUCION |  |   |
|---|--|---|
| FACTOR DE ANALISIS                                | SHAFT DRILLING   | RAISE BORING  |
| Tamaño de Perforación                             | Limitados por necesidades de profundiad, disponibilidad de equipos y costos, Diamaetro de perforacion mas de 6 m.  | Limitada por la potencia de la maquina. Perforaciones de 100 m hansido ejecutados con un diámetro de 6 m.   |
| Profundidad de la Perforación                     | Limitados por Disponibilidad de equipo, costos y diámetros.  | Hay casos que se han perforado hasta profundidades de 1 100 m.  |
| Verticalidad de la Perforación                    | La desviación puede estimarce con datos geologicos. Dificultad de mantener una perforación absolutamente vertical. Tolerancias de diseño 0,25 - 0,5.                     | La verticalidad de la perforación se controla por el sondeo piloto. La exactitud de este junto con una operación cuidadosa controlan la medición direccional. |
| Alteración del Masizo Rocoso                      | Proporciona alteraciones minimas del masizo rocoso.  | Proporciona alteraciones minimas del masizo rocoso.   |
| Aguas Subterrneas                                 | El método proporciona un control del agua subteranea durante la excavación.  | Donde sea necesario al agua se controla con tratamientos previos.   |
| Sostenimiento durante la Excavación               | Sostenimiento proporcionado por la presión hidráulica y una capa de polímero impermeable, permitiendo la excavación en condiciones de terreno de baja calidad geotecnica | No es posible.  |
| Costos iniciales                                  | Altos  | Medios  |
| Costos Operativos                                 | Medios   | Medios  |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 7.2: Análisis comparativo entre Shaft Boring vs Alimak

| ANÁLISIS COMPARATIVO DE FACTIBILIDAD DE EJECUCIÓN |   |  |
|---|---|--|
| FACTOR DE ANÁLISIS                                | SHAFT BORING  | ALIMAK   |
| Tamaño de Perforación                             | Limitados por disponibilidad de equipos de 5 a 7,5 m de diámetro.                                 | Las diferentes secciones y geometrías de las chimeneas pueden conseguir cambiando las plataformas, siendo posible excavar secciones desde 3 m <sup>2</sup> hasta 30 m <sup>2</sup> . |
| Profundidad de la Perforación                     | Limitados por Disponibilidad de equipos.  | La longitud de las excavaciones puede ser prácticamente ilimitada.   |
| Verticalidad de la Perforación                    | La verticalidad de la perforación se controla por el sondeo piloto.                               | La verticalidad de la perforación puede controlarse dentro de unas tolerancias que se ajustan en los extremos. La construcción de chimeneas mas precisa en cuanto a verticalidad.    |
| Alteración del Masizo Rocoso                      | Proporciona alteraciones mínimas del masizo rocoso.   | Por el empleo de voladura se altera el masizo rocoso, generando agrietamiento.   |
| Aguas Subterráneas                                | La fluencia o entrada de agua requiere un pretratamiento.   | La fluencia o entrada de agua requiere un pretratamiento.  |
| Sostenimiento durante la Excavación               | Temporalmente el sostenimiento puede colocarse a una distancia corta detrás del frente de avance. | En terrenos malos las plataformas pueden utilizarse para realizar el sostenimiento.  |
| Costos iniciales                                  | Altos   | Bajos  |
| Costos Operativos                                 | Medios  | Altos  |

Fuente: Elaboración propia

## 7.2 Análisis Comparativo de Tiempos de Ejecución

Ver el cuadro N° 7.3

Cuadro N° 7.3: Análisis comparativo Raise Boring vs Alimak

| ANALISIS COMPARATIVO DE TIEMPOS DE EJECUCION |  |  |
|--|--|--|
| FACTOR DE ANALISIS                           | RAISE BORING   | ALIMAK   |
| Perforación                                  | Su rendimiento de perforación en el Piloto es de 20 m/gdia. Y del escariado es de 18 m/gdia. Teniendo un tiempo de ejecución de 10 días en realizar la perforación de 180 m verticales.  | Su rendimiento es de 2,20 metros por guardia. Teniendo un tiempo de ejecución de 41 días en realizar la perforación de 180 m verticales.   |
| Sostenimiento                                | No se requiere.  | Según el estudio Geomecánico, se tiene que colocar pernos de 1,7 m con un estacamiento de 1,4 m. Y colocar Shotcrete de 6,5 cm con fibras. Si la sección de la chimenea es de 2,5 m x 2,5 m x 180 m, se tiene 1 800 m <sup>2</sup> de área, donde se colocara pernos. Siendo la misma Área donde se colocara Shotcrete. Se tiene un rendimiento de 20 pernos colocados por guardia y un rendimiento de 60 m <sup>2</sup> de colocado de shotcrete. Tenemos un tiempo total de 38 días. |
| Inyecciones                                  | Su rendimiento de perforación es de 10 m/gdia. Y el rendimiento de inyección es variable dependiendo de la zona donde se realiza, promediando 2 inyecciones cada 5 metros por guardia. Se realizan 03 perforaciones, por donde se inyecta, teniendo una duración de 54 días. | No se requiere.  |

Fuente: Elaboración propia

### **7.3 Análisis Comparativo de Costos de Ejecución**

Ver el análisis en el Cuadro N° 7.4

Cuadro N° 7.4: Análisis comparativo Raise Boring vs Alimak

| ANALISIS COMPARATIVO DE COSTOS DE EJECUCION |   |        |   |        |
|---|---|--------|---|--------|
| FACTOR DE ANALISIS                          | RAISE BORING  | U.S./m | ALIMAK  | U.S./m |
| MANO DE OBRA                                | Se requiere para la ejecución de la perforación 03 operadores de equipo, con 09 asistentes, 01 electromecánico tiempo parcial según necesidad.  | 27,74  | Se requiere para la ejecución de la perforación 01 perforista Alimak, 01 ayudante de perforista Alimak, 01 operador de Alimak, 01 valvulero de Alimak, 01 electromecánico tiempo parcial según necesidad.   | 111,72 |
| MATERIALES Y HERRAMIENTAS                   | Se emplean los siguientes: Triconos, Varillaje de perforación, Estabilizadores, Escariador, Cortadores, Aditivos, Herramientas generales.   | 527,25 | Se emplean los siguientes: Barrenos Integrales 2", Barrenos Integrales 4", Barrenos Integrales 6", Barrenos Integrales 8", Barra Porta Rimadora de 8", Broca Rimadora 2 1/2", Manguera 1" (Perforación y Ventilación), Manguera 1/2", Aceite de perforación, Afiladora de barrenos, Herramientas generales. | 26,26  |
| IMPLEMENTOS                                 | Comprende: Implementos de Seguridad Normal, Implementos de Seguridad Agua. En función a las condiciones de trabajo.   | 0,66   | Comprende: Implementos de Seguridad Normal, Implementos de Seguridad Agua. En función a las condiciones de trabajo.   | 1,63   |
| EQUIPOS Y MAQUINARIAS                       | Dependiendo del diametro se emplea el equipo, en este caso sera Robbins 71R, y como complementario se utiliza: Cargador de lámparas, Radios, Camioneta, Scoop 2,5 yd <sup>3</sup> , Grua, Compresora Electrica 500 CFM. | 208,93 | Se emplean los siguientes: Perforadora Stoper, Cargador de lámparas, Radios, Camioneta, Scoop 2,5 yd <sup>3</sup> , Jaula trepadora ALIMAK, Compresora Electrica 500 CFM.   | 262,73 |
| MANTENIMIENTO DE EQUIPO                     | Para el mantenimiento del equipo se considera un costos global.   | 22,22  | Se condidera: Bracket, Espaciadores, Pernos de Amarre 3/4"x2,52" ,3" , 5",Pernos de Anclaje de Riel, Mantenimiento de equipo Alimak.  | 175,40 |
| SOSTENIMIENTO                               | No se requiere  | 0,00   | Se utiliza pernos y Shotcrete, según diseño y calidad de roca. Los costos en este caso son: por perno colocado U.S.\$ 28,20 y el Shocrete con fibra por m <sup>2</sup> es de: U.S. \$ 20,49.  | 0,00   |
| INYECCIONES                                 | Se considera 03 puntos de inyección.  | 33,74  | No se requiere.   | 0,00   |

Fuente: Elaboración propia

## 7.4 Análisis Comparativo de Seguridad para el Personal

Ver el Análisis en el cuadro N° 7.5

Cuadro N° 7.5: Análisis comparativo Raise Boring vs Alimak

| ANALISIS COMPARATIVO DE SEGURIDAD DE EJECUCION |   |   |
|--|---|---|
| FACTOR DE ANALISIS                             | RAISE BORING  | ALIMAK  |
| Perforación                                    | El personal se encuentra trabajando en superficie, o en una zona subterránea, especialmente acondicionada. El riesgo es mínimo. | El ambiente de trabajo es de escasa calidad. La rugosidad de las paredes resultantes es grande y el estado del macizo rocoso es inestable. Es Trabajo de riesgo por que el trabajador se encuentra en el frente de la labor a una gran altura, conforme se realiza el avance. |
| Sostenimiento                                  | No se requiere.   | El ambiente de trabajo es de escasa calidad. La rugosidad de las paredes resultantes es grande y el estado del macizo rocoso es inestable. Es Trabajo de riesgo por que el trabajador se encuentra en el frente de la labor a una gran altura, conforme se realiza el avance. |
| Inyecciones                                    | El personal se encuentra trabajando en superficie, o en una zona subterránea, especialmente acondicionada. El riesgo es mínimo. |   |

Fuente: Elaboración propia

## **7.5 Resultado de Factibilidad de Ejecución**

Se analizaron cuatro tipos de métodos para ejecución de chimeneas, tenemos:

- Shaft Drilling.
- Raise Boring.
- Shaft Boring.
- Alimak

Como todo equipo tiene sus ventajas y desventajas, entre los cuatro se pudo determinar que el Método de perforación de chimenea utilizando Raise Boring y el Método de perforación de chimenea utilizando Alimak, ofrecen una factibilidad de ejecución, aceptable, para nuestro caso. Realizar una Chimenea de 180 m verticales.

## **7.6 Resultado de Tiempos de Ejecución**

Del análisis de Factibilidad de ejecución, determinamos que el método Raise Boring y el Método Alimak, son factibles.

Por lo cual para el análisis de Tiempos de ejecución solo analizaremos a estos dos métodos ya mencionados.

El método Raise Boring presenta un tiempo de perforación de piloto, escariado de sección completa, perforación en tres puntos para realizar las inyecciones un total de 64 días. Para nuestro caso realizar una Chimenea de 180 m verticales.

El método Alimak presenta un tiempo de perforación, colocación de sostenimiento como es pernos y shotcrete un tiempo total de 79 días. Para nuestro caso realizar una Chimenea de 180 m verticales.

## **7.7 Resultado de Costos de Ejecución**

Como en el análisis de tiempos la diferencia entre los dos métodos analizados es de 15 días, realizamos el análisis de costos, determinado un costo por metro de avance en perforación y un costo por sostenimiento.

El método Raise Boring tiene un costo de avance por metro lineal de US \$ 938,49; se considera mano de obra, materiales y herramientas, implementos, equipos y maquinarias, mantenimiento de equipo a este costo le adicionamos el costo por metro lineal de inyecciones que es de US \$ 33,74. Generando un costo de ejecución de US \$ 195 248,63.

El método Alimak presenta un costo de avance por metro lineal de US \$ 902,71; se considera mano de obra, materiales y herramientas, implementos, equipos y maquinarias, mantenimiento de equipo a este costo le adicionamos el costo de sostenimiento de colocación de perno que es de US \$ 28,20, cada perno colocado, se tienen que colocar 919 pernos, generando un costo de US. \$ 25 917,54. Adicionalmente el costo de colocado de Shotcrete

con fibras que es US \$ 20,48 por metro cuadrado, teniendo que colocarse en un área de 1800 metros cuadrados el cual genera un costo de US \$ 36 879,81; el método Alimak tiene un costo de ejecución de chimenea de US \$ 225 284,67

### **7.8 Resultado de Seguridad para el Personal**

El método Alimak por ser un método en el cual se tiene que trabajar con voladura, es más riesgoso que un método como el Raise Boring que no utiliza voladura.

## **CONCLUSIONES**

- El macizo rocoso involucrado en la ejecución del desarrollo vertical, está constituido de areniscas cuarzosas con ligeras intercalaciones de lutitas marrones a negruzcas.
- En la columna litológica predomina la arenisca con ocurrencia de bancos de andesita y brechas de 5 a 25 m de espesor.
- Las clasificaciones geomecánicas identifican que el desarrollo vertical se excavara principalmente en roca regular a mala calidad.
- Con los métodos de excavación de desarrollos verticales en los cuales se emplea explosivo no se puede garantizar la estabilidad del macizo rocoso.

- Método de perforación de chimenea utilizando Raise Boring y el Método de perforación de chimenea utilizando Alimak, ofrecen una factibilidad de ejecución, aceptable.
- Las inyecciones de cemento se disminuye y controla la inestabilidad del macizo rocoso.
- Utilizando en método de perforación Raise Boring, después de realizar las inyecciones se llega a mejora la estabilidad del macizo rocoso en el desarrollo vertical.
- El método Raise Boring presenta un tiempo de perforación de piloto, escariado de sección completa, y perforación en tres puntos para realizar las inyecciones un total de 64 días.
- El método Alimak presenta un tiempo de perforación, colocación de sostenimiento como es pernos y shotcrete un tiempo total de 79 días.
- El método Raise Boring termina de ejecutar la chimenea en 15 días antes que el método Alimak.

- El método Raise Boring tiene un costo de avance por metro lineal de US. \$ 938,49; el costo por metro lineal de inyecciones que es de U.S. \$ 33,74. Generando un costo de ejecución de US. \$ 195 248,63.
- El método Alimak presenta un costo de avance por metro lineal de US. \$ 902,71; el costo de sostenimiento comprende colocación de perno US. \$ 25 917,54; colocado de Shotcrete con fibras US. \$ 36 879,81. Generando un costo de ejecución de US. \$ 225 284,67.
- De los análisis se determina que el método Raise Boring con inyecciones es más económico, presenta un tiempo de ejecución menor, y ofrece menor riesgo para el personal, en comparación con el método Alimak.

## **RECOMENDACIONES**

- La perforación con REASE BORING, se recomienda en casos donde las condiciones geotécnicas son estables, en casos donde no existe estabilidad, se puede realizar inyecciones de cemento, considerando que no exista corrientes de aguas internas.
- Se debe tener en cuenta, que se requiere de un acceso adecuado para la instalación de la máquina perforadora. Y la eliminación de lodos producidos por la perforación.
- De ser necesario se puede incluir inyecciones auxiliares para obtener mayor resistencia, según el requerimiento de diseño para la cual se utilizara la chimenea.
- Cuando se realiza el proceso de inyección, ocurren atascamientos lo cual afecta en tiempo y en costos el proceso, para evitar este contratiempo, se debe de seleccionar personal calificado y con experiencia en el proceso.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- 1. Arenas Santiago, Año 2005.** “Equipos de última generación para perforación subterránea” Atlas Copco, Lima. Pág.30.
- 2. Caro, Jorge, Año 2005.** “Rendimiento de las emulsiones encartuchadas en labores subterráneas”, Famesa Explosivos SAC. Pág. 10.
- 3. CESEL Ingeniero, Año 2009 –** Informe Final Consultoría para evaluación Geológica y Geotécnica-Perú.
- 4. Hoek E, Brown E.T. Año 1985** “Excavaciones subterráneas en rocas”. Mc. Graw Hill. México
- 5. Miranda, M. Año 2001.** “Mineralogía de veta y alteraciones relacionadas a zonas auríferas Mina Antapite”, informe interno. Pág.14.
- 6. Poma Rique, Porfirio B., Año 2005 –** “Geomecánica Origen y Prevención de Caídas de Rocas en Minería Subterránea” – Perú.
- 7. Rambaud Pérez, Camilo, Año 1987 –** “Manual de sondeos” tecnología de perforación. España
- 8. Rojas, Juan, Año 1992.** “Estudio comparativo del método de explotación Corte y Relleno y Shrinkage Mina Santa Bárbara” Tesis UNJBG

## **ANEXO**

### **DETERMINACION DEL COSTO DE MANO DE OBRA**

Para determinar el costo de mano de obra, tomaremos como modelo el puesto de operador de REASE BORING, en tal caso partiremos desde el monto otorgado en la boleta de remuneraciones, el personal se encuentra en la AFP PROFUTURO. Cuenta con asignación familiar, se tarea ocho horas normales y 2 horas extras. Haciendo un total de 10 horas por guardia.

El personal esta afecto a descuento de quinta categoría (para aplicar este descuento lo hemos promediado para tener un porcentaje equitativo por mes).

El personal no tiene descuentos judiciales; se realizan los aportes a ESSALUD y SCTR, según corresponda.

EMPRESA  
 Dirección  
 Registro Patronal

LOGO

**BOLETA DE REMUNERACIONES : SUELDOS**

|                                |                          |                         |                  |                            |
|--------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------|----------------------------|
| DEL                            | MES                      |                         | UBICACIÓN        |                            |
| AL                             |                          |                         |                  |                            |
| Código                         |                          |                         | Fecha de Ingreso |                            |
| Apellidos y Nombres            |                          |                         | Fecha de Cese    |                            |
| Cargo y/o Ocupación            | Operador de REASE BORING |                         | Fecha de Pago    |                            |
| Días Trabajados                | 30                       | Horas Normales          | 240              | Sistema de Pensiones       |
| C. U.S.P.P.                    |                          | Horas Extras            | 120              | PROFUTURO                  |
| <b>INGRESOS DEL TRABAJADOR</b> |                          | <b>DESCUENTOS</b>       |                  | <b>APORTACIONES</b>        |
| Sueldo Mensual                 | 1166,40                  | ONP                     | 0,00             | ESSALUD 122,49             |
| Destaque a Obra                | 0,00                     | Desc. Judicial          | 0,00             | I.E.S. 0,00                |
| Horas Extras                   | 174,96                   | Sta. Categoría          | 113,42           | Otros Aportes - SCTR 23,14 |
| Remuneración Vacacional        | 0,00                     | S.P.P.                  | 136,10           | <b>TOTAL 145,63</b>        |
| Gratificación                  | 0,00                     | Com. Porcentual         | 31,30            |                            |
| Asig. Familiar                 | 19,64                    | ESSALUD - VIDA          | 5,00             |                            |
| Reintegros                     | 0,00                     | Prima Seguro            | 17,15            |                            |
| Otros Ingresos                 | 0,00                     | Adel. Sueldo            | 0,00             |                            |
| <b>BASE IMPONIBLE</b>          | <b>1361,00</b>           | Retención Judicial      | 0,00             |                            |
| Transporte                     | 0,00                     | Otros Descuentos        | 0,00             |                            |
| Prestamo Personal              | 0,00                     | Prestamos               | 0,00             |                            |
| Viáticos                       | 0,00                     | <b>TOTAL DESCUENTOS</b> | <b>302,97</b>    |                            |
| <b>TOTAL BRUTO</b>             | <b>1361,00</b>           | <b>NETO PAGAR</b>       | <b>1058,03</b>   |                            |

\_\_\_\_\_  
 FIRMA EMPLEADOR

\_\_\_\_\_  
 FIRMA EMPLEADO

Fuente: Departamento de Costos Unidad RETAMAS.

Si el personal percibe un Total Bruto de US\$ 1 361,00 al mes.

$$\frac{US\$}{HH} = \frac{TBM}{THM}$$

Dónde:

- US\$ : Dólares.
- HH : Horas Hombre.
- TBM : Ganancia Total Bruto Mensual.
- THM : Total de Horas Trabajadas al Mes.

$$\frac{US\$}{HH} = \frac{1\,361,00}{360} = 3,78$$

Encontramos que US\$ 3,78 es el P.U. del operador de REASE BORING.

Utilizando el mismo método determinamos para cada personal involucrado en el proceso de perforación con REASE BORING.

Teniendo todos los P.U. del personal se procede a calcular los sub totales para cada uno.

$$Parcial = Cantidad \times PU$$

$$Sub Total = Parcial \times Rendimiento$$

$$Total = \sum Sub Total$$