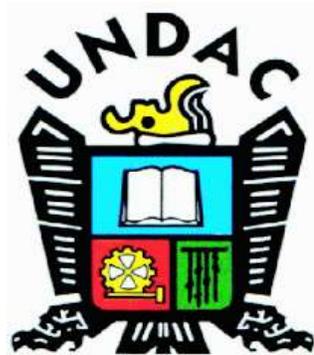


**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

**ESCUELA DE INGENIERIA DE MINAS**



**“EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DE  
TAJEOS DE PRODUCCIÓN EN LA UNIDAD MINERA  
CERRO LINDO – COMPAÑÍA MINERA MILPO”**

**TESIS**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. SOSA PAUCAR Jhon Jimmy**

**CERRO DE PASCO – PERU**

**2016**

## **DEDICATORIA**

A Dios por las bendiciones, protección y el amor que me Brinda.

A mis queridos padres Humberto y Maruja por su Incondicional apoyo.

A mis hermanos y hermanas por su apoyo moral.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por ser mi sustento espiritual.

Al Dr. Agustín Aguirre Aduato, por haberme asesorado en el desarrollo de la presente tesis.

A los Ingenieros Docentes de la Escuela de Minas, por sus enseñanzas.

A los profesionales y trabajadores que laboran en la Unidad Minera Cerro Lindo por su apoyo y colaboración.

Finalmente a la terna de Jurados calificadores, que con sus observaciones y sugerencias han enriquecido el presente trabajo para optar el título profesional de Ingeniero de Minas.

**El Autor**

## RESUMEN

**El Estudio de Tesis “EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DE TAJEO DE PRODUCCIÓN EN LA UNIDAD MINERA CERRO LINDO – COMPAÑÍA MINERA MILPO”, involucra criterios técnicos geomecánicos orientados al diseño de los tajeos orientados a la explotación de los diferentes cuerpos mineralizados en esta Unidad minera como una alternativa de solución al problema de seguridad durante la explotación de los cuerpos mencionados.**

Se fundamenta en el análisis de las condiciones geológicas, geométricas e hidrogeológicas y el estudio geomecánico de los cuerpos mineralizados OB2, OB5 y OB6 su entorno físico. Para cumplir con el objetivo de este trabajo, fue necesario realizar trabajos de campo, laboratorio y gabinete. En una primera etapa el estudio estuvo orientado a la ejecución de investigaciones básicas, con el fin de obtener la información necesaria, que permitió evaluar los factores principales del control de la estabilidad, y estimar los parámetros geomecánicos básicos. En una segunda etapa, se integró la información obtenida durante las investigaciones básicas, con el fin de realizar el diseño y las condiciones de estabilidad de las excavaciones durante la explotación de los tajeos de producción a través del análisis del gráfico según Potvin y Nickson.

## INTRODUCCION

El presente trabajo de tesis sigue una metodología sistematizada en el cual se consideran criterios técnicos, geomecánicos en el diseño de los tajeos de producción en los diferentes cuerpos mineralizados en la Mina Cerro Lindo. Se parte del análisis y valoración de las condiciones naturales (geología, geometría e hidrogeología) y el estudio geomecánico.

Para establecer los parámetros de operación una mina, se requiere cumplir con criterios económicos, geomecánicos operativos y de seguridad. En la ejecución de la presente tesis se desarrolla un proceso que nos permite cumplir con los criterios geomecánicos, de manera que se determinen parámetros de diseño seguro y estable.

Las características geomecánicas que presentan las rocas involucradas en la construcción de la mina, será una información de entrada en cada proceso relacionada con la extracción. Con el objetivo de generar una mina segura y estable, considerando el área subterráneo de la Unidad minera Cerro Lindo.

El presente trabajo de tesis está dividido en seis capítulos de la manera siguiente:

- El capítulo I, comprende el estudio de Investigación, donde se considera las técnicas de la Metodología de Investigación.
- Los capítulos II y III, trata sobre las generalidades de la mina y la geología

respectivamente.

- En el capítulo IV, se realiza un diagnóstico operacional de la mina, considerando las áreas de preparación, explotación, operaciones unitarias, etc.
- El capítulo V, se considera el estudio geomecánico subterráneo de la mina.
- En el capítulo VI, se evalúa las condiciones de diseño de los tajeos de producción de la Unidad Minera Cerro Lindo.

**EL AUTOR**

# INDICE

**Dedicatoria**

**Agradecimiento**

**Resumen**

**Introducción**

## CAPITULO I:

### ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN

	<b>Pág.</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3.1 Problema Principal	3
1.3.2 Problemas Específico	3
1.4. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS	4
1.4.1 Objetivo Principal	4
1.4.2 Objetivos Específicos	4
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.6 MARCO TEÓRICO	5
1.6.1 Marco Referencial	5
1.6.2 bases teóricas	7
Figura N° 01: Esquema de Minado Subterráneo.	8
Figura N° 02: Estabilidad para Excavaciones tipo entrada.	10
1.6.3 Marco Conceptual	11
1.7 SISTEMA DE HIPOTESIS	15
1.7.1 Sistema de Variables	16
1.7.2 Operacionalización de Variables	16
1.8 METODOLOGIA DEL ESTUDIO	17

1.8.1 Método General	17
1.8.2 Método Específico	17
1.9 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	17
1.10 POBLACIÓN Y MUESTRA	18
1.10.1 Población	18
1.10.1 Muestra	18
1.11 TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	18
1.12 TECNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS	18

## **CAPITULO II: GENERALIDADES**

2.1 UBICACIÓN Y ACCESO	20
2.2 CLIMA	23
2.3 GEOMORFOLOGÍA	23
2.4 HISTORIA	24
2.5 RECURSOS DE AGUA	26

## **CAPITULO III: GEOLOGÍA**

3.1 GEOLOGÍA REGIONAL	28
3.2 GEOLOGÍA LOCAL	31
3.2.1 Rocas Intrusivas	33
3.2.2 Metamorfismo	33
3.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	34
3.4 MINERALIZACIÓN	35
Figura 3.4: SSM (Volcánico que contiene sulfuros piritosos)	39
3.5 METAZOMATISMO	39
Figura 3.5: Secuencia paragenética	41
3.6 ZONEAMIENTO	41

3.7 ALTERACIÓN	42
3.8 RESERVAS DE MINERLES	42
3.9 FACTORES PARA DETERMINAR EL VALOR DEL MINERAL	45

#### **CAPITULO IV: DIAGNOSTICO SITUASIONAL**

4.1 GENERALIDADES	47
4.2 DISEÑO DE MINA	51
4.1.1 Accesos	51
4.3 MÉTODO DE EXPLOTACION SUB LEVEL STOPING	55
4.3.1 Orientación de los Tajeos	59
4.3.2 Ventajas y desventajas del Método de Explotación	60
4.4 PERFORACIÓN	61
4.4.1 Fragmentación del Mineral	64
4.5 RECUPERACIÓN EN LA EXPLOTACIÓN	65
4.6 DILUCIÓN EN LA EPLOTACIÓN	66
4.7 RELLENO EN PASTA	67
4.8 ACARREO Y TRANSPORTE DE MINERAL	68
4.9 VENTILACIÓN	69

#### **CAPITULO V: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA**

5.1 GENERALIDADES	71
5.2 CARACTERIZACION DE LA MASA ROCOSA	72

5.2.1 Aspectos Litológicos	72
5.2.2 Distribución de Discontinuidades	72
5.2.3 Condiciones de Agua Subterránea	75
5.2.4 Condiciones de Esfuerzos de Roca In-situ	75
5.2.5 Resistencia de la Roca Intacta	76
5.2.6 Orientación	77
5.3 CLASIFICACIÓN DE LA MASA ROCOSA	78
5.4 ZONIFICACIÓN GEOMECANICA DE LA MASA ROCOSA	81

## **CAPITULO VI: DISEÑO DE TAJEOS DE PRODUCCION**

6.1 GENERALIDADES	85
6.2 DIRECCIONES DE AVANCE DE LAS EXCAVACIONES	85
6.3 ANCHO DE LAS EXCAVACIONES	86
6.3.1 Excavaciones de Largo Plazo	87
6.3.2 Excavaciones Temporales de Ingreso	89
6.3.3 Tajeos sin Ingreso	90
6.4 DIMENSIONAMIENTO DE ESCAVACIONES CON EL METODO	
GRAFICO DE ESTABILIDAD	92
6.4.1 Radio Hidráulico	93
6.4.2 Número de Estabilidad (N)	94
6.4.3 Factor por Esfuerzos inducidos	95
Gráfico N° 6.1: Análisis	95
6.4.4 Factor de Orientación de Fracturas	96
Gráfico N° 6.2: Análisis	96

6.4.5 Factor de Ajuste Gravitacional	97
Gráfico N° 6.3: Análisis	97
6.5 ESTABILIDAD DE LOS TAJEOS	98
Gráfico N° 6.4: Estabilidad de tajos mina Cerro Lindo	98
6.6 DIMENSIONAMIENTO DE LOS TAJEOS	99
6.7 CONTRASTACION DE HIPOTESIS	99
<b>CONCLUSIONES</b>	
<b>RECOMENDACIONES</b>	
<b>LAMINAS</b>	
Lamina N° 2.1: Plano Ubicación – Unidad Cerro Lindo	21
Lamina N° 2.2: Ubicación y Acceso – Unidad Minera Cerro Lindo	22
Lamina N° 3.1: Geología Regional de la Propiedad Minera Cerro Lindo	29
Lamina N° 3.2: Columna Estratigráfica	32
Lamina N° 3.3: Geología del Yacimiento Cerro Lindo en Nivel 1820	37
Lamina N° 4.1: Sección Longitudinal de Cuerpos Mineralizados	48
Lamina N° 4.2: Vista en Planta de los Cuerpos Mineralizados	49
Lamina N° 4.3: Vista Isométrica Mina Cerro Lindo	53
Lamina N° 4.4: Vista Isométrica Mina Cerro Lindo	54
Lamina N° 4.5: Vista Isométrica tajos de explotación	57
Lamina N° 4.6: Secuencia de Minado (presentación geomecánica)	58
Lamina N° 4.7: Diseño de Perforación y Voladura	63
Lamina N° 4.9: Diagrama Unifilar de Ventilación	70
Lamina N° 5.1: Zonificación geomecánica de Cerro Lindo – Detalle Sección 1240 (Transversal)	82
Lamina N° 5.2: Zonificación geomecánica de Cerro Lindo –	

**TABLAS**

Tabla N° 3.8: Reservas y Recursos	43
Tabla N° 4.1: Parámetros de Diseño de Malla de Perforación	62
Tabla N° 4.2: Recuperación del Mineral por el Método de Minado Sub Level Stopping (SLS)	65
Tabla N° 4.3: Dilución del Mineral	66
Tabla N° 5.1: Criterio para la Clasificación de la Masa Rocosa	78
Tabla N° 5.2: Criterio para la Clasificación de la Masa Rocosa	79
Tabla N° 5.3: Clasificación Geotécnica de la masa rocosa OB5	80
Tabla N° 6.1: Sostenimiento para Excavaciones Permanentes	88
Tabla N° 6.2: Dimensiones Máximas Recomendadas para Tajeos Diseñados en el OB-5	99

**BIBLIOGRAFÍA****ANEXOS**

## **CAPITULO I: ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La minería subterránea en el Perú y a nivel internacional sigue siendo una de las actividades que tiene un alto riesgo de accidentes e incidentes durante el proceso de extracción del mineral, generado en su gran mayoría por el desprendimiento de mismo mineral y/o de la masa rocosa que alberga la mineralización; entonces, para superar este problema es necesario controlar oportunamente las labores de minado y el método de explotación que permita trabajar en un estado de equilibrio del macizo rocoso y tener un alto índice de seguridad para realizar las diferentes operaciones mineras.

Para tener un mejor un conocimiento de las condiciones de la masa rocosa, se considera el estudio detallado de la geomecánica, que permitirá tener diferentes parámetros del

macizo rocoso y estructura mineralizada donde se ejecutan los trabajos de minado en la Unidad Minera de Cerro Lindo. Las consideraciones de la calidad de la roca en las diferentes labores mineras y en las diferentes ubicaciones nos conducen a determinar su permanencia de apertura y consecuentemente las consideraciones para poder aplicar un diseño apropiado de las dimensiones de los tajeos de producción, para permitir un trabajo adecuado y establecer una minimización de accidentes por estas consideraciones. Es así que el presente estudio está dirigido a que la operación subterránea de la Unidad Minera de Cerro LINDO- Compañía Minera MILPO, para mejore su índice de seguridad y productividad en relación al diseño del tajeo; por las razones expuestas planteo el siguiente problema de investigación: “EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DE TAJEO DE PRODUCCIÓN EN LA UNIDAD MINERA CERRO LINDO – COMPAÑÍA MINERA MILPO”

## **1.2 DELIMITACIÓN DE INVESTIGACIÓN**

En el presente estudio se ha delimitado en el área de las operaciones mineras en la Unidad Minera Cerro Lindo; específicamente la parte subterránea de la mina.

## **1.3 FORMULACION DEL PROBLEMA**

La actividad minera tiene un impacto significativo en el crecimiento económico y como todo proceso productivo en la industria minera, la explotación es importante que el, donde las operaciones de minado deben realizarse cuidando la integridad física de los trabajadores mediante un control de estabilidad del macizo rocoso; asimismo, considerar la importancia de diseño en los tajeos de producción.

### **1.3.1 Problema principal**

¿Cómo se realizará la evaluación geomecánica de la masa rocosa para diseñar los tajeos de producción en la Unidad Minera Cerro Lindo – Compañía Minera Milpo?

### **1.3.2 Problemas específicos.**

- a. ¿Cuáles serán las investigaciones de campo de la masa rocosa, para determinar la calidad de la masa rocosa?
- b. ¿Cómo se determinarán los índices geomecánicos en las labores subterráneas en la mina Cerro Lindo.
- c. ¿Qué parámetros necesarios se considerará en el diseño de los tajeos de producción en la Mina Cerro Lindo de la Compañía Minera Milpo.

## **1.4 FORMULACIÓN DE OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo General**

Realizar la evaluación geomecánica de la masa rocosa para el diseño de los tajeos de producción en la Mina Cerro Lindo Cia. Minera Milpo.

### **1.4.2 Objetivo Específicos**

- a. Investigar los estudios de campo de la masa rocosa para determinar su calidad.
- b. Determinar los índices geomecánicos de las labores subterráneas en la Mina Cerro Lindo.
- c. Considerar los parámetros necesarios para el diseño de los tajeos de producción en la Mina Cerro Lindo.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La justificación del presente trabajo de investigación radica en la importancia de una evaluación geomecánica en la Mina Cerro Lindo, con el fin de determinar las condiciones de estabilidad, para continuar la explotación de la mina en forma segura y económica; que de acuerdo a sus características y condiciones, la masa rocosa en la mina es variable de acuerdo a su zoneamiento. Con el paso del tiempo crecen las labores mineras y el minado se realiza a mayores profundidades, desarrollándose

así diferentes problemas de inestabilidad en la roca. Con el presente estudio se trata de realizar el diseño de los tajeos de producción, para que las operaciones mineras sean seguras, y para ello es esencial que el personal de la mina identifique los problemas de inestabilidad de la masa rocosa; de esta manera se podrán adoptar medidas adecuadas para prevenir los accidentes ocasionados por la caída de rocas.

## **1.6 MARCO TEÓRICO**

### **1.6.1 Marco Referencial**

El yacimiento Cerro Lindo tiene una larga historia que empieza en la década de los 60, los intensos trabajos de exploración ejecutados por Compañía Minera Milpo SAA entre los años 1999 y 2001 han permitido mejorar bastante el conocimiento geológico de este yacimiento y ubicar importantes recursos de mineral que podrán garantizar el crecimiento de la Corporación Milpo. Con estas características que presenta la estructura mineralizada es importante considerar la evaluación geomecánica para llegar a determinar el diseño de los tajeos de producción.

Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea.- El control de estabilidad de las labores mineras, depende de una serie de factores, entre las que podemos citar, el conocimiento de las condiciones geomecánicas de la masa rocosa del yacimiento,

identificación del terreno, manejo de diferentes métodos de control de estabilidad, etc.

Córdova Rojas David, (2009), curso: “Mecánica de Rocas Aplicado a Mina Juanita. El estudio combinó investigaciones de campo, pruebas de laboratorio y trabajos de gabinete. Desde el punto de vista de la mecánica de rocas se consideró tres tipos de modelos.

Modelo Geológico: caracterización de la estructura de la masa rocosa.

Modelo Geomecánico: cuantificación de los parámetros de la roca intacta, discontinuidades y masa rocosa.

Modelo matemático: integración de los dos modelos anteriores, permitiendo comparar los esfuerzos actuantes y resistentes disponibles para diseñar las excavaciones y realizar el modelamiento de la mina.

Ladera N,(1989) Ingeniero de Minas en su publicación “Estado Tecnológico de las Minas Subterráneas en el Perú” considera que la Geología, las labores de exploración , las reservas , la geometría de la estructura mineralizada , las características geomecánicas y la hidrogeología influyen en la selección del método de explotación adecuado. Por ello sugiere que es

importante el conocimiento de las características del yacimiento antes de seleccionar la tecnología más adecuada y eficiente.

### **1.6.2 Bases Teóricas**

Según las Normas ISRM 1979 (ISRM, International Society for Rock Mechanics, con base en Lisboa Portugal).

La geomecánica es la unión de la mecánica de los suelos más la mecánica de rocas. La línea divisoria entre ambas está en la Resistencia Compresiva Uniaxial (UCS). Para rocas con un UCS > 0.25 MPa, se trata de mecánica de suelos. Para rocas con un UCS > 0.25 MPa se trata con mecánica de rocas.

La aplicación de la geomecánica al minado subterráneo está basada en premisas simples y quizás evidentes. Postula, que a la masa rocosa puede atribuírsele un conjunto de propiedades mecánicas que pueden ser cuantificadas por procedimientos adecuados. Asevera que los procesos de minado generan una estructura rocosa cuyo rendimiento puede determinarse mediante la aplicación de la mecánica clásica. Propone que la capacidad para predecir y controlar el rendimiento mecánico de la roca circundante puede mejorar o asegurar el rendimiento económico de la mina, aspectos estos que pueden ser traducidos en la práctica de ciertos parámetros como la eficiencia en la recuperación del mineral, productividad minera o rentabilidad económica directa, considerando el siguiente gráfico.

Figura N° 01: Esquema de Minado Subterráneo.



### Clasificación de la masa rocosa

Para clasificar a la masa rocosa se utilizaran los criterios de clasificación geomecánica RMR (Rock Mass Rating o Valoración de la Masa Rocosa) de Bieniawski (1989) y el Sistema Q de Barton (1974). Adicionalmente, se usara el GSI (Geological Strength Index) de Hoek & Marinos (2000) para estimar las propiedades de resistencia de la masa rocosa.

## Índice de tunelización

El sistema de clasificación de masa de roca NGI (Barton y otros autores 1974), calcula un índice de calidad de tunelización de roca (Q) desde 6 parámetros basados en:

- Designación de calidad de roca (RQD)
- Numero de Juntas  $J_n$
- Numero de aspereza de juntas  $J_r$
- Numero de alteración de junta  $J_a$
- Factor de reducción de agua de junta  $J_w$
- Factor de reducción de esfuerzo (SRF)

Los parámetros son combinados para obtener Q como sigue:

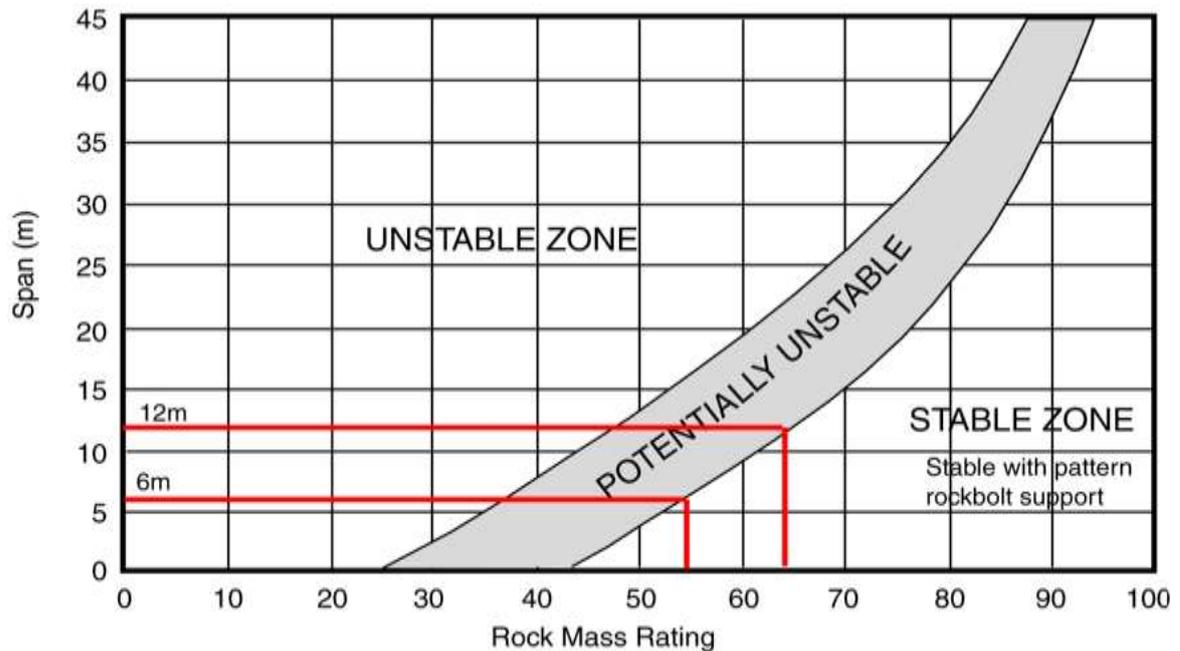
$$(RQD/J_n)(J_r/J_a)(J_w/SRF)$$

## Gráfico de estabilidad

La técnica grafica de estabilidad modificada se ha desarrollado desde una base de datos original de 26 casos desde que esta fue introducida por Matheuis (1980).

El gráfico de estabilidad corriente es reportado por 175 casos tomados de más de 40 minas de Canadá. (potvin 1992).

**Figura N° 02: Estabilidad para excavaciones tipo entrada.**



### **Factores que controlan la estabilidad de las excavaciones**

Hay dos grupos de factores que controlan la estabilidad de las excavaciones asociadas al minado subterráneo de los yacimientos minerales. El primer grupo corresponde a factores pre-existentes a la excavación y el segundo grupo a factores posteriores a la excavación.

- Los factores pre-existentes a la excavación son:
- Las características del medio geológico.

- El comportamiento mecánico del medio geológico.
- Los esfuerzos in-situ.

### **1.6.3 Marco Conceptual**

#### **Análisis de diseño**

El análisis de diseño representa el corazón de la práctica de la geomecánica. Aquí se puede predecir usando técnicas matemáticas o numéricas apropiadas, el rendimiento mecánico de las configuraciones de minado seleccionadas y de las geometrías de las excavaciones, para las condiciones predominantes de la masa rocosa.

#### **Zonificación geomecánica de la masa rocosa.-**

Para la aplicación racional de los diferentes métodos de cálculo de la geomecánica, es necesario que la masa rocosa bajo estudio esté dividida en áreas de características estructurales y mecánicas similares u homogéneas, debido a que el análisis de los resultados y los criterios de diseño serán válidos solo dentro de masas rocosas que presentan propiedades físicas y mecánicas similares. Para zonificar geomecánicamente a la masa rocosa, o dicho de otro modo para determinar los dominios estructurales de la masa rocosa, los cuales son extensiones de masa rocosa con características homogéneas, es necesario tomar en consideración

la información desarrollada precedentemente, concerniente con los aspectos litológicos, el arreglo estructural de la masa rocosa, las características estructurales de las discontinuidades y la calidad de la masa rocosa determinada mediante la clasificación de la misma, utilizando uno o varios criterios de clasificación geomecánica. La combinación de toda esta información conducirá a delimitar estos dominios.

### **Propiedades físico mecánicas de la roca.-**

Es importante definir las propiedades físico-mecánicas de la masa rocosa y de sus elementos constituyentes, es decir de la roca intacta y de las discontinuidades estructurales. En el caso de la roca intacta, la propiedad más relevante es la resistencia compresiva no confinada o denominada también resistencia compresiva. De todos estos efectos de la presencia de agua subterránea dentro del macizo rocoso, el más importante es la presión del agua, la cual reduce las condiciones de estabilidad de la masa rocosa de las excavaciones. Por ello es importante que a través de investigaciones hidrogeológicas se determinen las características de presencia del agua subterránea dentro de la masa rocosa del yacimiento.

**Condiciones de esfuerzos in-situ.-**

En cualquier excavación subterránea que se desee realizar, el macizo rocoso estará sometido a un estado de esfuerzos in-situ previo a la realización de la excavación. El estado de esfuerzos una vez realizada la excavación, será el resultado del estado de esfuerzos inicial (in-situ) más el estado de esfuerzos inducidos por la excavación o el minado. Por ello, los esfuerzos in-situ constituyen unos de los factores importantes que condicionan la estabilidad de la masa rocosa de las excavaciones subterráneas.

**Formulación del modelo mina.-**

Representa la simplificación y racionalización de los datos generados en la caracterización del sitio para los análisis de diseño. El objetivo es tomar en cuenta los principales rasgos geomecánicos que serán considerados en el comportamiento deformacional del modelo.

**Aberturas mineras permanentes.-** Excavaciones que tendrán una larga duración, cercanas a la vida de la mina por ser importantes para el minado. Ejemplo: piques, chimeneas, galerías de nivel, etc.

**Deformación**

Modificación que sufre una roca o material por acción de una o más esfuerzos.

## **Mapeos geotécnicos**

El acopio de la información geomecánica se debe llevar a cabo mediante diferentes tipos de mapeos geotécnicos. Los métodos de mapeo geotécnico más confiables son los que se realizan directamente sobre afloramientos de masas rocosas, estos métodos son los convencionales y comprenden el “método de líneas en detalle” y el “método de celdas en detalle”. En el primer caso el mapeo se lleva a cabo a través de una línea extendida a través del afloramiento rocoso, y en el segundo caso el mapeo se realiza sobre un área de afloramiento rocoso de extensión variable, sea en superficie o en subterráneo. Los lugares del mapeo, denominados también estaciones de medición, deberán ser colocados en los planos geológicos-geomecánicos.

**Deformación elástica.-** Cuando una roca se deforma por acción de un esfuerzo, y al cesar dicho esfuerzo la roca o material deformado recupera su forma original.

**Deformación plástica.-** cuando una roca o material se deforma por acción de un esfuerzo y al cesar dicho esfuerzo la roca o material alterado conserva su deformación.

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

**Mapeo sistemático.-** Registro de las características geomecánicas de las discontinuidades al detalle, en una longitud determinada de masa rocosa.

**Muestra.-** Pedazo de roca o mineral, de un tamaño y peso adecuado que pueda servir de elemento del cual se pueda obtener toda la información necesaria para realizar un estudio propuesto.

**Plasticidad.-** Propiedad de las rocas de deformarse al recibir un esfuerzo conservando la deformación al cesar el esfuerzo.

**Porosidad.-** Es la relación existente entre el volumen de los intersticios porosos y el volumen total de la roca o suelo. La porosidad se expresa siempre en porcentaje.

**Textura.-** tamaño, forma y disposición de los minerales componentes de las rocas.

## 1.7 SISTEMA DE HIPÓTESIS

Mediante la evaluación geomecánica de la masa rocosa se logrará diseñar los tajeos de producción en la Mina Cerro Lindo Compañía Minera Milpo.

### 1.7.1 Sistema de Variables

Se consideran las siguientes variables:

**Variable independiente:**

Evaluación geomecánica de la masa rocosa en el área de la Mina Cerro Lindo.

**Variable dependiente:**

Diseño de los tajeos de producción En la Unidad Minera de Cerro Lindo Cía. Minera Milpo.

### 1.7.2 Operacionalización de variables

<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>
<p><b>Variable Independiente:</b></p> <p>Evaluación geomecánica de la masa rocosa Mina Cerro Lindo</p>	<p>Estructura de la masa rocosa</p> <p>Discontinuidades</p> <p>Meteorización</p> <p>Alteración</p> <p>Índices geomecánicos: RMR, e índice Q.</p>

<p><b>Variable dependiente.-</b></p> <p>Diseño de los tajeos de producción Unidad Minera Cerro Lindo.</p>	<p>Parámetros de diseño Hoek And Brown.</p>
---	---

## 1.8 METODOLOGIA DEL ESTUDIO

El método que se empleará en la investigación corresponde a las leyes objetivas de la realidad, de ahí tenemos:

### 1.8.1 Método General

Corresponde al estudio: Analítico y Sintético.

### 1.8.2 Método específico

Corresponde al estudio: De observación, descripción y de Análisis.

## 1.9 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de la Investigación que se empleará en el presente estudio de investigación será no experimental del tipo transversal, ya que dicha investigación lo que hace es observar fenómenos y analizarlos en su entorno tal como se lleva a cabo, es decir, no se construye algo sino lo ya existente así mismo no hay forma de influir sobre el entorno de la masa rocosa en la Cerro Lindo.

## **1.10 POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **1.10.1 Población**

En el presente estudio se considera toda la masa rocosa al entorno de la Mina Cerro Lindo, tanto en superficie como el subsuelo. (Roca Encajonante - Cuerpos Mineralizados "OB").

### **1.10.2 Muestra**

Para el estudio en particular será la masa rocosa y mineralizada en relación a las labores de explotación de la mina (OB 2; OB 5).

## **1.11 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS**

Se efectuarán trabajos de campo; revisión y análisis de la información disponible, levantamiento topográfico, reconocimiento geológico, toma de muestras para ensayos de laboratorio, reconocimiento de las labores mineras, mapeo geomecánico, La toma de datos será en forma directa e indirecta.

## **1.12 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.-**

Estos trabajos se orientarán al proceso de información de campo, a fin de obtener informaciones básicas sobre los factores en relación a los problemas de inestabilidad de la masa rocosa; asimismo, se evaluará cada uno de los factores que influyen sobre la inestabilidad,

realizando elaboración de planes de trabajo, interpretación de la masa rocosa, análisis de laboratorio, Evaluación de estabilidad, clasificación geomecánica. Zonificación geomecánica.

## **CAPITULO II: GENERALIDADES**

### **2.1 UBICACIÓN Y ACCESO**

La Unidad Cerro Lindo se ubica a 175 Km. al sureste de Lima en el sur del Perú. En el Departamento de ICA, Provincia de Chincha, Distrito de Chavin, Paraje de Huapunga, se encuentra exactamente en la quebrada de Topara que es la frontera entre Chincha (Ica) y Cañete (Lima), está ubicado en la carta Geológica IGN 27-L y se encuentra a una altitud de 1820 m.s.n.m. Ver Lamina N° 2.1 Plano de ubicación Y Lamina N° 2.2 Ubicación y Acceso.

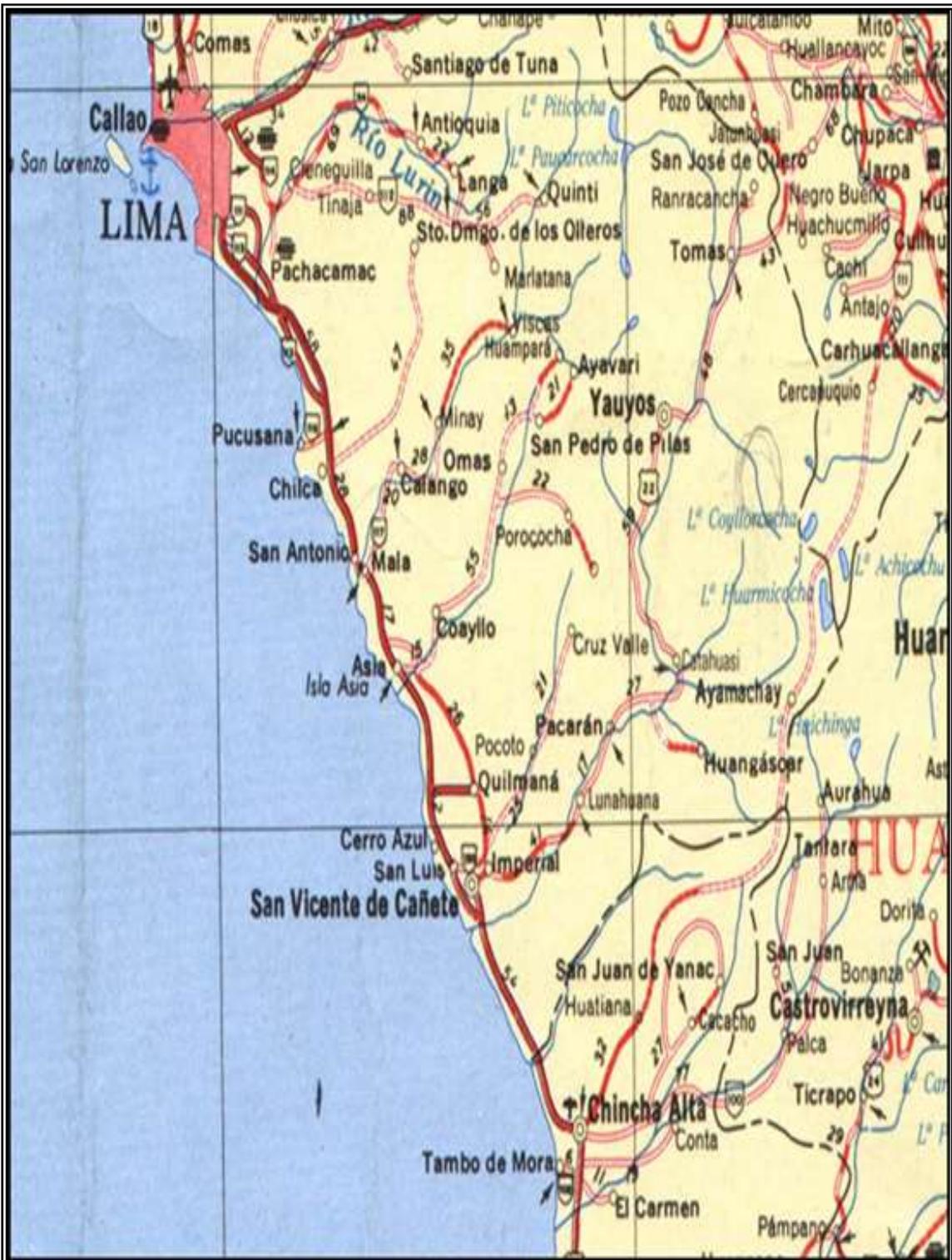
Tramo Vía Km.

Lima - Jahuay Carretera Panamericana 180 2.0

Chincha– Cerro Lindo Trocha carrozable 60 1.5



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION</b> FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE MINAS		
	TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS		
Tema:	<b>PLANO UBICACIÓN - UNIDAD CERRO LINDO</b>		
Autor:	SOSA PAUCAR Jhon Jimmy	Fecha: Agosto - 2016	Lamina:
Diseño:	Elaboracion Propia		<b>2.1</b>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE MINAS

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

Tem a: **UBICACIÓN Y ACCESO - UNIDAD MINERA CERRO LINDO**

Autor: *SOSA PAUCAR Jhon Jimmy*

Fecha : *Agosto - 2016*

Lamina:

Diseño: *Elaboracion Propia*

**2.2**

## **2.2 CLIMA**

La unidad Minera Cerro Lindo se encuentra a una altitud de 1820 msnm, está emplazada en una zona árida y desértica con un clima cálido de escasas precipitaciones pluviales y una vegetación incipiente., al margen derecho del río Topará, el cual presenta un bajo caudal del agua. Las aguas del río Topará únicamente alcanzan para regar los sembríos del valle y para el consumo de las comunidades de la zona e influencia.

## **2.3 GEOMORFOLOGIA**

Se puede distinguir tres unidades geomorfológicas muy diferenciadas, la primera unidad se desarrolla paralela a la faja costera, la cual limita hacia el W con la ribera litoral y al E con las estribaciones andinas, se caracteriza por presentar superficies casi planas que antiguamente fueron terrazas aluviales. Siguiendo hacia el E se encuentra una segunda unidad conformada por estribaciones del frente andino, caracterizado por cadenas de cerros de poca altitud que varían entre los 400 a 500 msnm, de suaves pendientes, que va aumentando progresivamente hacia el E en altitud y relieve. La tercera unidad está integrada por el flanco disectado andino, que presenta una topografía abrupta, con cerros de altitudes que varían entre los 500 a 4000 msnm, formando cadenas continuas o aisladas, que son disectadas por ríos o tributarios de ellos y quebradas, con una tendencia de E a W, los cuales han labrado valles profundos y encañonados, como se observa con el río Topará ubicada en la zona de estudio.

## 2.4 HISTORIA

El yacimiento Cerro Lindo tiene una larga historia que empieza en la década de los 60, los intensos trabajos de exploración ejecutados por Compañía Minera Milpo S.A. Este depósito se descubre por el afloramiento de baritina por la SMRL Cerro Lindo, se realizaron estudios geofísicos (Polarización Inducida) detectándose 5 anomalías de posibilidad de encontrar sulfuros masivos. La compañía minera BTX realizo un muestreo geoquímica sobre los afloramientos de baritina y alrededores encontrando anomalías de elementos metálicos.

Desde el año 82 al 87 la Compañía Minera Milpo inicia los trabajos geológicos consistentes en muestreos y galerías de exploración. En 1992 Milpo retorna realizando más muestreos y galerías totalizando 3000 m de galerías y 3557 m de perforación DTH, con estos datos se determinó geológicamente el cuerpo 2.

En 1995 Milpo forma un Jount Venture con Minera Phleps Dodge, realizando un total de 19 taladros de perforación diamantina. Phelps Dodge realizo 8 sondajes diamantinos alrededor del depósito de Cerro Lindo sumando un total de 1750 m, presentándose anomalías similares al del depósito de sulfuros de Cerro Lindo.

En 1999 se ejecutaron galerías y sondajes diamantinos acumulándose un total de 4525 m de galería subterránea, 35112 m de perforación diamantina y DTH, delimitando en su totalidad el cuerpo 5, en

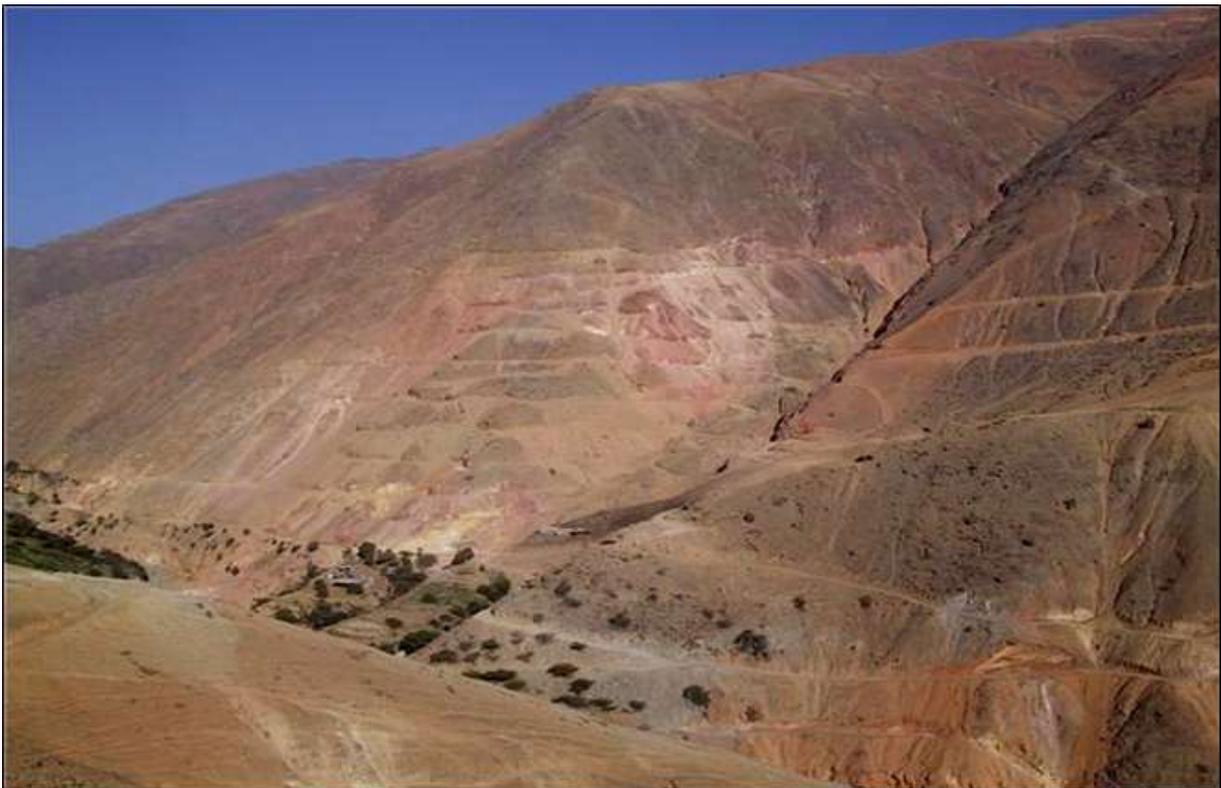
el 2002 se realizó el estudio de factibilidad teniendo recursos de 34 MT con 5.2% de Zn, 0.8% de Cu, 36.1 g/tn de Ag y 0.6% de Pb, teniendo además 10 MT de mineral inferido con leyes similares.

El Proyecto Cerro Lindo pasa de la fase de construcción (de enero 2006 hasta junio 2007) a la de producción el 1 de julio del 2007, en ese entonces el horizonte de vida del proyecto era de 19 años en base a las reservas de mineral revisadas por GEMIN (noviembre 2005), la capacidad nominal de diseño de producción (5k tpd) se logra alcanzar en noviembre del 2007, es así que a partir de enero 2008, se realizan trabajos complementarios a fin de mejorar el nivel de producción; estos trabajos se enfocaron en la planta concentradora con la instalación de zarandas de alta frecuencia (ZAF), las cuales permitieron al molino MARCY incrementar el tonelaje de molienda por la disminución de la carga circulante, es así que en setiembre 2009, la producción logro situarse en 6.6k tpd.

Posteriormente la empresa decide realizar la expansión de la producción a 10k tpd a partir de agosto 2011, esta expansión se realiza por etapas (7k, 7.5k, 8k, 8.5k y 10k tpd), para ello la empresa realiza la adquisición de maquinarias y equipos tanto para la planta de procesos como para la mina subterránea, en forma paralela se ha ido realizando la construcción de las diferentes obras civiles que demanda la instalación de la maquinaria y equipo en la planta de procesos, de igual forma se ha

realizado en mina los diversos trabajos conducentes a soportar el incremento de la producción hacia 10k tpd. Actualmente la producción de 18k tpd. Ver Fotografía N°1.

### **Fotografía N° 1: Trabajos de exploración**



## **2.5 RECURSOS DE AGUA**

Aprovechando su cercanía a la costa, se construyó una Planta Desaladora que utiliza el sistema de ósmosis inversa que separa las sales captadas del mar. El proceso de desalinización del agua de mar es la solución planteada por la Compañía Minera Milpo para abastecer de agua los procesos productivos de la Unidad Minera de Cerro Lindo y así no

utilizar las aguas del río Topara ni generar vertimientos industriales o domésticos hacia la quebrada. De esta manera, el agua del Toparpa continúa utilizándose íntegramente para la agricultura y consumo de las comunidades de la zona de influencia. Ver foto N° 1.2

Los efluentes generados en la mina y planta son recirculados al proceso en un 100%. Se han instalado sistemas de tratamiento y recuperación que permite reciclar y reutilizar las aguas dentro de la operación minera.

**Foto N° 1.2: Línea de impulsión de agua-pozos de captación de agua salada.**

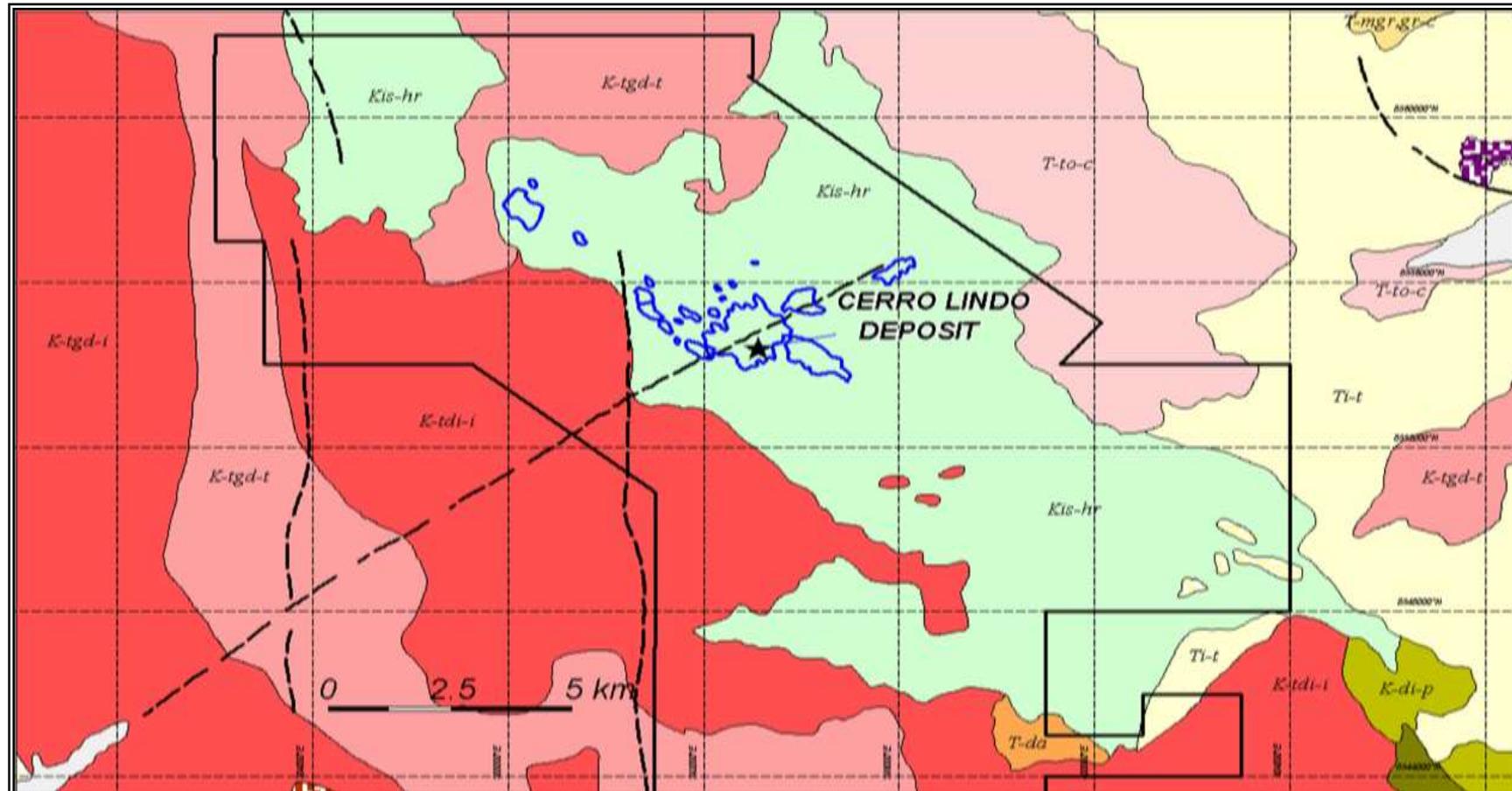


## **CAPITULO III: GEOLOGIA**

### **3.1 GEOLOGÍA REGIONAL**

El depósito de Cerro Lindo pertenece al Grupo Casma del Cretácico (Albiano), este grupo aflora en la parte Occidental del Perú, generalmente en toda la costa del Perú, regionalmente el Grupo casma es una serie volcánica – sedimentaria, ocupando una cuenca marginal ensialica abortada.

Este Grupo constituye un arco volcánico extensivo, regionalmente el afloramiento del Grupo Casma sigue el Rumbo NW-SE, el mismo rumbo del depósito de cerro Lindo. Este yacimiento se emplaza directamente en la Formación volcánico sedimentaria Huaranguillo, de edad Albiano medio a Senoniano (Cretácico medio) que descansa como un roof pendant sobre los intrusivos pertenecientes al Batolito de la Costa. Ver Lamina 3.1. La Formación Huaranguillo perteneciente al Grupo Casma tiene un rumbo general de N60W y buza preferencialmente al SW.



	<p><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION</b>                  FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS                  ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE MINAS</p>
<p><b>TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS</b></p>	
<p><b>TEMA: GEOLOGIA REGIONAL DE LA PROPIEDAD MINERA CERRO LINDO</b></p>	
<p><b>Autor:</b> SOSA PAUCAR Jhon Jimmy</p>	<p><b>Fecha:</b> Agosto - 2016</p>
<p><b>Diseño:</b> Elaboracion Propia</p>	
<p>3.1</p>	

La Formación Huaranguillo aflora en la quebrada de su mismo nombre al NE de la hacienda Lunche en el río San Juan, donde tiene una potencia estimada en 3000 metros y se divide en 2 miembros:

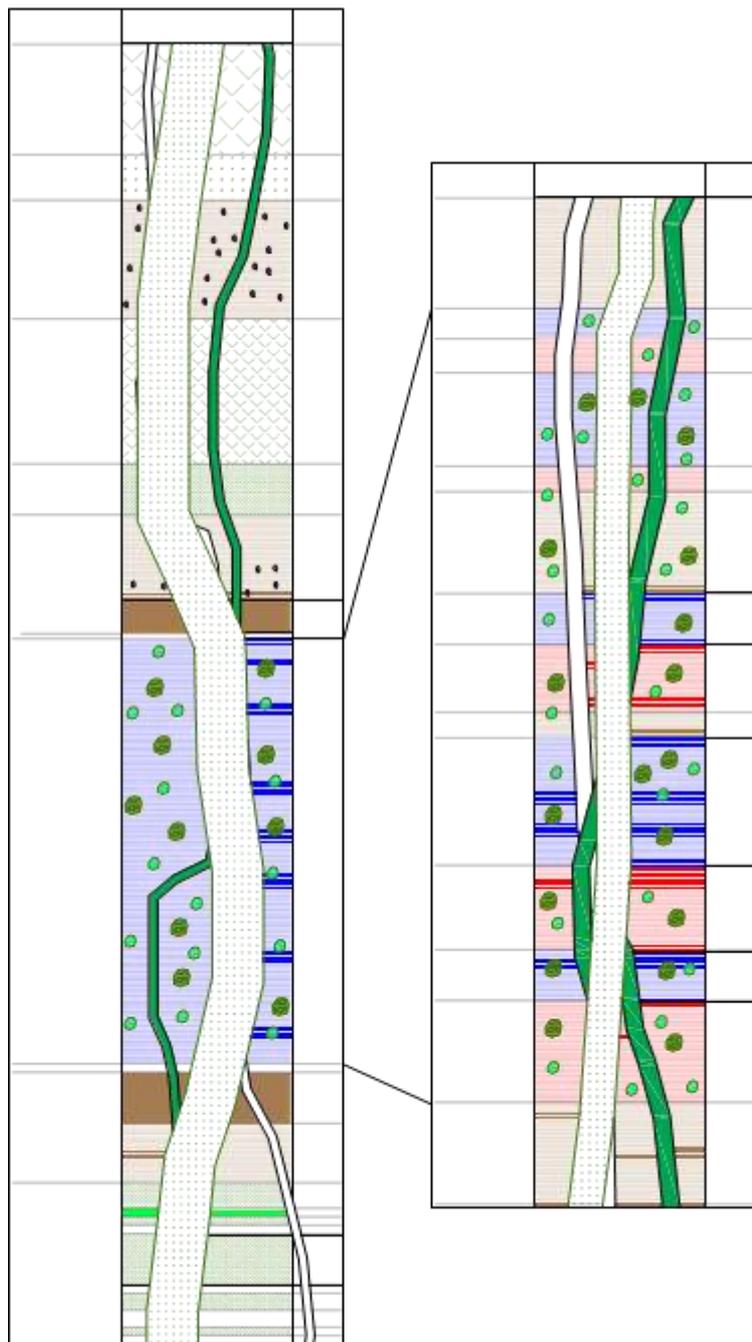
- ✓ Miembro Inferior, representado por lutitas pizarrosas laminadas, lutitas y cenizas volcánicas alternadas con horizontes andesíticos en capas medianas y ocasionalmente con calizas finas estratificadas.
- ✓ Miembro Superior que consiste de caliza negra en capas de 5 a 40 centímetros, hacia el tope se intercala con horizontes de lutitas pizarrosas laminares y lechos de volcánicos. Ver Lamina 3.2.

La formación Huaranguillo es parte del relleno de la cuenca volcánico sedimentaria Cañete, la cual es contemporánea a las cuencas de Huarmey y Lancones, hacia el norte. Dichas cuencas forman un gran metalotecto ocupando el flanco oeste de la Cordillera Occidental de los Andes y la Llanura Costera en el Perú. Las unidades volcánico sedimentarias se acumularon en un ambiente de arco de islas asociado a una cuenca back arc producto de movimientos tectónicos extensionales durante el proceso de subducción. El régimen extensional de la cuenca back arc produjo un incremento de la gradiente geotermal y el adelgazamiento de la corteza continental sin llegar a dividir esta corteza y formar una corteza oceánica, por lo que se considera como una cuenca back arc del tipo abortado.

### **3.2 GEOLOGÍA LOCAL**

A nivel local, la estratigrafía está dominada por lavas brechadas y masivas así como piroclásticos de composición riolítica a riodacítica, existen muy escasos niveles de lavas de composición intermedia. El estudio de 70 taladros en los cuerpos 2 y 5 ha permitido determinar una columna estratigráfica detallada para la zona del yacimiento Cerro Lindo. Ver Lamina 3.2. El yacimiento está emplazado entre las unidades Topara y Huapunga, que son secuencias piroclásticas dístales y/o removilizadas compuestas de tufos a cenizas y tufos monomicticos y polimicticos a lapilli. La unidad piroclástica está dentro de unidades efusivas, mayormente brechas de flujo y algo de flujos masivos, afaníticos.

## UNIDADES ESTRATIGRAFICAS



## LEYENDA

### Unidades Litologicas

Flujos rioliticos (brechados)

Flujos rioliticos (brechados)  
Porfidos feldespaticos

Lapilli monomictimo

Lapilli polimictico

Ceniza felsico

Riolita masiva

Sill porfirítico

### Diques

Dique mafico masivo

Dique mafico porfirítico

Dique andesitico porfirítico

### Sulfuros Masivos

Sulfuros Primarios de barit

Sulfuros primarios de pirita

Sulfuros semimasivos

Enclaves.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE MINAS

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

Tema:

**COLUMNA ESTRATIGRAFICA**

Autor:

SOSA PAUCAR Jhon Jimmy

Fecha : Agosto - 2016

Lamina:

Diseño:

Elaboración Propia

**3.2**

### **3.2.1 Rocas Intrusivas**

Las rocas intrusivas del Batolito de la Costa, de edad Cretácico Superior a Terciario, fueron emplazadas sobre un periodo de 64, El batolito está constituido principalmente por granodioritas que rodean las unidades volcánicas sedimentarias, estas unidades volcánicas están como roof pendants (techo colgado). Existen otros afloramientos de microdiorita, diorita y gabro más antiguos y de mucha menor dimensión. Finalmente existe gran cantidad de diques afectando las secuencias volcánico sedimentarias, los más comunes son los diques andesíticos porfíricos que son los que aprovechan las zonas de discontinuidades como las grandes fallas e intruyen como separadores del cuerpo mineralizado.

### **3.2.2 Metamorfismo**

Las rocas intrusivas del Batolito de la Costa produjeron un metamorfismo regional prominente en las rocas volcánico sedimentarias, la mayoría son ahora hornfels con ensamble cuarzo – feldespatos potásicos– muscovita – biotita – andalucita presentando desde texturas porfidoblásticas con blastos de diferentes dimensiones y formas, este metamorfismo se visualiza en forma completa a profundidad en la caja piso.

Según los estudios de microscopia la andalucita se formó durante las fases iniciales del metamorfismo progrado producto de la alteración hidrotermal de los fluidos que formaron el VMS y fue luego remplazada por micas como muscovita (Canchaya, 2001). El metamorfismo regional también causó un proceso de recristalización de los sulfuros masivos, dicha característica tiene una implicancia económica importante en el grado de liberación de los minerales durante el proceso metalúrgico

### **3.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL**

El patrón estructural en la propiedad Cerro Lindo está caracterizado por plegamientos de las capas mayormente mineralizadas y los bloques estructurales limitados por fallas. No se observan estructuras de esquistocidad en las rocas como producto de la presión litostática regional. Existen tres familias de fallas regionales, las cuales se describen a continuación. Las dos primeras son interpretadas como sistemas de fallas antiguas relacionadas a la mineralización y que fueron reactivadas posteriormente durante el levantamiento de los Andes.

Fallas NW Este sistema es muy antiguo, anterior a la deposición de los sulfuros masivos y ha tenido gran influencia en la mineralización porque permitió definir el paleo relieve, controlando la forma de la cuenca o cubeta donde se han depositado los sulfuros masivos; encontrándose cambios abruptos en la potencia de las unidades litológicas y los sulfuros masivos. A este sistema pertenecen las fallas 35 y 75 estas están fuera

del cuerpo mineralizado.

Fallas NE Este sistema de fallas ha tenido igual importancia en la deposición de los sulfuros masivos, ya que son transversales a estos y deben corresponder a fallas que sirvieron como paso de la mineralización, además controlaron el paleo relieve y es en donde se depositaron los sulfuros masivos. Estas fallas son los conductos o los stringers y además están ocupados por diques andesíticos porfíricos, a este sistema pertenece la falla 60.

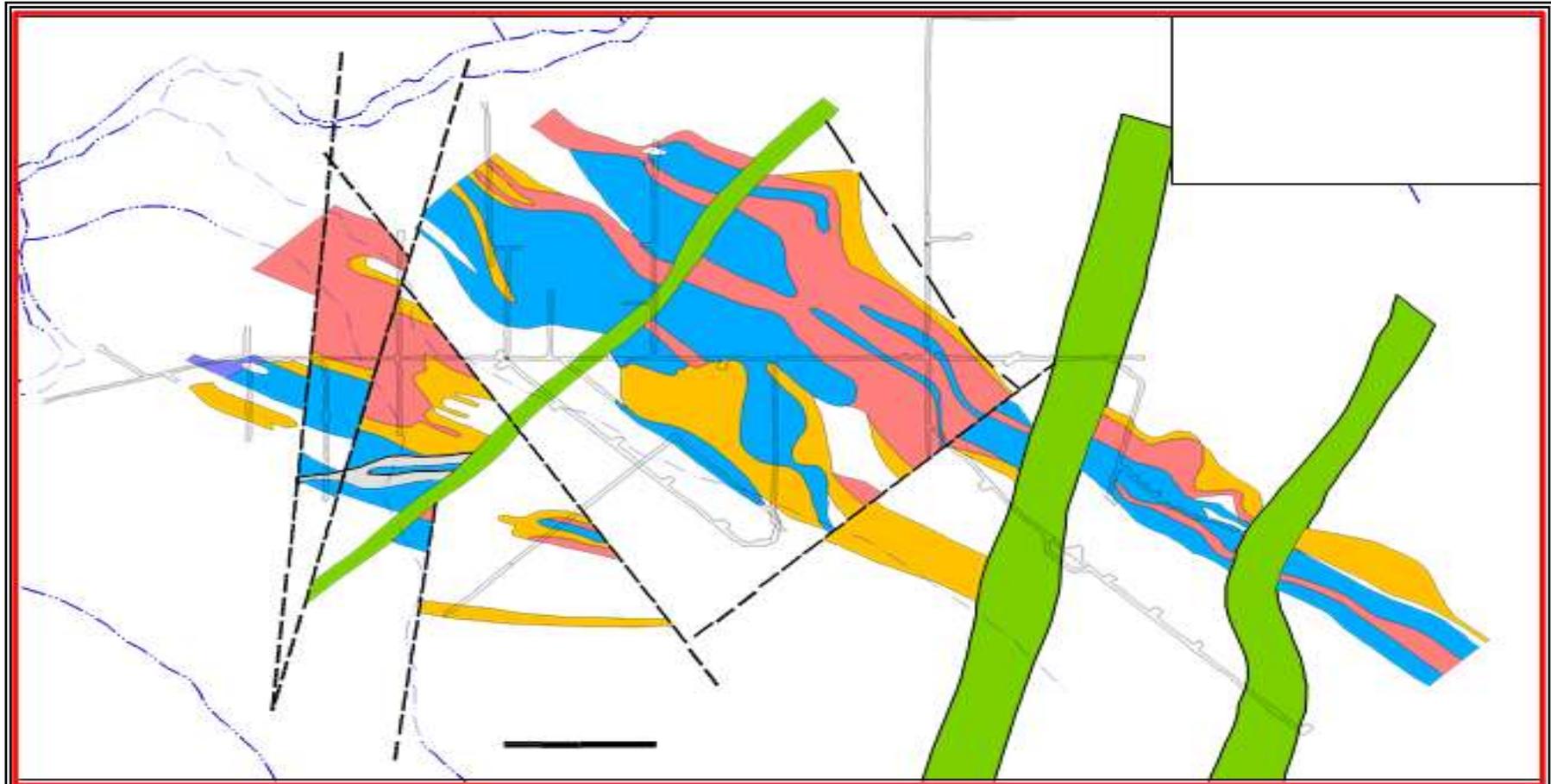
Fallas NS Es un sistema de fallas inversas posterior a la deposición de la mineralización y estas desplazan mayormente el cuerpo 1, dificultando su interpretación. Este sistema de fallas no influye mayormente en el cuerpo 5 en donde el desplazamiento transversal es mínimo

### **3.4 MINERALIZACIÓN**

El yacimiento principal de sulfuros masivos de Cerro Lindo abarca una longitud total de 850 m, una profundidad de 450 m y una potencia de hasta 230 m que es el promedio de los 3 cuerpos. Este yacimiento tiene un rumbo NW y un buzamiento de 65 grados hacia el SW, que es similar al afloramiento volcánico y a la cuenca casma regionalmente. Se estiman en más de 200 Mt de Sulfuros masivos.

El yacimiento se divide en tres lentes mineralizados denominados como C1-C2 y C5. Ver Figura N° 3.3. El Cuerpo 3 está localizado a

profundidad del cuerpo 1 y el Cuerpo 4 se encuentra al Este del yacimiento principal, estos cuerpos presentan características similares en el terreno que no han sido comprendidos en este informe.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**  
 FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS  
 ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE MINAS

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE **INGENIERO DE MINAS**

*Tema:*

***GEOLOGIA DEL YACIMIENTO CERRO LINDO EN EL NV. 1820***

*Autor:*

*SOSA PAUCAR Jhon Jimmy*

*Fecha : Agosto - 2016*

*Lamina:*

*Diseño:*

*Elaboración Propia*

**3.3**

La leyenda de la litología y de la mineralización se detalla a continuación:

- ✓ **SPB-Zn llamado Sulfuros de barita primaria ricos en Zn**  
nombrados así porque son sulfuros masivos bandeados ricos en zinc, esta mineralización contiene > de 50% de sulfuros masivos (incluye la baritina que es el sulfato de bario), esta baritina representa más del 10% y es considerado como sulfuro ya que se depositó simultáneamente con los sulfuros masivos, esta secuencia es típica por el bandeamiento simultaneo y se observan bandas de esfalerita marrón, baritina y pirita.
  
- ✓ **SPB-Cu llamados también sulfuros de barita primaria ricos en Cu**  
nombrados así porque son sulfuros ricos en cobre, también contiene más del 50% de sulfuros masivos incluyendo la barita con más de 10%, esta mineralización es de textura homogénea compuesta de baritina, pirita, pirrotina, calcopirita y esfalerita negra (marmatita), estos 3 últimos minerales se depositan al mismo tiempo y son los que reemplazan metasomáticamente a la Ba y Py, esta zona litológica es de más alta temperatura.
  
- ✓ **SPP llamados sulfuros de pirita primaria**, nombrados así porque son los sulfuros ricos en Fe, mayormente la baritina tiene menos del 10% y además encontramos Cp intersticial, la textura es homogénea

y granular, encontramos de grano fino a grano grueso y muy grueso.

- ✓ **SSM** llamados también sulfuros semimasivos, son rocas volcánicas que contienen entre 20 – 50 % de sulfuros piritosos mayormente estériles, ocurren mayormente como py disseminada, en venillas o concentrándose en espacios estructurales, la mineralización es de grano fino mayormente, mayormente la caja piso es la que se encuentra con py disseminada. Ver Figura 3.4.



**Figura N° 3.4: SSM (Volcánico que contiene sulfuros piritosos )**

### **3.5 METASOMATISMO**

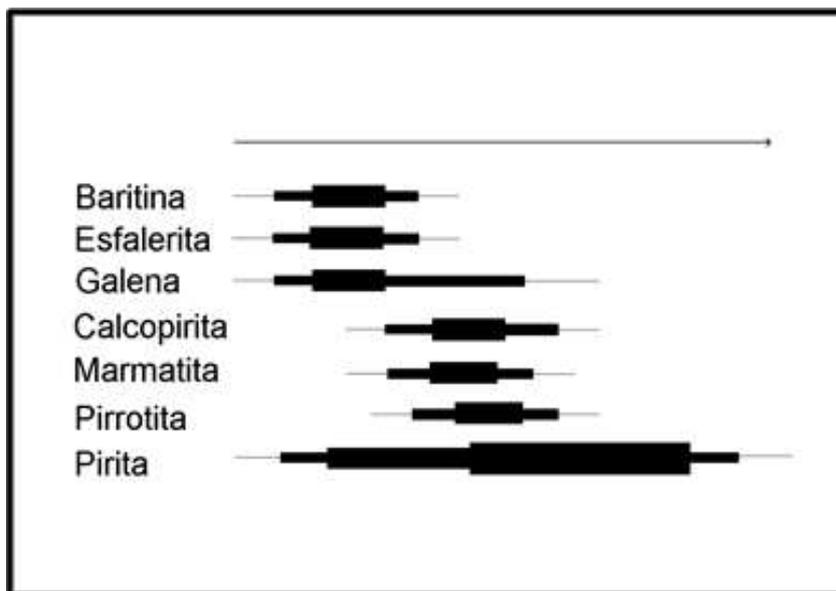
De acuerdo a los análisis microscópicos y macroscópicos hay una

evidencia de un metasomatismo por parte de los sulfuros de pirita ricos en Cu (SPP) a los sulfuros de barita ricos en SPB - Zn durante la evolución del yacimiento.

Realizando una observación detallada de las galerías de desarrollo y de los sondajes encontramos:

- ✓ Enclaves métricos de SPB - Zn “flotando” en los SPP - Cu.
  
- ✓ Los SPB - Cu siempre están en el contacto con los SPB - Zn y SPP. Las texturas de remplazamiento de los minerales de baja temperatura (pirita, baritina, esfalerita) por los de alta temperatura (calcopirita, pirrotina) en este frente indica que los sulfuros piritosos fueron de mayor temperatura, transportando cobre y fierro que se precipitaron en los contactos con los horizontes baríticos previamente depositados en forma sedimentaria.
  
- ✓ El metasomatismo evidencia cambios radicales en contenidos de zinc y cobre. Presencia de enclaves métricos de rocas volcánicas englobadas en los sulfuros masivos en todo el yacimiento, dando valores altos de Pb, Ag y Cu.

En base a estas observaciones se propone en la figura N° 3.5 una paragenesis para los minerales de los cuerpos de sulfuros masivos en Cerro Lindo.



**Figura N° 3.5: Secuencia paragenética.**

### 3.6 ZONAMIENTO

El zonamiento de los metales en el yacimiento Cerro Lindo está en función de los siguientes controles:

**Litológico:** Como se ha visto en antes, este control es fundamental para la distribución de los metales en el yacimiento (Fig. 15). El zinc y el Cu están relacionado con los sulfuros que contienen, cerca de los contactos y los sulfuros masivos piriticos. El promedio del ratio  $Cu / (Cu+Zn)$  de todas las muestras en sulfuros baríticos es de 0.263 mientras en sulfuros piriticos es de 0.682.

**Estructural:** Los valores de Zn, Cu y la potencia de la mineralización crecen cuanto más se acercan a la falla principal 35 y a fallas transversales NE.

### **3.7 ALTERACIÓN**

La principal alteración hidrotermal en todo el yacimiento generalmente en la caja piso es la seritización, esta alteración se extiende más allá de los límites de los sulfuros masivos, la presencia de andalucita nos indica que este mineral se puede haber generado a una temperatura aproximada de 450 C.

Esta andalucita se formó durante el metamorfismo progrado de bajo grado y fue reemplazado finalmente por la moscovita. Toda esta alteración está acompañada por pérdidas de Na y Ca, que son los cambios de masa característico de este tipo de yacimientos, esta alteración es más fuerte en la caja piso de los cuerpos 2 y 5, inclusive las texturas volcánicas originales desaparecen.

Además la silicificación lo encontramos fuertemente en toda la caja piso asociado a zonas de stringers rellenos de pirita, esta alteración se encuentra asociada a los valores altos de Cu.

### **3.8 RESERVAS DE MINERALES**

Los recursos de minerales del yacimiento Cerro Lindo son la base fundamental para la realización de las estimaciones de reservas de minerales explotables, con esta información numérica y su distribución espacial se realiza el diseño de mina el mismo que se expresa en un programa de producción que contempla el valor económico (US\$/TON) y su respectiva comparación con el valor de equilibrio (Cut-Off).

El tonelaje total de los recursos y reservas han sido obtenidos en la UMCL empleándose para ello el Software Minesight, este tonelaje y sus respectivas categorías se muestra en el informe “Inventario de Recursos y Reservas al 31 de diciembre del 2015”, a continuación se muestra el resumen del nivel de recursos y reservas:

**Tabla N° 3.8: Reservas y Recursos al 31 de Diciembre 2015 (Cutoff =18.08 US\$/TM)**

Categoría de Reserva/Recurso	TMS	VM (US\$/TM)	Zn(%)	Cu(%)	Ag (Oz/TM)	Pb (%)	Part (%)
Reservas: Probadas +Probables	32,378,225	49.96	2.19	0.77	0.79	0.24	38.57
Recursos: Medidos + Indicados	26,650,216	57.33	2.62	0.84	0.94	0.32	31.74
Recursos Inferidos	24,924,037	51.41	2.62	0.71	0.61	0.22	29.69
Total	83,952,478	52.73	2.45	0.78	0.78	0.26	100.00

El total de recursos y reservas al 31/12/2015 alcanza la cifra de 83,952,478 tm con un cutoff en valor de mineral de US\$ 18.08/TM, de los cuales el 38.57% corresponden a reservas probadas y probables, el 31.74% son recursos medidos e indicados y el 29.69% son recursos inferidos, el valor promedio del mineral es de US\$ 52.73/TM.

El nivel de recursos: (medidos + indicados) es de 31.74%, este puede ser recategorizado a reservas probadas y probables, lo que falta es desarrollar un programa de minado para dicha finalidad. Se estima que

Categoría de Reserva/Recurso	TMS	VM (US\$/TM)	Zn(%)	Cu(%)	Ag (Oz/TM)	Pb(%)
Reservas: Probadas +Probables	32,378,225	49.96	2.19	0.77	0.79	0.24
Recursos: Medidos + Indicados	18,655,151	57.33	2.62	0.84	0.94	0.32
Recursos Inferidos	12,462,019	51.41	2.62	0.71	0.61	0.22
Total	63,495,395	52.43	2.40	0.78	0.80	0.26

la mitad de esta reserva puede cambiar de categoría.

100% (Reservas: Probadas+Probables) + 70%(Recursos: Medidos + Indicados)+50%(Recursos Inferidos), Ver Cuadro Siguiente.

Es decir que para simular la vida económica de la UMCL y realizar un Trade Off entre una producción de 10k tpd y otra de 15k tpd se deberá agotar en el tiempo las 63,495,395 tm con sus leyes respectivas. El Trade Off nos indicara con cual escala de producción se debe trabajar 10k tpd o 15k tpd, sabemos de antemano que el resultado será 15k tpd, pero son los números los que tienen que expresarse en un VAN y un TIR.

### **3.9 FACTORES PARA DETERMINAR EL VALOR DEL MINERAL**

Los diversos factores de la ecuación de valorización de minerales polimetálicos de la UMCL se obtienen considerando las diferentes leyes de cabeza, precios de metales, recuperaciones metalúrgicas, leyes de concentrados, penalidades (es caso de UMCL, estos no se aplican por ser un concentrado limpio), costos de transporte interno, flete marítimo. La fórmula usada para determinar el valor del mineral (VM) para los recursos y reservas al 31 de diciembre del 2015 es como se muestra en la siguiente ecuación de valorización.

$$VM \text{ (US\$/TM)} = 9.417*\%Zn + 6.112*\%Pb + 33.639*\%Cu + 2.506*Oz \text{ (Ag/t)} \text{ ----- (1)}$$

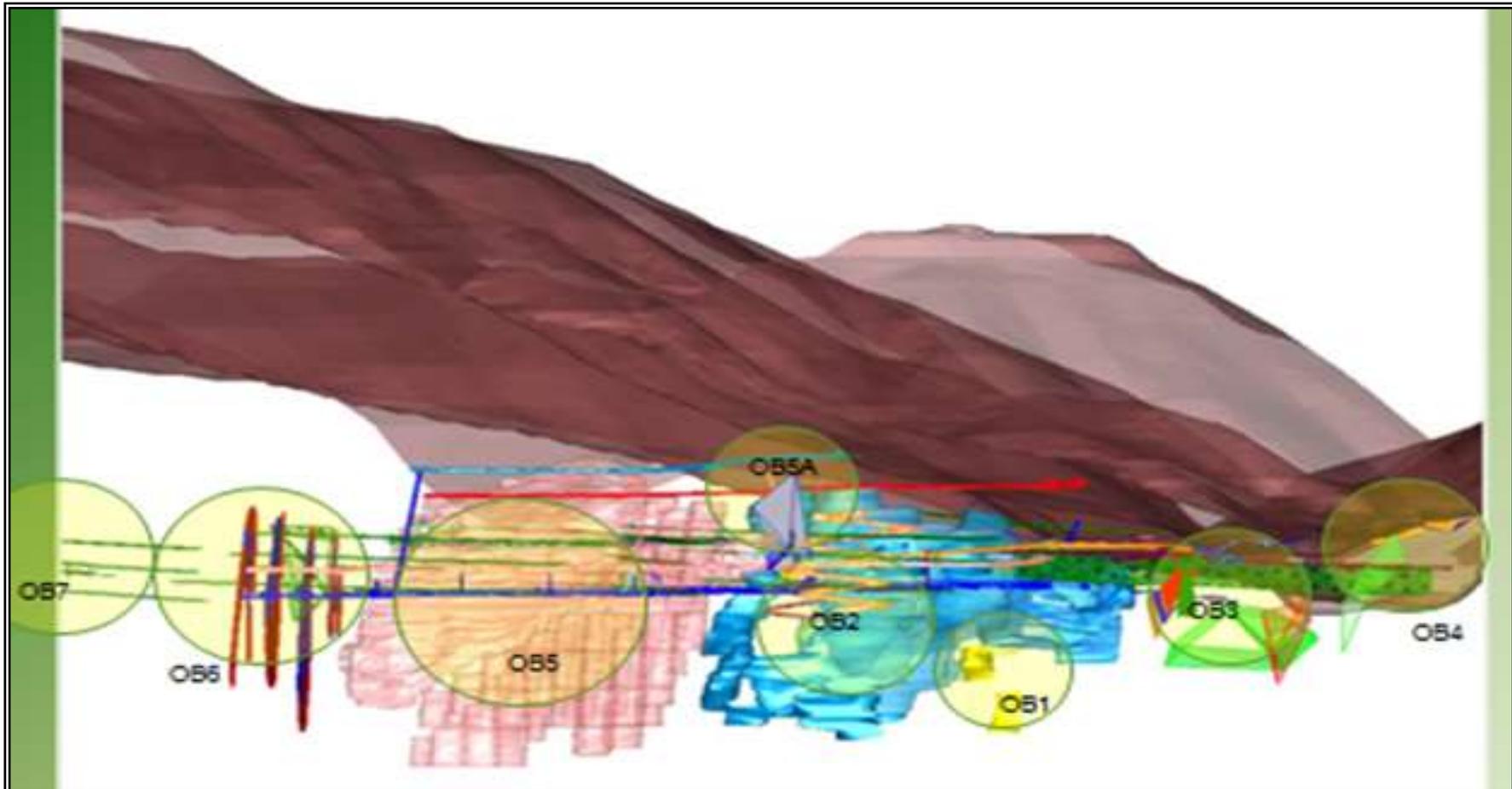
Para obtener la ecuación de valorización se la empleado el costo de equilibrio (Cut –Off) determinado para el año 2015 en 18.08 US\$/TM,

luego se valorizan los recursos y reservas de minerales al 31 de diciembre del 2015 según la ecuación (1). La ecuación de valorización de minerales de la UMCL varía cada año, dependiendo de los precios internacionales de los metales, recuperaciones, leyes de concentrados.

## **CAPÍTULO IV: DIAGNOSTICO SITUACIONAL**

### **4.1. GENERALIDADES**

El método de minado seleccionado es el Sub Level Stopping con relleno en pasta (PBF) con sus diferentes variantes respecto de la cantidad de ventanas de acceso al mineral roto acumulado. Actualmente el método SLS viene dando excelentes resultados, la producción lograda se sitúa en 18.5k tpd. Los nuevos cuerpos de mineral que se conocen (cuando se determina el método de minado SLS, los cuerpos de mineral que se conocían en ese entonces 2002/2007 eran OB2/OB5) actualmente son: OB6 (donde se mina mediante el SLS), OB5A (SLS), OB7 (actualmente en Preparación para SLS) y OB6A (actualmente en Re categorización). Ver Laminas 4.1 y 4.2



**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**  
 FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS  
 ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE MINAS

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE **INGENIERO DE MINAS**

Tem a:

**SECCION LONGITUDINAL DE CUERPOS MINERALIZADOS**

Autor:

*SOSA PAUCAR Jhon Jimmy*

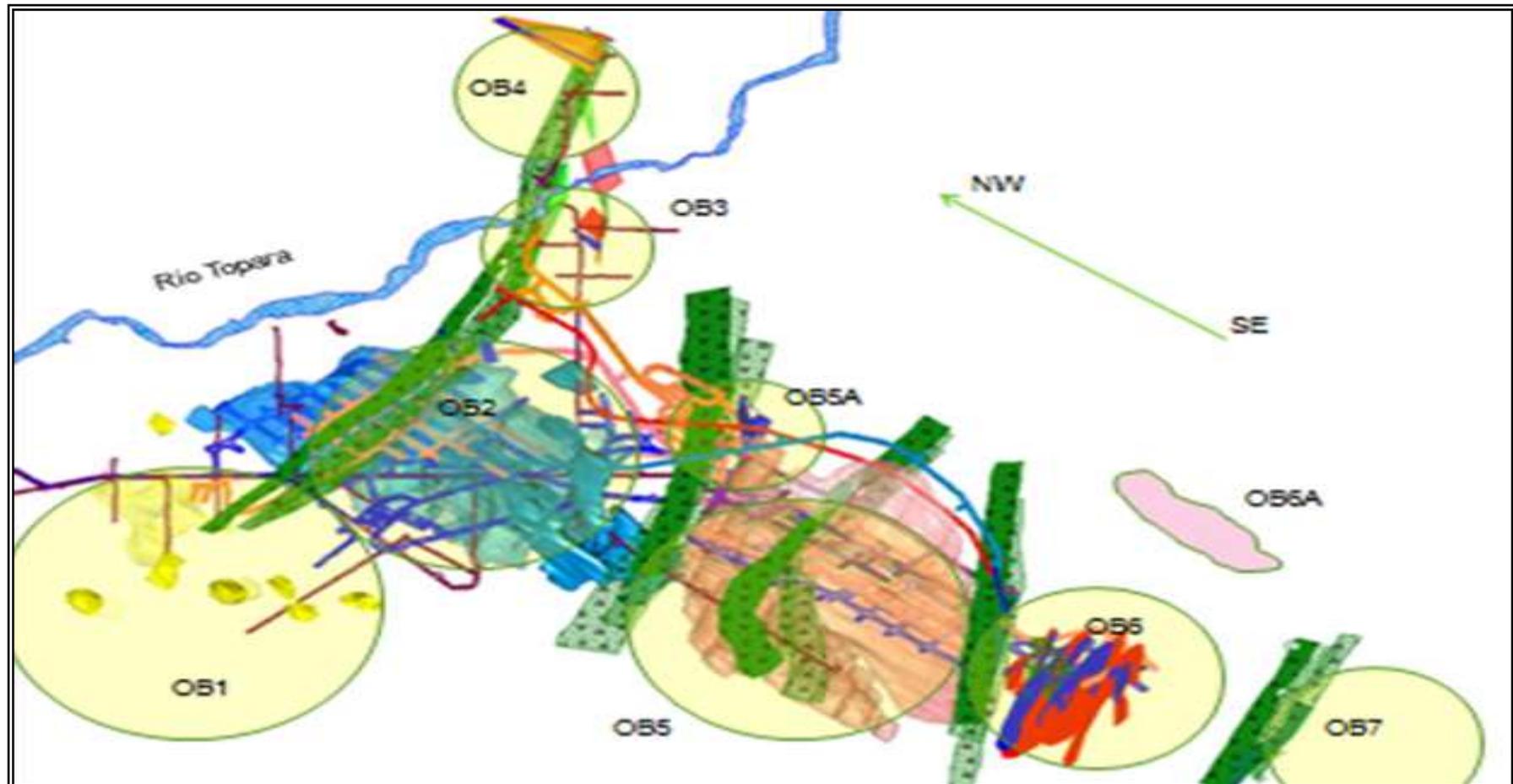
Fecha : Agosto - 2016

Lamina:

Diseño:

*Elaboracion Propia*

**4.1**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**  
 FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS  
 ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE MINAS

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS**

*Tem a:*

***VISTA EN PLANTA DE LOS CUERPOS MINERALIZADOS***

*Autor:*

*SOSA PAUCAR Jhon Jimmy*

*Fecha : Agosto - 2016*

*Lamina:*

*Diseño:*

*Elaboracion Propia*

**4.2**

Claramente podemos afirmar que los parámetros de la ingeniería de la roca (Parámetros Geotécnicos) son muy parecidos a los iniciales, en muchos casos son mejores (cuerpos más duros, es decir de una roca de mayor competencia RMR >40), por lo tanto el método de minado continua siendo el mismo con ligeras modificaciones en el radio hidráulico. Para la ampliación de la producción se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones a ser ejecutadas:

- Mayor velocidad de las excavaciones de desarrollo.
- Mayor velocidad en la preparaciones de labores mineras para ser minadas (cruceos de accesos, galerías, Chimeneas Slots, Zanjas de cara libre para los taladros radiales, ventanas de accesos (Draw Point), perforación de taladros radiales de producción.
- Capacidad de producción (maximizar la producción con los equipos actuales y utilizar los recursos adicionales adquiridos para incrementar la producción maximizando la productividad).
- Maximizar la recuperación de reservas dentro de los límites de la seguridad del personal y equipos.
- Menores costos de operación por economía de escala.
- Rapidez en la toma de decisiones tanto a nivel técnico como organizacionales.
- Rapidez en el relleno de aberturas subterráneas con el fin de no dar tiempo a la acción de las fuerzas perturbantes que ocasionan colapso del macizo rocoso.

- Velocidad en la colocación de elementos de sostenimiento (pernos y Shotcrete).
- Mayor capacitación y entrenamiento a nuestro personal operativo (ingenieros y colaboradores de línea).
- Mejorar la comunicación en todos los niveles.
- Operación Flexible, alternativas a ser consideradas.
- Identificar los riesgos críticos de una producción de 15k tpd y realizar la gestión de cada una de ellas.
- Medir la capacidad de respuesta de la organización ante una crisis.

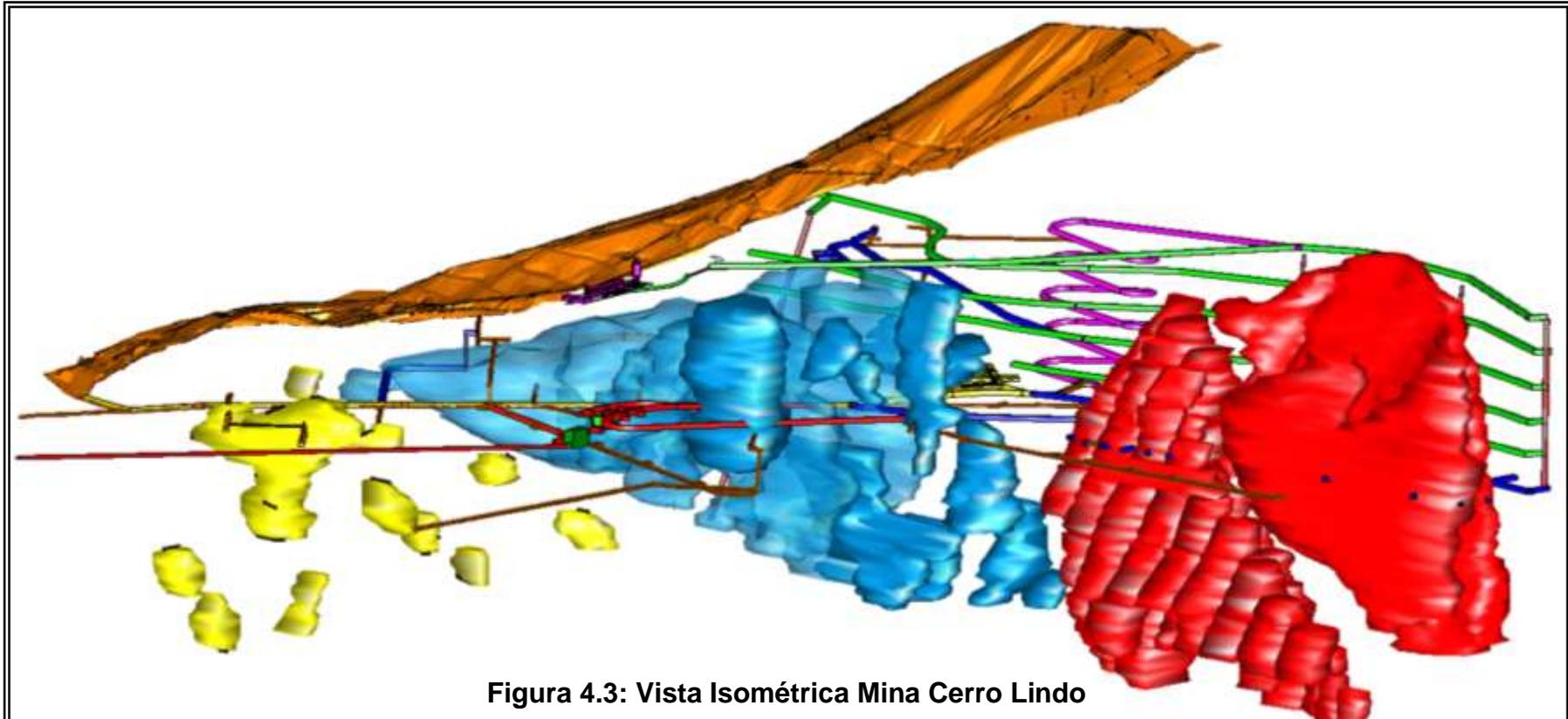
## **4.2 DISEÑO DE MINA**

### **4.1.1 Accesos**

A junio 2011, los cuerpos de mineral que se vienen explotando (minado) son los siguientes: OB2, OB5, OB6 y OB5A, el cuerpo de mineral OB1 se encuentra en preparación para alcanzar el minado para una producción de 10k tpd (agosto 2011), el cuerpo de mineral OB7 se encuentra en el inicio de la preparación asimismo el cuerpo de mineral OB6A se encuentra en la fase de recategorización (DDH), estos dos últimos cuerpos de mineral se encuentran reconocidos desde el nivel 1820 hacia arriba, es decir es más barato y rápido extraer el mineral de estos dos cuerpos que extraer el mineral del OB5 (1680) y OB2 (1680) en los niveles profundos. Ver Láminas N° 4.3 y N°4.4.

La mina Cerro Lindo cuenta con los siguientes accesos:

- 1) El nivel 1820 tiene una sección de 5x4.5 mts y tiene una longitud de 2.2 kms, el extremo de este nivel limita con el cuerpo OB7 en el extremos SE del yacimiento, este nivel es el único nivel de drenaje de agua de mina hacia superficie y desde este hacia la planta de procesos mediante un sistema de bombas;
  
- 2) El nivel 1875 con una sección de 5x4.5 mts con una gradiente de 15%, desde este nivel se pueden acceder hacia los niveles inferiores (nivel 1820, 1800,1770, 1740, 1710) y superiores (nivel 1880 y 1910) mediante la rampa 074;
  
- 3) También tenemos la rampa 010 (cuya boca mina tiene una cota de 1818 msnm). Por estos tres lugares ingresa aire fresco para la ventilación de las operaciones de la mina.



**Figura 4.3: Vista Isométrica Mina Cerro Lindo**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**  
 FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS  
 ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE MINAS

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE **INGENIERO DE MINAS**

*Tema:*

***VISTA ISOMETRICA MINA CERRO LINDO***

*Autor:*

*SOSA PAUCAR Jhon Jimmy*

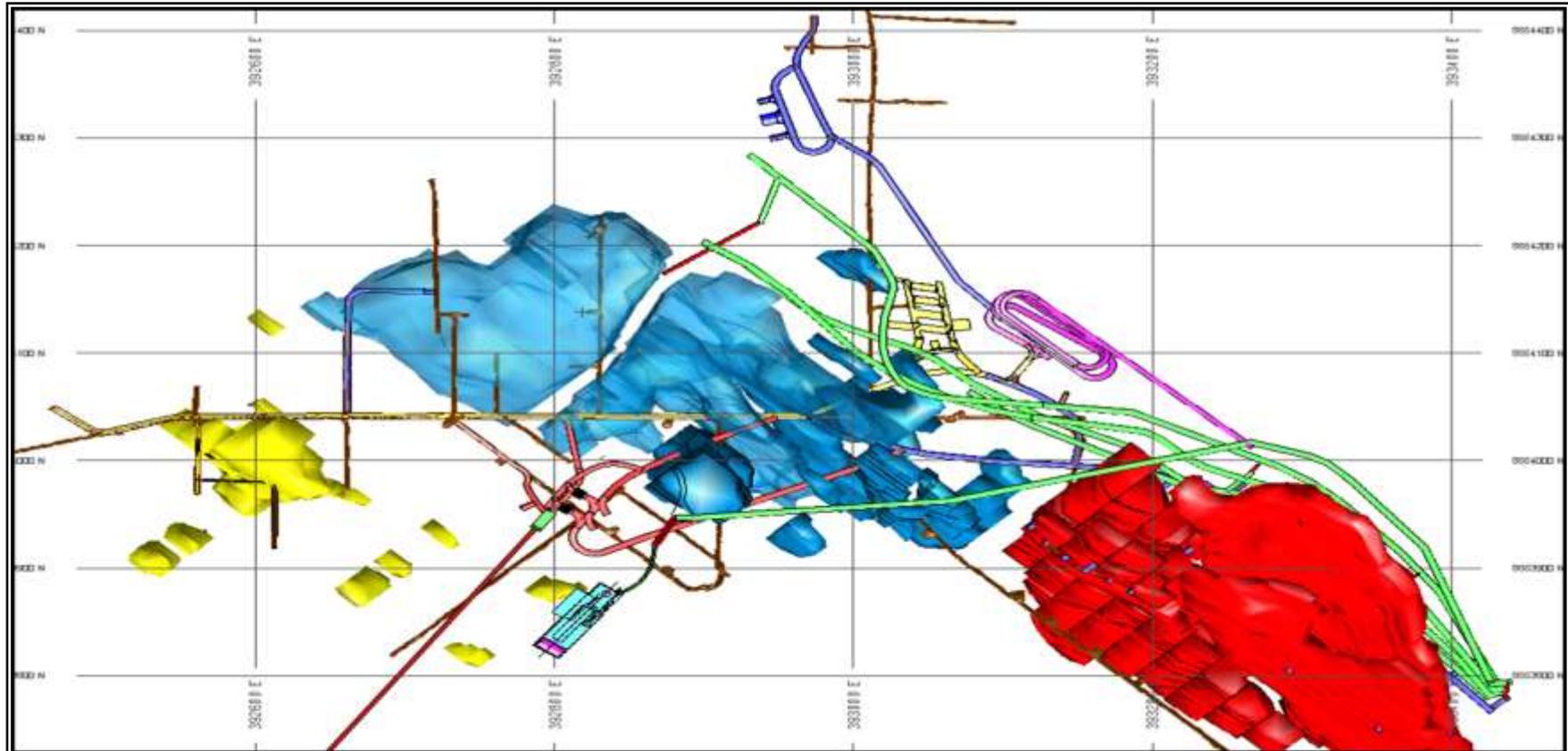
*Fecha : Agosto - 2016*

*Lamina:*

*Diseño:*

*Elaboracion Propia*

**4.3**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**  
 FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS  
 ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE MINAS

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

*Tem a:*

***VISTA ISOMETRICA MINA CERRO LINDO***

*Autor:*

*SOSA PAUCAR Jhon Jimmy*

*Fecha : Agosto - 2016*

*Lamina:*

*Diseño:*

*Elaboracion Propia*

**4.4**

### 4.3 METODO DE EXPLOTACIÓN SUB LEVEL STOPING (SLS)

La experiencia acumulada mediante el método de minado SLS en la UMCL, desde el inicio de las operaciones hasta la actualidad ha sido muy positiva, se aprendió muchas variantes, los mismos que han contribuido en la construcción de nuestra curva de aprendizaje, se ha logrado realizar el minado de los distintos tajeos ubicados en cuatro cuerpos diferentes entre sí, se logró validar el método de minado en escala industrial a pesar de la presencia de un factor estructural complicado por la presencia de “Enclaves” dentro de los blocks a minar

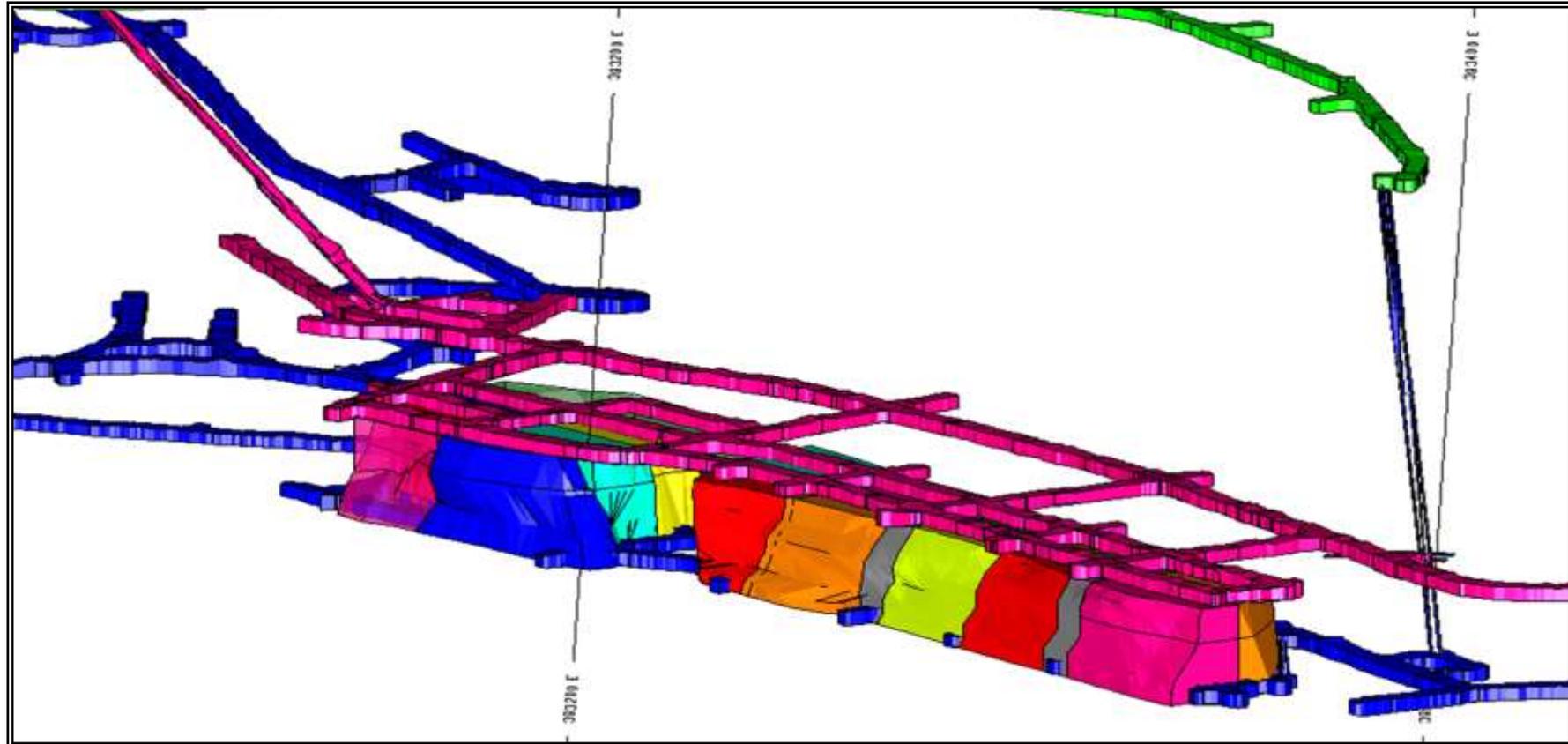
Para el incremento de producción de 10k tpd a 18k tpd, se continuará utilizando el método de minado SLS, para cumplir con este objetivo se ha logrado adquirir una flota adicional de equipos de última generación ( Scooptrams de 9.5 yd<sup>3</sup> de capacidad, Equipo para excavar chimeneas Slots de los diferentes tajeos a ser minados, camiones adicionales para la extracción de mineral, Equipos de perforación de taladros radiales computarizados, personal entrenado y capacitado, bomba de desplazamiento positivo de 120 m<sup>3</sup>/hr de capacidad, suficientes equipos auxiliares, etc.); los tajeos minados continuaran siendo rellenos con relleno en pasta (relave + un % de cemento, según la resistencia que deseamos alcanzar en el relleno luego de un periodo de secado), eventualmente utilizaremos desmonte proveniente de las diferentes labores en desarrollos y exploraciones.

El método de minado SLS en la UMCL ha sido optimizado y nos

permite una flexibilidad de acuerdo a la geometría del block a explotarse, pero el impacto mayor viene expresado en el bajo costo de operación acompañado por la ventaja de ser un método masivo; una desventaja que nos acompaña es la no selectividad del método, muchas veces se realiza el escogido de material de baja ley producto del minado masivo de un enclave, pero en general tiene más ventajas que desventajas

En Cerro Lindo tenemos la nomenclatura de minado denominado Tajeo Primario y Tajeo Secundario dependiendo si es primero en salir o es posterior su minado luego de rellenar los adyacentes, en los tajeos primarios utilizamos cemento en el relleno (de 3% a 5%, dependiendo si estamos en el centro /borde combinando si es de alta ley o de baja ley, aquí entra a tallar el valor del mineral), los tajeos secundarios se rellenan con cemento solo hasta una altura de 6 metros (para alcanzar la altura de la galería del túnel, este servirá como loza), luego es relleno solo con relave sin contenido de cemento, aquí se aplica el criterio de parada para drenaje en forma periódica. En otras ocasiones utilizamos pilares de mineral de baja ley como elementos de separación entre un tajeo primario y secundario, todo lo anunciado líneas arriba nos ha permitido realizar la optimización en el uso del cemento.

A continuación se muestra un esquema isométrico de minado utilizando tajeos primarios y secundarios. Para el minado a 18k tpd continuaremos con las mismas técnicas de minado mediante el SLS, para ello tendremos una cantidad mayor de tajeos en operación. (Lam. 4.5 y 4.6)



**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS  
 ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE MINAS

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

*Tema:*

***VISTA ISOMETRICA TAJOS DE EXPLOTACION***

*Autor:*

*SOSA PAUCAR Jhon Jimmy*

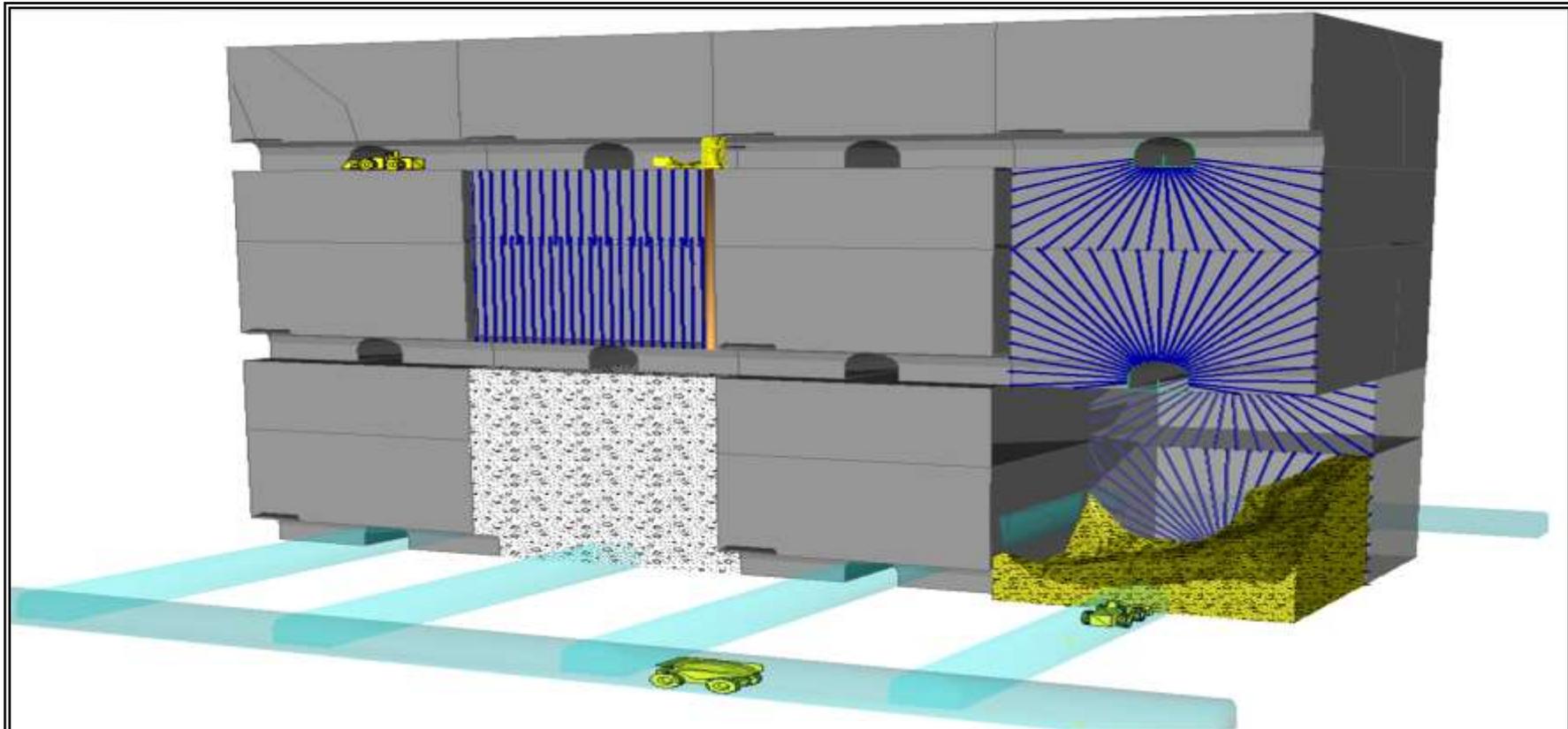
*Fecha : Agosto - 2016*

*Lamina:*

*Diseño:*

*Elaboracion Propia*

**4.5**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS  
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE MINAS

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

Tem a:

***SECUENCIA DE MINADO (Presentación Geomecánica)***

Autor:

*SOSA PAUCAR Jhon Jimmy*

Fecha : Agosto - 2016

Lamina:

Diseño:

*Elaboracion Propia*

**4.6**

### 4.3.1 Orientación de los Tajeos

La orientación del eje mayor de los tajeos a ser diseñados juega un papel fundamental para la posterior estabilidad del proceso de minados, según esto podemos afirmar como concepto la siguiente afirmación: 1) cuando el eje mayor del tajeo es perpendicular en lo posible al rumbo de las estructuras principales encontradas en el mapeo previamente establecido, en este caso la estabilidad del tajeos es más favorable y 2) cuando el eje mayor del tajeo es paralelo en lo posible al rumbo de las estructuras principales encontradas en el mapeo previamente establecido, en este caso la estabilidad del tajeo es desfavorable. Es por ello que el mapeo Geomecánico previamente establecido juega un papel estratégico para elegir el diseño de la orientación de la labor.

Para el caso del minado del OB5, las estructuras dominantes tienen un rumbo aproximadamente NE y la dirección de avance más favorable ocurre alineado al rumbo NW, que es el rumbo del OB5. El plan de minado de Cerro Lindo contempla esta dirección de avance de las labores lineales (galerías y tajeos), siendo por lo tanto adecuado este plan de minado para lograr mejores condiciones de estabilidad de las excavaciones.

En UMCL hemos realizado pruebas de orientación de labores (Paralelo al rumbo y perpendicular al mismo), las condiciones de estabilidad son distintas en ambos casos, para una

producción de 15k tpd, la orientación de las labores en la parte profunda de la mina será NE-SW, donde la longitud más corta será la que está expuesta al techo. Para el caso del OB2, por ser un cuerpo de mineral masivo y compacto, la orientación de la labor también será de NE-SW, para los otros cuerpos de mineral OB6, la orientación del minado deberá ser transversal al rumbo de la estructura mineralizada (NE-SW); para el minado de los otros cuerpos de mineral, se tendrá que establecer en primer lugar el análisis estructural y luego definir la orientación del minado, esto se realizara en su momento cuando los cuerpos estén listos y abiertos.

#### **4.3.2 Ventajas y Desventajas del Método de Explotación**

##### ***Ventajas del sub level stoping***

- Método muy económico
- Alta productividad
- Ningún consumo de madera
- Gran seguridad durante las preparaciones
- Buena ventilación

##### ***Desventajas del sub level stoping***

- Mayor preparación en función a los subniveles
- No es selectivo
- Voladura secundaria frecuente (10% a 15% de bancos )
- Scoops a control remoto vulnerables a

accidentarse

- Grandes cavidades vacías hasta concluir el relleno

#### **4.4 PERFORACIÓN**

El diseño de las mallas de perforación se realiza utilizando el Software Minesight (MS) en combinación con el Autocad, en el MS se tiene el modelamiento de los recursos y reservas de la UMCL, por lo tanto tiene todas las variables para realizar el diseño sección por sección; el diseño de los taladros largos (radiales y/paralelos según sea el caso) se realiza a través del seccionamiento (para este caso sirve el BURDEN), los equipos utilizados para perforar los taladros largos radiales y/o paralelos son tipo TOP HAMMER (Simba 1254 y Raptor DH), para la producción de 18k tpd, debemos de incrementar el parque de maquinaria de perforación utilizando tecnologías de última generación que existe en el mercado.

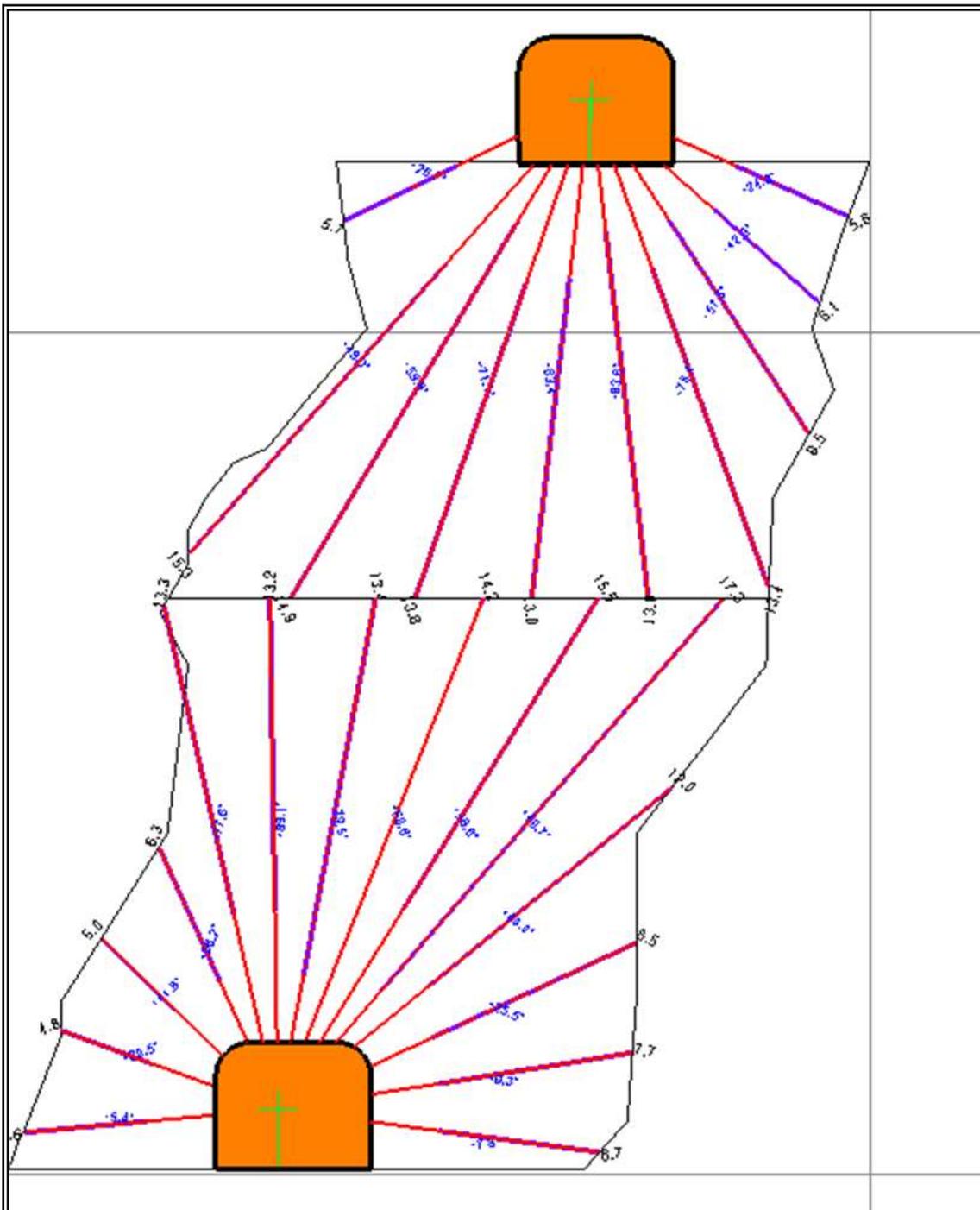
A continuación se muestra los parámetros de diseño de las mallas de perforación y para una mejor visualización se presenta los planos de perforación.

**Tabla N° 4.1: Parámetros de Diseño de Malla de Perforación en Tajeos**

Malla de perforación (mts)		Sentido de Perforación		Diámetro de Broca (mm)	Longitud (m)
Burden	Espaciamiento	Subida	Bajada		
2.3	2.2		x		12
2.0	2.0	x			18

La apertura de la cara libre (chimenea SLOT), se realiza utilizando una Maquina SIMBA H1254, el mismo que perfora taladros de subida (los 30metros), sección de la chimenea es 2.0 x 2.0 mts, se perfora 13 taladros ( 1 taladro de 5" de diámetro y 12 taladros de 2.5" de diámetro), hay desviación de los taladros en el orden de 2% en longitud, el carguío se realiza de desde arriba (la voladura va de abajo hacia arriba cada 3 metros).

A partir de la chimenea SLOT se apertura la zanja con taladros paralelos tanto de subida como de bajada, luego los taladros radiales tanto de subida como de bajada se disparan con la salida de la cara libre ampliada (SLOT + Zanja). Ver Lamina 4.7



**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE MINAS

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE **INGENIERO DE MINAS**

Tema:

**DISEÑO DE PERFORACION Y VOLADURA**

Autor:

SOSA PAUCAR Jhon Jimmy

Fecha : Agosto - 2016

Lamina:

Diseño:

Elaboracion Propia

**4.7**

#### 4.4.1 Fragmentación del Mineral

En el método de minado de SLS una de las variables a controlar es la fragmentación producto de la voladura de los taladros largos, la fragmentación es función de un conjunto de variables entre las más importantes podemos citar:

- a) Calidad de la perforación de los taladros largos
- b) Malla de Perforación (burden y espaciamiento).
- c) Diámetro del taladro perforado.
- d) Carguío de explosivos.
- e) Secuencia de salida de la voladura.
- f) Fracturamiento del terreno o masa rocosa.
- g) Sistema de diaclasas.
- h) Tipo de explosivo que se emplea.
- i) Presencia de agua en los taladros
- j) Tipo de amarre.
- k) Pérdida de energía del explosivo en el taladro como consecuencia del fracturamiento y
- l) Factor humano en el proceso integral.

#### 4.5 RECUPERACIÓN EN LA EXPLOTACION

La recuperación de las reservas de mineral en la UMCL utilizando el método de explotación de Sub Level Stoping. Ver Tabla N°4.2

**Tabla N° 4.2: Recuperación de Mineral por el Método de Minado Sub Level Stoping (SLS)**

<b>Cuerpo</b>	<b>% de Recuperación  (al 30 abril 2011)</b>	<b>Observaciones</b>
Ore Body 2	86.69	SLS, pilares alternados, con PBF; Tajeos Primarios y Secundarios, Radio Hidráulico del techo (8.5-10.5)
Ore Body 5	87.54	SLS, pilares alternados, con PBF; Tajeos Primarios y Secundarios, Radio Hidráulico del techo (7.5-9.25); presencia de enclaves tipo pasas (tipo de roca IVA-IVB) al interior de los diferentes block a ser minados.
Ore Body 6	73.22	SLS, minado transversal al rumbo, radio hidráulico (8.5-10.5), presencia de enclaves (desmote) al interior de los diferentes block

		a ser minados.
Total	82.79	Promedio del Yacimiento.

#### 4.6 DILUCIÓN EN EXPLOTACIÓN

La dilución estimada según mediciones realizadas al 30 de abril 2011 alcanzó la cifra de 6.96%, esta cifra es el resultado de promediar el minado de los tres principales cuerpos de mineral que estamos minando en la actualidad. Para una mejor visualización en el cuadro siguiente se muestra la dilución por cada cuerpo de mineral actualmente en trabajo. Ver Tabla N° 4.3

**Tabla N° 4.3: Dilución del Mineral por el Método de Minado Sub Level Stopping (SLS)**

<b>Cuerpo</b>	<b>% de Dilución (al 30 abril 2011)</b>	<b>Observaciones</b>
Ore Body 2	3.45	Dentro de los límites aceptables, cuerpo redondeado amplio (85 metros en promedio), minado mediante paneles (20x40x30), hay

		dilución en los tajeos ubicados en los bordes.
Ore Body 5	4.23	Presencia de enclaves al interior de los blocks a ser minados, se realiza el escogido del desmonte.
Ore Body 6	13.60	Presencia de enclaves que van de nivel a nivel, totalmente irregulares.
Total	6.96	Promedio del Yacimiento.

#### 4.7 RELLENO EN PASTA

Relleno en pasta (Paste Back Fill) viene aplicándose en la UMCL desde enero 2008 en forma continuada, se ha logrado enviar a interior mina para rellenar espacios vacíos dejados por el minado la cantidad de 1, 146,361 m<sup>3</sup> de relaves en combinación con 48,207 tm de cemento y 10,066 tm de escoria.

El relleno en pasta en Cerro Lindo cumple las siguientes funciones:

La aplicación del relleno con contenido de cemento está en función de varios aspectos: 1) Tajeos Primarios o Secundarios, 2) Leyes de mineral del block, 3) Aspectos de seguridad macro del macizo rocoso, 4) Reducción de costos de relleno en pasta y 5) Depende de la ubicación del block frente a la continuidad del minado del resto de tajeos.

- Sirve para recuperar las reservas de los tajeos secundarios
- Actúa como soporte de los tajeos primarios minados
- Evita la subsidencia de las distintas labores minadas cerca de superficie.
- Se aprovecha para enviar a mina relaves que en su defecto estarían en superficie, de esta manera se contribuye a mejorar el medio ambiente en superficie.
- Sirve para re-establecer el equilibrio macro del macizo rocoso.
- Proporciona seguridad a las personas y a las instalaciones.

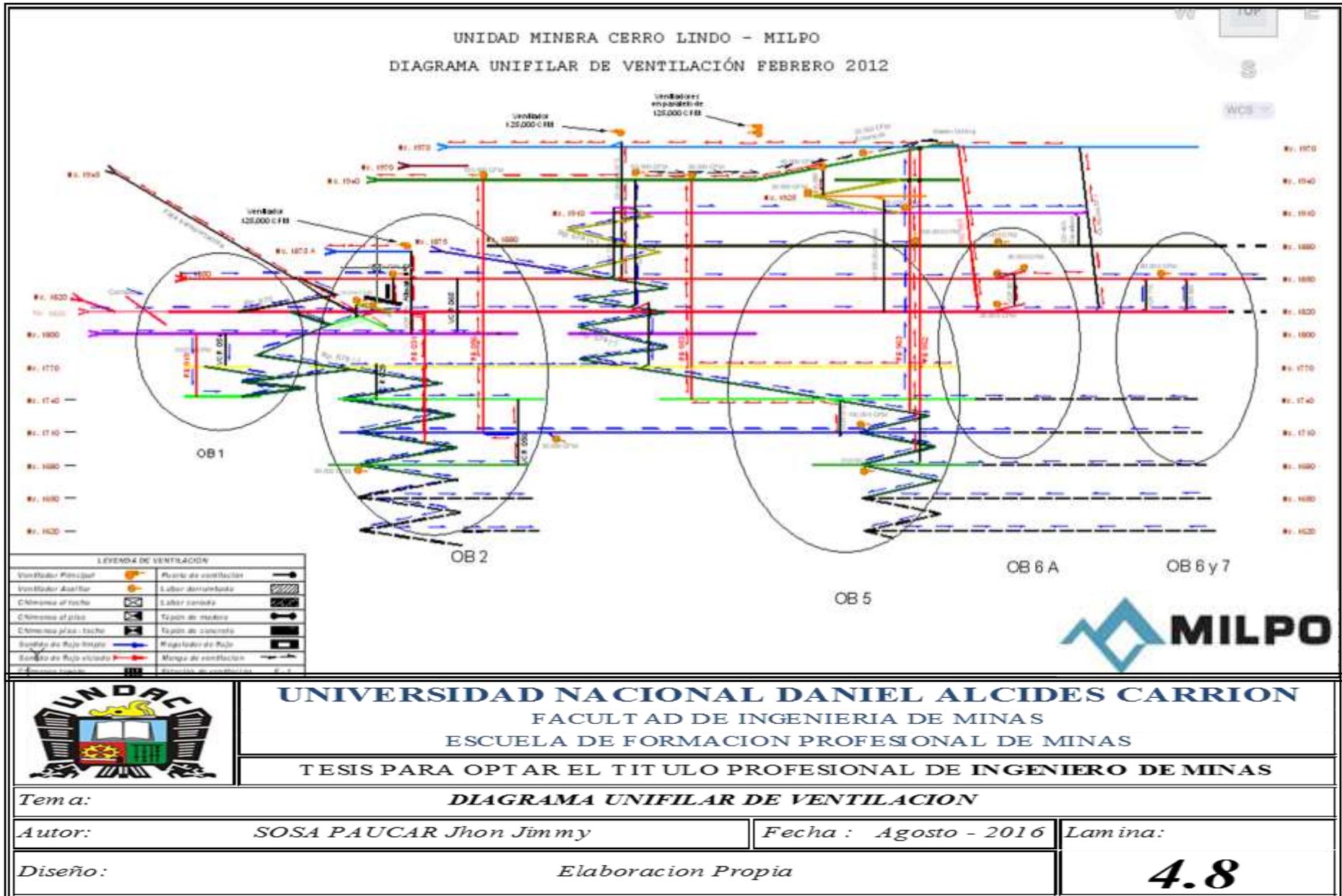
#### **4.8 ACARREO Y TRANSPORTE DE MINERAL**

El sistema actual de transporte de mineral (Acarreo) ha sido diseñado de tal forma que la distancia de acarreo con los Scooptrams desde los diferentes tajeos hacia las cámaras de carguío a los volquetes sea mínimo (el límite máximo de acarreo en términos de distancia económica es de 250 metros), el recorrido máximo (250 metros) ocurre en un 75% en promedio, y el restante de 25% en promedio ocurre en el recorrido de 100 metros en promedio. En la actualidad el mineral roto proviene de distintos tajeos que se encuentran ubicados en diferentes niveles de la mina, este varía desde el nivel 1740 en el OB2 y desde el nivel 1740 en el OB5, el mineral de la zona alta encima del nivel 1820 viene mediante el ore pass 930, desde este punto se realiza el carguío respectivo a los volquetes quienes son los responsables de transportar el mineral a la parrilla del Bolsillo 1 (chancadora primaria #1 de quijadas ubicado en interior mina), para la producción de 15k tpd, se

pondrá en operación el bolsillo 2 (el mismo que alimentara mineral a la chancadora primaria #1) y en combinación con la chancadora cónica ubicado en superficie se lograra enviar el mineral mediante la faja transportadora hasta la planta concentradora, los camiones tienen una capacidad de 25 y 35 tm; la máxima distancia de transporte del mineral (a la parrilla ubicado en el nivel 1830) es de aproximadamente 950 metros, los camiones pertenecen a un tercero.

#### **4.9 VENTILACIÓN**

Para iniciar las operaciones de minado masivo la UMCL construyó una labor exclusiva para extraer el aire viciado de las labores de interior mina, esta labor se encuentra ubicada en la parte más alta del yacimiento, se trata del nivel 1970, desde esta labor mediante ventiladores se extraer aire viciado de las distintas labores de la mina subterránea, para ello se construyó en el 2007 dos chimeneas alimak1 (para ventilar las labores del OB5), alimak2 y alimak3 para ventilar las labores del OB2, posteriormente la Alimak3 es integrado mediante la construcción de un nivel denominado 1875A, la ventilación en su totalidad es forzada, empleándose para ello ventiladores axiales de diferentes capacidades (125,000 cfm, 100,000 cfm, 50,000 cfm todos ellos ubicados en los ejes de la ventilación principal y ventiladores de 30,000 cfm para la ventilación secundaria). Ver el siguiente diagrama de ventilación.



## CAPITULO V: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA

### 5.1 GENERALIDADES

La explotación de la mina Cerro Lindo tiene la complejidad propia de una operación con *sublevel stoping* a gran escala, en forma masiva y particularmente en un macizo rocoso constituido por una mezcla de litologías y estructuras geológicas de variadas competencias.

Respecto a las materias del área geomecánica los aspectos relevantes que se proponen son los siguientes: Se identificó el concepto fundamental para la explotación de Cerro Lindo, con énfasis en la importancia de los esfuerzos inducidos por avance de la minería, sus causas y efectos. En este contexto es relevante la secuencia de minado y la instalación de rellenos en forma oportuna y con la calidad para su resistencia final requerida, de tal forma que cumplan su principal objetivo de “reemplazar la roca explotada” para mantener la estabilidad de las excavaciones vecinas.

## **5.2 CARACTERIZACIÓN DE LA MASA ROCOSA**

Para la caracterización de la masa rocosa, se registraron los datos a partir de un mapeo geomecánico de las labores subterráneas subterráneas en los Niveles 1770, 1800 y 1820 de los Cuerpos OB2 y OB5. Los parámetros tomados en cuenta fueron: tipo de roca, tipo de sistema de discontinuidad, orientación, espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, tipo de relleno, espesor del relleno, intemperización y presencia de agua. Adicionalmente se registraron datos sobre la resistencia de la roca y la frecuencia de fracturamiento.

### **5.2.1 Aspectos Litológicos**

La litología de la zona en estudio está conformada principalmente por 3 tipos de rocas: los sulfuros donde está el mineral, los volcánicos y los diques. Los volcánicos aparecen alrededor de los sulfuros formando la roca encajonante, mientras que los diques cortan transversalmente a los sulfuros y volcánicos. Dentro de la zona mineralizada aparecen enclaves de volcánicos que salen junto al mineral durante la explotación del yacimiento.

### **5.2.2 Distribución de Discontinuidades**

Para establecer las características de la distribución de discontinuidades conformados mayormente por diaclasas y fallas estructurales tanto mayores como menores, el

procesamiento de los datos orientacionales se realizó mediante técnicas de proyección estereográfica equiareal, utilizando el software DIPS Versión 5.103 de Rocscience Inc. (2004). Por presentar mejores facilidades gráficas de salidas de los estereogramas, se ha utilizado también el DIPS Versión Avanzada.

Las características estructurales de las discontinuidades, se establecieron mediante tratamiento estadístico de la información registrada en el mapeo geomecánico del macizo rocoso realizado en las labores subterráneas y de la información registrada en mapeo geotécnico de testigos rocosos de los sondajes diamantinos. Según esto, las siguientes son las principales características estructurales de las discontinuidades mayores (fallas) y menores (diaclasas).

### **Fallas**

Las fallas tienen espaciamientos por lo general de 3 a 10 m, la persistencia es de decenas de metros, la apertura es de 1 a 5 mm, las superficies de las caras son ligeramente rugosas a lisas y espejos de falla con ciertas ondulaciones. Estas estructuras están rellenas con materiales de panizo, brechas, materiales oxidados y arcillas, el espesor de estos rellenos varía entre 5 y 15 cm. El área de influencia de las

fallas no es significativa alcanzando en algunos casos hasta 1 m.

### **Diaclasas (sulfuros)**

Sus características estructurales son: espaciamiento entre 20 a 60 cm, persistencia de 3 a 10 m, apertura menor a 1 mm, las paredes son ligeramente rugosas a lisas con ciertas ondulaciones, el relleno suave y menor a 5 mm con presencia de óxidos, pirita y baritina. Las paredes de las discontinuidades estructurales por lo general están ligeramente alteradas. Se encuentran con presencia de humedad y localmente superficies mojadas.

### **Diaclasas (diques y volcánicos)**

Sus características estructurales son: espaciamiento entre 20 a 60 cm, persistencia de 3 a 10 m, apertura menor a 1 mm y en algunos casos cerrados y sin relleno, la rugosidad de las paredes es ligera a lisa con ciertas ondulaciones, el relleno presente es suave a duro y menor a 5 mm, con presencia de calcitas y arcillas. Las paredes de las discontinuidades estructurales por lo general están sanas a ligeramente alteradas, con presencia de humedad.

### **5.2.3 Condiciones de Agua Subterránea**

El flujo de agua subterránea en Cerro Lindo no será significativo y que el estudio hidrogeológico elaborado para evaluar las fuentes de agua para la operación de la planta de procesos (Water Management Consultans 2000) arroja resultados muy bajos; la cantidad de aforo de agua subterránea es muy bajo (este apenas llega a 14 lps, de los cuales el 80% es agua producto de la perforación de frentes de avance y el agua producto del drenaje de relleno en pasta); por lo tanto la presencia de agua subterránea no será mayor problema para las condiciones de estabilidad de la masa rocosa de las excavaciones. Si se encontrara un golpe de agua, se deberá dar el tiempo necesario para que fluya y que permita drenarlo mediante el sistema de drenaje mina (se envía el agua que sale de mina mediante un sistema de bombas hacia la planta concentradora para su uso en proceso de tratamiento de minerales).

### **5.2.4 Condiciones de Esfuerzos de Roca In-situ**

El peso unitario promedio de la roca fue asumido en 27 Kg /m<sup>3</sup>, el rendimiento de la gradiente de esfuerzo vertical en 0.0275 MPa/mt, las tensiones principales e intermedias fueron asumidas en 2 y 1.5 veces el esfuerzo vertical respectivamente. La máxima profundidad es de 600

metros aproximadamente en la parte Sur-Este del cuerpo OB5, mientras que la profundidad promedio es aproximadamente 300 metros.

El consultor David Córdova realizó una estimación del esfuerzo vertical para el cuerpo OB5 a partir del criterio de carga litostática (Hoek & Brown, 1978), considerando una profundidad de hasta 470 metros. Según este criterio, el esfuerzo vertical in-situ resulta aproximadamente 12 MPa. Los resultados de este modelamiento indicaron que a nivel local el esfuerzo principal mayor actúa en dirección  $35^\circ$  respecto a la horizontal en sentido anti horario con magnitud aproximada de 12 MPa. Por otro lado, tanto para el mineral como para las rocas de las cajas piso y techo, el “Factor de competencia = resistencia compresiva uniaxial de la roca intacta/Esfuerzo vertical” es  $>2$  y  $<10$ , lo cual indica que las condiciones de estabilidad de las excavaciones asociadas al minado, estarán en función del tiempo y de las propiedades de la roca, definiéndose probablemente un comportamiento de deformación elástica y quizás de deformación plástica en la caja techo.

### **5.2.5 Resistencia de la Roca Intacta**

Uno de los parámetros más importantes del comportamiento mecánico de la masa rocosa, es la

resistencia compresiva no confinada de la roca intacta. Durante los trabajos de campo, como parte del mapeo geomecánico de las labores subterráneas y de los testigos de los sondajes diamantinos, se ejecutaron ensayos de golpe con el martillo de geólogo y de rebote con el martillo Schmidt, siguiendo las normas sugeridas por la ISRM, a fin de estimar la resistencia compresiva de la roca intacta.

A fin de verificar los resultados de los ensayos de campo, se llevaron a cabo en el Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Pontificia Universidad Católica del Perú, ensayos de compresión triaxial, ensayos de carga puntual y ensayos de constantes elásticas sobre muestras rocosas obtenidas de los sondajes geotécnicos y para las diferentes litologías presentes en el área de estudio.

#### **5.2.6 Orientación**

Cerro Lindo está ubicado alrededor de 40 km sobre una zona de subducción, donde la placa de Nazca se está deslizando debajo de la placa Sudamericana. La dirección de la subducción resultara en una persistente compresión a lo largo del eje NE-SW. Este resultado es consistente con la tensión principal para causar el fallamiento y plegamiento en el área de Cerro Lindo, AMEC asumió que el eje principal del esfuerzo está orientado en la dirección NE-SW.

### 5.3 CLASIFICACIÓN DE LA MASA ROCOSA

La clasificación de la masa rocosa es una herramienta de gran uso para la descripción y categorización de los diferentes tipos de roca con el propósito de evaluar su estabilidad y los requerimientos de sostenimiento en las excavaciones subterráneas.

Para clasificar geomecánicamente a la masa rocosa, se utilizó el criterio de clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR – Rock Mass Rating o Valoración del Macizo Rocoso –1989). Los valores de resistencia compresiva de la roca intacta, fueron obtenidos conforme a los procedimientos de Resistencia de la roca intacta. Los valores del índice de calidad de la roca (RQD), por un lado, fueron determinados mediante el registro lineal de discontinuidades, utilizando la relación propuesta por Priest & Hudson (1986), teniendo como parámetro de entrada principal la frecuencia de fracturamiento por metro lineal; por otro lado, se determinaron por medición directa en los testigos rocosos de los sondajes diamantinos. El criterio de Bieniawski (1989), modificado para esta evaluación a fin de clasificar a la masa rocosa, se presenta en el siguiente Tabla 5.1.

**Tabla 5.1: Criterio para la clasificación de las masa rocosa**

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

Las fuentes de información para clasificar a la masa rocosa de las áreas de evaluación han sido: el mapeo geotécnico de la masa rocosa de las labores subterráneas, el mapeo geotécnico de los testigos rocosos de los sondajes diamantinos ejecutados como parte de los trabajos de exploración del yacimiento y el mapeo de los testigos rocosos orientados ejecutados en el OB5.

El criterio adoptado para clasificar a la masa rocosa se muestra en el Tabla N° 5.2.

**Tabla N° 5.2: Criterio para la Clasificación de la Masa Rocosa**

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

De acuerdo a los resultados mostrados se concluye que la roca volcánica y el mineral considerado de los OB2 y OB5 lo clasifican como tipo de roca de calidad “Buena”. Ver Tabla N° 5.3.

**Tabla N° 5.3: Resumen de la Clasificación Geotécnica de la Masa Rocosa OB5**

<b>Litología</b>	<b>RMR</b>		<b>Tipo</b>	<b>Calidad de Masa Rocosa</b>
<b>Litología</b>	Rango	Promedio	<b>Tipo</b>	<b>Calidad de Masa Rocosa</b>
Sulfuro Masivo	50-60	55	IIIA	Regular A
Volcánico Riodacítico Caja Piso	50-60	55	IIIA	Regular A
Volcánico Riodacítico Caja Techo	38-42	40	IVA	Mala A

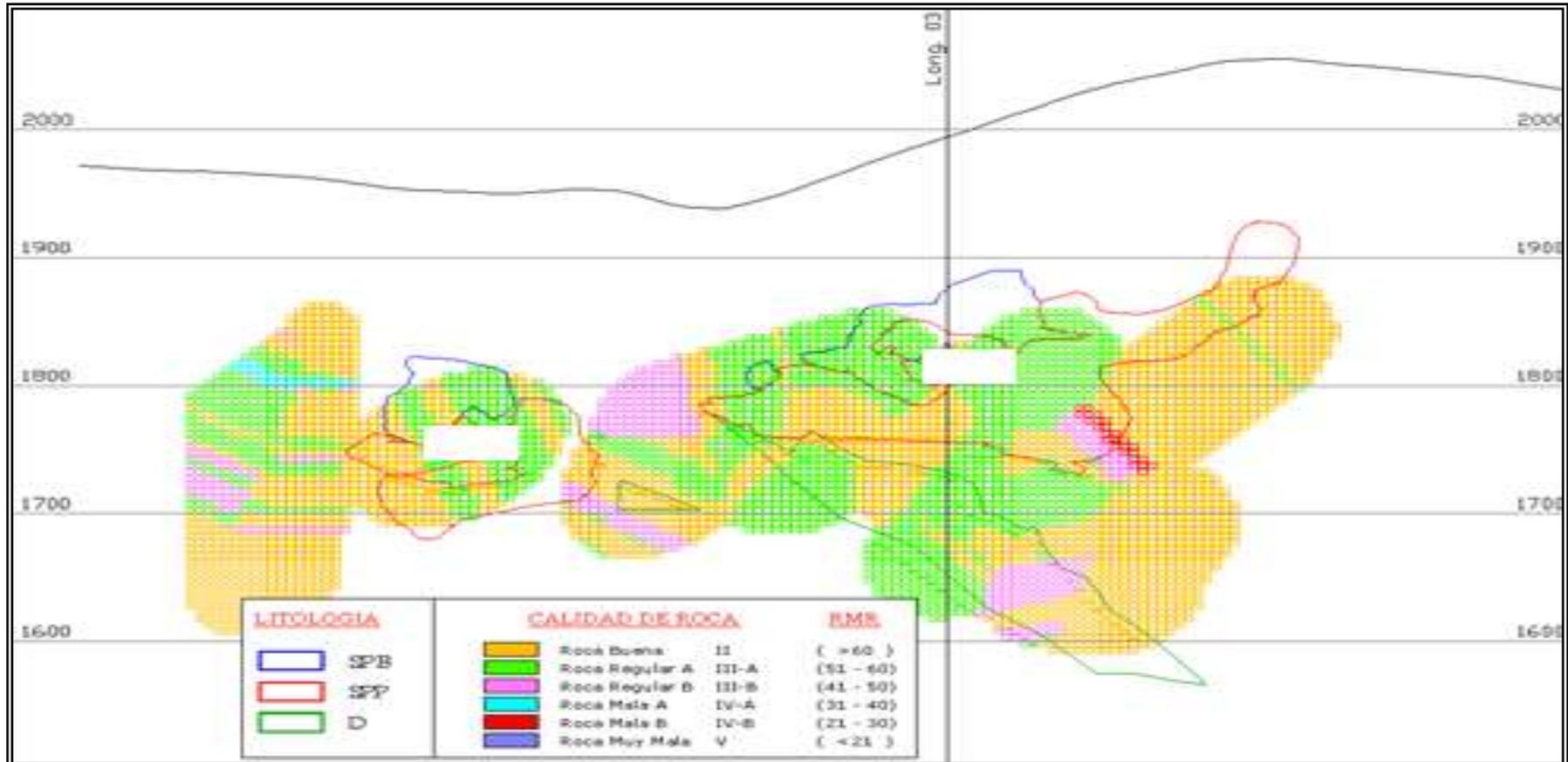
En el cuadro anterior se concluye definiendo que “los cuerpos presentes en la zona de estudio son mayormente de calidad regular A (IIIA), habiendo una mínima proporción de rocas de menor calidad Mala (IVA), asociadas a lugares como fallas u otros accidentes geológicos.

#### **5.4 ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE LA MASA ROCOSA**

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

Para realizar una zonificación geomecánica completa se debe tomar en cuenta los aspectos litológicos, geoestructurales, el grado de alteración y la calidad de la masa rocosa. Para el caso de Cerro Lindo, es la calidad de la masa rocosa el aspecto predominante para realizar la zonificación geomecánica, desde que las características litológicas y de alteración no difieren significativamente en toda el área de estudio y el arreglo estructural de la masa rocosa es similar en todo el ámbito de estudio.

Según lo citado en el párrafo anterior, la zonificación de calidades de masas rocosas se ha realizado con métodos convencionales y computarizados, este último mediante un modelo de bloques con el programa Mine Sight. Los resultados de la zonificación geomecánica realizado con el método convencional se presentan en las Láminas. N° 5.1 y 5.2.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**  
 FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS  
 ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE MINAS

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

*Tem a:* **ZONIFICACION GEOMECANICA DE CERRO LINDO - Detalle Sección 1240 (Transversal)**

*Autor:* **SOSA PAUCAR Jhon Jimmy**

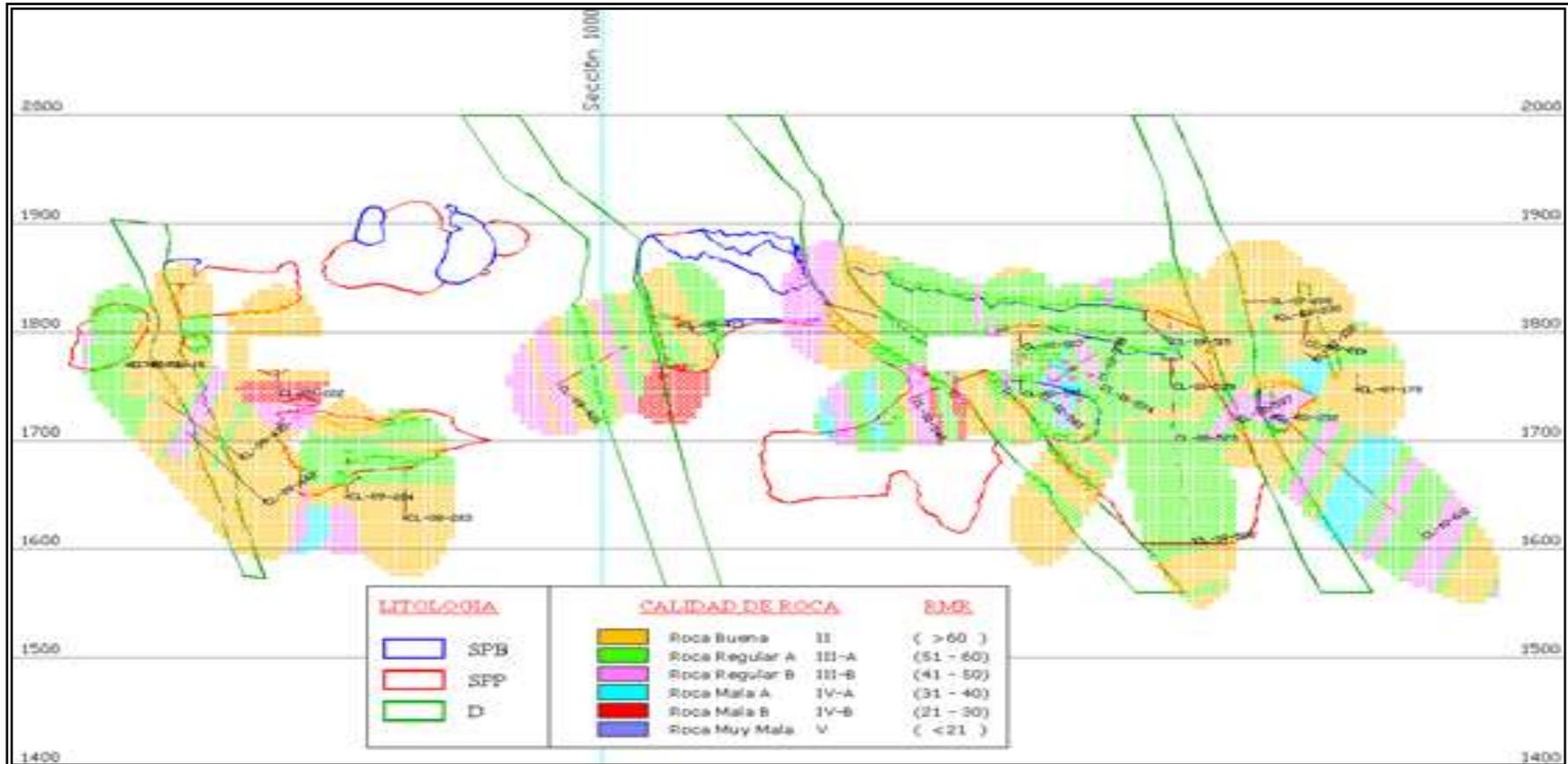
*Fecha :* **Agosto - 2016**

*Lamina:*

*Diseño:*

*Elaboracion Propia*

**5.1**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**  
 FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS  
 ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE MINAS

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

Tem a: <b>ZONIFICACION GEOMECANICA DE CERRO LINDO - Detalle Sección 03 (Longitudinal)</b>		
Autor: <b>SOSA PAUCAR Jhon Jimmy</b>	Fecha: <b>Agosto - 2016</b>	Lamina:
Diseño: <b>Elaboracion Propia</b>		<b>5.2</b>

Cabe hacer el siguiente comentario acerca de los resultados de la zonificación geomecánica de Cerro Lindo – Profundización. Cuando se tiene suficiente cantidad de datos, ya sea a partir del mapeo geotécnico de excavaciones subterráneas o afloramientos en superficie o a partir del mapeo geotécnico de testigos rocoso de sondajes diamantinos, la zonificación realizada con métodos computarizados resulta representativa de las condiciones reales de un yacimiento, pero cuando no se tiene cantidad suficiente de datos la zonificación puede tener incongruencias.

## **CAPITULO VI: DISEÑO DE TAJEOS DE PRODUCCION**

### **6.1 GENERALIDADES**

En este capítulo se desarrollan los “análisis de diseño” para evaluar las condiciones de estabilidad de las excavaciones asociadas al minado, integrando toda la información desarrollada durante las investigaciones básicas y considerando la geometría de las excavaciones.

Los análisis de estabilidad involucraron la investigación de los posibles mecanismos de falla de la masa rocosa circundante a las excavaciones, tomando en cuenta la geometría de estas últimas, el arreglo estructural de la masa rocosa, las características de resistencia de la misma y la influencia de los esfuerzos.

### **6.2 DIRECCIONES DE AVANCE DE LAS EXCAVACIONES**

Desde el punto de vista del arreglo estructural de la masa rocosa, para lograr mejores condiciones de estabilidad de las excavaciones,

existen direcciones preferenciales en las cuales debe ser alineado el avance de estas excavaciones. Las condiciones más favorables para la estabilidad ocurren cuando las excavaciones avanzan en forma perpendicular a la orientación de las estructuras principales; de modo contrario, las condiciones más desfavorables para la estabilidad ocurren cuando las excavaciones avanzan en forma paralela a la orientación de las estructuras principales.

De manera general, el sistema dominante de discontinuidades estructurales tiene rumbo aproximado NNE, más o menos perpendicular al lineamiento de los cuerpos mineralizados (NW-SE). Este sistema dominante de discontinuidades estructurales está conformado por fallas y diaclasas. En tal condición el alinear el avance de las excavaciones en dirección NW-SE resulta muy favorable para las condiciones de estabilidad de las excavaciones, principalmente de los tajeos.

### **6.3 ANCHO DE LAS EXCAVACIONES**

Para propósitos de diseño de sostenimiento de las excavaciones subterráneas, AMEC en el estudio de factibilidad, los agrupo en tres categorías, las cuales son tomadas en cuenta para el presente estudio.

- a) Excavaciones de largo plazo.
- b) Excavaciones temporales con ingreso de personas.
- c) Tajeos sin ingreso de personas.

### 6.3.1 Excavaciones de Largo Plazo

Las excavaciones permanentes de largo plazo incluyen las rampas de profundización, niveles de acceso, comedores, refugios, cámaras de chancado primario, estaciones de bombeo de agua de mina, talleres de mantenimiento en interior mina y otras aéreas donde trabaja el personal en forma regular durante la vida de la mina.

De acuerdo a los diversos trabajos realizados en el periodo transcurrido de 42 meses de operación en los cuerpos de mineral OB2, OB5, OB6, OB5A y OB1; se han aplicado sostenimiento con pernos helicoidales de 7 pies de longitud y Shotcrete (3" y 4") todos permanentes resistentes a la corrosión, este último se ha visto favorecido por la escasa y nula filtración de agua subterránea en las diferentes labores permanentes de largo plazo, no existe sostenimiento que no necesite mantenimiento en el tiempo, si no se deteriora por la presencia del agua acida, este se deteriora por el mismo ambiente de trabajo, sobre todo se corroe las planchuelas de los pernos de fierro corrugado, por lo tanto muchas aéreas de la mina deben ser reforzados en sostenimiento. Las labores actuales permanentes se encuentran sometidas a cargas litostáticas aceptables (< de 300 metros). Actualmente aún no se ha determinado la dirección del esfuerzo regional horizontal como consecuencia de la dinámica de esfuerzos macros del macizo

rocoso, para la realización de los diseños actualmente, el esfuerzo horizontal es inferido en función de la presión litostática de subyacente. En el Tabla N° 6.1 se muestra la recomendación que se hace para este tipo de excavaciones permanentes.

**Tabla N° 6.1: Sostenimiento para Excavaciones Permanentes**

Tipo de excavación	Ancho	Sostenimiento
Niveles, Galerías	5 mts	Puntual de 2.1 mts de long. Con resina y cembol, también se colca con lechada de cemento.
Intersección de Galerías	5-9 mts	A lo largo del área de influencia se coloca sostenimiento Sistemático con una malla de 1.2 mts x 1.2mts y 2.1 mts long. Con resina y cembol, también se coloca con lechada de cemento, en las cámaras de carguío de mineral se colocara a partir del 2012 cable bolting de 12 mts de longitud
Intersección de Fallas	5 mts (max)	Dependiendo de las cuñas y de su posición se coloca sostenimiento

		<p>sistemático con pernos con una malla de 1.0 mts x 1.0 mts de 2.1 mts long. Con resina y cembol, adicionalmente se coloca Shotcrete con espesor variable de 2”/4” de espesor – según el análisis de cuñas se coloca cable bolting.</p>
--	--	--

### 6.3.2 Excavaciones Temporales Ingreso

Las labores temporales (subniveles, galerías de perforación y cruceros de acceso a los tajeos), las cuales son de corta longitud y permiten un desate periódico, estas labores tienen un ancho estándar de 5 metros y el sostenimiento que se aplica es pernos sistemáticos (1.5x1.5x2.1), además se coloca shotcrete de 2.5” de espesor.

En UMCL se desarrolla galerías longitudinales dentro del cuerpo de mineral (sección 5x4), esta labor servirá para el diseño de minado, desde estas galerías se perforan taladros de producción radiales de hasta 25 metros de longitud, no es posible aperturar una cámara a lo ancho de la zona mineralizada para realizar perforación paralela debido a la amplitud del cuerpo de mineral y por la presencia de “cuerpos de enclaves” cuya RMR es

muy bajo (< 30), la presencia de enclaves son como trampas estructurales que afectan la estabilidad de las aberturas en el minado de los tajeos. La posibilidad de dejar pilares temporales en los niveles y luego recuperarlo mediante taladros radiales es una posibilidad a ser empleado en el futuro como una mejora continua.

### 6.3.3 Tajeos sin Ingreso

El diseño de minado SLS no permite el ingreso de personas al interior del tajeo (cámara vacía), el ingreso para extraer el mineral se realiza en muchos casos mediante la utilización de Scooptram con telemando, podemos afirmar que la extracción del mineral con el Scooptram de los tajeos se realizan en un 85% bajo techo y un 15% se ingresa al vacío con el equipo accionado por control remoto. El sostenimiento de los tajeos cuando estos quedan vacío se realiza con el empleo de relleno en pasta (PBF, con un % en el contenido de cemento y escoria), la estabilidad del tajeo depende los los siguientes factores:

- a) Geometría del tajeo (largo, ancho y altura (30 metros)), aquí estamos siendo gobernado por los conceptos de estabilidad de Mathews, el mismo que hace referencia al radio hidráulico ( $R_h = 8.5 - 10.5$ ).
- b) Calidad de la masa rocosa (insumo de los conceptos del gráfico de estabilidad de Mathews)

- c) Ubicación y orientación de las estructuras geológicas continuas (fallas, diaclasamiento y presencia de “enclaves”)
- d) Condiciones de esfuerzo (carga litostática: profundidad del tajeo respecto de superficie, en UMCL, esta variable es una fortaleza, estamos a menos de 300 metros de columna de carga dependiendo del cuerpo de mineral y del nivel de ubicación del tajeos.
- e) Ciclo de minado (tiempo de exposición de la abertura a la deformación de las paredes)
- f) Presencia de agua subterránea en los tajeos, esto crea un plus en la presión litostática y reactiva las fallas; este caso no es el de UMCL.
- g) Calidad de la perforación y sobre todo de la voladura, esto es una variable controlable por la operación, una voladura inadecuada causara problemas de estabilidad en la deformación del tajeo con el consiguiente deterioro de las labores adyacente en su estabilidad.

#### **6.4 DIMENSIONAMIENTO DE EXCAVACIONES CON EL MÉTODO GRÁFICO DE ESTABILIDAD**

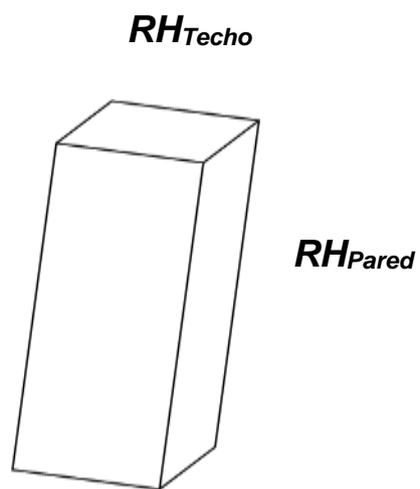
Un aspecto importante para el minado de la mina Cerro Lindo es evaluar el tamaño de los tajeos, para ello, en este estudio utilizamos el Método Gráfico de Estabilidad (MGE), desarrollado por Potvin (1988), Potvin y Milne (1992) y Nickson (1992), siguiendo los trabajos iniciados por Mathews et. Al. (1981). La versión actual del método, basado en el análisis de más de 350 casos históricos recolectados de minas subterráneas canadienses, toma en cuenta los principales factores de influencia del diseño de tajeos.

La información sobre el arreglo estructural y resistencia de la masa rocosa, los esfuerzos alrededor de la excavación, y el tamaño, forma y orientación de la excavación, es utilizada para determinar si el tajeo será estable sin sostenimiento, o con sostenimiento, o inestable aún con sostenimiento. El método también es adecuado para el dimensionamiento del sostenimiento con cablebolt.

De manera resumida, el procedimiento de diseño aplicando este método está basado en el cálculo de dos factores:  $N'$  y  $S$ . El primero es el número de estabilidad modificado y representa la habilidad del macizo rocoso para permanecer estable bajo una condición de esfuerzo dado. El segundo es el factor de forma o radio hidráulico que toma en cuenta el tamaño y forma del tajeo y está expresado por la relación ( $S = \text{Área de la cara considerada del tajeo} / \text{Perímetro de la cara considerada del tajeo}$ )

### 6.4.1 Radio Hidráulico

Es una relación entre el Área y el perímetro de la cara crítica, que asociado a una constante N nos permite dimensionar la cara crítica de los tajos.



$$RH = \frac{Area}{Perimetro}$$

#### 6.4.2 Número de Estabilidad (N)

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

$$N' = Q' \cdot A \cdot B \cdot C$$

**Donde:**

N: Número de estabilidad de Mathews

A: factor por esfuerzos inducidos

B: factor por orientación de fracturas

C: factor gravitacional

RQD: rock quality designación

J<sub>n</sub>: número de sets

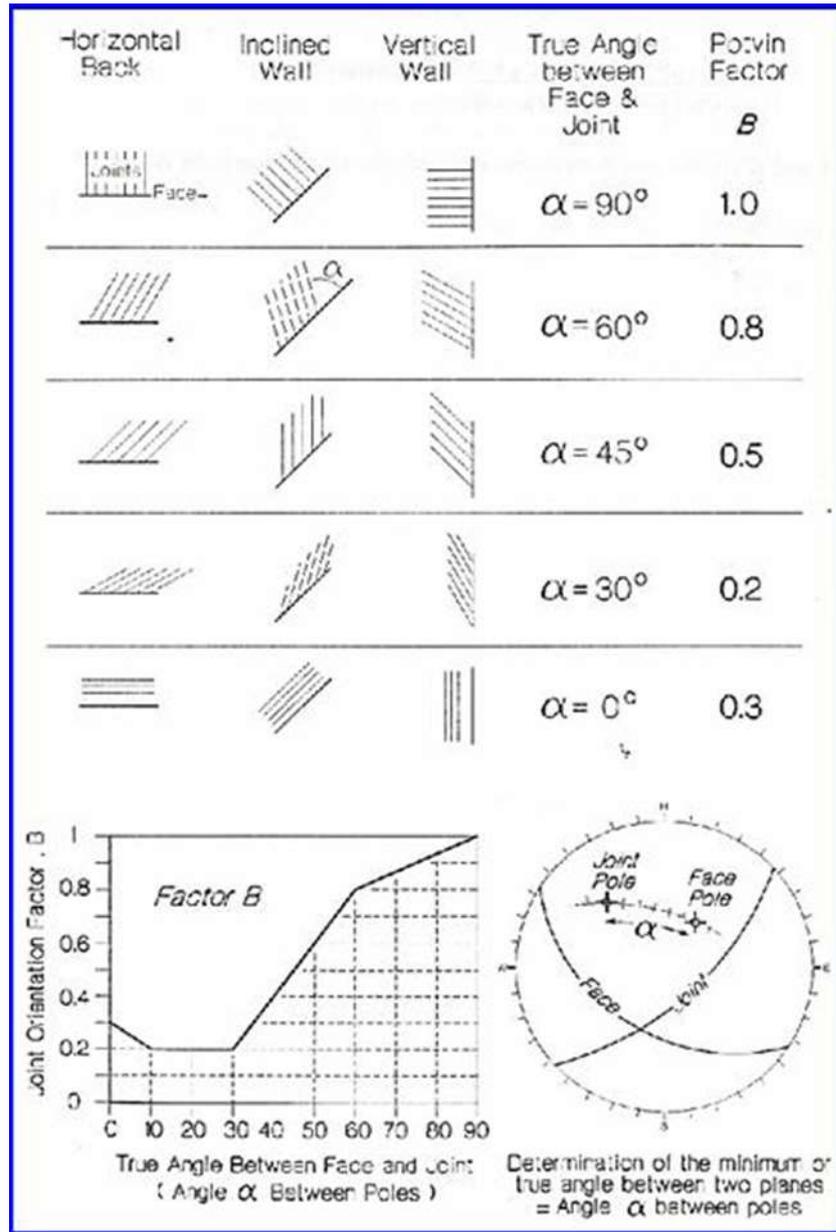
J<sub>r</sub>: rugosidad de fracturas

J<sub>a</sub>: alteración

### 6.4.3 Factor por Esfuerzos Inducidos

Se determina a través del análisis del Gráfico N° 6.1.

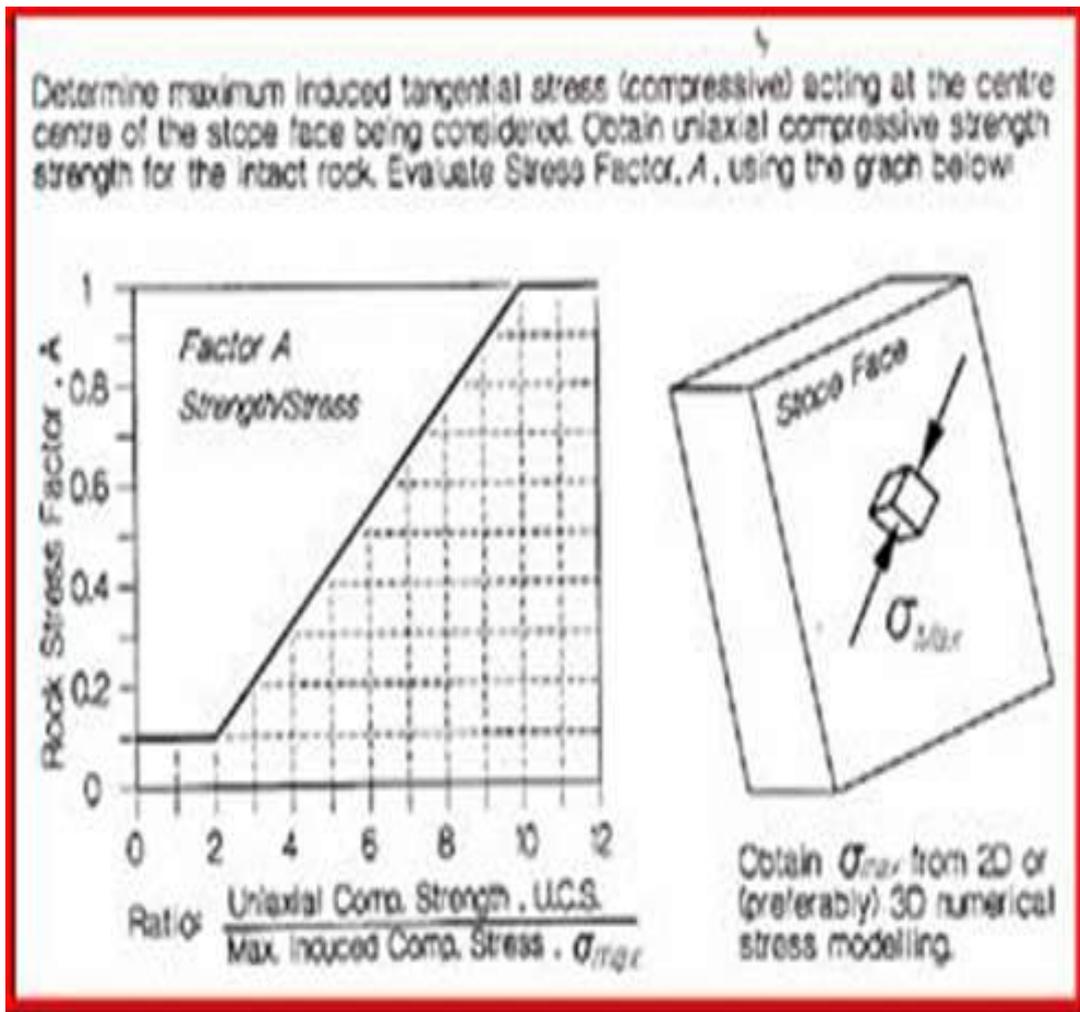
Gráfico N° 6.1 (Análisis)



#### 6.4.4 Factor de Orientación de Fracturas

Se determina a través del análisis del Gráfico N° 6.2.

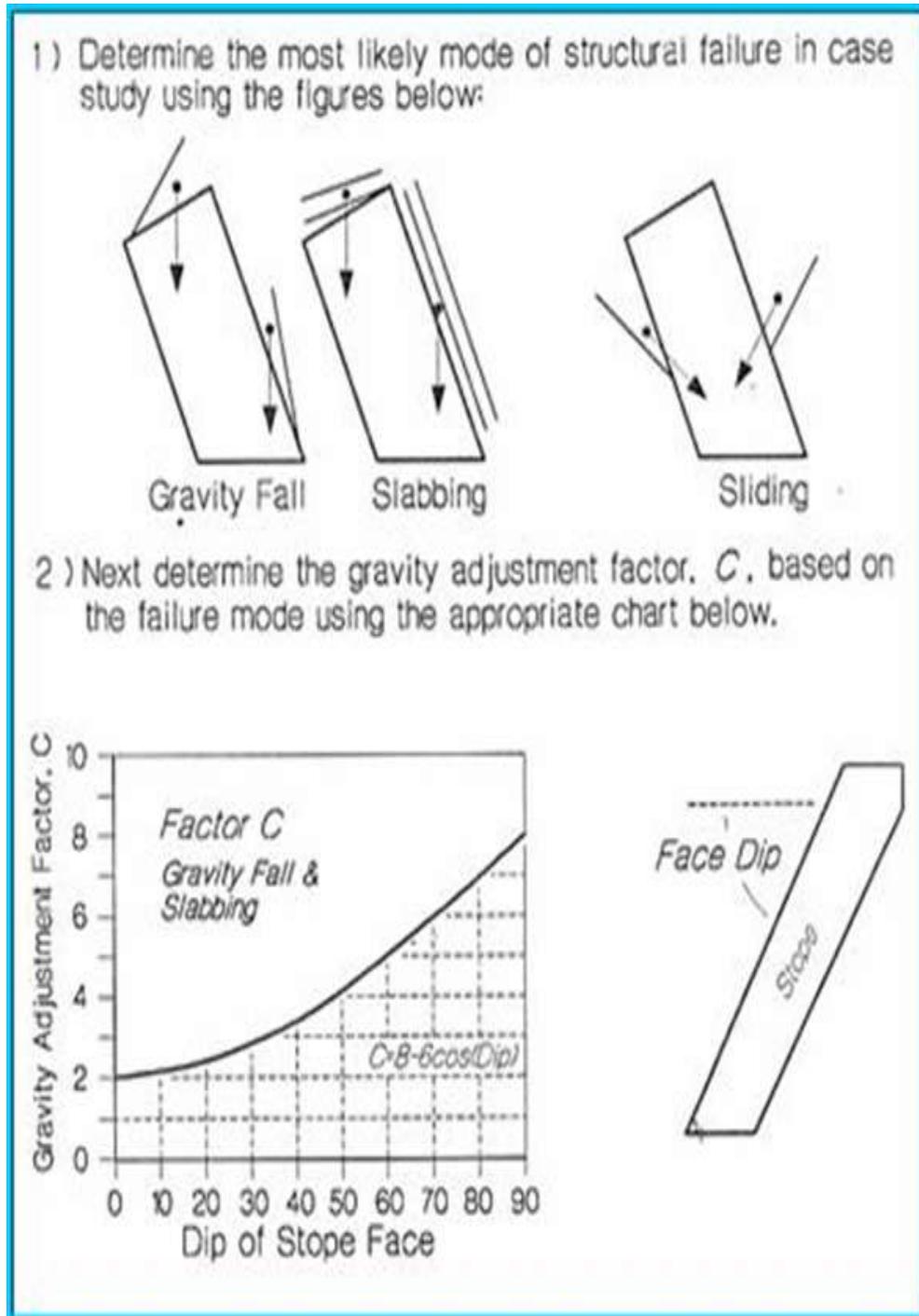
**Gráfico 6.2 (Análisis)**



### 6.4.5 Factor de Ajuste Gravitacional

Se determina a través del análisis del Gráfico N° 6.3.

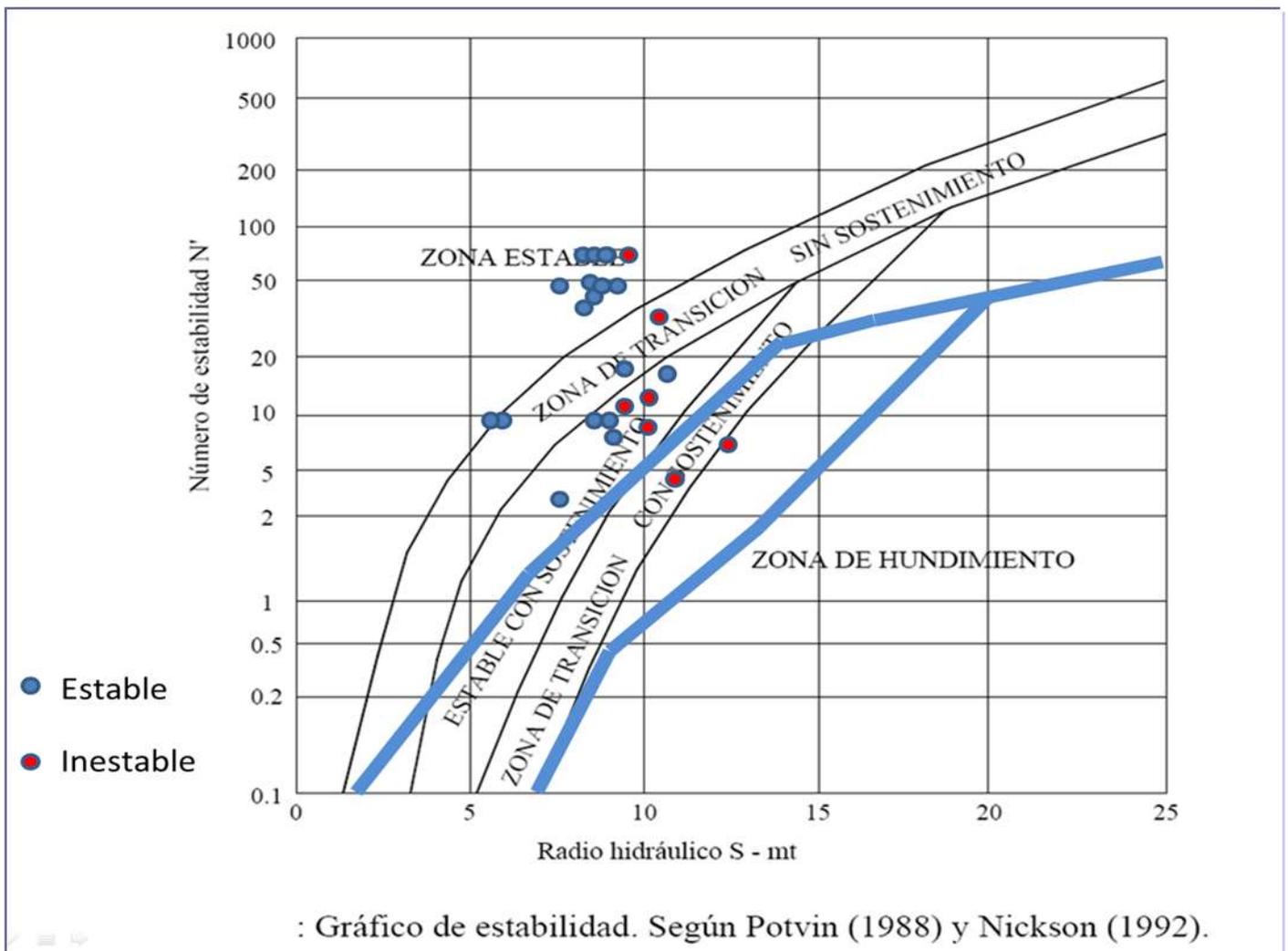
**Gráfico 6.3 (Análisis)**



## 6.5 ESTABILIDAD DE LOS TAJEOS

Para determinar la estabilidad en los tajeos, se tiene que realizar el análisis de los gráficos descritos anteriormente y relacionarlos con el gráfico de estabilidad N°6.4 según Potvin (1988) y Nickson(1992); relacionando el número de estabilidad  $N'$  y el radio hidráulico, se determina si es zona estable, zona de transición sin sostenimiento, zona de transición con sostenimiento y zona de hundimiento.

**Gráfico N°. 6.4: Estabilidad de tajos mina cerro lindo**



## 6.6 DIMENSIONAMIENTO DE LOS TAJEOS

Se realiza las siguientes afirmaciones referentes al minado de los tajeos a ser ubicados tanto en el OB2 como en el OB5, según esto tenemos que las recomendaciones para las dimensiones máximas se muestran en los cuadros siguientes.

**Tabla N°6.2: Dimensiones Máximas Recomendadas para Tajeos Diseñados en el OB-5**

<b>Orientación Tajeo</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Alto (m)</b>	<b>Sostenimiento (m)</b>
Longitudinal	30 (NW-SE)	25(NE-SW)	60	Sin Sostenimiento
Longitudinal	30(NW-SE)	25(NE-SW)	90	Cable Bolting
Transversal NE-SW	30(NE-SW)	15(NW-SE)	90	Sin Sostenimiento
Transversal E-W	40(NE-SW)	18(NW-SE)	90	Sin Sostenimiento

Adicionalmente, el consultor David Córdova, realizó una nueva estimación para calcular las dimensiones de los tajeos a ser minado en el cuerpo OB5 empleando para ello el Método Grafico de Estabilidad, método desarrollado por Potvin (1988), cuya versión actual se basa en el análisis de 350 casos de minas subterráneas Canadienses. Las dimensiones recomendadas para el OB5 son: 30 mts de altura, 25 mts de longitud y 15/18 mts de ancho. Las dimensiones que se vienen aplicando en el minado de los tajeos ubicados en el OB5 es como sigue: 30 mts de alto, 40 mts de largo y 20 mts de ancho, esta alternativa está dando buenos resultados en la estabilidad.

A la fecha según los informes de Geomecánica de la UMCL, las dimensiones que se vienen aplicando en el minado de los distintos tajeos ubicados en el cuerpo mineralizado OB2 son de 30 mts de alto, 60 mts de largo y 25 mts de ancho, la fortaleza estructural del OB2 es la homogeneidad en la litología, no se tiene la presencia de “Enclaves” al interior del cuerpo mineralizado en comparación con el OB5 que si los tiene.

La consolidación de la producción de 18k provendrá del minado de los cuerpos nuevos a ser incorporados sistemáticamente, estos son: OB7, OB6A y OB3/OB4 (más lejano en el tiempo), en estos cuerpos de mineral se tendrán que realizar nuevos estudio de Geotécnica para determinar los

## **6.7 CONTRASTACIÓN DE HIPOTESIS**

Para llevar a cabo esta contrastación, se tiene que tener en cuenta, la hipótesis planteada y su relación con las variables planteadas, con estos datos obtenidos se determina la prueba de hipótesis.

### **Hipótesis general:**

Mediante la evaluación geomecánica de la masa rocosa se logrará diseñar los tajeos de producción en la Mina Cerro Lindo Compañía Minera Milpo.

### **Sistema de Variables**

Se consideran las siguientes variables:

### **Variable independiente:**

**Evaluación geomecánica de la masa rocosa en el área de la Mina Cerro Lindo.**

Se demostró la evaluación geomecánica en el capítulo VI, a través de la clasificación geomecánica de la masa rocosa, se utilizándose el criterio de Bieniawski (RMR – Rock Mass Rating o Valoración del Macizo Rocoso; considerando: tipo de roca, tipo de sistema de discontinuidad, orientación, espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, tipo de relleno, espesor del relleno, intemperización y presencia de agua. Adicionalmente se registraron datos sobre la resistencia de la roca y la frecuencia de

fracturamiento de acuerdo al siguiente cuadro:

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

Asimismo; de acuerdo a lo mencionado líneas arriba se muestra los resultados en el siguiente cuadro y se concluye que la roca volcánica y el mineral considerado de los OB2 y OB5 se clasifican como tipo de roca de calidad “Buena”.

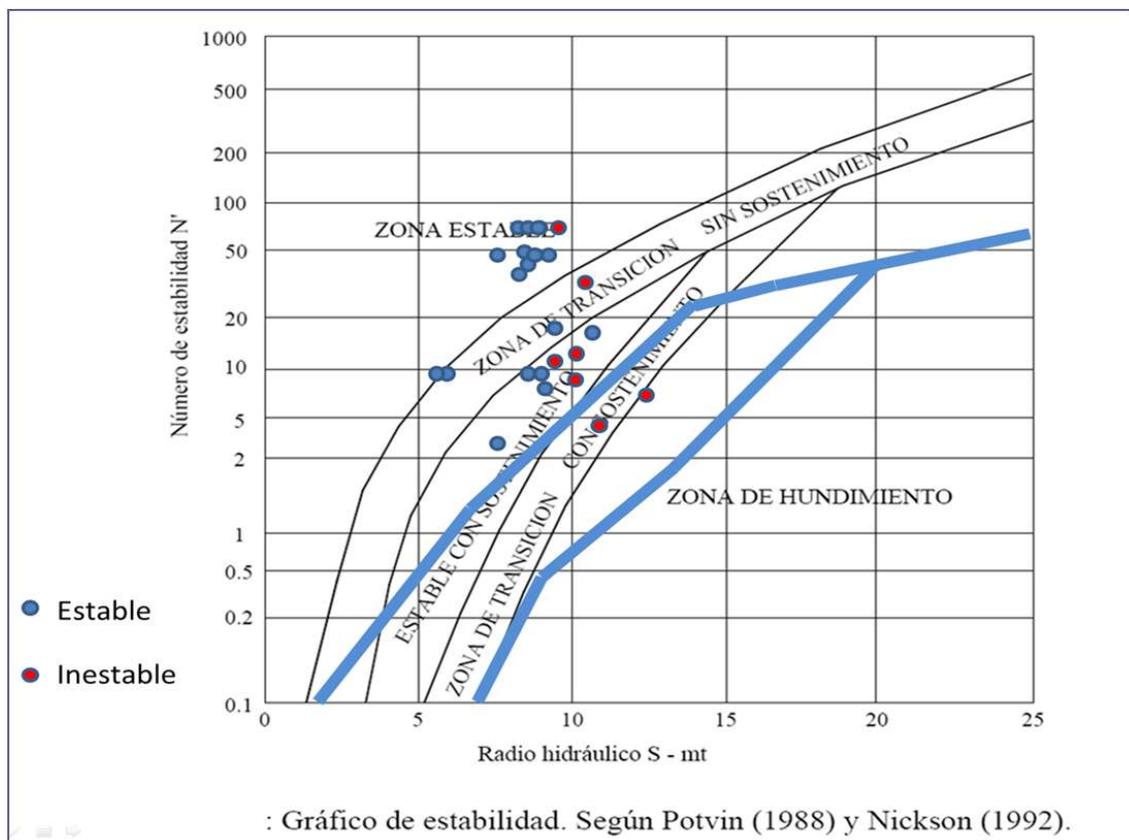
**Cuadro: Resumen de la Clasificación Geotécnica de la Masa Rocosa**

Litología	RMR		Tipo	Calidad de Masa Rocosa
	Rango	Promedio		
Sulfuro Masivo	50-60	55	IIIA	Regular A
Volcánico Riodacítico Caja Piso	50-60	55	IIIA	Regular A
Volcánico Riodacítico Caja Techo	38-42	40	IVA	Mala A

### Variable Dependiente:

### Diseño de los tajos de producción En la Unidad Minera de Cerro Lindo Cía. Minera Milpo.

Asimismo, en el capítulo VI, de nuestro estudio se demuestra el diseño de los tajos de producción, de acuerdo a las condiciones de estabilidad de las excavaciones asociadas al minado, integrando toda la información desarrollada durante las investigaciones básicas y considerando la geometría de las excavaciones. Para determinar el tamaño de los tajos y su estabilidad, se tuvo que realizar el análisis de los gráficos descritos en el capítulo VI y relacionarlos con el gráfico de estabilidad con el siguiente gráfico según Potvin (1988) y Nickson(1992); relacionando el número de estabilidad  $N'$  y el radio hidráulico.



### Prueba de hipótesis

La prueba de hipótesis se realiza en función a la variable independiente y dependiente ya expuestas; con lo cual se acepta la hipótesis al obtener las dimensiones del diseño en los tajeos de acuerdo al siguiente al cuadro.

**Cuadro: Dimensiones Máximas Recomendadas para Tajeos Diseñados de cuerpos Mina Cerro Lindo.**

<b>Orientación Tajeo</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Alto (m)</b>	<b>Sostenimiento (m)</b>
Longitudinal	30 (NW-SE)	25(NE-SW)	60	Sin Sostenimiento
Longitudinal	30(NW-SE)	25(NE-SW)	90	Cable Bolting
Transversal NE-SW	30(NE-SW)	15(NW-SE)	90	Sin Sostenimiento
Transversal E-W	40(NE-SW)	18(NW-SE)	90	Sin Sostenimiento

## CONCLUSIONES

1. El yacimiento de Cerro Lindo está emplazado en rocas de la Formación Huaranguillo perteneciente a la secuencia volcánica-sedimentaria del Cretáceo Medio a Inferior denominada Grupo Casma, que descansa como un techo colgado, con rumbo general N 60°W y un buzamiento preferencial SW, sobre los intrusivos del Batolito de la Costa perteneciente al Cretáceo Superior hasta el Terciario; esta faja intrusiva está compuesta por rocas granodioritas, tonalitas y dioritas de afinidad calcoalcalinas.
2. Los cuerpos mineralizados de Cerro Lindo están emplazados en rocas volcánicas de tipo riolíticas gradando a riodacíta. También está presente en el área de estudio una unidad piroclástica que se intercala dentro de unidades de flujos riolíticos.
3. El yacimiento Cerro Lindo es un depósito de sulfuro masivo vulcanogénico (VMS Volcanogenic Massive Sulphide) tipo Kuroco. Presenta orientación NW, buzando 65°SW y tiene dimensiones de 1,350 m de largo, 83 m de ancho y 245 m de profundidad. Tiene 7 cuerpos mineralizados (OB1 al 7).
4. La litología simplificada de la mina Cerro Lindo involucra a 3 tipos de rocas: los sulfuros donde está el mineral, los volcánicos y los diques. Los volcánicos aparecen alrededor de los sulfuros conformando la roca encajonante, mientras los diques cortan transversalmente a la zona de sulfuros y a los volcánicos. Dentro de la zona mineralizada aparecen enclaves de roca volcánica que son extraídos junto con el mineral durante la explotación del yacimiento.
5. El análisis de distribución de discontinuidades ha indicado que el arreglo estructural de la masa rocosa dentro de cada litología de Cerro Lindo, debajo del Nv. 1800, está conformado por 2 sistemas principales de

discontinuidades, siendo uno de ellos el dominante, y de 1 a 2 sistemas secundarios.

6. Todos estos sistemas están conformados mayormente por diaclasas y fallas. El Sistema 1 involucra a fallas transversales a los cuerpos mineralizados. Aparte del arreglo estructural general de las áreas del OB2 y OB5, de manera localizada se presentan discontinuidades aleatorias.
7. Los resultados de la clasificación geomecánica de la masa rocosa debajo del Nv. 1820, efectuada a partir de la información registrada en el mapeo geomecánico de labores subterráneas; en el OB5 y OB6, las masas rocosas de calidad Buena (II) representan el 34 %, las de calidad Regular A (IIIA) representan el 33 %, las de calidad Regular B (IIIB) representan el 20 %, las de calidad Mala A (IVA) representan el 6 % y las de calidad Mala B (IVB) representan el 7 %.
8. Los parámetros de resistencia de la roca intacta, de las discontinuidades y de la masa rocosa, determinados a partir de ensayos realizados en campo y en laboratorio y a partir de la utilización de criterios de falla apropiados.
9. En la Mina Cerro Lindo no es muy significativa la presencia de agua subterránea, generalmente las condiciones naturales son de secas a húmedas. La presencia de agua está relacionada principalmente a la operación minera: agua de las perforaciones de producción, el agua de las perforaciones diamantinas, y el agua del relleno, que se infiltran en la masa rocosa y percolan hacia las labores inferiores.
10. Utilizando toda la información básica mencionada en las conclusiones precedentes, se han realizado una serie de análisis, el dimensionamiento de los diferentes componentes estructurales asociados al minado estará en función del arreglo estructural de la masa rocosa y del comportamiento esfuerzo/deformación de la misma, donde se determina las dimensiones apropiadas en el capítulo VI.

## RECOMENDACIONES

1. Desde el principio de la operación de la mina Cerro Lindo, se estableció que la dirección preferencial de avance de las excavaciones es NW-SE, con esta dirección preferencial se han desarrollado los esquemas de minado encima del Nv. 1820, obteniéndose buenos resultados en las condiciones de estabilidad de las excavaciones, principalmente tajeos. Es recomendable continuar debajo del Nv. 1820 con la misma dirección preferencial señalada y con similares esquemas de minado.
2. Es recomendable que los tajeos ubicados debajo del pilar puente tengan por lo menos un bajo contenido de cemento. Oportunamente, se puede planear la recuperación de este pilar puente, por lo menos parcialmente.
3. Para las labores mineras ubicadas debajo del Nv. 1820, es recomendable continuar con los mismos estándares de sostenimiento que se vienen utilizando en la explotación actual encima de este nivel.
4. Los diferentes análisis realizados sobre las secuencias de avance del minado, con rangos de dimensiones de tajeos y resistencias establecidas en el estudio, se recomienda continuar con estos análisis en las labores debajo del nivel 1820.
5. El agua tiene presencia local dentro de la masa rocosa de la Mina Cerro Lindo y por ahora no está siendo un problema para las condiciones de estabilidad de la masa rocosa de las excavaciones, sin embargo, en el futuro cuando el minado avance en profundidad podría aumentar la presencia del agua, particularmente en las labores más cercanas al fondo de la Quebrada Topará. Se recomienda una evaluación hidrogeológica ayudaría a conocer en mayor detalle las características de presencia futura del agua subterránea en la Mina Cerro Lindo
6. Es muy recomendable que se realicen mediciones de los esfuerzos in-situ en Cerro Lindo, dado el importante nivel de producción que se ha proyectado alcanzar y también la considerable profundidad que tendrán particularmente el OB5 y OB6.

## BIBLIOGRAFIA

1. Brady B.H.G. & Brown E.T. "Rock Mechanics for Underground Mining" George Allen & Unwin – London – 1985.
2. Bieniawski Z.T. "Engineering Rock Mass Clasification" Wiley – Interscience Publication – 1989.
3. Cuadros J. y Córdova D. "Dimensionamiento Geomecánico de Tajeos de Mina Chupa – Unidad Minera Iscaycruz"- XXV Conv. Ing. Minas – Setiembre 2001.
4. EXSA Manual De Voladura de Rocas Lima – 2001.
5. Hoek E., Kaiser P., Bawden W. "Support of Underground Excavations in Hard Rock" A.A. Balkema 1995.
6. Instituto Tecnológico Geominero de España (2010) Manual de Perforación y Voladura de Rocas.
7. Ly Zevallos, P., 1999. Yacimiento Cerro Lindo. En Primer Volumen de Monografías de Yacimientos Minerales Peruanos. Historia, Exploración y Geología. Volumen Luis Hochschild Plaut. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. Pro Explo 99.
8. Pitcher, W.S., Cobbing, W.J.E., 1985. Magnetism at Plate Edge. The Peruvian Andes.
9. Salazar, H., Landa, C., 1993. Geología de los Cuadrángulos de Mala, Lunahuana, Tupe, Conoyca, Chincha, Tanatara y Castrovirreyna. Ingemmet, Sector Energía y Minas. Peru. Boletín No. 44.

10. Trujillo Alejandro. "Geología del Yacimiento Cerro Lindo". Publicación de PROEXPLO 2009.
11. UNDAC – Cerro de Pasco (2010): I Curso Internacional de Innovaciones Tecnológicas en Perforación. y Voladura. de Rocas.
12. Vidal, C., 1980. Mineral Deposits Associated with the Peruvian Coastal Batholith and its Volcanic Country Rocks. Phd Thesis in Liverpool University.
13. Weiss F. y Córdova D. "Influencia de las condiciones naturales en la selección del método de explotación en minería subterránea", Informe INGEMMET – 1991.

## **ANEXOS**

**FOTOGRAFIA N° 01:**  
**ACTUAL CAMPAMENTO Y OFICINAS**  
**-UNIDAD MINERA CERRO LINDO-**



**FOTOGRAFIA N° 02:**  
**PLANTA DE RELLENO EN PASTA**  
**-UNIDAD MINERA CERRO LINDO-**



FOTOGRAFIA N° 03:  
BOTADERO DE DESMONTE DE MINA  
-UNIDAD MINERA CERRO LINDO-



**FOTOGRAFIA N° 04:**  
**PLANTA DE PROCESOS**  
**-UNIDAD MINERA CERRO LINDO-**

