

**Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión**

**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**



---

---

**“ESTABILIZACION CON RELLENO EN PASTA DE  
LOS TAJEOS EN LA UNIDAD MINERA  
CERRO LINDO COMPAÑÍA MINERA MILPO S.A.”**

---

---

**TESIS**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. Roy Israel CASTAÑEDA RAMIREZ**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL**

**DE INGENIERO DE MINAS**

**PASCO - PERU**

**2018**

# Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE MINAS



=====

**“ESTABILIZACION CON RELLENO EN PASTA DE  
LOS TAJEOS EN LA UNIDAD MINERA  
CERRO LINDO COMPAÑÍA MINERA MILPO S.A.”**

=====

**PRESENTADO POR:**

**Bach. CASTAÑEDA RAMIREZ, Roy Israel**

**Sustentado y aprobado ante la Comision de Jurados**

.....  
**Ing. ZENTENO GÓMEZ, Floro Pagel**  
**PRESIDENTE**

.....  
**Mg. SÁNCHEZ ESPINOZA, Edwin Elías**  
**MIEMBRO**

.....  
**Dr. AGUIRRE ADAUTO, Agustín Arturo**  
**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

A Dios por las bendiciones, protección y el amor que me Brinda mi Madre Enma y a mi Sr. Padre Gerardo Castañeda que desde el cielo me guía en la consecución de mis objetivos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por ser mi sustento espiritual.

A Mis padres que día a día siempre estuvieron para guiar y apoyar en los momentos de tropiezos y caídas y hacer de mi persona un mejor profesional

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

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

Finalmente a mi Asesor Mg. Joel Oscuvilca Tapia y 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**

## INTRODUCCIÓN

Las cavidades que se originan en la explotación de yacimientos subterráneos de mineral se comportan como un potencial de peligro bajo tierra y en superficie. Si en el pasado el material de relleno se descargaba a menudo por gravedad desde la superficie al interior a través de pozos y chimeneas, desde donde se distribuían mediante equipos de carga, hoy en día las bombas de materiales combinadas con sistemas de tuberías cerrados, desempeñan una función importante en el llenado y la introducción de material de relleno en cavidades subterráneas.

Es así que, en la minería subterránea peruana se ha venido usando el relave como material de relleno en diferentes métodos de explotación, muchos de estos no llegan a cumplir con los parámetros de confiabilidad para el sostenimiento en las labores. En el presente estudio de investigación se demuestra la aplicación del sistema de relleno en pasta mediante la utilización de relave en la Unidad Minera Cerro Lindo de la Compañía Minera Milpo; asimismo, contiene los siguientes capítulos:

En el Capítulo I, se refiere al planteamiento del problema, formulación del problema, objetivos de la investigación, justificación del estudio; marco teórico, hipótesis metodología del estudio, técnicas de recolección de datos.

El Capítulo II comprende generalidades de la mina como son: ubicación y accesibilidad, clima, geomorfología, e historia de la mina.

En el Capítulo III, se considera, la parte geológica de la mina; geología regional, estratigrafía, geología local, geología estructural, saneamiento alteración, geología económica y reservas de mineral.

El Capítulo IV, trata de explotación subterránea de la mina como: generalidades, diseño de mina, método de explotación sub level stoping, operaciones unitarias y dilución en explotación.

El capítulo V comprende los resultados de acuerdo a los objetivos de investigación, como son: (1) relleno en pasta, que trata: generalidades, relleno en minería, clasificación de la masa rocosa, red de distribución del relleno en pasta de la mina, relleno y preparación en pasta y proceso de relleno en pasta.

(2) Estabilización de labores subterráneas, comprende: dimensionamiento de tajeos, exposición del relleno en explotación de tajeos, laboreo por relleno en pasta, plataforma de trabajo, resistencia a la licuefacción, control de calidad del relleno, verificación de las características del relleno, control del slump y estabilidad de los tajeos.

Por último el capítulo VI comprende la prueba de hipótesis y el sistema de variables

## ÍNDICE

	<u>Página</u>
Dedicatoria .....	i
Agradecimiento.....	ii
Introducción.....	iii
Índice.....	v

### CAPITULO I

#### ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	01
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	02
1.2.1 Problema Principal .....	03
1.2.2 Problemas Específicos .....	03
1.3 FORMULACIÓN DE OBJETIVOS .....	04
1.3.1 Objetivo Principal .....	04
1.3.2 Objetivos Específicos .....	04
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	04
1.5 MARCO TEÓRICO .....	05
1.5.1 Marco referencial.....	05
1.5.2 Bases teóricas conceptual .....	09

1.5.3 Marco conceptual .....	15
1.6 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	20
1.6.1 Hipótesis principal .....	20
1.6.2 Hipótesis Específicos .....	20
1.6.3 Variables .....	21
1.6.3 Operacionalización de Variables .....	21
1.7 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO .....	22
1.8 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	22
1.9 POBLACIÓN Y MUESTRA .....	22
1.10 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS ....	23
1.11 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS .....	23

## **CAPITULO II: GENERALIDADES**

2.1 UBICACIÓN Y ACCESO.....	24
2.2 CLIMA.....	26
2.3 GEOMORFOLOGÍA.....	26
2.4 HISTORIA.....	27

## **CAPITULO III : GEOLOGIA**

3.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	29
3.2 ESTRATIGRAFÍA .....	30
3.3 GEOLOGÍA LOCAL .....	33

3.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	33
3.5 ZONEAMIENTO.....	35
3.6 ALTERACIÓN.....	37
3.7 GEOLOGÍA ECONÓMICA.....	37
3.8 RESERVAS DE MINERALES.....	39

## **CAPITULO IV**

### **EXPLOTACIÓN SUBTERRÁNEA**

4.1 GENERALIDADES .....	41
4.2 DISEÑO DE MINA .....	42
4.2.1 Parámetros .....	42
4.2.2 Desarrollo y preparaciones.....	43
4.2.3 Accesos .....	43
4.3 MÉTODO DE EXPLOTACIÓN SUB LEVEL STOPING .....	45
4.3.1 Orientación de los tajeos .....	49
4.3.2 Ventajas y desventajas del método de explotación .....	50
4.3.3 Consideraciones técnicas.....	50
4.4 OPERACIONES UNITARIAS.....	52
4.4.1 Perforación de la chimenea Slot.....	52
4.4.2 Voladura del Slot .....	53
4.4.3 Esquema perforación para chimenea VCR .....	53

4.4.3.1 Ejecución del Slot del tajeo .....	53
4.4.3.2 Voladura del Slot para el tajeo .....	57
4.4.3.3 Fragmentación del mineral.....	57
4.4.4 Limpieza, carguío y transporté .....	58
4.5 RECUPERACIÓN EN LA EXPLOTACIÓN .....	60
4.6 DILUCIÓN EN EXPLOTACIÓN .....	61

## **CAPITULO V**

### **RELLENO EN PASTA PARA ESTABILIZAR LABORES SUBTERRÁNEAS**

5.1 INTRODUCCIÓN .....	63
5.2 RELLENO EN PASTA .....	64
5.2.1 Generalidades .....	64
5.2.2 Relleno en minería.....	66
5.2.3 Clasificación de la masa rocosa .....	66
5.2.4 Red de distribución del relleno en pasta mina .....	69
5.2.5 Relleno y preparación en pasta .....	73
5.2.6 Proceso de relleno en pasta .....	73
5.2.6.1 Parámetros de relleno .....	75
5.2.6.2 Distribución de relave.....	75
5.2.6.3 Características del relave.....	77
5.2.6.4 Cono de distribución del relleno .....	77

5.3 ESTABILIZACIÓN DE LABORES SUBTERRÁNEAS.....	80
5.3.1 Dimensionamiento de tajeos .....	80
5.3.2 Exposición del relleno en explotación de tajos .....	82
5.3.3 Labores por relleno en pasta .....	85
5.3.4 Plataforma de trabajo .....	87
5.3.5 Resistencia a la licuefacción.....	88
5.3.6 Control de calidad del relleno .....	88
5.3.7 Verificación de las características del relleno .....	88
5.3.8 Control del slump.....	89
5.3.9 Estabilidad de los tajeos .....	93

## **CAPITULO VI**

### **HIPÓTESIS**

6.1 Hipótesis General .....	95
6.2 Sistema de Variables .....	95
6.2.1 Variable independiente .....	96
6.2.2 Variable dependiente .....	98
6.3 Prueba de hipótesis .....	100
CONCLUSIONES .....	110
RECOMENDACIONES .....	112
BIBLIOGRAFÍA .....	113
ANEXO .....	115

## CUADROS:

Cuadro N° 1.1: Materiales de relleno. ....	12
Cuadro N° 1.2: Variables de estudio.....	21
Cuadro N° 3.1: Reservas y recursos diciembre 2015. ....	40
Cuadro N° 4.1: Parámetros del sub level stoping. ....	42
Cuadro N° 4.2: Parámetros de perforación.....	52
Cuadro N° 4.3: Parámetros de voladura .....	53
Cuadro N° 4.4: Recuperación de mineral por Sub Level Stoping. ....	61
Cuadro N° 4.5: Dilución del mineral por Sub Level Stoping.....	62
Cuadro N° 5.1: Criterio para la clasificación de la masa rocosa. ....	67
Cuadro N° 5.2: Criterio para la clasificación de la masa .....	68
Cuadro N° 5.3: Resumen de la clasificación geotécnica de la masa rocosa ..	69
Cuadro N° 5.4: Datos de relleno. ....	75
Cuadro N° 5.5: Balance metalúrgico y producción.....	76
Cuadro N° 5.6: Datos de slump. ....	78
Cuadro N° 5.7: Datos de slump. ....	78
Cuadro N° 5.8: Valores del slump.....	79
Cuadro N° 5.9: Dimensiones máximas recomendadas .....	81
Cuadro N° 5.10: Resistencia crítica y diseño para relleno .....	83
Cuadro N° 5.11: Resistencia crítica. ....	86

Cuadro N° 5.12: Resistencia versus edad de tajeos.....	91
Cuadro N° 6.1: Parámetros de relleno.....	97
Cuadro N° 6.2: Slump.....	98
Cuadro N° 6.3: Dimensiones máximas de tajeos.....	98
Cuadro N° 6.4: Datos para la prueba de hipótesis.....	102

### **PLANOS:**

Plano N° 2.1: Plano de ubicación de la UM Cerro Lindo.....	25
Plano N° 3.1: Geología regional de la UM Cerro Lindo.....	31
Plano N° 3.2: Geología local de la UM Cerro Lindo.....	34
Plano N° 3.3: Plano de zoneamiento de la UM Cerro Lindo.....	36
Plano N° 4.1: Vista isométrica de la UM Cerro Lindo.....	44
Plano N° 4.2: Vista isométrica de tajeos de la UM Cerro Lindo.....	47
Plano N° 5.1: Red de distribución de relleno en pasta .....	71

### **FIGURAS:**

Figura N° 1.1: Modelo de fallas de Mitchell.....	13
Figura N° 1.2: Modelo de fallas de Mitchell.....	13
Figura N° 1.3: Diseño de sostenimiento en labores subterráneas .....	14
Figura N° 1.4: Flujograma de investigación .....	15
Figura N° 4.1.: Vista isométrica de la secuencia de minado .....	48
Figura N° 4.2: Diseño de perforación.....	56

Figura N° 5.1: Bloque relleno durante el minado .....	83
Figura N° 5.2: Galería de acceso a través de relleno .....	85

### **GRÁFICOS:**

Gráfico N° 5.1: Distancia horizontal y pérdida de fricción .....	79
Gráfico N° 5.2: Exposición del relleno.....	84
Gráfico N° 5.3: Resistencia y altura de relleno .....	86
Gráfico N° 5.4: Resistencia y altura de relleno de los tajeos .....	91
Gráfico N° 5.5: Uso de cemento, relleno y costo en el tiempo.....	92
Gráfico N° 5.6: estabilidad de tajos de la Mina Cerro Lindo.....	93
Gráfico N° 1.2: M .....	13
Gráfico N° 1.2: M .....	13

### **FOTOGRAFÍAS:**

Foto N° 2.1: Exploraciones 2001 .....	28
Foto N° 5.1: Tubería de la salida de bomba .....	72
Foto N° 5.2: Tubería de relleno interior mina .....	72
Foto N° 5.3: Bomba centrífuga .....	74
Foto N° 5.4: Pastel de filtro se descarga a la faja .....	75
Foto N° 5.5: Pesaje para el slump .....	89
Foto N° 5.6: Determinación del slump .....	90
Foto N° 5.7: Muestras diversas para análisis.....	90



## **CAPITULO I**

### **ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La Unidad Minera Cerro Lindo de la Compañía Minera Milpo, en su afán de ofrecer productividad y a la vez seguridad emplea un sistema de relleno en los tajeos de producción para el sostenimiento de las mismas, con la necesidad de lograr la estabilidad en corto tiempo tanto del macizo rocoso como del cuerpo mineralizado, estabilidad afectada por la presencia de numerosas discontinuidades, rocas de mala calidad y explotación de la masa mineralizada; asimismo, de aprovechar de los relaves mineros que va servir como material de relleno en pasta en las labores de minado.

La Unidad Minera Cerro Lindo, cuenta con una serie de procedimientos relacionado a las labores de explotación que consiste en depositar los relaves espesados en el interior de la mina subterránea, es decir que son rellenos en forma de pasta utilizando tecnologías para incrementar la estabilidad y evitar posibilidad de deslizamiento e infiltraciones, esta manera garantizar la estabilidad de las aberturas subterráneas, controlar la dilución durante la explotación del mineral y evitar los accidentes especialmente por las caídas de rocas; motivo por el cual se presenta el siguiente estudio de investigación: “ESTABILIZACIÓN CON RELLENO EN PASTA DE LOS TAJEOS EN LA UNIDAD MINERA CERRO LINDO COMPAÑÍA MINERA MILPO S.A.”.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

La Unidad Minera Cerro Lindo de la Compañía Minera Milpo, explota principalmente minerales de cobre a gran escala, donde es necesario para la extracción del mineral tener un conjunto de consideraciones que garantice la seguridad de acuerdo a los modelos geológicos, geomecánico y de relleno que garantice una extracción óptima del mineral.

### **1.2.1 Problema Principal**

¿El sistema de relleno en pasta influye en la estabilización de las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.?

### **1.2.2 Problemas Específicos**

- a) ¿De qué manera la dosificación del relleno en pasta influye en la estabilización de las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.?
- b) ¿En qué medida la resistencia a la compresión del relleno en pasta influye en la estabilización de las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.?
- c) ¿El rendimiento del relleno en pasta incide en la estabilización de las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.?

## **1.3 FORMULACIÓN DE OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo Principal**

Determinar si el sistema de relleno en pasta influye significativamente en la estabilización de las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- a) Comprobar que la dosificación del relleno en pasta influye en la estabilización de las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.?
- b) Demostrar qué efecto tiene la resistencia a la compresión del relleno en pasta en la estabilización de las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.
- c) Probar en qué medida el rendimiento del relleno en pasta influye en la estabilización de las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.

## **1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Mediante el estudio de tesis, se trata de dar una solución al relave minero de la Mina, ya que se va proceder a su reutilización del relave del depósito minero como relleno en pasta en las labores

subterráneas, dado que los problemas de estabilidad en la mina son el resultado de la interacción de los esfuerzos, estructuras y el tipo de roca, provocados por el método de explotación. Las observaciones, monitoreos y ensayos realizados en la mina; permite que la determinación de los procedimientos de relleno es importante para la estabilización de las labores subterráneas.

## **1.5 MARCO TEÓRICO**

### **1.5.1 Marco Referencial**

En el Perú, se conoce casos de minas que presentan problemas de inestabilidad de la masa rocosa y estructuras mineralizadas; varios de los cuales son solucionados con diferentes tipos de relleno en las excavaciones subterráneas, al respecto dentro de los estudios relacionados tenemos:

Cantorín Vílchez Oscar (2014), Ingeniero de minas, en su estudio "Relleno en Pasta de la unidad minera San Rafael de Minsur", afirmó: que, es una técnica que permite restablecer la estabilidad del macizo rocoso, rellenando los tajos vacíos para hacer posible la recuperación de pilares y continuar con la explotación en niveles inferiores", quien a su vez aseguró que utilizan los relaves de la planta concentradora como componente principal.

Salas Ricardo. P. (2015), Ingeniero de Minas, en su trabajo de investigación “Relleno en pasta en la minera peruana”, considera: Que el relleno en pasta se originó con la necesidad de ahorrar energía, disminuir costos de producción y contribuir a mejorar las condiciones ecológicas en las minas su aplicación en minería ha venido incrementándose por diferentes requerimientos operacionales y de seguridad, y por la necesidad de eliminar los depósitos de relaves en superficie para preservar el medio ambiente”.

Vallejo Cortes Carlos (2010). Profesor Asociado UNI-FIGMM. Consultor y Asesor de Geología Aplicada a obras de Ingeniería Civil y Geomecanica. “Curso Práctico de Geomecanica Elemental y Sostenimiento Aplicado a Minas Subterráneas”. Que las propiedades del macizo rocoso dependerán de:

- a) Procesos de formación que las originaron (sedimentarios, ígneos y metamórficos).
- b) Composición petromineralógica (contenido de minerales, texturas, empaques y otros)
- c) Procesos tectónicos que las han afectado (fallamientos, plegamientos e intrusiones ígneas).

d) Procesos de formación, tipos y zonificación del yacimiento (inyecciones hidrotermales, neumatolíticas, reemplazamientos, metasomatismo, disseminaciones y otros)

e) Procesos erosivos actuales (actividad glaciaria, actividad fluvial, aguas subterráneas).

Benítez Mostacero Rogger, Leyva Cercado Yanet (2015), en su estudio de tesis "Medición de las propiedades geoquímicas y mecánicas del pasivo ambiental relave mina paredones para su propuesta de utilización como relleno en pasta para labores mineras subterráneas"; hace referencia al estudio de los parámetros geoquímicos y mecánicos del relave minero que se tiene acumulado en la relavera de la Mina Paredones, para su aplicación como relleno en pasta para labores mineras subterráneas. El estudio se ha enfocado solo en uno de los 8 tipos de rellenos que existen actualmente: el relleno en pasta. Este tipo de relleno es una mezcla de agua con sólidos de alta densidad que contiene abundante partícula fina con un bajo contenido de agua y cemento; se han realizado dos estudios de investigación, estudios geoquímicos y estudios mecánicos.

Vives Ávila Alonso (2016), Universidad de Chile - Departamento de Ingeniería de Minas, en su estudio de tesis: "Evaluación técnica y económica de una mina subterránea utilizando relleno cementado"; Los resultados del estudio

permitieron concluir que en el caso base las reservas son de 3,05 [Mton], con una ley media de cobre de 1,59 [%] y la vida útil de la mina son 7 años, mientras que en el caso en donde se rellenan los caserones las reservas mineras son de 6,68 [Mton], con una ley media de cobre de 1,61 [%] y una vida útil de 11 años. Además, al utilizar relleno cementado se tiene un beneficio medioambiental extra, el que está asociado a la disposición final de relaves en el interior mina como un relleno inerte. Se calculó que el 50,2 [%] del relave producido por la planta se aprovecha como relleno. La evaluación económica de ambos proyectos indicó que son viables, presentando ambos un VAN positivo. Para el caso base el VAN fue de 41,1 [MUS\$] y para el caso en que se usó rellenos cementados se obtuvo un VAN igual a 54,8 [MUS\$], lo que implica un aumento de un 33,3 [%] con respecto al caso base.

E. Hoek, C. Carranza - Torres, B. Corkum, 2002, “El criterio de rotura de Hoek - Brown – edición 2002”, University of Minnesota, Estados Unidos; en el presente artículo el autor desarrolla la teoría de Hoek y Brown explicando el cálculo de los esfuerzos efectivos  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  al momento de rotura, y cálculo de los parámetros de  $m$ ,  $s$ ,  $a$ , a través del uso del índice GSI, una vez determinado estos parámetros se obtiene la resistencia de la compresión uniaxial.

El criterio de rotura de macizos rocosos de Hoek - Brown es ampliamente aceptado y ha sido aplicado en un gran

número de proyectos a nivel mundial. Mientras que, en general el criterio se considera satisfactorio, existen algunas incertidumbres e inexactitudes que han creado inconvenientes en su implementación a modelos numéricos y a programas de computación de equilibrio límite.

Céspedes, J (2012). Relave de alta ley, este artículo publicado en la Universidad Andrés Bello (Chile), se investigó el uso del reciclaje de relave minero, de acuerdo a los estudios mineralógicos y químicos, la presencia de alúmina ( $Al_2O_3$ ), sílice ( $SiO_2$ ) y un activador alcalino tal como hidróxido de sodio ( $NaOH$ ) permiten la creación de geo polímeros; estos son cementos que se caracterizan por presentar resistencia química y térmica, buenas propiedades mecánicas, bajos niveles de emisiones de  $CO_2$  y menores costos de producción, sin embargo se aclara que no existe una sola técnica de reciclaje si no que cada tipo de relave tiene sus propias características, por ellos las técnicas de uso como cemento serán distintas.

### **1.5.2 Bases Teórico Conceptual**

#### **Tipos de relleno**

- Rellenos de roca (rock fills)
- Rellenos hidráulicos (slurry fills)
- Relleno tipo pasta (paste fill)

## **Fundamento teórico**

### **Calidad del relave**

Para determinar el material adecuado a utilizarse como pasta de relave en el relleno hidráulico del relave, se realizan análisis granulométrico de los distintos posibles agregados. Para determinar la calidad óptima del relave para que sea usado como pasta para relleno hidráulico, se realizan las siguientes pruebas:

### **Prueba de análisis:**

#### **Granulométrico**

Este análisis determina la distribución del tamaño de las partículas ó granos que constituyen un material. Esta distribución se analiza en base a su porcentaje de su peso total.

La fracción muy gruesa consiste de fragmentos de relave grueso, con formas angulares, redondeadas o planos.

Pueden ser frescos a mostrar Signos de alteración, resistentes ó deleznales.

Esta fracción recibe el nombre genérico de gruesos. En las fracciones finas y muy finas, cada grano está constituido de un solo mineral. Las partículas pueden tener formas angulares, tubulares, en escamas, pero nunca redondeadas.

#### **Velocidad de sedimentación (prueba del slump)**

Para la realización de esta prueba se utiliza un cono de base menor ó igual a 10 cm, y base mayor ó igual a 20 cm y una altura igual a 30 cm. La prueba del slump consiste en depositar la pulpa dentro de un cono, luego se retira el cono de metal y se mide el cono formado por el material en el momento que se descarga el

relleno; la altura de este cono debe ser de 1" para que se puedan depositar y acomodar en el tajeo.

### **Prueba de velocidad de percolación**

Para determinar la velocidad de percolación se deben realizar pruebas, considerando lo siguiente:

- Relación de mezcla
  
- Peso de aglomerante
  
- Peso de agua
  
- Peso de arena

## CARACTERÍSTICA DE LOS MATERIALES DE RELLENO

Propiedad	Relleno de Roca	Relleno Hidráulico	Relleno tipo Pasta
Estado	Seco	60-73% sólido	65-85% sólido
Sistema de transporte	chimenea, equipo	sondajes, cañerías a través de gravedad	sondajes, cañerías a través de gravedad
Cemento	si y no	si y no	si
razón agua cemento	baja	alta	baja a alta dependiendo de las especificaciones
Velocidad de depositación	100-400 tons/hr	100-200 tons/hr	50-200 tons/hr
Segregación	en la pila se produce reduciendo su resistencia y rigidez	Se produce segregación lo cual induce baja resistencia	no existe segregación
Rigidez	alta si se instala adecuadamente	baja	baja a alta dependiendo de la composición
Contacto con las paredes	difícil	no se puede	fácil para ajustar a paredes

**Cuadro N° 1.1: Materiales de relleno**

- El tamaño máximo y su volumen de material grueso que puede ser transportado sobre la velocidad crítica de transporte.
- El tamaño mínimo y su volumen que permitirá un drenaje adecuado.



## Modelo de Fallas de Mitchell 1983

- Falla por tracción o corte

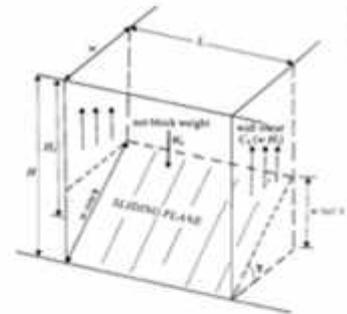
$$\alpha = 45 + \frac{\phi}{2}$$

- Peso neto de la cuña a fallar (La cohesión de las paredes induce una resistencia al corte)

$$W_n = nH_j(L - 2a)$$

- Factor de seguridad a la formación de una cuña en el piso del relleno:

$$FS = \frac{\tan(\phi)}{\tan(\alpha)} + \frac{cL}{N_j(L - 2a)}$$



Catedra: Colección de Tecnología Minera  
M/ 55B: Diseño de Minas Subterráneas

Instructor: Enrique Rubio

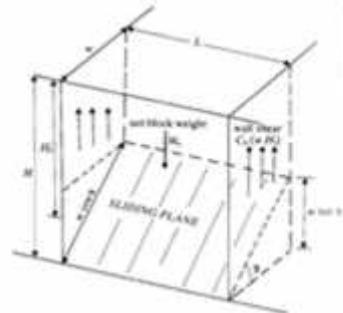
Figura N° 1.1: Modelo de Fallas de Mitchell



## Modelo de Fallas de Mitchell 1983

- UCS crítico del material de relleno para su sostenimiento

$$UCS = \frac{\gamma H}{(1 + H/L)}$$



Catedra: Colección de Tecnología Minera  
M/ 55B: Diseño de Minas Subterráneas

Instructor: Enrique Rubio

Figura N° 1.2: Modelo de Fallas de Mitchell

El sistema de valoración del macizo rocoso, RMR (Rock Mass Rating), también conocido como **Clasificación geomecánica**, fue desarrollado por Bieniawski y considera cinco parámetros básicos.

- Resistencia de la roca intacta.
- Designación de la calidad de la roca (RQD).
- Espaciamiento de discontinuidades.
- Estado de las discontinuidades.
- Condiciones de agua subterránea.

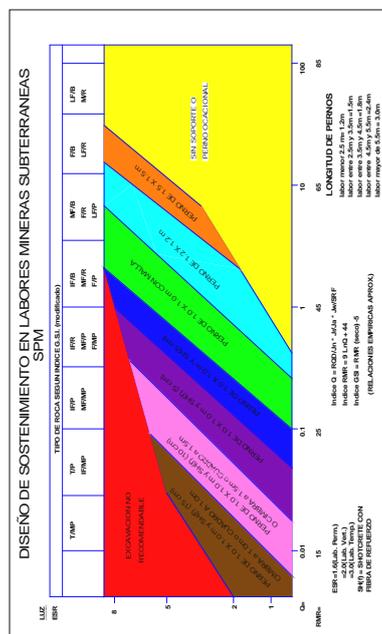


Figura N° 1.3: Diseño de Sostenimiento en Labores Subterráneas

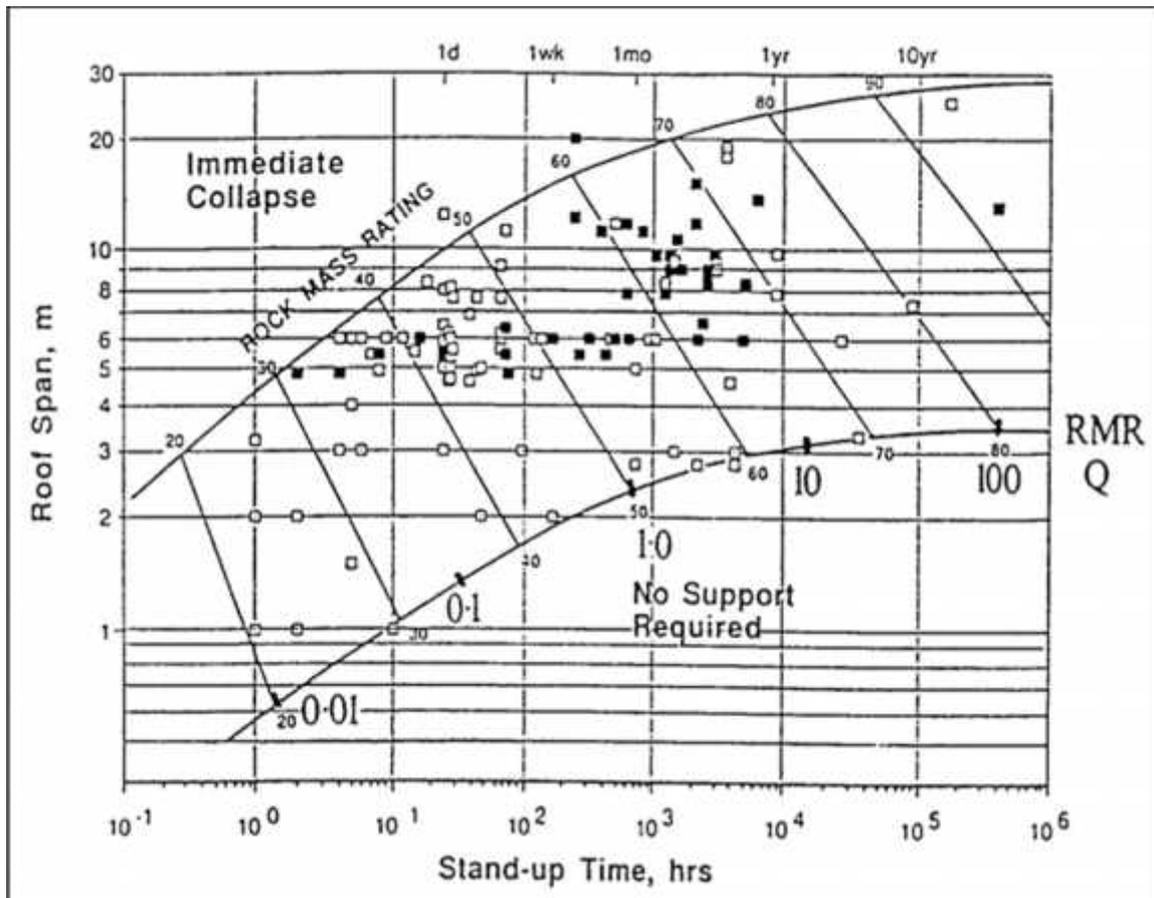


Figura N° 1.4: Flujograma de Investigación

### 1.5.3 Marco Conceptual

#### Relleno en pasta

El relleno en pasta es un fluido con alta concentración de sólidos y está compuesto por una mezcla de cemento y escoria metalúrgica molida, para obtener una pasta con valores de resistencia a la compresión. Las cavidades que se originan en la explotación de yacimientos subterráneos de mineral se

comportan como un alto potencial de peligro bajo tierra y en superficie.

### **Relaves mineros**

El relave minero es un conjunto de desechos tóxicos de procesos mineros y concentración de minerales, usualmente constituido por una mezcla de tierra, minerales y agua. Los relaves contienen altas concentraciones de químicos y elementos que alteran el medio ambiente, por lo que deben ser transportados y almacenados en «tanques o pozas de relaves» donde lentamente los contaminantes se van decantando en el fondo y el agua es recuperada o evaporada. El material queda dispuesto como un depósito estratificado de materiales sólidos finos. El manejo de relaves es una operación clave en la recuperación de agua y para evitar filtraciones hacia el suelo y capas subterráneas, ya que su almacenamiento es su única opción.

### **Propiedades físicas de los relaves**

El comportamiento de los relaves mineros está determinado por sus propiedades físicas y también por la naturaleza del depósito. La depositación de los relaves mineros puede dar lugar a dos clases fundamentales de material: arenas depositadas mediante mecanismos hidráulicos y limos depositados mediante procesos de sedimentación.

### **Granulometría**

Los residuos mineros tienen como característica principal el tamaño de las partículas sólidas porque va a determinar sus posibilidades de aprovechamiento y recuperación. La granulometría va a depender de los procesos mineralógicos empleados para concentrar o extraer los minerales.

### **Peso específico**

Generalmente los relaves mineros están saturados, es decir todo el volumen de vacíos entre partículas sólidas están ocupados por el medio acuoso, por lo que de esta forma, podemos hablar de la proporción de sólidos respecto a la mezcla total y que se denomina concentración.

### **Permeabilidad**

Un material se considera permeable cuando está situado entre otros menos permeables que él, por lo que podemos decir que todos los materiales son más o menos permeables. En este sentido podemos afirmar que el agua filtra a través de todos los materiales, con la única diferencia de la magnitud o intensidad. Aquí hablamos es del grado de permeabilidad de cada material, que va a depender de la amplitud de los huecos o vacíos continuos que existan entre sus partículas.

## **Concreto**

El concreto es una mezcla homogénea de pasta y materiales inertes que tiene la propiedad de endurecer con el tiempo adquiriendo su resistencia a compresión máxima a los de 28 días. La pasta es una combinación de cemento y agua, en determinadas propiedades, en la que se produce una reacción química que libera calor en el proceso de mezclado e incorpora aire naturalmente (en una proporción del 1% al 2%). Esta pasta constituye el material ligante.

## **Agua**

Si bien es imprescindible la presencia del agua para producir la reacción química del cemento, su exceso durante el proceso de fragüe es perjudicial para la resistencia final del hormigón. Cuando menos agua se incorpora a la mezcla, más resistencia y más impermeabilidad se obtendrá y por lo tanto el hormigón será de más durabilidad. Pero al mismo tiempo, cuanta menos agua se utiliza, menos trabajabilidad tendrá la mezcla, dificultando el proceso de llenado de los encofrados. En cambio, durante el endurecimiento del hormigón, es necesario mantener la presencia de agua para que se siga produciendo la reacción química.

**Meteorización y alteración:**

Denominada también intemperización, está relacionada con la modificación que sufre la superficie de la roca o en sus proximidades, debido a la acción de agentes atmosféricos. El grado de la meteorización dependerá de las condiciones climatológicas, morfológicas y la composición de la masa rocosa.

**Condiciones de la masa rocosa:**

Si la roca intacta es dura o resistente y las discontinuidades tienen propiedades favorables, la masa rocosa será competente y presentará condiciones favorables cuando sea excavada. Si la roca intacta es débil o de baja resistencia y las discontinuidades presentan propiedades desfavorables, la masa rocosa será incompetente y presentará condiciones desfavorables cuando sea excavada. Habrá situaciones intermedias entre los extremos antes mencionados donde la roca tendrá condiciones regulares cuando sea excavada.

Para conocer la masa rocosa, hay necesidad de observar en la

**caracterización de la masa rocosa:**

Techo y las paredes de las labores mineras, las diferentes propiedades de las discontinuidades, para lo cual se debe

primero lavar el techo y las paredes. A partir de estas observaciones se podrán sacar conclusiones sobre las condiciones geomecánica de la masa rocosa.

## **1.6 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

El relleno en pasta estabilizará las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo de la Compañía Minera Milpo S.A.

### **1.6.1 Hipótesis Principal**

El sistema de relleno en pasta influye significativamente en la estabilización de las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.

### **1.6.2 Hipótesis Específicos**

- a) La dosificación del relleno en pasta influye en la estabilización de las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.
- b) La resistencia a la compresión del relleno en pasta influye en la estabilización de las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.
- c) El rendimiento del relleno en pasta influye en la estabilización de las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.

### 1.6.3 Variables

Se consideran las siguientes variables:

**Variable independiente:**

Sistema de relleno en pasta.

**Variable dependiente:**

Estabilización de labores subterráneas.

**Variable Interviniente:**

Continuación de las operaciones mineras en la extracción del mineral Unidad Minera Cerro Lindo.

### 1.6.4 Operacionalización de variables

Variables	Indicadores
<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b></p> <p>Sistema de relleno en pasta.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La dosificación del relleno en pasta (X1)</li> <li>▪ La resistencia a la compresión del relleno en pasta (X2)</li> <li>▪ El rendimiento del relleno en pasta (X3)</li> </ul>
<p><b>VARIABLE DEPENDIENTE.-</b></p> <p>Estabilización de labores subterráneas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La resistencia a la compresión del macizo rocoso(Y1)</li> <li>▪ La reducción del impacto ambiental de sus operaciones (Y2).</li> </ul>

**Cuadro N° 1.2: Variables del estudio**

## 1.7 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

### **Tipo y nivel de investigación**

Por la forma como se planteó el objetivo, se considera una Investigación tipo Aplicada. Conforme a los propósitos y naturaleza del estudio, la investigación está ubicada en el nivel descriptivo simple.

### **Método General**

Por las características de los datos recopilados se utilizara un diseño Descriptivo, recopilando datos primarios del trabajo en campo.

## 1.8 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de la Investigación que le corresponde al estudio de investigación es del tipo transeccional, porque la investigación que se realiza es observar fenómenos y analizarlos en su entorno tal como se lleva a cabo; asimismo, no hay forma de influir sobre el yacimiento sino adaptarnos a su naturaleza.

## 1.9 POBLACIÓN Y MUESTRA

**Población (N).**- Unidad Minera Cerro Lindo – Compañía Minera Milpo.

**Muestra(n).**- Labores subterráneas donde se emplea el relleno con pasta, para su estabilización.

#### **1.10 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

La técnica que se empleara en la presente será la técnica de campo, ya que esta técnica permite la observación en contacto directo con el objeto de estudio, donde utilizarán:

- Cuaderno de notas y dispositivos mecánicos (fotografías).
- PLANOS: Entre los planos que se utilizaran tenemos: Plano de labores, Plano Geológico, Plano Geomecanico y de relleno en pasta.
- CUADROS DE TRABAJO: Se realizarán mediante monitoreo de puntos de convergencias.

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

La recolección de datos se hará mediante el empleo de formatos, encuestas, revisión de documentos. Se revisará sistemáticamente toda la información recopilada a efectos de determinar su calidad y el grado de confianza y se someterá a un análisis.

## **CAPITULO II**

### **GENERALIDADES**

#### **2.1 UBICACIÓN Y ACCESO**

Cerro Lindo se encuentra localizado en el Departamento de Ica, Provincia de Chincha, Distrito de Chavín, Paraje de Huapunga, al sureste de Lima; exactamente en la quebrada de Topara límite Chincha (Ica) y Cañete (Lima), está ubicado en la carta Geológica IGN 27-L y se encuentra a una altitud entre 1800 y 2,200 m. s.n.m. Ver Plano de ubicación N° 2.1.

El acceso desde Lima es por la Carretera Panamericana Sur hasta Chincha y una carretera afirmada interna (260 Km).

La propiedad minera cubre un área de 20,640 ha, donde se encuentran los cuerpos mineralizados. Los mejores valores de barita y zinc están asociados con barita localizada en las partes superiores, que muestra sulfuros bandeados.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**  
**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**  
**UNIDAD MINERA CERRO LINDO**  
**PLANO DE UBICACION**

DIBUJO: Roy Castañeda Ramirez

Plano No.

Fecha: Julio 2017

Escala:

S/E

1.1

**Plano N° 2.1: Plano de Ubicación de la Unidad Minera Cerro Lindo**

## **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 GEOMORFOLOGÍA**

Se presenta tres unidades geomorfológicas; 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

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. Luego es como sigue:

- 1967-1984: BTX – Descubrimiento de Cerro Lindo, Geofísica, 101 metros de galería.
- 1,987-1,988: MILPO – Topografía, construcción tramo inicial de acceso.
- 1,992-1,995: MILPO – 3,157 metros de labores mineras → OB-4, OB-2 y OB-1.
- 1,996-1,997: PHELPS DODGE - 6,725m DDH. Estudio geofísico Electromagnético.
- 1,999: MILPO - 4,879m DDH, 168 metros de galería → Descubrimiento del Cuerpo OB-5.
- 2,000-2001: MILPO – 23,507m DDH, 1,197 metros de labores mineras → Recursos justifican Estudio de Factibilidad.
- 2002-2005: MILPO – Estudio Factibilidad y Revisión del Estudio de Factibilidad.
- 2006: Inicio construcción Mina
- 2007: Inicio de Producción → UM CL MILPO

La Unidad Minera Cerro Lindo inició sus operaciones el 2007 con una producción mina y planta de 5,000 t/d utilizando el método de explotación Sub Level Stoping (SLS); sin embargo, con el paso de los años tanto la mina como la planta fueron repotenciadas para llegar a producir 10,000 t/d y finalmente a la fecha del inicio del

estudio se encuentre procesando minerales con contenidos de Zn, Cu, Pb y Ag en aproximadamente 12,000 a 15,000 t/d entre enero y junio del presente año. En esta última fase se requiere mejorar y optimizar los procesos operativos para lograr el tonelaje de producción a un ritmo de 15,000 t/d de manera homogénea y sostenida.; actualmente con una producción de 18,000 t/d.

## Vista general



Foto N° 2.1: Exploraciones 2001

## **CAPITULO III**

### **GEOLOGIA**

#### **3.1 GEOLOGÍA REGIONAL**

Las rocas intrusivas del Batolito de la Costa, de edad Cretácica, constituidas principalmente por granodioritas, rodean las unidades volcánicas sedimentarias. Existen otros afloramientos, más antiguos y de mucha menor dimensión. Finalmente existe gran cantidad de diques instruyendo las secuencias volcánicas sedimentarias, como pórfido andesítico, esta última corta incluso al intrusivo granodiorítico.

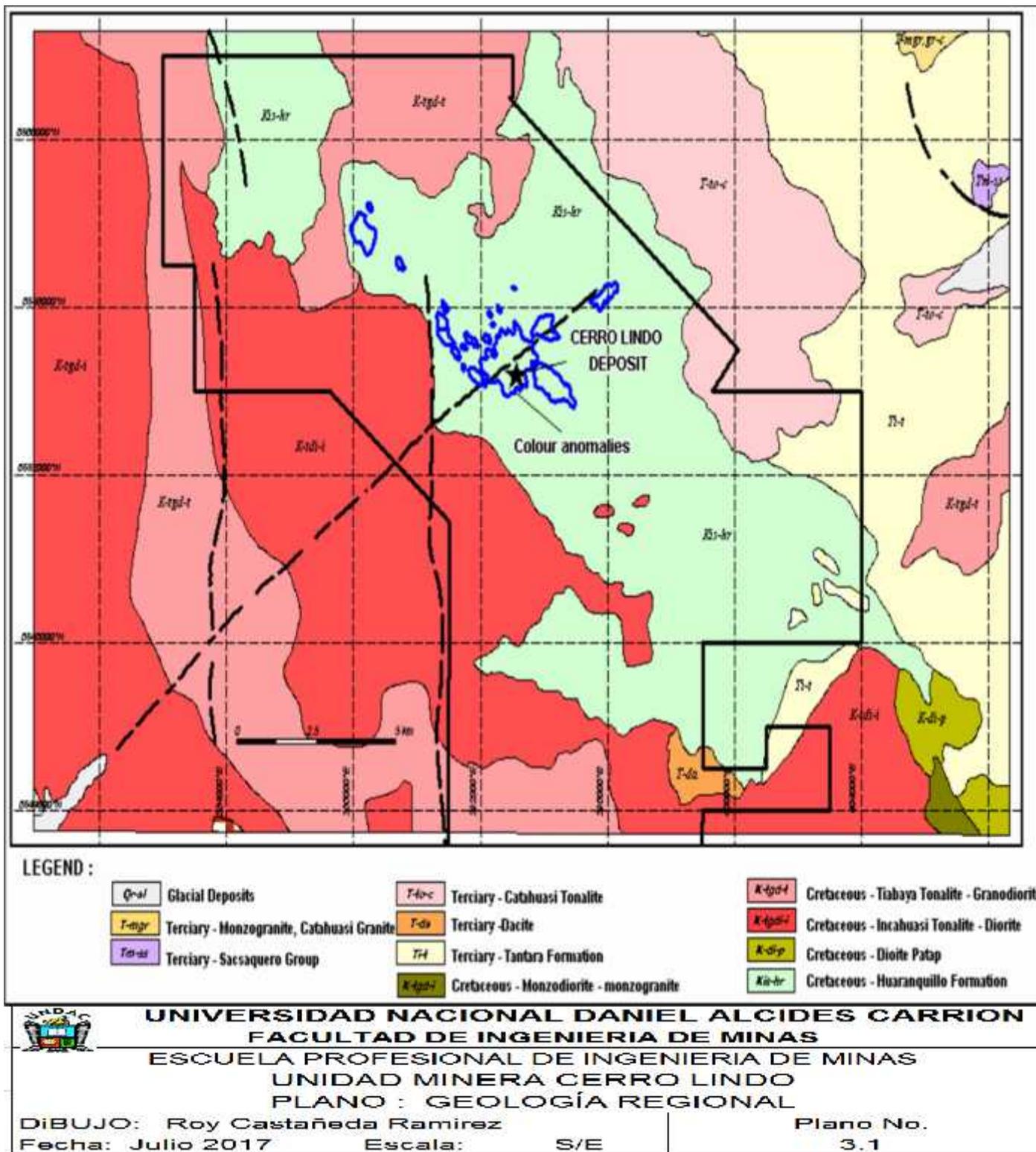
El depósito de Cerro Lindo pertenece al Grupo Casma del Cretácico (Albiano), este grupo aflora en la parte Occidental del Perú, generalmente en toda la costa del Perú, regionalmente el Grupo Casma es una serie volcánica – sedimentaria, ocupando una cuenca marginal ensialica abortada.

El yacimiento se encuentra en el grupo Casma que, 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 Plano 3.1. La Formación Huaranguillo perteneciente al Grupo Casma tiene un rumbo general de N60W y buza preferencialmente al SW.

### **3.2 ESTRATIGRAFÍA**

La estratigrafía que aflora en el área regional se relaciona con la serie volcánica sedimentaria y las intrusiones del Batolito de la Costa, el cual se describe a continuación desde el más antiguo al más reciente.

**Formación Huaranguillo (Kms-hr).**- Su localidad típica se ubica en la quebrada y paraje de Huaranguillo, al noreste de la hacienda Lunche del río San Juan. De edad Albiano Medio a Senomaniano (Cretáceo Medio). Está conformado por dos miembros: el Miembro Inferior, que presenta una litología integrada por lutitas pizarrosas, tufos y horizontes andesíticos, y el Miembro Superior, integrado por calizas, lutitas pizarrosas y rocas volcánicas (Salazar y Landa 1993).



Plano N° 3.1: Geología Regional de la Unidad Minera Cerro Lindo

**Formación Tantaré (Ti-t).**- Está conformada por una secuencia volcánica que yace en discordancia angular sobre formaciones mesozoicas e infrayace en aparente concordancia a la secuencia volcánica Sacsaquero. Su mejor exposición se encuentra en el pueblo del mismo nombre, ubicado en el curso superior del río San Juan. La litología de esta formación geológica está conformada por derrames andesíticos, riodacíticos, dacíticos, de coloración gris a pardo violáceo, con texturas porfiríticas a afaníticas, también se encuentran delgados horizontes limolíticos.

**Grupo Sacsaquero (Tm-ss).** Esta secuencia está integrada por rocas volcánicas-sedimentarias, constituidas por derrames andesíticos intercalados por tobas soldadas e intercalaciones de areniscas, limoarcilitas y calizas. Yace en concordancia con la formación Tantaré y su mejor exposición se encuentra en el área de Sacsaqueros-Quishuarpampa.

**Rocas Intrusivas.**- Estas rocas pertenecen al Batolito de la Costa, de edad Cretácico Superior a Terciario, fueron emplazadas sobre un periodo de 64, El batolito de la 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 volcánicas sedimentarias, los más comunes son los diques andesíticos

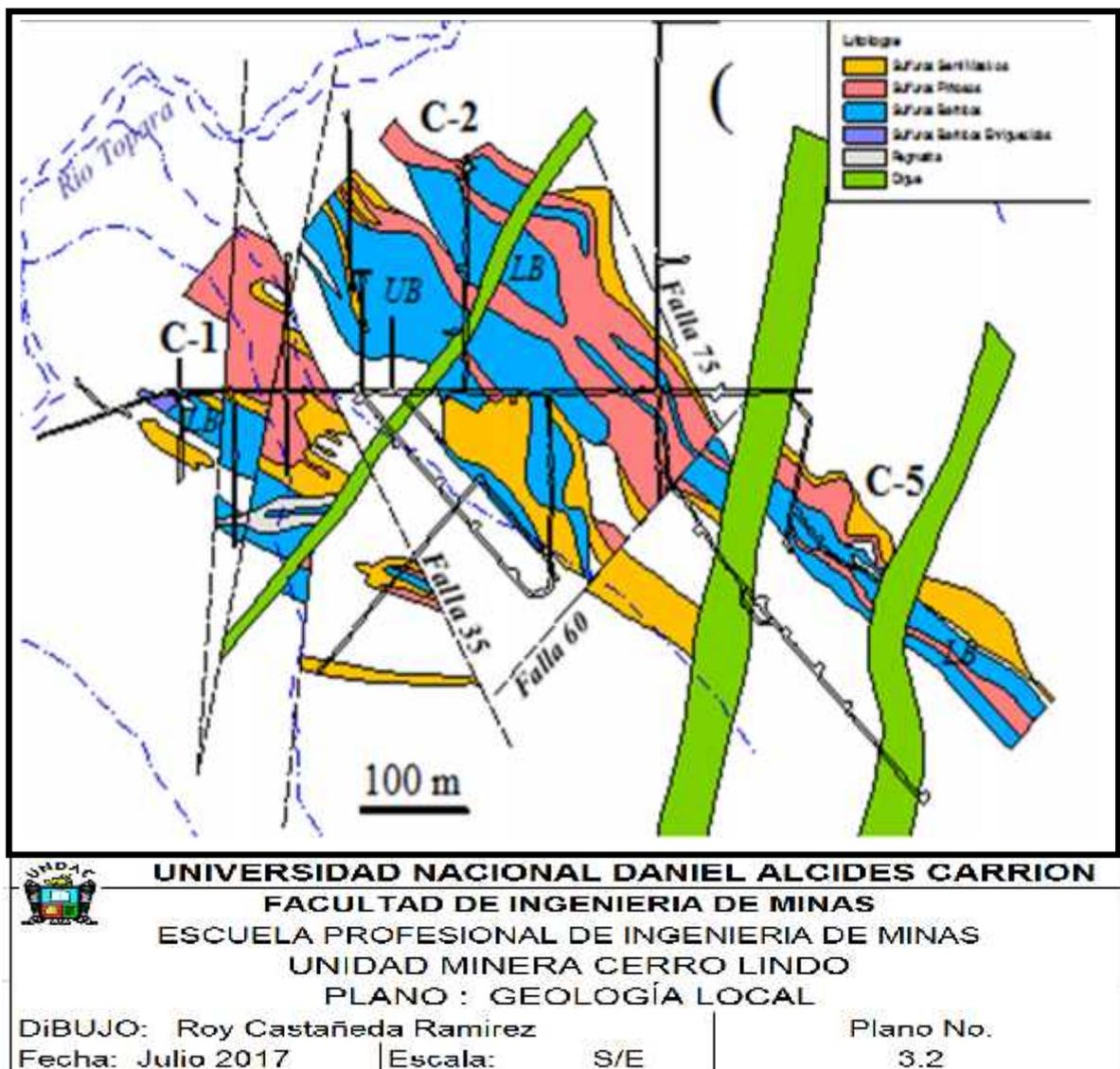
porfiriticos que son los que aprovechan las zonas de discontinuidades como las grandes fallas e instruyen como separadores del cuerpo mineralizado.

### **3.3 GEOLOGÍA LOCAL**

El yacimiento Cerro Lindo se ubica en rocas volcánicas de composición félsica, tanto en su caja piso y su caja techo está conformada por rocas de tipo riolíticas gradando a riodacitas, las cuales presentan una coloración blanca grisácea con tonalidades rosadas, azulinas a verduscas. El fuerte metamorfismo ha producido texturas granoblásticas y porfidoblásticas. El ensamble mineralógico consiste en cuarzo, feldespato, biotita, sericita, andalucita y pirita. Ver Plano 3.2.

### **3.4 GEOLOGIA ESTRUCTURAL**

El macizo rocoso presenta plegamientos y bloques estructurales limitados por fallas. Durante la evolución del depósito de mineralización de sulfuro masivo, la formación sufrió fuerte plegamiento y fallamiento, lo que generó grandes bloques, donde se depositaron los sulfuros masivos. Se han reconocido tres grandes estructuras de este graben, las que han desarrollado tres sistemas de fallas regionales con características muy determinantes.



### Plano N° 3.2: Geología Local de la Unidad Minera Cerro Lindo

El primer sistema de fallas regionales tiene orientación NW, es la más antigua, anterior a la depositación de los sulfuros masivos, que originó la forma del paleo relieve y creó un ambiente propicio en el cual se depositaron los sulfuros masivos.

El segundo sistema de fallas regionales tiene orientación NE, estas permitieron el paso de la mineralización, la depositación y condicionaron la cantidad de sulfuro depositado. En estas estructuras actualmente se han emplazado diques andesíticos porfiríticos recientes.

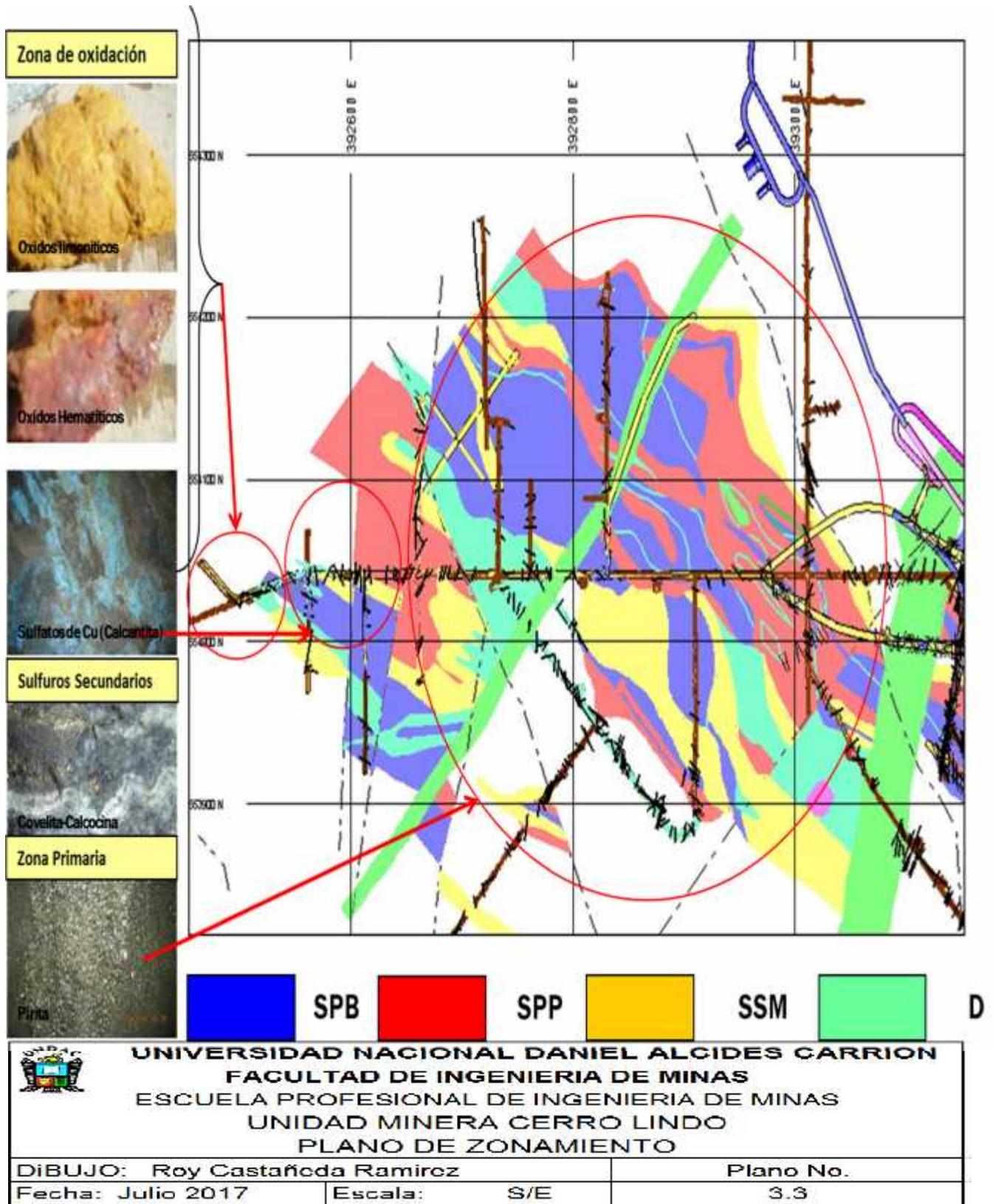
El tercer sistema de fallas regionales, tiene orientación NS, estas fallas son inversas, que se originaron posteriores a la depositación de la mineralización. Este sistema de fallas desplaza el OB1. En el OB5 también existen diques y fallas NS pero con desplazamiento moderado.

### 3.5 ZONEAMIENTO

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 (Plano N° 3.3). 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. Ver Plano N° 3.3



Plano N° 3.3: Plano de Zoneamiento de la Unidad Minera Cerro Lindo

### **3.6 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.

### **3.7 GEOLOGÍA ECONÓMICA**

Genéticamente el yacimiento Cerro Lindo es un depósito de sulfuro masivo vulcanogénico (VMS Volcanogenic Massive Sulphide). Presenta una orientación NW, buzando al SW con 65° de promedio, mide aproximadamente 1,350 m de largo, 83 m de ancho y 245 m de profundidad. Este yacimiento presenta en la actualidad

siete cuerpos mineralizados denominados Ore Body 1, Ore Body 2, Ore Body 3, Ore body 4, Ore Body 5, Ore Body 6 y Ore Body 7, además de pequeños cuerpos satélites. En el presente estudio están involucrados el Ore Body 1, Ore Body 2, Ore Body 5 y Ore Body 6.

Estos tipos de depósitos han sido relacionados al modelo Kuroko, basado en la similitud de su formación, edad y la presencia de la baritina. El yacimiento está conformado por cuerpos lenticulares y apilados de sulfuros, definiéndose tres tipos de sulfuros masivos y uno semi-masivo, así tenemos:

**El Sulfuro Masivo Barítico (SPB-Zn)**, se presenta en forma bandeada, rico en zinc, plomo y plata, contiene más del 50% de los sulfuros totales, incluyendo la baritina. Presenta una mineralización consistente en esfalerita, calcopirita, galena, galena argentífera, de textura granular gruesa y bandeada.

**Sulfuro Masivo Barítico rico en cobre (Cu-SPB)**, presenta una mineralización de baritina, pirita, pirrotita, calcopirita y marmatita, en este tipo de sulfuro es menor la pirita que en los sulfuros SPB-Zn, tiene una textura homogénea, bandeamiento difuso y escaso en minerales de zinc. Su mineralogía es de mayor temperatura que la SPB-Zn.

**Sulfuro de Pirita Masiva Homogénea (SPP)**, compuesta en su totalidad por pirita, de textura homogénea y granular, con un tamaño

que varía entre muy grueso, grueso a fino y con presencia de menos del 10% de barita y calcopirita intersticial.

**Sulfuro Semi-Masivo (SSM)**, presenta entre 20% y 50% de sulfuros, mayormente pirita estéril en forma de parche, venillas y diseminados, con una granulación fina. Se encuentra en forma de una envoltura alrededor de los sulfuros masivos, donde la piritización en forma diseminada es mayor en la zona de caja piso que en la caja techo.

### 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:

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

**Cuadro N° 3.1: Reservas y Recursos Diciembre 2015 (Cutoff =18.08 US\$/TM)**

## **CAPITULO IV**

### **EXPLOTACIÓN SUBTERRÁNEA**

#### **4.1. GENERALIDADES**

En el presente estudio se dará a conocer la aplicación del método de explotación por sub level stoping o método de minado conocido también como tajeo por sub niveles que se viene empleando en la unidad minera de Cerro Lindo, donde se expondrá los criterios y parámetros técnicos utilizados para la selección del sub level stoping como método de explotación, así como la descripción técnica de cada operación unitaria. En síntesis el objetivo es dar a conocer la aplicación del sub level stoping de las operaciones como método de explotación.

## 4.2 DISEÑO DE MINA

Para la aplicación del sub level stoping como método de minado se hizo los estudios correspondientes determinándose que los parámetros reales del yacimiento están dentro de los parámetros generales de aplicación del sub level stoping; con esta información se optó por emplear dicho método para lo cual se estableció estándares operativos de gestión de seguridad y medio ambiente (cero accidentes y cero vertimientos).

### 4.2.1 Parámetros

El minado por Sub Level Stopping, se aplica cuando el mineral y las rocas encajonantes son competentes, el ángulo de buzamiento es mayor a 60°, generalmente se aplica en yacimientos verticales con formas y dimensiones regulares. En Cerro Lindo los sub niveles son cada 30 metros, los cuerpos se dividen en tajos de 30 metros de alto, 20 metros de ancho y 30 metros de largo (18000m<sup>3</sup> y 81000 TM), se emplea perforación radial positiva y negativa.

#### Parámetros generales de aplicación del sub level stoping.

Parametros	Generales	Cerro Lindo
Buzamiento	60°	65° - 70°
RMR cuerpo mineralizado	60	50 - 60
RQD	60	55 - 62
RMR caja piso	75	60 -70
RMR caja techo	50	45 - 50

**Cuadro N° 4.1: Parámetros del sub level stoping**

## 4.2.2 Desarrollo y preparaciones

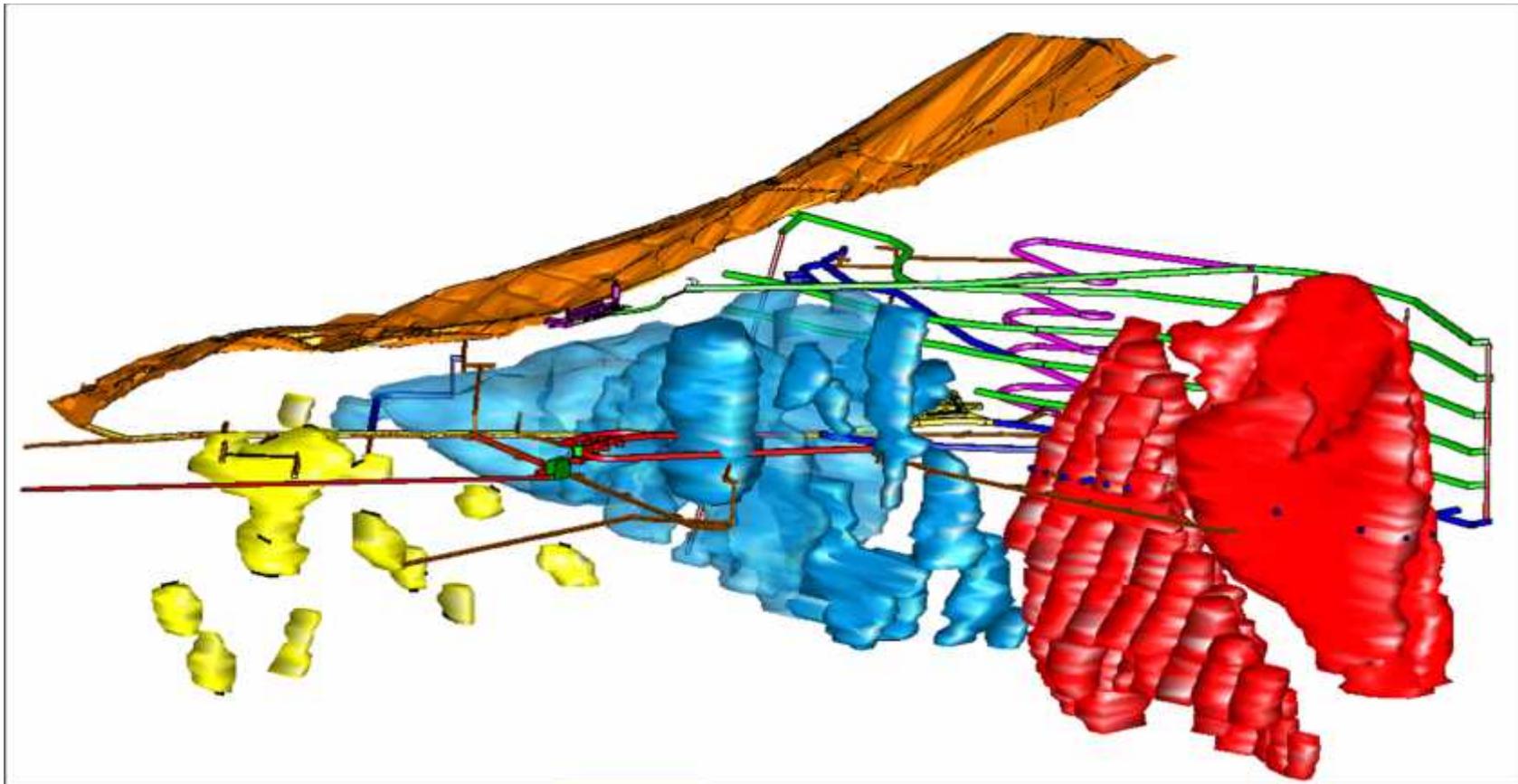
El desarrollo consiste básicamente en accesar mediante rampas de 5m x 4m de sección de forma paralela al eje vertical del cuerpo, a partir de la rampa se desarrolla los subniveles cada 30 metros con 2 % de gradiente positiva, manteniendo la misma sección, estos subniveles o accesos principales son paralelos al eje horizontal del cuerpo y están en la caja piso, a partir del sub nivel cumpliendo con el diseño se inicia la preparación de los cruceros de acceso al cuerpo hasta interceptar la caja techo logrando un mejor reconocimiento del cuerpo mineralizado, a partir de estos cruceros se inicia la preparación de las galerías con una sección de 4.5m x 4.00 m hasta comunicar todos los cruceros de preparación.

Luego en la parte central de la galería se corre los cruceros de 20 metros de longitud por 4.5m por 4m de sección, la misma que servirá para la ejecución del slot para ambos tajos.

## 4.2.3 Accesos

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. Ver Plano N° 4.1: Vista isométrica mina Cerro Lindo.
- 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



**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**  
**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**  
**UNIDAD MINERA CERRO LINDO**  
**PLANO VISTA ISOMÉTRICA**

DIBUJO: Roy Castañeda Ramirez

Plano No.

Fecha: Julio 2017

Escala: S/E

4.1

**Plano N° 4.1: Plano de Vista Isométrica de la Unidad Minera Cerro Lindo**

- 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.

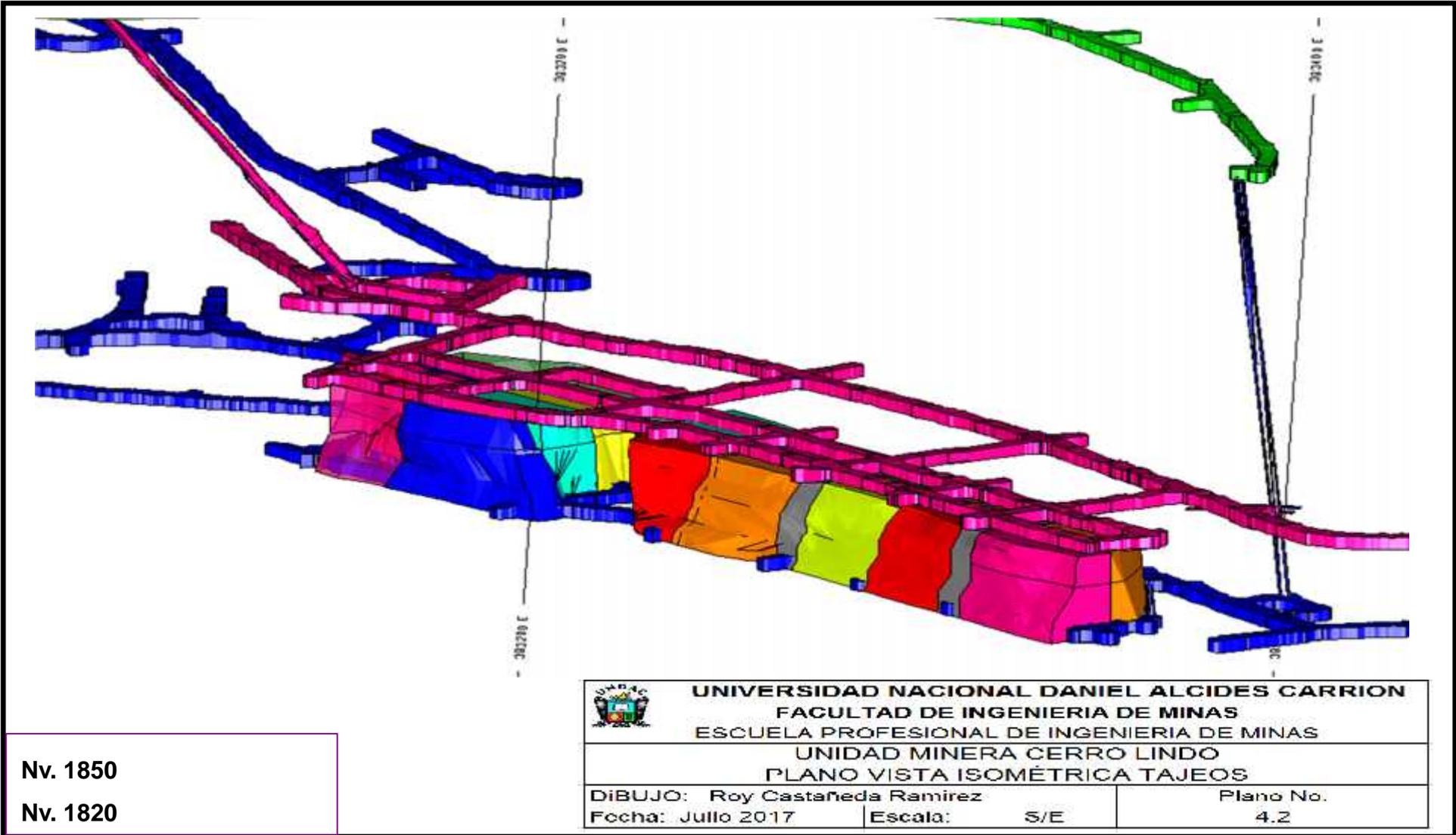
#### **4.3 MÉTODO DE EXPLOTACIÓN SUB LEVEL STOPING (SLS)**

La experiencia acumulada mediante el método de minado Sub Level Stopping en la Unidad Minera Cerro Lindo, desde el inicio de las operaciones hasta la actualidad ha sido positiva, se aprendió variantes, los mismos que han contribuido en mayor aprendizaje y 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 incrementar la producción se continuará utilizando el método de minado Sub Level Stopping y para cumplir con este objetivo se ha logrado adquirir una flota adicional de equipos de última generación como, 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 rellenados 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.

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. Ver Plano N° 4.2 y Figura N°4.1.



Nv. 1850

Nv. 1820



**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**  
**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**  
**UNIDAD MINERA CERRO LINDO**  
**PLANO VISTA ISOMÉTRICA TAJEOS**

DIBUJO: Roy Castañeda Ramirez

Fecha: Julio 2017

Escala: S/E

Plano No.

4.2

**METODO DE MINADO SUB LEVEL STOPING EN UMCL**  
**(Secuencia De Minado «Ascendente Secuencial» )**

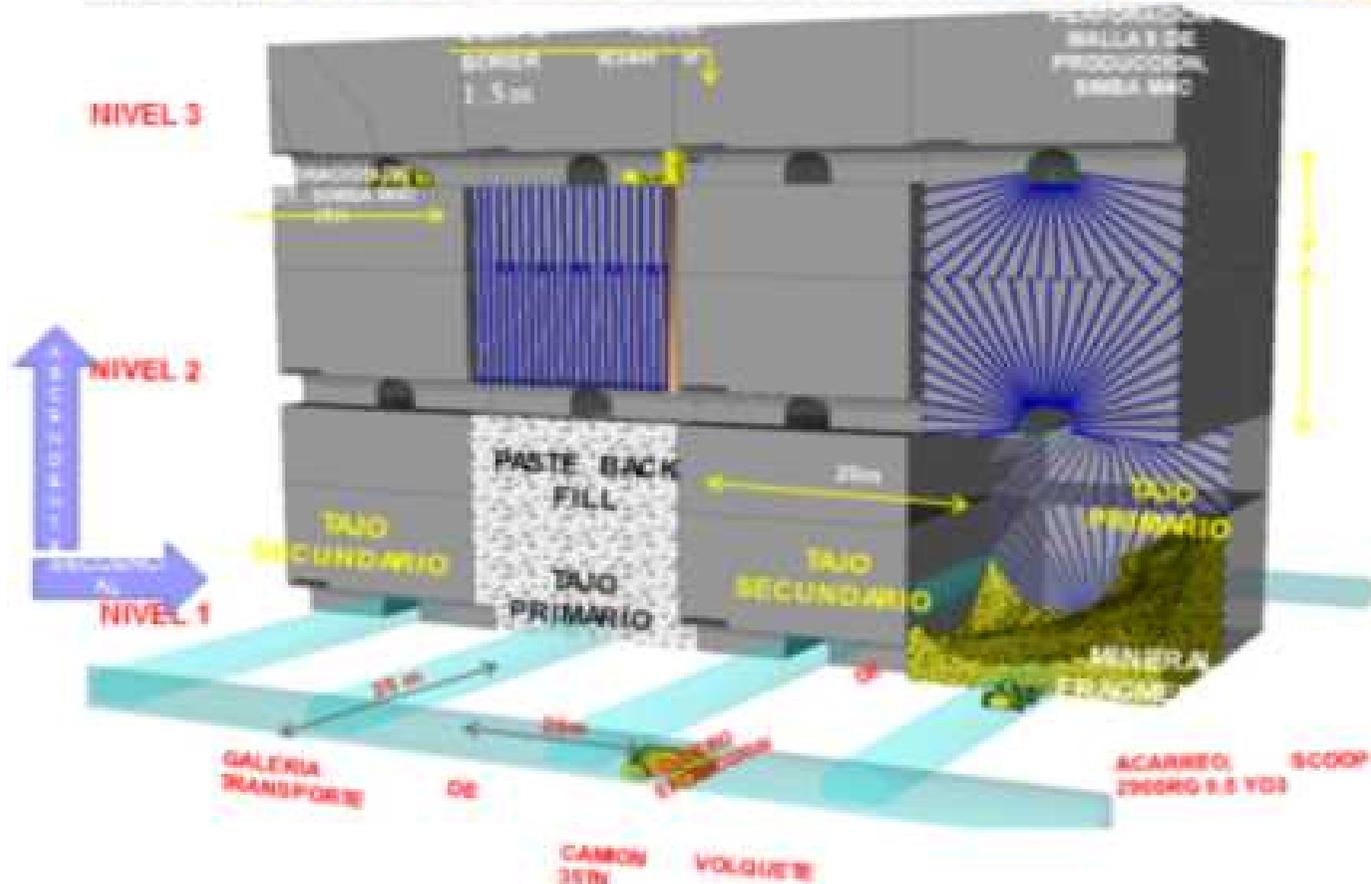


Figura N° 4.1: Vista Isométrica Secuencia de Minado

### 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 favorable.
- 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 Geomecanico 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.

### 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

### 4.3.3 Consideraciones Técnicas

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.

## 4.4 OPERACIONES UNITARIAS

### 4.4.1 Perforación de la chimenea Slot

La perforación se realiza con el Simba y se utiliza los siguientes accesorios de perforación: tubo tack (tubo guía para minimizar la desviación del taladro), barras de 5 pies MF T38, rosca T45, broca de botones T45 de 89mm (3.5 pulgadas, retracles para evitar el atascamiento de la columna), shank T45 para la COP 1838, la longitud 4.4 total de las chimeneas es de 27 metros con una sección de 1.80m x 1.80 m.

Sección m <sup>2</sup>	3.24 (1.8 m x 1.8.m)
Longitud de perforación	27
Metros perforados	405
inclinación	90°
Cantidad de taladros	15
Taladros cargados	11
Taladros vacíos	4
Cantidad de taladros	89

**Cuadro N° 4.2: Parámetros de Perforación**

#### 4.4.2 Voladura del Slot

La voladura se hace por tramos de 4 metros y se utiliza los siguientes accesorios y explosivos, en el cuadro se muestra la cantidad utilizada en un disparo para un avance de 3 metros.

Accesorios y Explosivos	Cantidad
Anfo (Kg)	11.4
Booster HDP 3 (Unid.)	12
Fulminante no eléctrico (25 m.)	12
Cordón detonante 5P (m)	3
Fulminante común (Unid)	2
Mecha lenta (m)	4.26
Mecha rápida (m)	0.2
Avance (m)	4
Factor de potencia (kg/tm)	1.96
Factor de potencia por avance	28.6

**Cuadro N° 4.3: Parámetros de Voladura**

#### 4.4.3 Esquema perforación para chimenea VCR

##### 4.4.3.1 Ejecución del Slot del tajeo

La ejecución del slot consiste en volar un bloque de nivel a nivel cuyas dimensiones y volumen son: 27m x 20m x 2,5m

(1350 m<sup>3</sup> - 6075 TMR), la perforación se realiza con el Simba H - 1254 y / o Raptor DH, iniciándose con la perforación positiva de tal manera que los detritus acumulados se limpien antes de iniciar la perforación negativa, la perforación del slot consiste en perforar taladros paralelos con una malla de 1m x 1m y con tres taladros por fila, en total 17 filas (51 taladros de 10,5 metros por taladro en malla negativa con broca de 76mm y 51 taladros en malla positiva de 17,5 metros. por taladro con broca de 64mm lo que hace un total de 1428 metros perforados), la ejecución de este slot se hace teniendo como cara libre la chimenea slot, para la perforación tanto del slot como para la perforación radial.

**Perforación radial.-** La perforación radial se realiza con el Simba H – 1254 y con el Raptor DH, en ambos casos el procedimiento consiste primero en realizar la perforación radial positiva de todo el tajo, luego se realiza la limpieza de los detritus acumulados con el piso limpio se inicia la perforación radial negativa, cumpliendo este procedimiento se minimiza el trabajo de los disparadores y se ensucia menos los taladros negativos. La perforación radial requiere una gran precisión para lograr una buena voladura, la perforación de cada anillo se realiza según diseño para lo cual el perforista cuenta con el respectivo juego de planos, donde se indica la posición o parada de cada anillo, el equipo con el que se va a perforar ya que los baricentros difieren en cada equipo, el ángulo de perforación, el diámetro de perforación, la longitud del taladro, incluso para facilitar el control al operador se señala la cantidad de barras por cada taladro, también cuando se trata de tajos adyacentes a la caja techo en el diseño se contempla la malla de perforación para la inyección

de cable bolting de 20 metros de longitud por anillo, el sostenimiento con cable bolting se realiza antes de iniciar la voladura de los anillos. La perforación radial positiva se realiza utilizando una malla cuadrada en los extremos del taladro de 2m x 2m con una longitud vertical máxima de 17.5 metros, la broca tiene un diámetro de 64mm ( 2.5"), mientras que la perforación radial negativa se realiza con una malla cuadrada en los extremos de los taladros de 2.20 m x 2.20 m con una longitud vertical máxima de 10.5 metros, con broca de 76 mm ( 3" ). Ver Figura N°4.2: Diseño de perforación.

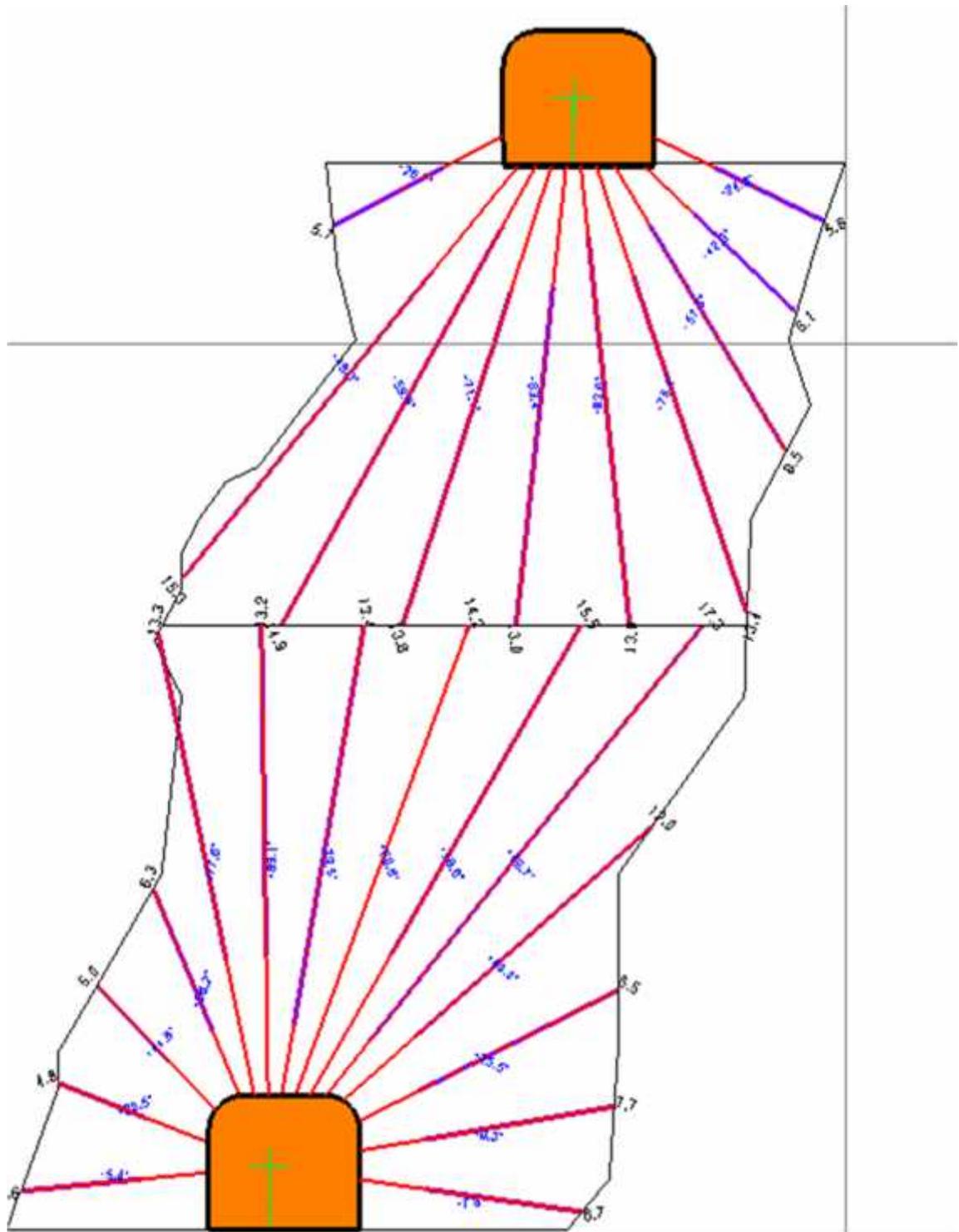


Figura N° 4.2: Diseño de perforación

#### **4.4.3 .2 Voladura del Slot para el tajeo**

La voladura se hace por filas iniciándose por la parte superior y luego por la parte inferior, iniciándose obviamente desde la chimenea slot, la limpieza de mineral es paralela a la voladura hasta tener el espacio libre para continuar disparando, al finalizar la voladura de todo el slot (zanja), se procede a la limpieza total del mineral volado para tener la cara libre vacía e inicia con la voladura de la mallas radiales, en el siguiente cuadro se presenta el material utilizado para la voladura de una malla o fila completa de un slot.

#### **4.4.3.3 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) Fractura miento 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 fractura miento y
- l) Factor humano en el proceso integral.

#### **4.4.4 Limpieza, carguío y transporte**

##### **Limpieza**

Durante el periodo de voladura la limpieza se realiza sin control remoto solamente hasta obtener el espacio suficiente para continuar con la voladura, es más está prohibido la exposición del operador bajo grandes espacios sin un techo seguro, culminado la voladura y cuando ya no es posible la limpieza normal con operador y scoop, en este instante es cuando se utiliza los controles remotos, de manera tal que solo ingresa a los tajos en limpieza solamente el equipo a control remoto operado desde el acceso, por ello una de las grandes bondades del sub level stoping es la seguridad, con este método el minado se hace en retirada y nunca más ingresa el personal hacia el tajo explotado o en explotación.

##### **Carguío**

El carguío se realiza con los Scoops directamente a los volquetes en las cámaras de carguío, donde se tiene cámaras de

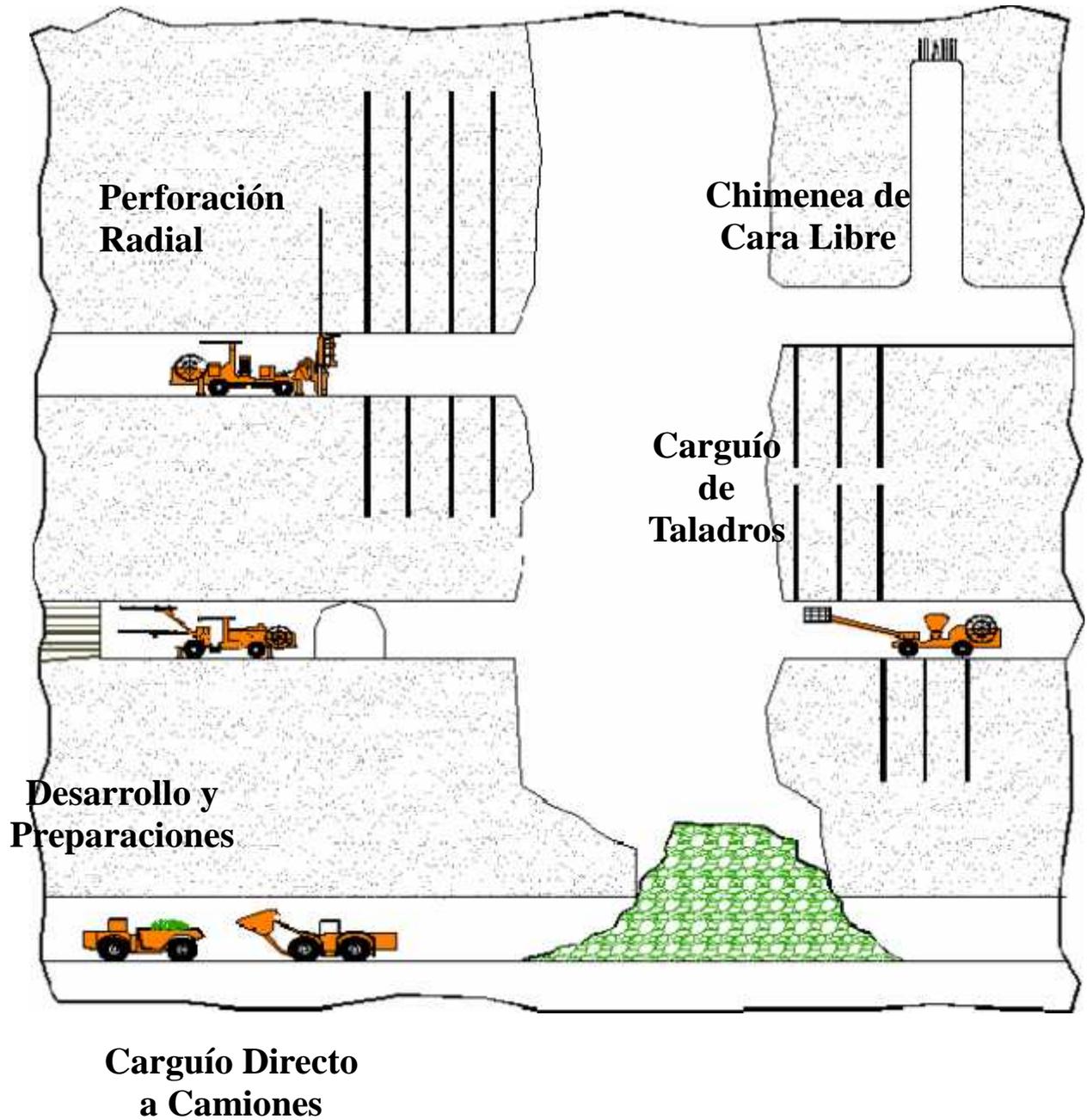
acumulación de mineral lo que permite una mejor utilización de los Scoops y mayor velocidad de carguío y por consiguiente un adecuado rendimiento de los volquetes, el ciclo tiene una alta productividad siendo la producción diaria de 6,000 con una proyección para 10,000 toneladas. Transporte.

### **Transporte**

El transporte se realiza con volquetes y trabajamos con una flota de 6 volquetes 04 volquetes de 40 toneladas y 02 volquetes de 26 toneladas, el ciclo promedio en interior mina desde las cámaras de carguío hacia la parrilla del ore pocket es de 21 minutos, a partir de este punto el mineral ingresa a la chancadora primaria y se transporta por faja en una longitud de 1,600 metros hasta la planta.

El sistema actual de transporte de minera, 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. Ver figura 4.3: Esquema Operación Mina.



**Figura 4.3: Esquema Operación Mina.**

#### 4.5 RECUPERACIÓN EN LA EXPLOTACIÓN

La recuperación de las reservas de mineral en la UMCL utilizando el método de explotación de Sub Level Stopping. Ver cuadro N°4.4.

Cuerpo	% de Recup.	Observaciones
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 (desmonte) al interior de los diferentes block a ser minados.
Total	82.79	Promedio del Yacimiento.

**Cuadro N° 4.4: Recuperación de Mineral por el Método de Minado Sub Level Stopping (SLS)**

#### 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 cuadro N° 4.5.

<b>Cuerpo</b>	<b>% de Dilución</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.

**Cuadro N° 4.5: Dilución del Mineral por el Método de Minado Sub Level Stopping (SLS)**

## **CAPITULO V**

### **RELLENO EN PASTA PARA ESTABILIZAR LABORES SUBTERRÁNEAS**

#### **5.1 INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo, se presenta los resultados del trabajo de investigación; es decir las respuestas al objetivo general y objetivos específicos. Así, se estudia la estabilización con relleno en pasta de las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo; Considerando: (1) la ejecución del relleno en pasta en la mina y (2) la estabilización mediante el relleno en las excavaciones subterráneas. Cuya descripción y análisis es como sigue:

## 5.2 RELLENO EN PASTA

### 5.2.1 Generalidades

La explotación de la mina Cerro Lindo tiene la complejidad propia de una operación con *sub level 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.

Asimismo; en Cerro Lindo el relleno de mina es necesario para proporcionar las tres funciones principales:

- ✓ Ayudar en la recuperación de los tajeos secundarios de grandes dimensiones.

**Proporcionar sostenimiento regional y limitar la subsidencia de superficie.**

**Proporcionar un método de depositación de relaves generadoras de ácido.**

**El número de alternativas de relleno incluye:**

**Roca desgastada cementada, relleno hidráulico y relleno de pasta fueron evaluados durante el estudio de prefactibilidad.**

**Al seleccionar un método de relleno, los costos de capital y de operación del sistema de relleno fueron considerados juntos con el costo del embalse de relaves y costos del cierre de mina a largo plazo.**

**Estudios previos de ingeniería indicaron que el relleno en pasta era la opción de relleno más favorable.**

**El alto costo para almacenar relaves superficiales hace que el relleno en pasta sea más atractivo.**

**El relleno en pasta se refiere a los relaves de molino no clasificados de alta densidad teniendo un asentamiento de 175-255 mm, ya que la densidad es mucho mayor que el relleno hidráulico, las presiones de bombeo son mayores y las bombas de concreto de desplazamiento positivo son necesidades para bombear el relleno.**

**Prueba de laboratorio de mezclas de relleno en pasta fue llevada a cabo por MSD. Esta prueba ha mostrado la densidad en masa de la**

pasta, esta es de 2.92 tn/m<sup>3</sup>, si ninguna roca de desecho fue colocada como relleno subterráneo, aproximadamente el 65% de los relaves podrían ser usados como relleno de pasta.

### **5.2.2 Relleno en minería**

Tipos de relleno más usados en minería:

- a) Relleno hidráulico
- b) Rockfill (relleno rocoso con lechada de cemento).
- c) Paste fill (relave agua cemento)
- d) Concreto (agregados, cemento, agua y relave. Principios de fabricación de concretos).
- e) Relleno detrítico.

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.

### **5.2.3 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 geo mecánicamente a la masa rocosa, se

utilizó el criterio de clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR – Rock Mass Rating o Valoración del Macizo Rocosos – 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 cuadro 5.1.

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

**Cuadro 5.1: Criterio para la clasificación de la masa rocosa**

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 cuadro N° 5.2.

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

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

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 cuadro N° 5.3.

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

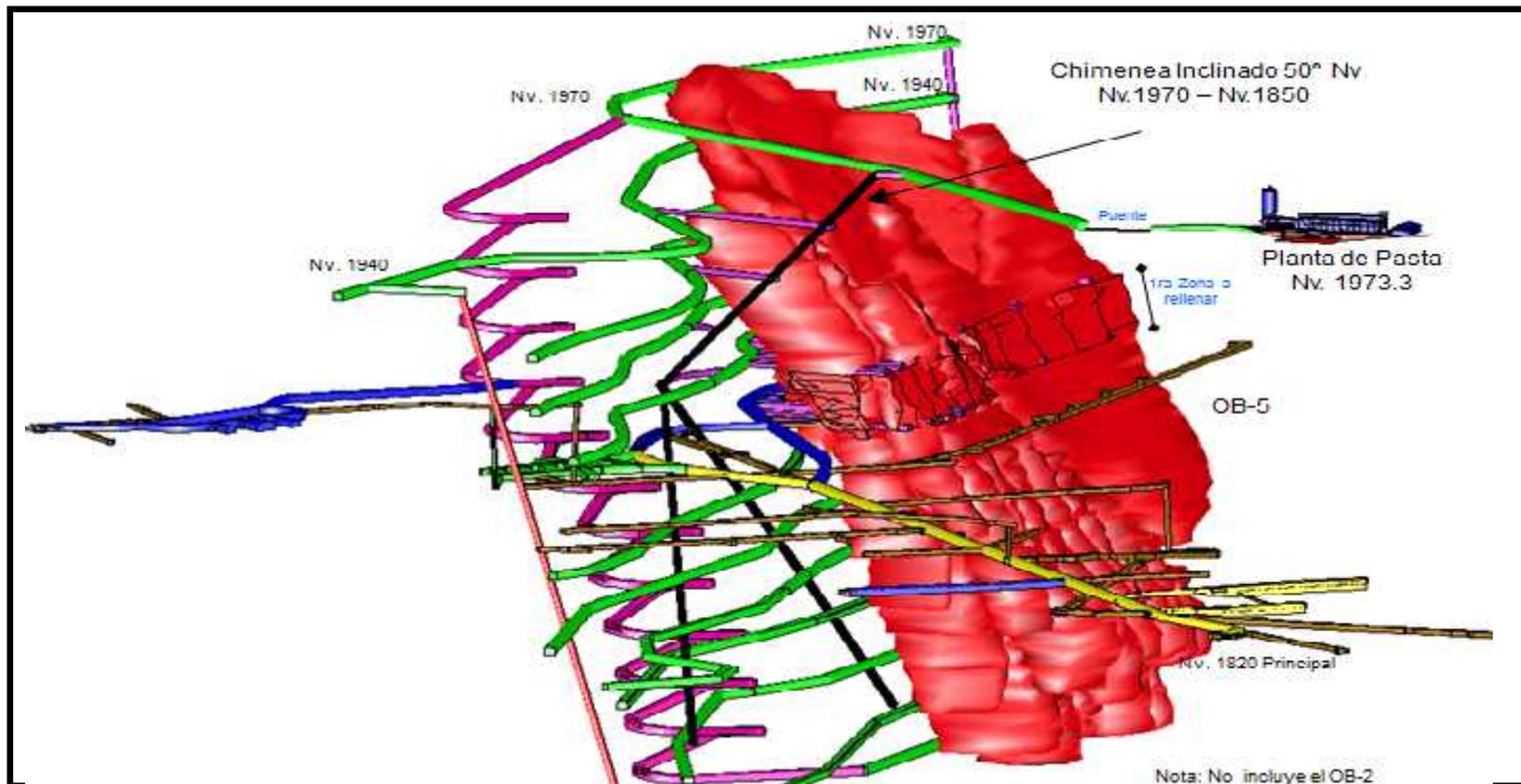
**Cuadro N° 5.3: Resumen de la Clasificación Geotécnica de la Masa Rocosa**

#### 5.2.4 Red de distribución del relleno en pasta mina

De igual manera que el relleno hidráulico la pasta se transporta a través de tuberías de acero de alta presión, por bombas de pistón a velocidades bajas de aproximadamente 2.0 m/s.

La diferencia de clasificación en el relleno en pasta es que se debe clasificar los ultra finos entre el 15% al 18% que sirve como lubricante para su transporte a través de las tuberías y que le da la característica de pasta. Para esto el relave a usar debe presentar una consistencia fina como la arena. Teniendo en cuenta seguir con la norma técnica ASTM C144, donde se establecen los requisitos para los áridos en los morteros. Ver Plano N° 5.1.

Esta propiedad permite que el material se desplace a bajas velocidades. Debido a la consistencia plástica del mortero, esta evita que se sedimente, pero es necesario lavar las tuberías para evitar que el mortero se cimente dejando inservible el sistema de bombeo y tuberías. El empleo del método de minado por sub level stoping con mortero de relave, considera un costo de inversión en equipo equivalente a una planta de concreto simple, y aunque el costo de operación para transporte es bajo, el costo más significativo es el costo del cemento. Gracias a sus propiedades mecánicas presenta bajo grado de abrasión a la tubería que lo transporta. Ver foto N° 5.1 y N° 5.2.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**

**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**

**UNIDAD MINERA CERRO LINDO**

**PLANO: DISTRIBUCIÓN DE RELLENO**

**DIBUJO: Roy Castañeda Ramirez**

**Plano No.**

**Fecha: Julio 2017**

**Escala: S/E**

**5.1**

**Plano N° 5.1: Red de distribución de relleno en pasta Mina Cerro Lindo**



**Foto N° 5.1: Tubería salida de bomba**



**Foto N° 5.2: Tubería de relleno interior Mina**

Las tuberías Sch 40, en material ASTM A53 GrB. Soportan hasta 900 psi, se instalan en los tramos horizontales de niveles intermedios. Las tuberías DR11 en material de HDPE, soportan hasta 160 psi, se instalan en

### 5.2.5 Relleno y preparación en pasta

Pasta es una mezcla de alta densidad de agua (10- 25%) y partículas finas de sólidos tal que la mezcla tiene una consistencia similar a la prueba de caída ASTM.

Preparación de mezclas de pasta

- a) Los relaves procedentes de una planta generalmente se descargan como un lodo diluido.
- b) El exceso del agua se puede recuperar para reciclarla en la operación, mediante un espesador de relave, (siempre demasiado húmedo).
- c) El producto de una filtración debe ser un lodo estable (no exhibe segregación, ni un rápido asentamiento de las partículas gruesas).

### 5.2.6 Proceso de relleno en pasta

Los residuos totales finales del proceso de concentración de los metales, se alimentan a un espesador de 18 metros de diámetro de capacidad alta para aumentar sus porcentajes de sólidos (55% al 60% por peso). Para ayudar la sedimentación se añade floculante; los residuos espesados son enviados por un circuito de gravedad hacia planta de relleno en pasta. En planta de relleno, se receptiona en un Holding tank y mediante una bomba centrífuga se envía el relleno espesado a un filtro tipo

faja, este elimina el agua en forma continua hasta obtener un sólidos de 70% a 82%.

El pastel de filtro se descarga a una faja, que tiene instalado un balanza electrónica que se encuentra enlazado con la balanza de los silos de los cementantes. El pastel del filtro, cementantes y el agua adecuado son enviados a un mixer, para producir una pasta con un slump requerido ( 127 a 254 mm). La pasta mezclado es enviado a una tolva para luego descargarse a los pistones de una bomba de desplazamientos positivos.

La bomba putzmeister de 450 Kw de potencia en el motor hidráulico envía el relleno a las labores en relleno, por medio de una tubería de 8 pulgadas de diámetro. Ver fotos N° 5.3 y N°5.4.



**Foto N° 5.3: Bomba centrífuga**



**Foto N° 5.4: Pastel de filtro se descarga a la faja**

#### 5.2.6.1 Parámetros de relleno

Relave general ( gr/lt)	1,300 (29-30%) sólidos
Espesador (gr/lt)	2,400 (75-78%) sólidos
Filtro Delkor (gr/lt)	2,700 ( 82,5%) sólidos
Promedio (gr/lt)	2,800 (bombeo)
Sólidos en pasta (%)	84,5
Eficiencia Prom. (m <sup>3</sup> /hr)	52 (relleno efectivo)
Slump ( pulgadas)	7,8
Presión Bomba (bares)	120 – 140 (180 máx.)
Presión Tubería (bares)	40 – 50 (80 máx.)
Tubería sch-80 de 8" Ø	840 m. instalado
Costo ( \$ / TM )	2,77

**Cuadro N° 5.4: Datos de relleno**

#### 5.2.6.2 Distribución de relave

Planta de proceso, está tratando actualmente 18,933 tm/día de mineral de cabeza con una ley promedio de 4.85% de zinc, 0.98% de cobre y 0.24% de plomo.

### BALANCE METALÚRGICO

	CABEZA <sup>TM</sup>	CONCENTRADO			RELAVE <sup>TM</sup>
		Cu <sup>TM</sup>	Pb <sup>TM</sup>	Zn <sup>TM</sup>	
<b>MES</b>	338,931.58	10,291.02	859.06	16,627.05	311,154.46
<b>DIA</b>	10,933.28	331.97	27.71	536.36	10,037.24

AÑO	2007	2008	2009	2010	2011	2012
TM -MINERAL PROMEDIO MES	90,774	164,474	200,672	211,202	262,043	291,396
TM -CONCENTRADO PROMEDIO	7,744	15,088	17,950	17,980	22,338	24,332
TM -RELAVE PROMEDIO MES	83,030	149,386	182,722	193,222	239,704	267,063
TM -RELLENO MINA PROMEDIO	0	48,019	80,892	99,142	108,948	123,619
TM -RELAVE CANCHA PROMEDI	83,030	101,367	101,830	94,080	130,757	143,444

**Cuadro N° 5.5: Balance metalúrgico y producción**

### **5.2.6.3 Características de los relaves**

De ensayos de la granulometría y la tasa de consolidación (tasa de liberación del agua contenida) los resultados son los siguientes:

- La granulometría de las muestras recientes Diciembre del 2012, son significativamente más gruesas que aquellas muestras analizadas en el 2006.
- La granulometría y la tasa de liberación de agua contenida en la pasta con muestras recientes son significativamente superior a las del año 2006.
- La granulometría y la tasa de liberación de agua son índices del nivel de estabilidad de la pasta. La alta tasa se debe a una granulometría gruesa en los relaves tratados.

### **5.2.6.4 Cono de distribución del relleno**

La disposición subterráneo para los niveles 1970 – 1680 están asociadas y el plano de demostración sistema de distribución están cubiertos los 11 diferentes niveles.

La estimación de perdida de fricción por la pasta con diferentes slumps es como a continuación se detalla:

Slump (inches)	7	8	9	10
Fricción Factor, kPa/m	12	9	6	4

**Cuadro N° 5.6: Datos de slump**

La distancia de la bomba de la planta de pasta al RB 3 en el nivel 1970 es 300 metros. Esta es una ligera caída (cerca de 3 metros) en elevación de la planta de pasta y el nivel 1970. Como toda la pasta se va enviar a la mina debe estar hasta pasar cualquier o directo a RB 3, la mínima presión de bomba para enviar toda la pasta a la mina indiferente de ubicación es como se detalla:

Slump (inches)	7	8	9	10
Mínimo Presión de bomba, bar	35	26	17	11

**Cuadro N° 5.7: Datos de slump**

Asimismo, se debe considerar la siguiente fórmula, para determinar la altura de caída y distancia horizontal.

$$Lh (m) = ( H - P* H/L) / P/L$$

Dónde:

Lh = Máxima distancia horizontal (m)

P = Peso unitario del relleno (kN/m<sup>3</sup>)

H = Altura de caída (m).

P/L = Perdida por fricción (kpa/m)

Cuyos valores obtenidos en la mina son:

Slump de la Pasta S (pulgadas).	Volumen del relleno por unidad de peso $\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	Altura de caída H (m)	Pérdida por fricción $\Delta P/L$ (KPa/m)	Distancia Horizontal L (m).
7	28.64	140	12	194.08
8	28.64	140	9	305.44
9	28.64	140	6	528.16
10	28.64	140	4	862.24

Cuadro N° 5.8: Valores del slump

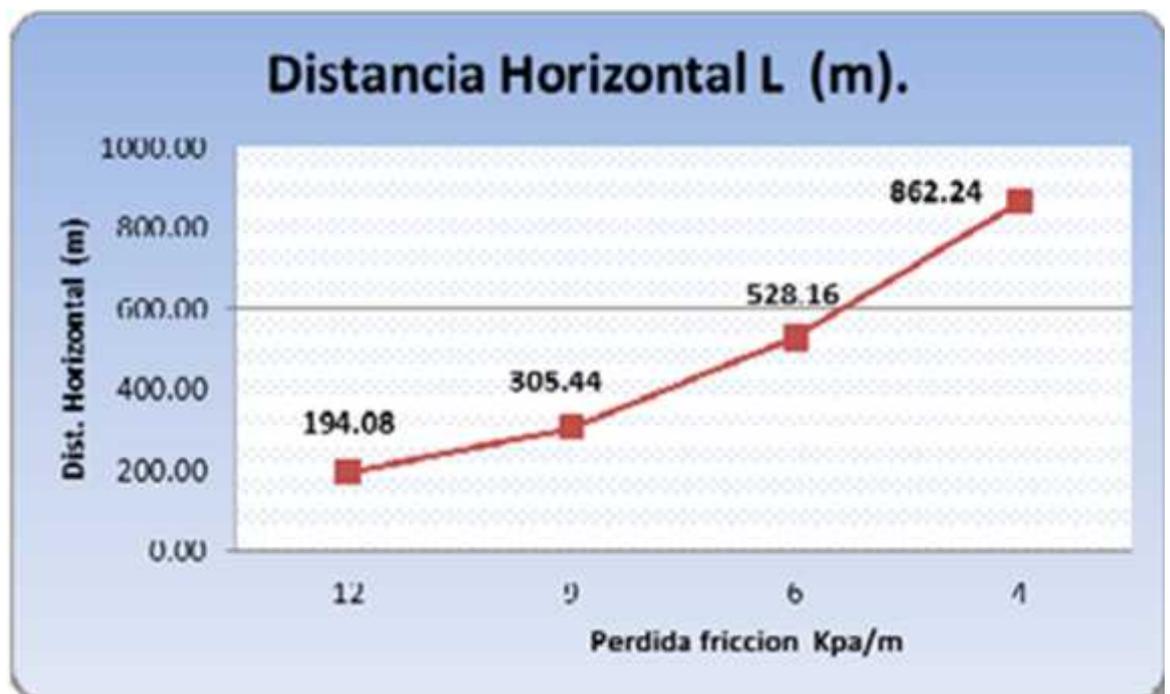


Gráfico 5.1: Distancia horizontal y pérdida de fricción

### **5.3 ESTABILIZACIÓN DE LABORES SUBTERRÁNEAS**

El relleno de los tajos tiene la función de recuperar la estabilidad perdida del macizo rocoso, como producto de la extracción del mineral valioso. De tal manera se mantiene una estabilidad adecuada que permita continuar con la explotación. En el presente estudio se realiza el análisis de estabilización al aprovechamiento de los relaves, producto de los procesos metalúrgicos disminuyendo de esta manera el impacto ambiental generado, así como dar velocidad al ciclo de minado, minimizar los accidentes por exposición en zonas de aberturas " estallido de rocas, reducir costos en la explotación buscando un adecuado sistema de relleno.

#### **5.3.1 Dimensionamiento de tajos**

Se realiza las siguientes afirmaciones referentes al minado de los tajos 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.

Orientación Tajeo	Longitud (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Sostenimiento (m)
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

**Cuadro N°5.9: Dimensiones Máximas Recomendadas para Tajeos Diseñados en el OB-5**

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.

### 5.3.2 Exposición del relleno en explotación de tajos

La resistencia adecuada de relleno será requerida en los tajos de grandes dimensiones para mantener una pared de relleno auto estable en el tajeo primario, mientras el mineral del tajeo secundario adyacente es extraído. La estabilidad de la pared de relleno en pasta puede ser determinada usando ecuaciones desarrolladas desde las pruebas de modelo físicos. Basados en pruebas de modelamiento centrifugas conducidas por Mitchell (1983), la estabilidad puede ser relacionada a la resistencia a la compresión no confinada.

$$UCS = \gamma H / (1 + (H/L))$$

Dónde:

H= Altura con exposición total (m)

L= Longitud con exposición de relleno o ancho de tajeo (m)

Y= Peso unitario de relleno (N/m<sup>3</sup>)

Esta relación esencialmente compara la UCS del relleno de esfuerzo esperado en el fondo de la pared del relleno. El esfuerzo es estimado como el peso del relleno supra yacente reducido por alguna cantidad que depende del grado de arqueamiento del esfuerzo del relleno a las paredes que están a un metro aparte.

Basado en un típico peso unitario de relaves totales de 28600 N/m<sup>3</sup> y una altura de relleno de 30 metros, la UCS crítica es mostrada en el cuadro N° 5.10.

Resistencias de diseño para el relleno son proporcionadas asumiendo un factor de seguridad de 1.5.

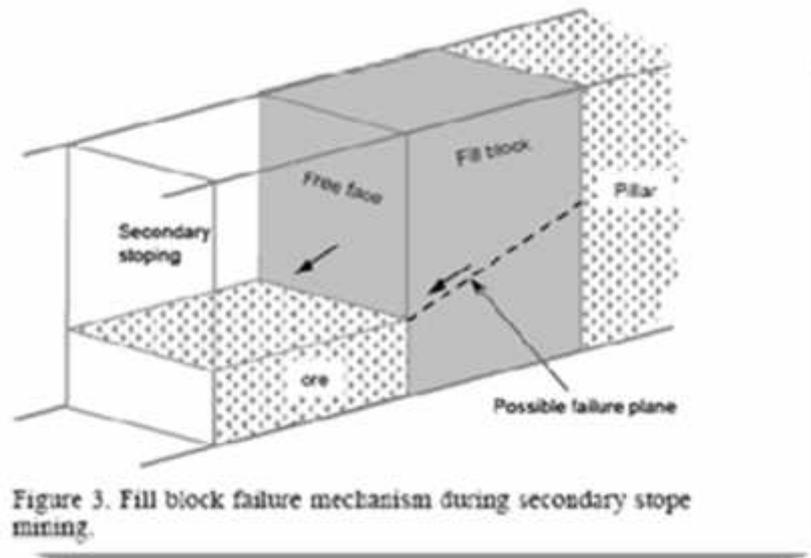


Figura N° 5.1: Bloque relleno durante el minado

Fill Exposure Length (m)	Critical UCS (kPa)	Design UCS (kPa)	Design UCS (MPa)
10	214.77	322.16	0.32
20	343.63	515.45	0.52
30	429.53	644.30	0.64
40	490.89	736.34	0.74

Cuadro N° 5.10: Resistencia crítica y diseño para relleno versus ancho de tajeo.



**Gráfico N° 5.2: Exposición del relleno**

Las resistencias de diseño en el Gráfico 5.2 son apropiadas para relleno en el fondo del tajeo donde los esfuerzos son altos. Se ha definido que el primer vaciado de relleno sea colocado a 3% de cemento por peso, lo cual ha sido mostrado a producir resistencia de relleno de hasta 1 Mpa. El desempeño del relleno se ha monitoreado cercanamente durante el primer año en tanto gradualmente si intenta reducir el contenido de cemento a los valores indicados en el cuadro N° 5.10.

Previsión deberá ser hecha en el diseño de la planta de relleno para variaciones periódicas en el contenido de cemento. En vaciados de tajeo primario, el contenido de cemento disminuirá desde aproximadamente 3% en el fondo a 2% menos hacia la parte superior.

### 5.3.3 Labores por relleno en pasta

Cuando uno requiere cortar una labor de acceso a un nuevo cuerpo mineralizado por el relleno en pasta (Fig. 5.2), es necesario considerar el criterio original de diseño. Este diseño considera una masa para ser expuesto en más de 02 caras contiguamente después de hacer volar pilares adyacentes. El diseño UCS se diseña por la siguiente relación, (Yu 1992).

$$UCS = (\gamma_f H) FS.$$

Dónde:

$\gamma_f$  = Peso unitario del relleno (kN/m<sup>3</sup>). H = Altura total del relleno (m).

FS = Factor de seguridad.

$$UCS_{design} = (\gamma_f H_f) FS \quad (16)$$

where  $\gamma_f$  = fill bulk unit weight (kN/m<sup>3</sup>);  $H_f$  = total fill height (m);  $FS$  = factor of safety.

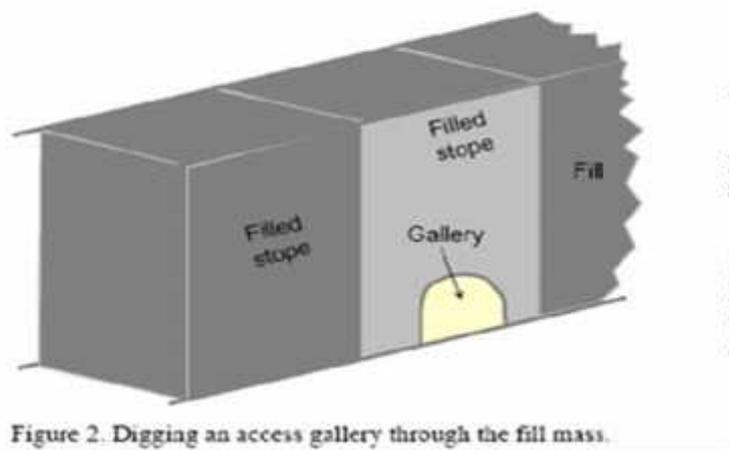


Figura N° 5.2: Galería de acceso a través de relleno

Volumen del relleno por unidad de peso $\gamma$ (N/m <sup>3</sup> )	Peso total del relleno H (m)	Factor de seguridad FS	Design UCS (MPa)
28635.42	25	1.5	1.07
28635.42	30	1.5	1.29
28635.42	35	1.5	1.50
28635.42	40	1.5	1.72

Cuadro N° 5.11: Resistencia crítica.



Gráfico N° 5.3: Resistencia y altura de relleno

Como se indica a mayor altura de exposición de la abertura se va incrementando los valores de UCS del relleno.

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.

#### **5.3.4 Plataforma de trabajo**

La capacidad portante del piso del relleno asumiendo que el desencontrado sea llevado por una CAT S1600 LHD y que no haya roca protectora cubierta colocada sobre el. Usando el Angulo de fricción y cohesión determinados de la prueba de laboratorio, el relleno de pasta cementada colocada en tajos primarios muestra tener adecuada capacidad portante. Sin embargo el bajo ángulo de fricción y alta cohesión no son típicos de otros rellenos de pasta cementada como MSD y es posible que la cohesión sea mucho menor. Aunque la capacidad portante calculada será adecuada para cohesión de 50 – 100 Kpa, se ha determinado que la pasta sea vaciada dentro de 1 a 3 pies de elevación al piso y luego nivelada con roca de desecho (como MSD también recomienda) , según el tráfico gradualmente debilitara el relleno, produciendo baches.

### **5.3.5 Resistencia a la licuefacción**

A diferencia del relleno hidráulico que drena y desarrolla alguna resistencia aun sin cemento, el agua no se drena del relleno de pasta cementada. Un pequeño contenido de aglomerante es requerido para evitar la licuefacción de relleno de pasta durante la voladura o un evento sísmico natural. Por lo tanto todos los tajeos secundarios requerirán aproximadamente 1.5% o menos cemento por peso.

### **5.3.6 Control de calidad del relleno**

Cada componente ejecuta un papel importante para el transporte del relleno en pasta, en su entrega y el desarrollo de su fortaleza. Los contenidos típicos a inicios fue de 5% de cemento en peso y después de varios diseños hemos optimizado en 3% de cemento portland tipo 1.

### **5.3.7 Verificación de las características del relleno**

Con el empleo de la balanza Marcy, se toma densidades, gravedad específica, porcentaje de solidos de la muestra en tiempo real, esto con la finalidad de tener una idea de las características del relleno.



**Foto N° 5.5: Pesaje para el slump**

### **5.3.8 Control del slump**

De igual modo es importante conocer el slump y tener control del mismo para el envío de la pasta a la labor en relleno, teniendo en cuenta la ubicación de acuerdo al cono de distribución del relleno. Estos controles se realizan en interior mina para certificar el envío adecuado de relleno en pasta.

Se saca muestras de la pasta en el punto de caída del relleno, estas muestras permanecen cerca al tajo en relleno, para su posterior ensayo a rotura para determinar su resistencia a la compresión uniaxial.



**Foto N° 5.6: Determinación del slump**



**Foto N° 5.7: Muestras diversas para análisis**

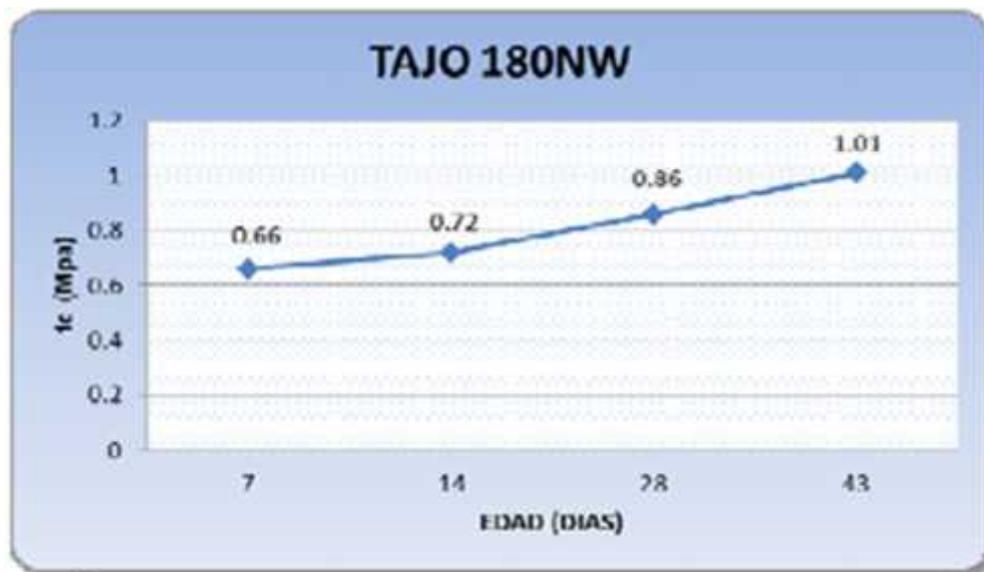


Gráfico N° 5.4: Resistencia y altura de relleno

LABOR	EDAD Dias	fc Mpa
Tj 180NW	7	0.66
Tj 180NW	14	0.72
Tj 180NW	28	0.86
Tj 180NW	43	1.01

Cuadro N° 5.12: Resistencia Vs edad de tajeos.

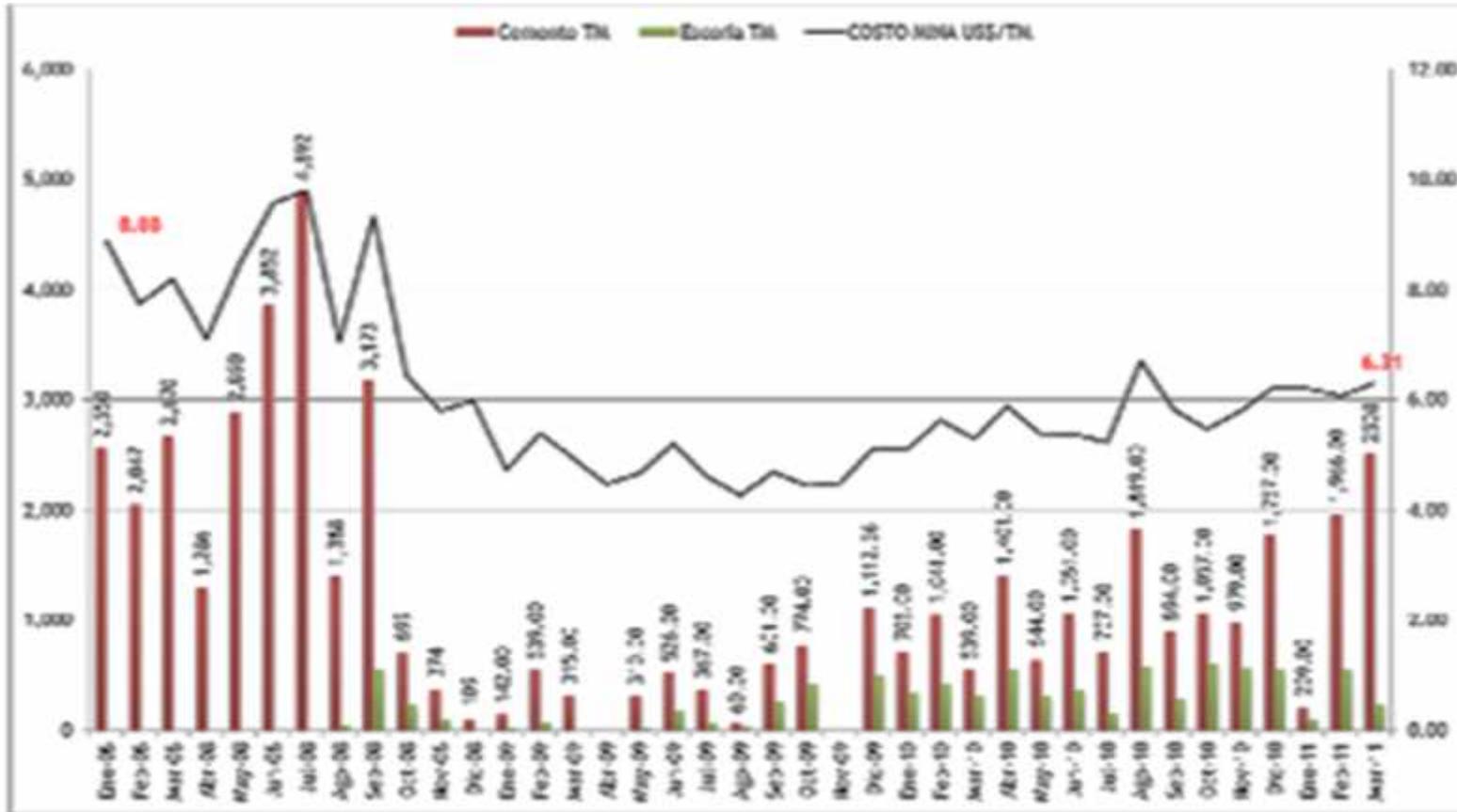
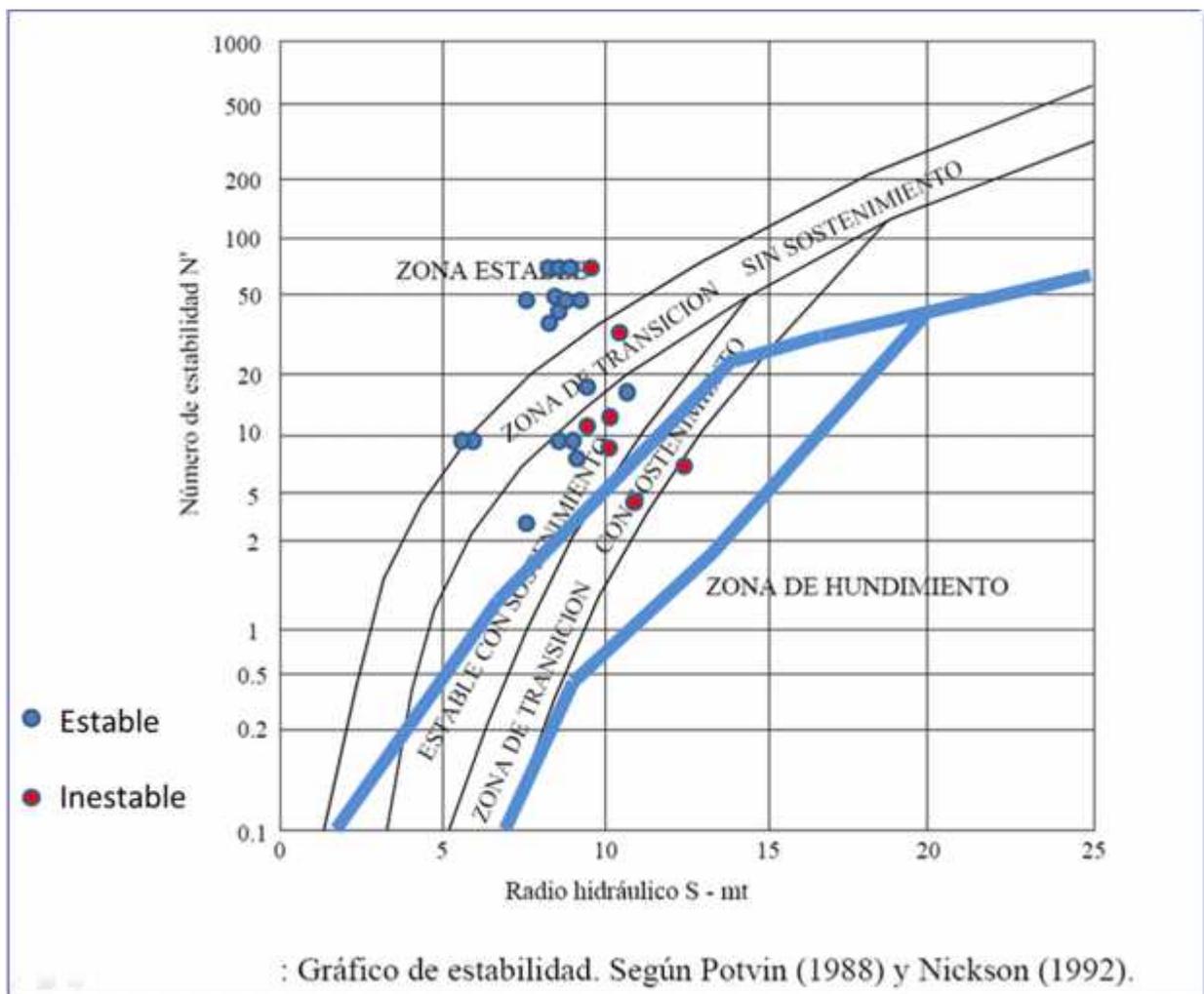


Grafico N°5.5: Uso de cemento, relleno y costo en el tiempo

### 5.3.9 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°5.5 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°. 5.6: Estabilidad de tajeos mina cerro lindo**

A la fecha según los informes de Geomecanica 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 parámetros de diseño de los tajeos a ser implementados.

## **CAPITULO VI**

### **HIPOTESIS**

Para realizar la prueba de hipótesis en un estudio de investigación, es necesario considerar, la hipótesis y su relación con las variables planteadas.

#### **6.1 HIPOTESIS GENERAL:**

El sistema de relleno en pasta influye significativamente en la estabilización de las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.

#### **6.2 SISTEMA DE VARIABLES**

En nuestro estudio se consideraron las variables:

En el capítulo V, se realizó la descripción y análisis de la aplicación de relleno en pasta en la Unidad Minera de Cerro Lindo; donde se consideró que, en Cerro Lindo el relleno de mina es importante para proporcionar tres funciones: (1) proporcionar sostenimiento regional y limitar la subsidencia de superficie. (2) ayudar en la recuperación de los tajeos secundarios de grandes dimensiones. (3) proporcionar un método de depositación de relaves generadoras de ácido.

### **6.2.1 Variable independiente:**

#### **Sistema de relleno en pasta**

Al realizar la explotación por Sub Level Stopping se identificó el concepto fundamental para la explotación de Cerro Lindo, con énfasis en la importancia de los esfuerzos inducidos, 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. Por esta razón se hace uso del relleno en pasta.

El relleno en pasta se refiere a los relaves de molino no clasificados de alta densidad, la prueba de laboratorio de mezclas de relleno en pasta fue llevada a cabo por MSD. Esta prueba ha mostrado la densidad en masa de la pasta, esta es de  $2.92 \text{ tn/m}^3$ , entonces aproximadamente el 65% de los relaves podrán ser usados como relleno de pasta.

Asimismo, el proceso de relleno en pasta, es como sigue:

La preparación de mezclas de pasta, provienen de los relaves procedentes de una planta, que descargan como un lodo diluido y exceso del agua se recupera para reciclarla en la operación, mediante un espesador de relave; donde el producto debe ser un lodo estable (no exhibe segregación, ni un rápido asentamiento de las partículas gruesas.

Cuyos parámetros de relleno son:

Relave general ( gr/lt)	1,300 (29-30%) sólidos
Espesador (gr/lt)	2,400 (75-78%) sólidos
Filtro Delkor (gr/lt)	2,700 ( 82,5%) sólidos
Promedio (gr/lt)	2,800 (bombeo)
Sólidos en pasta (%)	84,5
Eficiencia Prom. (m <sup>3</sup> /hr)	52 (relleno efectivo)
Slump ( pulgadas)	7,8
Presión Bomba (bares)	120 – 140 (180 máx.)
Presión Tubería (bares)	40 – 50 (80 máx.)
Tubería sch-80 de 8" Ø	840 m. instalado
Costo ( \$ / TM )	2,77

**Cuadro N° 6.1: Parámetros del relleno**

En el presente estudio, también se consideró la estimación de pérdida de fricción por la pasta con diferentes slumps es como a continuación se detalla:

Slump (inches)	7	8	9	10
Fricción Factor, kPa/m	12	9	6	4

**Cuadro N° 6.2: Slump**

### 6.2.2 Variable Dependiente:

#### Estabilización de labores subterráneas.

El relleno de los tajos tiene la función de recuperar la estabilidad perdida del macizo rocoso, como producto de la extracción del mineral valioso. De tal manera se mantiene una estabilidad adecuada que permita continuar con la explotación. Para ello consideramos, las dimensiones máximas recomendadas para tajos diseñados.

Orientación Tajeo	Longitud (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Sostenimiento (m)
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

**Cuadro N° 6.3: Dimensiones máximas de tajos**

La estabilidad de la pared de relleno en pasta puede ser determinada usando ecuaciones desarrolladas desde las pruebas de modelo físicos basados en pruebas de modelamiento centrifugas conducidas por Mitchell (1983), la estabilidad puede ser relacionada a la resistencia a la compresión no confinada.

$$\text{UCS} = \gamma H / (1 + (H/L))$$

Dónde:

H= Altura con exposición total (m)

L= Longitud con exposición de relleno o ancho de tajeo (m)

Y= Peso unitario de relleno (N/m<sup>3</sup>)

Esta relación esencialmente compara la UCS del relleno de esfuerzo esperado en el fondo de la pared del relleno. El esfuerzo es estimado como el peso del relleno supra yacente reducido por alguna cantidad que depende del grado de arqueamiento del esfuerzo del relleno a las paredes que están a un metro aparte.

De igual modo es importante conocer el slump y tener control del mismo para el envío de la pasta a la labor en relleno, teniendo en cuenta la ubicación de acuerdo al cono de distribución del relleno.

### 6.3 Prueba de hipótesis

La prueba de hipótesis se realiza con los resultados obtenidos de las variables:

**Variable independiente: Relleno en pasta.** Donde el relleno se refiere a los relaves de alta densidad, cuya prueba ha mostrado la densidad en masa de la pasta, esta es de 2.92 tn/m<sup>3</sup> y aproximadamente el 65% de los relaves podrán ser usados como relleno de pasta; cuyos residuos espesados son enviados por un circuito de gravedad hacia planta de relleno en pasta; luego de un proceso, mediante un equipo de bombeo se envía el relleno a las labores en relleno, por medio de una tubería de 8 pulgadas de diámetro.

**Variable Dependiente: Estabilización de labores subterráneas.** El relleno de los tajos tiene la función de recuperar la estabilidad perdida del macizo rocoso, como producto de la extracción del mineral. De tal manera se mantiene una estabilidad adecuada que permita continuar con la explotación.

Se llega a demostrar, que a través de la relación de ambas variables y de acuerdo a los análisis expuestos la estabilidad de la pared de relleno en pasta puede ser determinada usando ecuaciones desarrolladas desde las pruebas de modelo físicos. Basados en pruebas de modelamiento centrifugas conducidas por Mitchell; que se resume en el siguiente cuadro al obtener la estabilidad con un factor de seguridad de 1.5.

Volumen del relleno por unid, de peso $\gamma$ (N/m <sup>3</sup> )	Peso total del relleno H (m)	Factor de seguridad FS	Design UCS (MPa)
28635.42	25	1.5	1.07
28635.42	30	1.5	1.29
28635.42	35	1.5	1.50
28635.42	40	1.5	1.72

**Cuadro N° 6.4: Datos para la prueba de hipótesis**

Para demostrar la prueba de hipótesis se usa los programas Minitab Versión 17, IBM SPSS Statistics Versión 20 y la Distribución T de Student, tenemos:

	Peso del relleno $\gamma$ (N/m <sup>3</sup> )	H(m)	Factor de Seguridad FS	Design UCS (Mpa)
	28,635.4200	25.0000	1.5000	1.0700
	28,635.4200	30.0000	1.5000	1.2900
	28,635.4200	35.0000	1.5000	1.5000
	28,635.4200	40.0000	1.5000	1.7200
<b>Promedio</b>	28,635.42000	32.50000	1.50000	1.39500
<b>Desviación Estandar</b>	0.00000	6.45497	0.00000	0.25887
<b>Varianza</b>	0.00000	41.66700	0.00000	0.07800

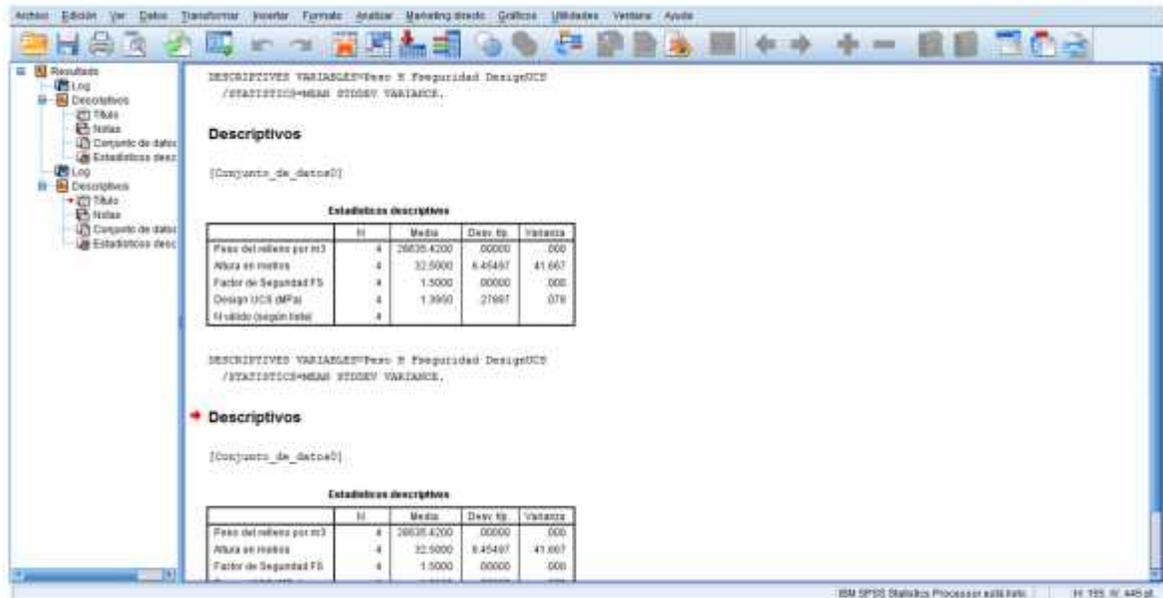
**Cuadro N° 6.5: Datos estadísticos**

## PASO 1:

### Paso previo: Verificamos la homogeneidad de las varianzas:

Usando el SPSS calculamos la Media, Desviación Estandar y la Varianza:





## RESULTADOS:

### Estadísticos descriptivos

	N	Media	Desv. típ.	Varianza
Peso del relleno por m3	4	28635.4200	.00000	.000
Altura en metros	4	32.5000	6.45497	41.667
Factor de Seguridad FS	4	1.5000	.00000	.000
Design UCS (MPa)	4	1.3950	.27887	.078
N válido (según lista)	4			

**Probamos la homogeneidad de las varianzas:**

**La hipótesis Nula:** Las dos muestras provienen o tienen las mismas varianzas, en otros términos son homogéneas.

**La hipótesis Alternativa:** Las dos muestras no tienen varianzas homogéneas

Usando el Minitab tenemos:

### Two-Sample Variance

C1	Peso del relleno
C2	H(m)
C3	Factor de Seguri
C4	Design UCS (Mpa)

Each sample is in its own column

Sample 1: H(m)

Sample 2: Design UCS (Mpa)

Select Options... Graphs... Results...

Help OK Cancel

### Two-Sample Variance: Options

Ratio: (sample 1 standard deviation) / (sample 2 standard deviation)

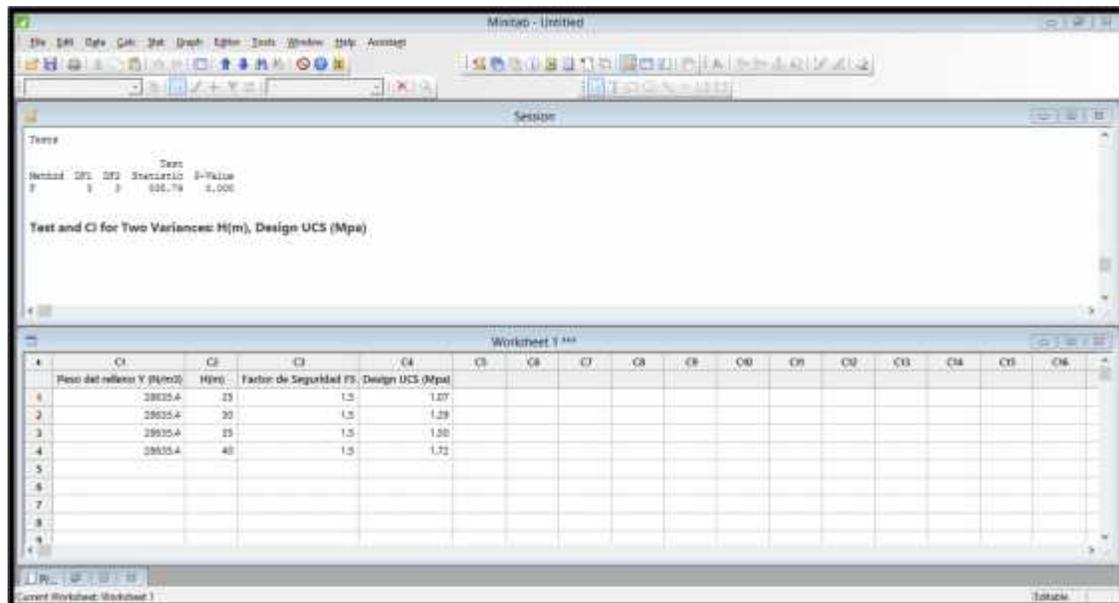
Confidence level: 95.0

Hypothesized ratio: 1

Alternative hypothesis: Ratio  $\neq$  hypothesized ratio

Use test and confidence intervals based on normal distribution

Help OK Cancel



## RESULTADOS:

### Test and CI for Two Variances: H(m), Design UCS (Mpa)

Method

Null hypothesis  $(H(m)) / (\text{Design UCS (Mpa)}) = 1$

Alternative hypothesis  $(H(m)) / (\text{Design UCS (Mpa)}) \neq 1$

Significance level = 0.05

F method was used. This method is accurate for normal data only.

Statistics

Variable	N	StDev	Variance	95% CI for StDevs
H(m)	4	6.455	41.667	(3.657, 24.068)
Design UCS (Mpa)	4	0.279	0.078	(0.158, 1.040)

Ratio of standard deviations = 23.147

Ratio of variances = 535.791

95% Confidence Intervals

Method	CI for StDev Ratio	CI for Variance Ratio
F	(5.891, 90.951)	(34.703, 8272.172)

Tests

Method	DF1	DF2	Test Statistic	P-Value
F	3	3	535.79	0.000

Como  $P < 0.05$  Entonces se  $RH_0$ . (Se rechaza la hipótesis nula)

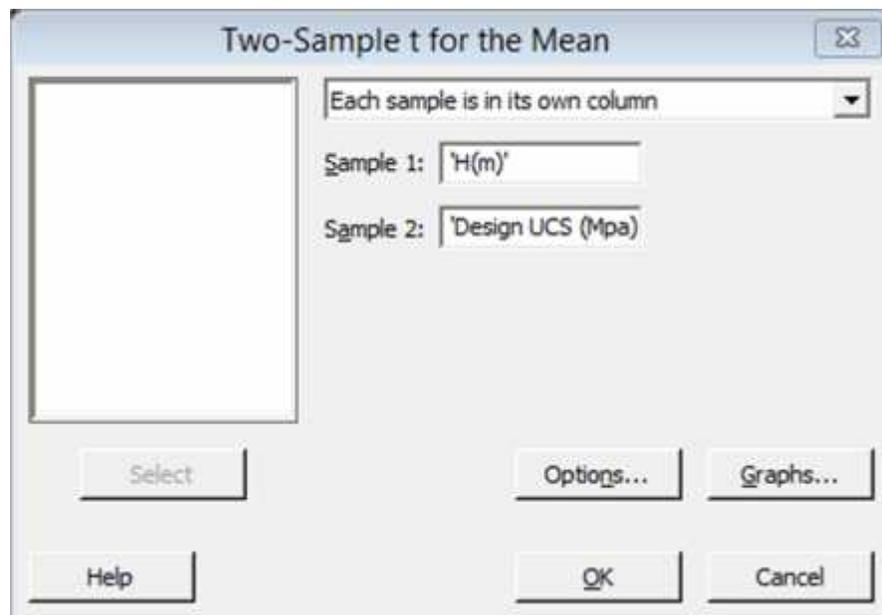
Concluimos que las muestras No provienen de varianzas iguales ( $p = 0.000$ )

### PASO 2:

**Hipótesis Nula:** La media del peso total de relleno H (m) obtenidos mediante el sistema de relleno en pasta es igual a la media de la resistencia a la compresión del macizo rocoso (Design UCS) en MPa.

**Hipótesis Alternativa:** La media del peso total de relleno H (m) obtenidos mediante el sistema de relleno en pasta, es mayor que la media de la resistencia a la compresión del macizo rocoso (Design UCS) en MPa.

Usando el Minitab, tenemos:



**Two-Sample t: Options**

Difference = (sample 1 mean) - (sample 2 mean)

Confidence level:

Hypothesized difference:

Alternative hypothesis:

Assume equal variances

Minitab - Untitled

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help Assistant

Session

```

N      Mean  StDev  SE Mean
H(m)   4  32.50  6.45    3.2
Design UCS (Mpa)  4  1.395  0.279   0.14

Difference =  $\mu$  (H(m)) -  $\mu$  (Design UCS (Mpa))
Estimate for difference: 31.11
95% Lower bound for difference: 24.01
T-Test of difference = 0 (vs  $\neq$ ): T-Value = 5.61 P-Value = 0.002 DF = 6
Both use Pooled StDev = 4.3684

```

Worksheet 1 \*\*\*

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
	Peso del rebano Y (N/m2)	H(m)	Factor de Seguridad FS	Design UCS (Mpa)												
1	2003.4	25	1.5	1.07												
2	2003.4	30	1.5	1.29												
3	2003.4	35	1.5	1.30												
4	2003.4	40	1.5	1.72												
5																
6																
7																
8																
9																

Current Worksheet: Worksheet 1

## RESULTADOS:

### Two-Sample T-Test and CI: H(m), Design UCS (Mpa)

Two-sample T for H(m) vs Design UCS (Mpa)

	N	Mean	StDev	SE Mean
H(m)	4	32.50	6.45	3.2
Design UCS (Mpa)	4	1.395	0.279	0.14

Difference =  $\mu$  (H(m)) -  $\mu$  (Design UCS (Mpa))  
Estimate for difference: 31.11  
95% lower bound for difference: 24.83  
T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 9.63 P-Value = 0.000 DF = 6  
Both use Pooled StDev = 4.5686

Como  $P < 0.05$  RHo (Se rechaza la hipótesis nula).

Se puede concluir que la media del peso total de relleno H (m) obtenidos mediante el sistema de relleno en pasta, es mayor que la media de la resistencia a la compresión del macizo rocoso (Design UCS) en MPa.

Esto significa que el sistema de relleno en pasta influye significativamente en la estabilización de las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.

## CONCLUSIONES

1. El mineral se considera que va a tener una buena calidad de masa de roca, con una clasificación de masa de roca promedio de 69 (Q= 19-25).
2. Las rocas volcánicas de la caja techo y caja piso también son considerados como roca de buena calidad de 72 (Q= 17.5).
3. Sub level stoping: Método de minado de alta productividad, seguro, aplicable siempre que las características geomecánicas y geológicas lo permitan.
4. Presencia de grandes cavidades vacías entre niveles exige un adecuado control de seguridad.
5. Utilización del relleno en pasta en forma oportuna permite un manejo óptimo de la estabilidad del macizo rocoso.
6. En cerro lindo el relleno de mina es necesario, para proporcionar las tres funciones principales:
  - Ayudar en la recuperación de los tajos secundarios de grandes dimensiones.
  - Proporcionar sostenimiento regional y limitar la subsidencia de superficie.
  - Proporcionar un método de deposición de relaves generadoras de ácido.
  - El sistema de Relleno en Pasta, permitirá el uso de Relaves

totales reduciendo así el impacto ambiental de sus operaciones en Cerro Lindo.

7. El contenido de cemento en la Pasta, depende de la resistencia a la compresión que se requiere y como se ha explicado está ligado a la función que debe cumplir el Relleno en el ciclo de minado.
8. Es de suma importancia para la explotación que la operación de relleno, en calidad y cantidad, sea segura, y como parte integral del método, principalmente para asegurar que los tajos primarios sean rellenados inmediatamente terminada su explotación.
9. La presente investigación demuestra una mejora consistente en la confiabilidad del sostenimiento de las minas subterráneas con la aplicación del sistema de relleno con pasta, generándose un valor agregado ambiental que mejora los resultados en la Unidad Minera Cerro Lindo.
10. La hipótesis de la presente investigación ha quedado validada puesto que se ha demostrado que la aplicación de sistemas de sostenimiento basado en el método de relleno con pasta mejoran la estabilidad en la explotación del mineral.

## RECOMENDACIONES

1. Los trabajos de Geomecánica deben ser preventivos, conocer la litología y estructuras del block a minar en forma anticipada al dimensionamiento.
2. Se recomienda utilizar una resistencia mínima del relleno de 0.74 MPa para un tajeo secundario con paredes expuestas de 30 m de altura x 25 m de longitud, y que se tenga dos tajeos primarios apilados como máximo.
3. Se recomienda implementar la instrumentación de las principales estructuras de mayor importancia para la operación de la mina para monitorear el comportamiento del macizo rocoso en estas estructuras.
4. Diseñar programas de monitoreo de sostenimiento y de seguridad, optimizando el contenido de cemento en los tajeos rellenos, dependiendo de las dimensiones de tajeo y requerimientos de resistencia.

## BIBLIOGRAFIA

1. ABULNAGA, Baha 2002 *Slurry Systems Handbook*, New York: McGraw-Hill.
2. ALS AMMTEC – Hochschild Mining. 2012 Metallurgical *Test work N° A13587. Apéndice XIX: Slurry Rheology*
3. ASSUREIRA, Estela 1981 *Transporte hidráulica de partículas sólidas por tuberías*. Tesis de Bachiller. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.
4. Benítez Mostacero Rogger, Leyva Cercado Yanet (2015), en su estudio de tesis “Medición de las propiedades geoquímicas y mecánicas del pasivo ambiental relave mina Paredones.
5. Cantorin Vilchez Oscar, (2014), “Relleno en Pasta de la unidad minera San Rafael de Minsur. Exposición Minera: IIMP.
6. CERDA, Mario 2012 “*Slurry Conveying*”. Slideshare. Consulta 25 de febrero de 2013. <<http://www.slideshare.net/mariocerda/slurry-conveying>>.
7. GAITÁN, Iván 2010 *Estimación de parámetros geológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos*. Tesis de Maestría en Ciencias. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil.

8. Hoek, E. C. Carranza - Torres, B. Corkum, 2002, "El criterio de rotura de Hoek - Brown – edición 2002", University of Minnesota, Estados Unidos.
9. Salas Ricardo. P. (2015), Ingeniero de Minas, "Relleno en pasta en la minera peruana". Tesis de Grado UPC.
10. Vallejo Cortes Carlos (2010). Profesor Asociado UNI-FIGMM. Consultor y Asesor de Geología Aplicada a obras de Ingeniería Civil y Geomecánica.
11. Vives Ávila Alonso (2016), Universidad de Chile - Departamento de Ingeniería de Minas, en su estudio de tesis: "Evaluación técnica y económica de una mina subterránea utilizando relleno cementado".
12. W.A.S.P., Edward J1978 *Solid-Liquid Flow Slurry Pipeline Transportation*. Primera Edición, San Francisco: Gulf Publishing Company.

# ANEXOS

ANEXO N° 1: RELLENO EN PASTA DE TAJEOS MINADOS

## RELLENO EN PASTA DE TAJEOS MINADOS



se considera que solo el 85% de los espacios vacíos dejados por el minado de los tajeos se rellena con Pasta, el 15% es relleno con relleno proveniente de las labores de avance, se consideran los siguientes parámetros:

- A) P.E. mineral insitu=4.55, B) P.E. Relleno =2.9,
- C) % Relleno Tajeo con pasta = 85 % y
- D) Ratio (Ton Cemento/Ton-Relave) = 3 %



La Resistencia que se logra luego de 3 meses de secado de los tajeos varía desde 0.85 a 1 Mpa, esta resistencia es suficiente para generar paredes autoestables en el minado de los tajeos secundarios

Item	Unidades	2012	2013	2014	2015	2016
1. Inversión	Md	3,376,750	3,376,800	3,376,800	3,376,800	3,376,800
2. Ingresos e Ingresos (MPC)	Md	709,270	1,001,200	1,001,200	1,001,200	1,001,200
3. Transferido de Retorno a Inversión	Md	2,345,000	2,000,200	2,000,200	2,000,200	2,000,200
4. Transferido de Compras	Md	66,300	87,200	87,200	87,200	87,200

## ANEXO N° 2: RELLENO EN PASTA

## RELLENO EN PASTA

La aplicación del sublevel stoping en cerro lindo considera la aplicación del relleno en pasta con la finalidad de :

- Ayudar en la recuperación de los tajeos secundarios adyacentes
- Proporcionar sostenimiento regional y limitar la subsidencia.
- Proporcionar un método de depositación de relaves



La adecuada resistencia del relleno será requerida en los tajeos Para mantener una pared de relleno auto estable en el tajeo Primario, mientras el mineral del tajeo secundario adyacente Es extraído.

Considerando el peso del relave total de 28600 N/m<sup>3</sup> y una Altura de relleno de 30m, la UCS crítica de diseño con un factor de seguridad de 1.5 es de 1 Mpa. (ec. Mitchel)



## ANEXO N° 3: MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	INDICADORES	FACTORES
<b>PROBLEMA PRINCIPAL</b>  ¿El sistema de relleno en pasta influye en la estabilización de las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.?	<b>HIPÓTESIS PRINCIPAL</b>  El sistema de relleno en pasta influye significativamente en la estabilización de las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.	<b>OBJETIVO PRINCIPAL</b>  Determinar si el sistema de relleno en pasta influye significativamente en la estabilización de las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE (X)</b>  Sistema de relleno en pasta.  <b>VARIABLE DEPENDIENTE (Y)</b>  Estabilización de labores subterráneas.  Estabilización de labores subterráneas.	Dosificación del relleno en pasta ( $X_1$ )  Resistencia a la compresión del relleno en pasta ( $X_2$ )  Rendimiento del relleno en pasta ( $X_3$ )  Design UCS en MPa. ( $Y_1$ )  Reducción del impacto ambiental ( $Y_2$ )	Moneda Nacional (S/).
<b>PRIMER PROBLEMA SECUNDARIO</b>  ¿De qué manera la dosificación del relleno en pasta influye en la estabilización de las labores subterráneas en	<b>PRIMERA HIPÓTESIS SECUNDARIO</b>  La dosificación del relleno en pasta influye en la estabilización de las labores subterráneas en	<b>PRIMER OBJETIVO SECUNDARIO</b>  Comprobar que la dosificación del relleno en pasta influye en la estabilización de las labores subterráneas en	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE (X)</b>  Sistema de relleno en pasta.  <b>VARIABLE DEPENDIENTE (Y)</b>	Dosificación del relleno en pasta ( $X_1$ )  Resistencia a la compresión del relleno en pasta ( $X_2$ )	Moneda Nacional (S/).

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	INDICADORES	FACTORES
subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.?	la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.	subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.?	Estabilización de labores subterráneas.  Estabilización de labores subterráneas.	Rendimiento del relleno en pasta ( $X_3$ )  Design UCS en MPa.( $Y_1$ )  Reducción del impacto ambiental ( $Y_2$ )	
<b>SEGUNDO PROBLEMA SECUNDARIO</b>  ¿En qué medida la resistencia a la compresión del relleno en pasta influye en la estabilización de las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.?	<b>SEGUNDA HIPÓTESIS SECUNDARIO</b>  La resistencia a la compresión del relleno en pasta influye en la estabilización de las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.	<b>SEGUNDO OBJETIVO SECUNDARIO</b>  Demostrar qué efecto tiene la resistencia a la compresión del relleno en pasta en la estabilización de las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE (X)</b>  Sistema de relleno en pasta.  <b>VARIABLE DEPENDIENTE (Y)</b>  Estabilización de labores subterráneas.  Estabilización de labores subterráneas.	Dosificación del relleno en pasta ( $X_1$ )  Resistencia a la compresión del relleno en pasta ( $X_2$ )  Rendimiento del relleno en pasta ( $X_3$ )  Design UCS en MPa.( $Y_1$ )  Reducción del impacto ambiental ( $Y_2$ )	Moneda Nacional (S/).

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	INDICADORES	FACTORES
<p><b>TERCER PROBLEMA SECUNDARIO</b></p> <p>¿El rendimiento del relleno en pasta incide en la estabilización de las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.?</p>	<p><b>TERCERA HIPÓTESIS SECUNDARIO</b></p> <p>El rendimiento del relleno en pasta influye en la estabilización de las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.</p>	<p><b>TERCER OBJETIVO SECUNDARIO</b></p> <p>Probar en qué medida el rendimiento del relleno en pasta influye en la estabilización de las labores subterráneas en la Unidad Minera Cerro Lindo Compañía Minera Milpo S.A.</p>		<p>Dosificación del relleno en pasta (<math>X_1</math>)</p> <p>Resistencia a la compresión del relleno en pasta (<math>X_2</math>)</p> <p>Rendimiento del relleno en pasta (<math>X_3</math>)</p> <p>Design UCS en MPa. (<math>Y_1</math>)</p> <p>Reducción del impacto ambiental (<math>Y_2</math>)</p>	<p>Moneda Nacional (S/).</p>

