

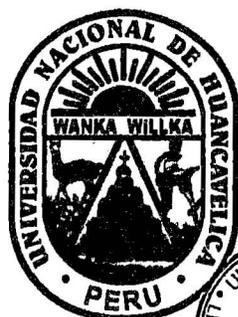
"AÑO DE LA INTEGRACIÓN Y EL RECONOCIMIENTO DE NUESTRA DIVERSIDAD"

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(CREADA POR LEY N° 25265)

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS - CIVIL

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



## TESIS



**EVALUACIÓN TÉCNICA DEL RELLENO HIDRÁULICO PARA  
ESTABILIZAR LAS ZONAS EXPLOTADAS EN LA - COMPAÑÍA MINERA  
PODEROSA S.A.**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO DE MINAS**

**PRESENTADO POR:**

Bachiller: GOMEZ INADO, Jimny Alberto

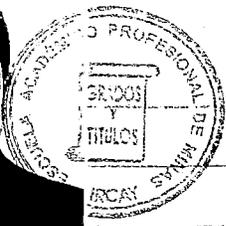
Bachiller. SANCHEZ LLERENA, Henry Jhulyano

**ASESOR:**

**Dr. Felisícimo Germán Ramírez Rosales**

Huancavelica - Perú

2012



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS DE LOS BACHILLERES:

GOMEZ INADO, Jimmy y ALBERTO SANCHEZ LLERENA, Henry Jhulyano, En la Ciudad de Lircay, Paraminfo de la Ciudad Universitaria de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil de la Universidad Nacional de Huancavelica del día Trece de Diciembre del Dos mil Doce, Siendo hora 8,15 minutos de la mañana, reunidos los miembros del Jurado conformado por: Msc. Rodrigo Huamancaja Espinoza (Presidente); Msc. Amadeo Enrique Duñaver (secretario), Ing° Juan Pablo Castro Illasca (Vocal). El Presidente del Jurado despues de la lectura de la Resolución de Consejo de Facultad No. 029-FIMC-R-UNH se le da 25 minutos para la sustentación de dicha Tesis. TITULADO "EVALUACION TECNICA DEL RELLENO HIDRAULICO PARA ESTABILIZAR LAS ZONAS EXPLOTADAS EN LA COMADIA MINERA PODEROSA S.A." presentado por los Bachilleres: GOMEZ INADO Jimmy y ALBERTO; SANCHEZ LLERENA HENRY Jhulyano, una ves concluida dicha sustentación, se pasa a la ronda de preguntas por parte de los miembros del jurado las cuales han sido absueltas por los sustentantes, luego se invita a los sustentantes y público en general a abandonar el Auditorio a fin de que el Jurado Calificador pueda deliberar el resultado. Luego el Presidente del Jurado comunica retornar a los <sup>30,35 minutos</sup> Jurados y público en general al Auditorio donde los Jurados dan como resultado APROBADO POR UNANIMIDAD, de esta manera se da



por concludida di dña sustentación, a las 9,00 am. del mismo día, y en señal de conformidad los Jurados firman al pie del presente.

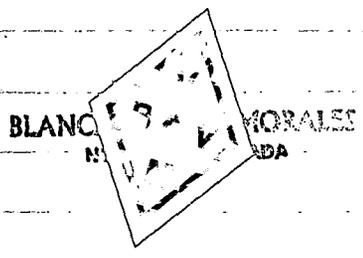
*[Signature]*  
 M.S.C. RODRIGO HUA HUANCATA (PRESIDENTE)  
 M.S.C. ANTONIO ENRIQUEZ DONDIRES (SECRETARIO)  
*[Signature]*  
 ING. JOAQUIN PABLO CASTRO ILLESCA (VOCAL)

**CERTIFICO:** Que la presente copia fotostática es una reproducción exacta de su original con el cual confronte. La presente no prejuzga la legalidad del original presentado por quien manifiesta ser.

Huancavelica Lircay 17 DIC. 2012



*[Signature]*  
 Dra. BLANCA VICTORIA VEGA MORALES  
 ABOGADA  
 HUANCABELICA LIRCAY



**DEDICATORIA.**

*A mis Hijos Alexander y Alejandra, por ser mi fuente de motivación cada día de mi vida, por su inmenso amor y apoyo en mi formación personal y profesional.*

*Jimny*

**DEDICATORIA.**

*A mis Hijas Katherine, Lin Mey y Jhulyana por ser el motivo de superación en mi vida por quienes trato de ser cada vez mejor, para dejar un buen ejemplo como padre, persona y como profesional*

## AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Jerson Zeballos Barcelli Gerente del Proyecto ORCOPAMPA de la Empresa STRACOM GYM S.A.

A Dios, por brindarnos la oportunidad de realizarnos como persona y como profesional.

En especial a las personas responsables de que esta Tesis se convierta en realidad.

A nuestros seres queridos por habernos apoyado incondicionalmente a lo largo de este camino lleno de alegrías y dificultades.

Al personal Directivo, Jerárquico, Docente y Administrativo de la Facultad de Ingeniería de Minas – Civil de la Universidad Nacional de Huancavelica, por acogernos y darnos las facilidades para poder hacer realidad nuestro anhelo de optar el Título de Ingeniero de Minas.

(Jimny - Henry)

## ÍNDICE

	Pág.
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Índice	iv
Introducción	ix
Resumen	x

### **CAPÍTULO I:**

#### **PROBLEMA**

1.1. Planteamiento del problema	11
1.2. Formulación del problema	13
1.3. Objetivos General y Específicos	14
1.4. Justificación	15

### **CAPÍTULO II:**

#### **MARCO TEORICO**

2.1. Antecedentes	17
2.1.1 A Nivel Internacional	17
2.1.2 A Nivel Nacional	17
2.1.3 A Nivel Local	18
2.2 Ubicación y Accesos	18
2.3 Estructura Mineralizada	19

- a) Veta Jimena 19
  - b) Litología de la Veta Jimena 20
- 2.4 Tipo de Yacimiento 20
- 2.5 Mineralogía 21
- 2.6 Métodos de Explotación 21
  - a. Recuperación de Pilares 21
  - b. Franja Verticales (Short Wall) 22
- 2.7 Bases Teóricas. 22
  - 2.7.1 Relleno Hidráulico 22
    - a. Ventajas del Relleno Hidráulico 23
    - b. Desventajas del Relleno Hidráulico 24
  - 2.7.2 Pulpa 25
    - a. Pulpa Homogénea 25
    - b. Pulpa Heterogénea 25
  - 2.7.3 Características del Material de Transporte 25
    - 1. Gravedad Específica de los Sólidos 26
    - 2. Tamaño Máximo de las Partículas 26
    - 3. Dureza de los Sólidos 27
  - 4. Propiedades Físicas y Mecánicas del Relleno Hidráulico 28
    - a. Porosidad (n) 28
    - b. Relación de Vacíos (e) 28
    - c. Contenido de Humedad (w) 29
    - d. Grado de Saturación (Sr) 30
  - 5. Análisis Granulométrico 31
  - 6. Diámetro Efectivo (D<sub>10</sub>) 32
  - 7. Coeficiente de Uniformidad (Cu) 32
  - 8. Velocidad de Percolación (V<sub>1P1</sub>) 33
  - 9. Comportamiento Mecánico del Relleno 33
- 2.8. Hipótesis 40
- 2.9. Variable de Estudio 41

## **CAPÍTULO III:**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

3.1.  Ámbito de Estudio	42
3.2.  Tipo de investigación	42
3.3.  Nivel de Investigación	42
3.4.  Método de Investigación	43
3.5.  Diseño de Investigación	44
3.6.  Población, Muestra y Muestreo	45
3.7.  Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	46
3.8.  Procedimientos de Recolección de Datos	46
3.9.  Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos	46

## **CAPÍTULO IV:**

### **RESULTADOS**

4.1.- Calidad del Material de Relleno	47
4.1.1.- Primer Análisis de Muestras	47
4.1.2.- Segundo Análisis de Muestras	52
4.1.3.- Tercer Análisis de Muestras	54
4.2. Resumen de Resultados:	58
4.3.- Requerimiento y Disponibilidad de Relleno Hidráulico	59
4.3.1. R equerimiento de Agregados para el Relleno	59
4.3.2.- N ecesidad de Agua	61
4.3.3. D isponibilidad de Agregados para el Relleno	62
4.4.- Estudios para la Ubicación de la Planta de Relleno Hidráulico	64

4.4.1. A lternativa – a: planta RH en NV-2080	65
4.4.2. A lternativa - b: planta RH en el NV-2250	66
4.4.3. Alternativa – c: planta rh en NV-2375	67
4.5.- Resumen Para Ubicar la Planta de Relleno Hidráulico	68
4.6.- Transporte del Material de Relleno	69
4.6.1.- Red de Tuberías	69
4.6.2.- Velocidad crítica de Deposición ( $v_c$ )	70
4.6.3.- VELOCIDAD DE MÍNIMA PÉRDIDA ( $v_{mn}$ )	73
4.6.4.- Diámetro de tubería ( $\emptyset$ )	74
4.6.5.- Velocidad de transporte ( $V_t$ )	77
4.6.6.- Pérdida de carga	78
4.6.7.- Altura máxima ( $h_2$ ) que Alcanzará el r/h Respecto al Nivel más bajo de Interior Mina - NV 1815.	82
4.6.8.- Gradiente Hidráulica	83
4.6.9.- Máxima Distancia Horizontal ( $dh$ )	84
4.7.- Cálculos de los Parámetros Mas Importantes de la Pulpa del Relleno Hidráulico	85
4.7.1.- Densidad de la Pulpa	86
4.7.2.- Caudal del Relleno Hidráulico que Llega al Tajeo ( $Q$ )	87
4.7.3.- Velocidad del relleno Hidráulico con que Ingresa al Tajeo por Tuberías de $\emptyset 4''$ (V)	88
4.7.4. C onstante de Sólidos ( k )	89
4.7.5.-Peso de Solido Seco en un Litro de Pulpa ( w )	89
4.7.6.- Porcentaje de Sólidos por Peso en la Pulpa ( $P_w$ )	89
4.7.7.- Relación: Peso Líquido a Peso Sólido (g)	90
4.7.8.- Relación volumétrica de líquidos a sólidos (L)	90
4.7.9.- Tonelaje de sólidos por hora que llega al tajeo ( t )	91
4.7.10.- Volumen de líquido enviado por hora al tajeo ( $V_1$ )	91

4.7.11.- Volumen de Sólido Enviado por hora al Tajero ( $v_s$ )	92
4.8.- Proceso de Rellenado de un Tajero	92
4.8.1.- Preparado del Tajero	92
4.8.2.- Rellenado del Tajero	93
4.8.3. Problemas en el Proceso de Rellenado	94
4.8.4. Tiempo neto de Relleno de un Tajero	95
4.8.5. Alimentación de Pulpa al Tajero	96
4.8.6. Condiciones de Descarga	97
Conclusiones	
Recomendaciones	
Referencias bibliográficas (Modelo Vancouver).	
Anexos	
- Matriz de consistencia	
- Instrumentos	
- Cuadros y otros	

## INTRODUCCIÓN

El tema se sustenta en la posibilidad de disminuir los problemas de inestabilidad del macizo rocoso y con ello minimizar los riesgos de caída de rocas, estallido de rocas, así como los altos costos de producción generados por los problemas en el sostenimiento de las labores mineras. Con esta finalidad, se aplicarán los conocimientos de la mecánica de fluidos sobre transporte de fluidos con sólidos en suspensión; y lograr de esta manera saturar con relleno hidráulico todos los espacios vacíos generados por la explotación de mineral en la veta Jimena. Con esto gran parte del desmonte producto de las labores de avance retornaría como relleno a interior mina, disminuyendo el impacto ambiental generado por los grandes volúmenes que ocupan las desmonteras en superficie. Del mismo modo disminuiría el consumo de madera en el sostenimiento, contribuyendo del mismo modo con la conservación de bosques los cuales cada vez son más escasos.

El Capítulo I, que trata sobre el problema de investigación; en donde se visualiza el planteamiento y formulación del problema, objetivo general, seguido de la justificación e importancia.

El Capítulo II, del marco teórico conceptual de la investigación; donde se aprecia primero los antecedentes y luego la información teórica relevante sobre las variables de estudio, es decir sobre el tratamiento del agua y la calidad del mismo, sustentado en teorías y bibliografía actualizada y finalmente los definiciones de términos básicos utilizados en la investigación, seguido de la hipótesis y el sistema de variables.

El Capítulo III, del marco metodológico, en el cual se detalla el tipo, nivel método y diseño de investigación, además de las técnicas de recolección de datos y el procesamiento de información.

El Capítulo IV, Aspecto administrativo, potencial humano, recursos materiales, cronograma de actividades, presupuesto y financiamiento.

**Los autores.**

## RESUMEN

Con la finalidad de disminuir los problemas de inestabilidad en la explotación de la Veta Jimena, de Compañía Minera Poderosa S.A. En el presente trabajo se desarrolla la evaluación técnica-económica de aplicación de Relleno Hidráulico en esta Veta.

En el análisis técnico del proyecto se determinara mediante la distribución de tamaños de partículas necesarias para el transporte de la pulpa por gravedad debe aproximarse a la curva de Talvot. La pulpa deberá tener un 76% de sólidos con una granulometría máxima de 3/8 de pulgada; para su transporte se utilizara tubería SCH-80 Ø4" y polietileno PN 12.5 Ø4". Luego de analizar las tres alternativas para ubicar la planta, se concluirá para determinar la mejor alternativa de ubicación de la Planta de Relleno Hidráulico teniendo en cuenta la diferencia de cotas respecto al nivel más bajo de explotación es de 586 m.

Adicional a esta ventaja, se cuenta con una tolva de gruesos, la cual se puede acondicionar como tolva de los agregados para el relleno hidráulico. Considerando una densidad de pulpa de 1.90 kg/L, gravedad específica de 2.65 kg/L y tubería de conducción de Ø4", se espera alcanzar un caudal de 45 a 55 m<sup>3</sup>/hora.

**Palabras claves:** Pulpa, relleno hidráulico, granulometría

# CAPÍTULO I

## PROBLEMA

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El sistema de relleno hidráulico en la minería subterránea constituye una ventaja técnico - económica para mejorar la productividad. Para evitar problemas en el sistema del relleno hidráulico, se hacen estudios previos experimentales donde se obtienen y determinan parámetros orientados a evaluar el material que se va a utilizar para la preparación de la pulpa.

Nuestras operaciones se vienen desarrollando en torno al macizo rocoso con características ge estructurales que involucran cambios sustanciales en sus parámetros ge mecánicos y su respuesta a la concentración de esfuerzos que luego de las excavaciones tienden a producirse redistribución de esfuerzos con la manifestación de liberación de energía en forma de relajamientos de la masa

rocosa, los mismos que van desde rugidos hasta estallidos con proyección de fragmentos de roca, (ver figura N° 1).

La liberación de esfuerzos por lo general se viene dando en los cambios de fase Roca / Veta, Roca I / Roca II generando micro sismos acompañado con desprendimientos de roca. La manifestación de las presiones también genera una deformación asociada a un desplazamiento de la caja techo en la dirección de buzamiento, (ver Figura N° 2)

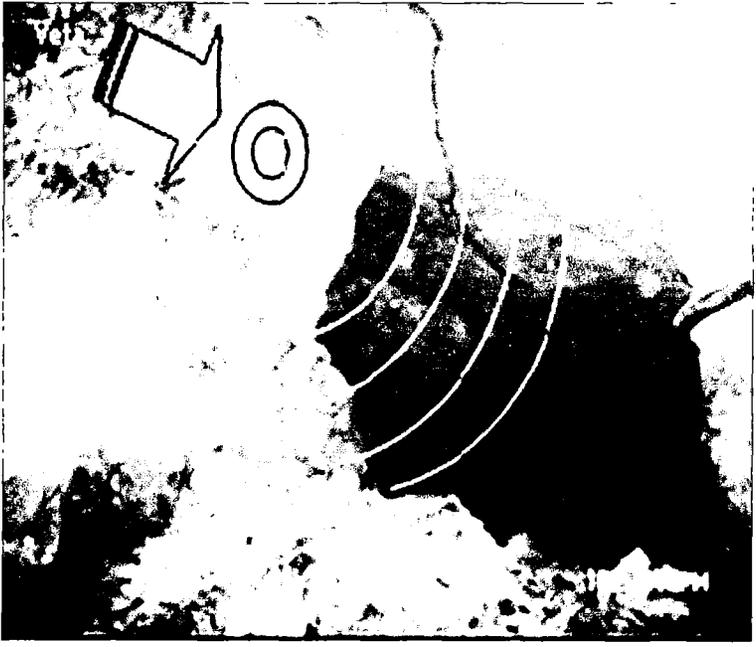


Figura N° 1 Labor afectada por estallido de rocas.



Figura N° 2 Desplazamiento de caja techo

## 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

Con la finalidad de mantener la estabilidad de la roca en la recuperación de pilares, se han ejecutado una serie de análisis en el macizo rocoso considerando: calidad del macizo rocoso, tipo de sostenimiento, ancho de excavación, perforación y voladura.

La roca presenta diferentes tipos de discontinuidades como son: zonas de corte, diaclasas y fracturas, contactos litológicos, relleno de las discontinuidades, fallas, etc. Estos rasgos estructurales presentan un determinado comportamiento frente a las operaciones de minado

### 1.2.1. Problema general.

¿De qué manera la evaluación técnica de relleno hidráulico influye en la estabilidad de las zonas explotadas en la - Compañía Minera poderosa S.A.?

**1.2.2. Problemas específicos:**

- a. ¿De qué manera la evaluación técnica influyen los Requerimientos y Disponibilidades del Relleno Hidráulico para estabilizar las zonas explotadas en la Compañía Minera Poderosa S.A.?
- b. ¿De qué manera la evaluación técnica influyen los Requerimientos y Disponibilidades de los Agregados para el Relleno Hidráulico para estabilizar las zonas explotadas en la Compañía Minera Poderosa S.A.?
- c. ¿De qué manera la evaluación técnica influyen los Estudios para la Ubicación de la Planta de Relleno Hidráulico para estabilizar las zonas explotadas en la Compañía Minera Poderosa S.A.?

**1.3 OBJETIVOS.**

**1.3.1 General.**

Determinar si la evaluación técnica del relleno hidráulico influye en la estabilidad de las zonas explotadas en la – Compañía Minera Poderosa S.A.

**1.3.2 Específicos.**

- a) Determinar si la evaluación técnica influyen los Requerimientos y Disponibilidades del Relleno Hidráulico para estabilizar las zonas explotadas en la Compañía Minera Poderosa S.A.

- b) Determinar si la evaluación técnica influyen los Requerimientos y Disponibilidades de los Agregados para el Relleno Hidráulico para estabilizar las zonas explotadas en la compañía la Compañía Minera Poderosa S.A.
- c) Determinar si la evaluación técnica influyen los Estudios para la Ubicación de la Planta de Relleno Hidráulico para estabilizar las zonas explotadas en la compañía la Compañía Minera Poderosa S.A.

#### **1.4 JUSTIFICACIÓN.**

El presente trabajo tiene por objetivo Alcanzar mayor velocidad en el ciclo de minado y lograr una estabilidad permanente de las zonas explotadas.

Importancia del Tema en la Solución de los Problemas Concretos de la Sociedad, la Ciencia y la Tecnología.

##### **a. La Importancia Social.**

Las comunidades del entorno minero demandan cada vez con más fuerza que la minería ejecute proyectos con responsabilidad social y ambiental. En el caso de aplicar Relleno Hidráulico en Compañía Minera Poderosa S.A. se resalta las expectativas siguientes:

1. La disminución de material detrítico depositado en la superficie del entorno de la mina, mejorando la utilización del suelo como tierras de cultivo o áreas de pastoreo.

2. La disminución del material acumulado en las desmonteras minimiza el riesgo de que éste sea arrastrado por las aguas de las lluvias, evitando daños ecológicos.
3. Minimizar la utilización de madera como elementos de sostenimiento en la mina, contribuyendo de esta forma a la preservación de los bosques.
4. Crear la posibilidad de que la mina pueda aumentar su producción, al alcanzar una mejor rentabilidad, creando mayor número de puestos de trabajo.

**a. La Importancia Científica y Tecnológica**

En este aspecto la importancia radica en encontrar una mejor alternativa de disposición del desmonte producto de las labores de avance de mina, para la solución del problema de inestabilidad del macizo rocoso en la explotación del yacimiento mineral.

La aplicación de relleno hidráulico es de vital importancia porque permitirá acelerar el ciclo de minado, mayor recuperación de mineral, menor pérdida de finos, estabilidad permanente de las labores explotadas y reducir el consumo de madera como elementos de sostenimiento. Como consecuencia de esto se reducirá los costos de minado, se minimizará los accidentes por caída de rocas al tener labores más estables y se contribuirá con la preservación del medio ambiente al talar menor cantidad de árboles.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES.**

##### **2.1.1 A NIVEL INTERNACIONAL:**

El relleno hidráulico se aplicó por primera vez el año 1864 en la mina Shenandoah en Pennsylvania, Estados Unidos, como control de la subsidencia, posteriormente se fue mecanizando y optimizando su uso en la explotación en la minería subterránea. En el Perú se aplicó relleno hidráulico en el año 1937 en la mina Lourdes de Cerro de Pasco con la finalidad de controlar incendios, implementándose luego al ciclo de minado.

##### **2.1.2 A NIVEL NACIONAL.**

1. Autores: Oscar Cantarín, William Arenas Bustillos Relleno en Pasta utilizando agregados e incorporando relaves en la Cía. Minera Ares S.A.C, XXV Convención de Ingenieros de Minas del Perú - 10 de septiembre de 2001.

En el Perú se aplicó relleno hidráulico en el año 1937 en la mina Lourdes de Cerro de Pasco con la finalidad de controlar incendios, implementándose luego al ciclo de minado.

2. MEZA POVIS, EMILIO JOSUÉ, 1978. "Proyecto de Optimización y Ampliación del Sistema de Relleno Hidráulico en la Compañía Minera Huampar S.A." Lima-Perú.

### **2.1.3 A NIVEL LOCAL.**

Cía. Minera Izcaycruz Método de minado cámaras y pilares con taladros largos y relleno consolidado para recuperación de pilares. El sistema de Relleno con agregados cementados y de transporte mecánico.

## **2.2. UBICACIÓN Y ACCESO**

Compañía Minera Poderosa S.A. Se divide en dos unidades económicamente activas: UEA La Libertad y la UEA Poderosa de Trujillo. Para este trabajo se realizará una descripción de la UEA Poderosa de Trujillo ya que es en ésta donde se ubica la Mina Papagayo en donde se encuentra la Veta Jimena.

La mina de Pagayo se ubica en el paraje de Papagayo – el Tingo la misma que se sitúa en la margen derecha del río Marañón, distrito y provincia de Patate, departamento de la Libertad.

Geográficamente se ubica en las coordenadas:

N : 9°14', 178,514

E : 210, 485,250

Altitud : Entre los 1467 a 2080 m.s.n.m.

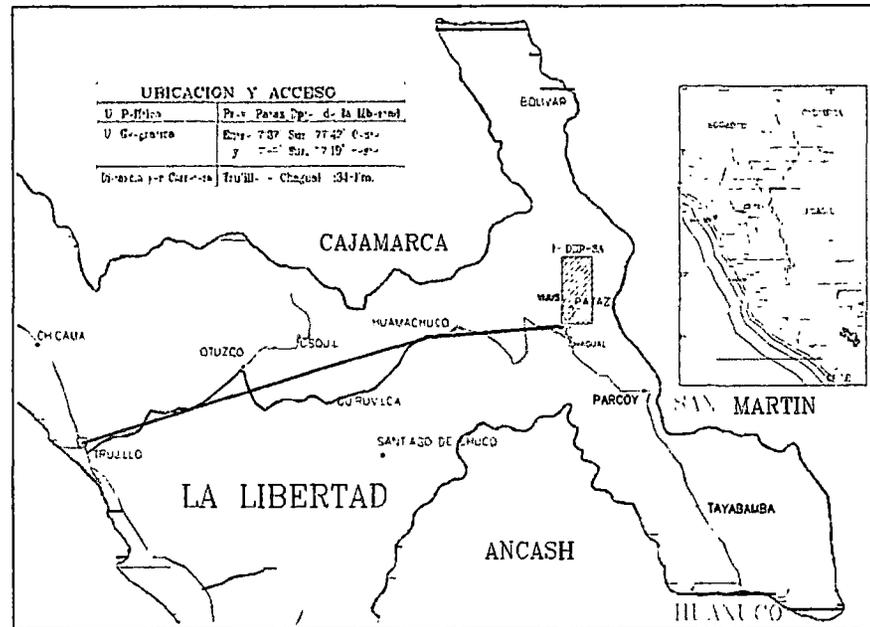


Figura N° 3 Ubicación de la Compañía Minera Poderosa S.A.

## 2.3 ESTRUCTURAS MINERALIZADA

La mina Papagayo aloja distintas vetas: Mercedes, Jimena, Carmela, Huayos, etc. Actualmente en mina Papagayo se está explotando la veta Jimena la cual se describe a continuación.

### a. Veta Jimena.

La veta Jimena tiene una orientación medio de N 320 a N 330, con buzamiento desde 25° hasta la horizontal NE, la extensión en el rumbo es de 45 m y en el plunge es de 500 m la potencia varía de unos centímetros hasta 5 m con un promedio de 1.04 m y 34.54 g Au/TM.

#### **b. Litología de la Veta Jimena.**

La litología predominante es granodiorita y monzogranito, los ore shoots muestran una geometría irregular elíptica. Los valores más altos se encuentran cuando la superficie de la veta muestra asperidades así como en las intersecciones de fracturas con azimut  $115^\circ$  con  $45^\circ$ , si bien, gran parte coincide con los valles también ocurre en los picos. Es claro que la relación potencia-ley no es directa, ya que si bien gran parte de las mayores espesores se encuentran al interior del ore shoot, muchas otras zonas muestran potencias altas con valores bajos de oro. Sobre el nivel 1987 hasta el nivel 2017 el control para el emplazamiento del ore shoot es la variación del buzamiento de alto a bajo las que forman domos de extensión, el mismo comportamiento es observado en la zona inferior del ore shoot entre los niveles 1897 a 1940, mientras que hacia el norte donde el buzamiento es más regular está controlado por el cambio de rumbo. Ocurre que esta anomalía está ligada a fallas secantes de dirección  $115^\circ$  que corresponderían al sistema de La Brava con estructuras subverticales de dirección  $45^\circ$ . De los dos grandes clavos observados el inferior (J1) posee una ley promedio de 48.70 g Au/TM para una potencia de .16 m y el superior (J2) con una potencia de 1.08 m de 31.44 g Au/TM como ley promedio.

#### **2.4. TIPO DE YACIMIENTO**

Las vetas que se encuentran en Papagayo son de tipo filoneano, con concentraciones mineralógicas de pirita aurífera a modo de clavos y cuyo origen se atribuye a procesos hidrotermales pos magmáticos y asociados al emplazamiento del batolito de Patáz.

## 2.5. MINERALOGÍA.

El ensamblaje mineralógico lo constituye una asociación típica mesotermal de cuarzo – pirita – oro. Este último se le observa como electrum y libre, relleno las fracturas y contactos de la galena - Pirita. A parte de lo minerales indicados también son reconocidos minerales como: Arsenopirita, calcopirita, Pirrotita, etc.

## 2.6. MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN.

Las variaciones en su geometría mineralizada en ley potencia, rumbo, buzamiento que varía de 10 a 20 grados y la estabilidad de la roca encajante, son las características que se ha tenido en cuenta para la elección del método de explotación.

La explotación del mineral de la veta Jimena en un inicio se realizó aplicando el método de Cámaras y pilares. Actualmente se está recuperando los pilares de mineral dejado en la primera etapa de la explotación en las zonas de vírgenes el mineral se explota aplicando el método de franjas verticales en retirada.

- a. **Recuperación de Pilares.-** Los pilares de mineral a recuperar de la Veta Jimena están dispuestos de forma irregular, la masa rocosa encajonante y el mismo pilar de mineral están estructuralmente perturbados debido a las áreas abiertas sin sostener y por el tiempo de exposición (mayor a dos años). Para acceder a recuperar los pilares de mineral en estas condiciones es necesario construir un nuevo acceso paralelo al acceso anterior, este nuevo acceso es reforzado con cuadros. Al llegar al pilar a recuperar se construye una nueva

chimenea paralela a la chimenea limitante del pilar; una vez concluida la chimenea se inicia el minado del pilar mediante franjas verticales en retirada. A medida que se avanza el minado en retirada se va colocando puntales con Jack pot o cuadros de madera, dependiendo de la evaluación geomecánica previa, y cribbing en la zona minada.

**b. Franjas Verticales (Short Wall).**- Se acumula taladros a lo largo de una franja en la dirección del buzamiento de la veta, para luego hacer una voladura masiva, el sostenimiento se realiza colocando puntales con Jack pot, cuadros, relleno detrítico y cribbing. Este método de explotación se realiza en retirada, de N a S.

Actualmente se está explotando mediante franjas verticales en retirada los tajos ubicados entre los niveles 1827 y 1847 de la Rampa Marga. Los tajos que se encuentran entre los niveles 1815 y 1867 de la Rampa Mónica (+) se encuentran en preparación para ser explotados por franjas verticales y corte y relleno ascendente, aplicando relleno hidráulico.

## **2.7. BASES TEÓRICAS.**

### **2.7.1. RELLENO HIDRÁULICO**

El relleno hidráulico se aplicó por primera vez el año 1864 en la mina Shenandoah en Pennsylvania, Estados Unidos, como control de la subsidencia, posteriormente se fue mecanizando y optimizando su uso en la explotación en la minería subterránea. En el Perú se aplicó relleno hidráulico en el año 1937 en la mina

Lourdes de Cerro de Pasco con la finalidad de controlar incendios, implementándose luego al ciclo de minado.

Se define como relleno hidráulico al material que es transportado en forma de pulpa por tuberías<sup>1</sup>. En su mayoría el material es el relave de planta concentradora, pero también se utiliza arenas glaciares y otros materiales granulares que se encuentra en la naturaleza.

El relleno hidráulico tiene las siguientes aplicaciones:

- Proveer una plataforma de trabajo.
- Evitar el movimiento y caída de las rocas.
- Facilitar la recuperación de pilares.
- Evitar o minimizar la subsidencia.
- Estabilizar el macizo rocoso en las minas, reduciendo la posibilidad de estallidos de roca.
- Controlar y prevenir incendios en las minas.
- Minimizar la deposición de relaves o material rocoso en superficie ayudando al control ambiental.

#### **a. VENTAJAS DEL RELLENO HIDRÁULICO**

- Cuando se utiliza relave de una planta concentradora el costo de la obtención del material es cero, ya que la planta cubre los costos de reducción de tamaño del material.

- Cuando se utiliza el material detrítico producto de las labores de preparación y desarrollo se contribuye a maximizar la vida útil de las desmontaras y asimismo se minimiza el impacto ambiental.
- El transporte en tuberías es mucho más económico, eficiente y rápido que con otro tipo de transporte.
- Al depositarse el relleno en el tajo en forma de pulpa tiende a buscar su nivel en forma natural, eliminando así la necesidad de utilizar recursos adicionales para esparcirlo manual o mecánicamente.
- El relleno hidráulico por la granulometría del material que es de fácil control permite una alta resistencia al movimiento de las cajas.
- El relleno hidráulico permite aumentar la eficiencia y productividad en los tajos debido a la disminución del consumo de madera y a la reducción del costo de minado por la versatilidad que brinda.

#### **b. Desventajas del relleno hidráulico**

- El sistema de relleno hidráulico requiere una alta inversión de capital, para lo cual es necesario tener un sustento financiero de aplicabilidad.
- La introducción de agua en el relleno a la mina es un problema si el drenaje se realiza por bombeo.
- Cuando se utiliza material con contenidos altos de pirita o pirrotita, al oxidarse estos sulfuros se produce una reacción exotérmica lo cual eleva la temperatura y produce anhídrido sulfuroso.

- 9
- En el agua de drenaje del relleno siempre arrastra cierta cantidad de finos los cuales se depositan en los niveles inferiores de las labores rellenadas.

## **2.7.2. PULPA**

Se define como pulpa a la mezcla constituida por una fase sólida y una líquida, donde la fase líquida transporta a la sólida en suspensión.

### **a. Pulpa homogénea**

Este tipo de pulpa se comporta como un fluido plástico de Bingham, es decir que las propiedades del agua se afectan por la presencia de los sólidos, por ejemplo las arcillas.

### **b. Pulpa heterogénea**

Los relaves, arenas, concentrados de minerales se comportan como mezclas, ya que el líquido y los sólidos se comportan independientemente, denominándose al conjunto sólido-líquido, mezcla o pulpa heterogénea.

## **2.7.3. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL A TRANSPORTAR**

Las características más importantes de los sólidos que influyen en su transporte son:

## 1. GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS

Es la relación entre el peso específico del sólido y el peso específico del agua. Por ejemplo los sólidos que con mayor frecuencia se transporta son:

MATERIAL SÓLIDO	GRAVEDAD ESPECÍFICA
Asfalto	1.05
Carbón	1.40
Fosfatos	2.70
Caliza	2.70
Concentrado de cobre	4.30
Mineral de hierro	4.90

## 2. TAMAÑO MÁXIMO DE LAS PARTÍCULAS

Debido a que las partículas de mayor tamaño tienden a sedimentarse más rápido que las partículas menores, es necesario conocer el tamaño máximo de las partículas sólidas para así determinar la velocidad máxima de sedimentación que tendrán.

SÓLIDO	TAMAÑO MÁXIMO (mm)	MALLA
Asfalto	4.76	4
Carbón	2.38	8
Caliza	0.30	48
Concentrado de cobre	0.21	65
Concentrado de hierro	0.15	100

### 3. DUREZA DE LOS SÓLIDOS

Esta característica determina el tipo y material del equipo a utilizarse en su transporte. En la tabla siguiente se da el grado de dureza de materiales sólidos según la escala de Mohs.

MATERIAL	ESCALA MOHS
Carbón (malla 30)	1 (talco)
Lignito	2 (yeso)
Caliza	3 (calcita)
Carbón (malla 16)	4 (fluorita)
Magnetita	5 (apatito)
Concentrado de cobre	6 (ortosa)
Fosfatos	7 (cuarzo)
Pirita	8 (topacio)
Calcopirita	9 (corindón)

La abrasividad del material sólido tiene una relación directa con la escala de Mohs:

Relación entre la Escala de Mohs y la Abrasividad

ESCALA MOHS	ABRASIVIDAD
1 – 3	No abrasivo
3	Ligeramente abrasivo
4 – 6	Medianamente abrasivo
7 – 9	Altamente abrasivo

#### 4. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL RELLENO HIDRÁULICO

##### a. Porosidad ( n )

Es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total del material. Si la porosidad se expresa en porcentaje (%), se denomina porcentaje de vacíos.

$$n = \frac{V_v}{V_t}$$

Donde:

$M_a$  = masa de aire

$M_w$  = masa de agua

$M_s$  = masa de sólidos

$V_a$  = volumen de aire

$V_w$  = volumen de agua

$V_s$  = volumen de sólidos

$V_v$  = volumen de vacíos

$V_t$  = volumen total

##### b. Relación de vacíos ( e )

Está dada por la siguiente expresión:

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Donde los valores de "e", para los rellenos hidráulicos por lo general varían entre los valores que se muestran en la tabla siguiente:

### Relación de vacíos tipos de relleno

RELLENO	"e"
Arenosos	0.6 – 0.9
Areno-arcillosos	0.8 – 1.6
Arcillosos	1.5 – 2.5

#### ➤ Relación de Vacíos Máxima ( $e_{max}$ )

Se expresa mediante la siguiente relación:

$$e_{max} = \left( \frac{S_s}{D_{min}} \right) - 1$$

Donde:

$S_s$  = Gravedad específica de los sólidos (TM/m<sup>3</sup>)

$D_{min}$  = Densidad mínima (TM/m<sup>3</sup>)

#### ➤ Relación de Vacíos Mínima ( $e_{min}$ )

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$e_{min} = \left( \frac{S_s}{D_{max}} \right) (1+W) - 1$$

Donde:

$S_s$  = Gravedad específica de los sólidos (TM/m<sup>3</sup>)

$D_{max}$  = Densidad máxima (TM/m<sup>3</sup>)

$W$  = Porcentaje de humedad con la que se determina la densidad máxima.

**c. Contenido de humedad (w)**

Expresado por:

$$W = \left( \frac{M_w}{M_s} \right) \times 100$$

Donde:

M<sub>w</sub> = masa de agua

M<sub>s</sub> = masa de sólidos

**d. Grado de saturación (S<sub>r</sub>)**

Definido por:

$$S_r = \left( \frac{V_w}{V_v} \right) \times 100$$

Para las arenas se tiene la siguiente clasificación por su contenido de humedad:

**Clasificación de las arenas según humedad**

CONDICIÓN DE ARENA	W ( % )
Seca	0
Ligeramente húmeda	1 – 25
Húmeda	26 – 50
Muy húmeda	51 – 75
Mojada	76 – 99
Saturada	100

### Fricción interna de materiales

MATERIAL	CONDICIÓN SUELTA	CONDICIÓN DENSA
Arenas y gravas	33° - 36°	45° - 47°
Arenas medias	30° - 33°	40° - 45°
Arenas finas	26° - 30°	32° - 38°
Arenas limosas (muy finas)	25° - 30°	30° - 35°

## 5. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Determina la distribución del tamaño de las partículas o 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 rocas compuestas de uno o más minerales, pudiendo estas ser angulares, redondeados o planos. Pueden ser frescos o mostrar signos de alteración, resistentes o deleznales. Esta fracción recibe el nombre genérico de grava.

En las fracciones finas y muy finas, cada grado está constituido de un solo mineral. Las partículas pueden tener formas angulares, tubulares o escamas, pero nunca redondeadas.

A continuación se presenta los rangos de tamaño en que varían las partículas:

### Rango de tamaño de partículas de los materiales

MATERIAL	TAMAÑO	
	DESDE	HASTA
Finas		0.075 mm
Arenas	0.075 mm	0.085 mm
Gruesos	0.085 mm	5 mm

#### 6. Diámetro efectivo ( $D_{10}$ )

Es el tamaño de las partículas que corresponden al 10 % del producto más fino.

#### 7. Coeficiente de uniformidad ( $C_u$ )

Se define como la razón del diámetro de partícula mas grande que se encuentra en el 60% de fracción acumulativa (-) del material, al diámetro de la partícula de mayor tamaño presente en el 10% de la fracción acumulativa (-) del material<sup>2</sup>. Se calcula dividiendo el  $D_{60}$  entre el  $D_{10}$  del material.

$$C_u = D_{60} / D_{10}$$

Estadísticamente se ha determinado que un  $C_u = 5$  es lo más conveniente para relleno hidráulico. Un  $C_u$  mayor de 5 indica la presencia de gran cantidad de partículas finas, lo cual impide una adecuada percolación del agua.

Si el  $C_u$  es menor de 5, se tendrá una baja concentración de partículas finas en el material, produciendo una mayor percolación del agua con una tendencia a producir el fenómeno de "embudo".

## 8. Velocidad de percolación ( $V_1P_1$ )

Es una medida de la velocidad con el que el agua pasa a través del material de relleno. Teóricamente se puede calcular con la siguiente expresión:

$$V_1P_1 = \left( \frac{D_{10} \times 6}{100} \right)^2$$

Donde:

$V_1P_1$ : se expresa en cm/h

$D_{10}$ : se expresa en micrones ( $\mu\text{m}$ )

Estadísticamente se ha comprobado que una  $V_1P_1 = 10$  cm/h es la más adecuada para un relleno hidráulico. Un relleno con una  $V_1P_1$  menor a 3 cm/h demoraría mucho tiempo para eliminar agua y por lo tanto tardará en permitir el reingreso del personal al tajo. Por otro lado un relleno con una  $V_1P_1$  mayor a 20 cm/h puede causar el fenómeno "embudo", además de permitir la pérdida de una cantidad considerable de relleno hacia las galerías.

## 9. Comportamiento mecánico del relleno

Para observar el comportamiento mecánico del relleno se deberá considerar los siguientes parámetros:

1. **Densidad Relativa ( $D_r$ ).**- Expresa el estado de compactación de relleno arenoso y está definida por la siguiente ecuación:

$$D_r = \frac{\rho - \rho_{\min}}{\rho_{\max} - \rho_{\min}}$$

$$\rho(\rho_{\max} - \rho_{\min})$$

También se puede expresar en función de densidades:

Donde:

$e_{max}$  : relación de vacíos del relleno en su estado más suelto, estable.

$e_{min}$  : relación de vacíos en el estado más denso que puede obtenerse en laboratorio.

$e$ : relación de .

$\rho_{max}$ : densidad máxima.

$\rho_{min}$ : densidad mínima.

$\rho$ : densidad del relleno.

La densidad relativa del relleno está en función de tres factores principales: forma de los granos, granulometría y la manera de depositarse:

- a. Los rellenos constituidos por partículas con formas angulares tienden a tener una densidad relativa baja y son susceptibles a un fuerte reordenamiento y reducción de volumen.
- b. La granulometría es el factor de mayor influencia en la densidad relativa, lo ideal es que el material sea bien graduado, de tal manera que se reduzca los vacíos al mínimo.
- c. La manera de depositarse el relleno hidráulico influye también en la densidad relativa del mismo. La deposición del relleno en un solo punto permite que a cierta distancia las partículas sólidas se sedimenten en un ambiente calmo y sin perturbación. Una manera de esta sedimentación permite que los granos se acomoden en forma de arcos o bóvedas naturales, los cuales ante una presión o

vibración tienden a reordenarse y ocupan más eficientemente los espacios. Para impedir la formación de bóvedas se recomienda depositar el relleno en varios puntos del tajo y evitar así la sedimentación imperturbada.

Si bien una alta densidad relativa es conveniente para el propósito de contrarrestar el movimiento de las cajas, ésta se logra a expensas de algunas propiedades dependientes.

- El volumen del tajo relleno con una tonelada de relleno disminuye.
- Si aumenta la densidad relativa disminuye la percolación, ya que disminuye el área de los conductos por donde percola el agua, esto se puede terminar con la expresión siguiente:

$$\underline{V.P.}_{(1)} = \underline{e^2}_{(1)}$$

$$V.P._{(2)} \quad e^2_{(2)}$$

- La cantidad de agentes cementantes (cuando se usan), es menor, pues con un contacto más íntimo entre la partículas se requerirá menor cemento para adherir una con otra.
- Si el aumento de la densidad relativa se obtiene mediante la regulación de la granulometría, el coeficiente de uniformidad también aumenta.

En resumen, la mejora de ciertas propiedades puede implicar otras, por lo que existe una densidad relativa óptima con la cual se obtiene una combinación óptima de propiedades.

**2. Efecto del Agua en el Relleno Hidráulico.-** El agua puede presentarse en el relleno hidráulico en dos formas:

- a. En forma de partículas alrededor de los granos.
- b. Ocupando parte o todos los vacíos entre los granos del material.

Si los vacíos están completamente llenos con agua, el relleno está saturado y la mezcla se dice que es continua, si los vacíos están parcialmente llenos, la mezcla es discontinua formando cuñas de agua entre los granos adyacentes y películas de mezcla alrededor de ellas.

Muchos de los rellenos hidráulicos probablemente desarrollen superficies capilares, al menos temporalmente. Estas superficies pueden ser engañosas ya que las tensiones capilares tienden a consolidar la superficie del relleno, haciendo que el relleno parezca más firme de lo que es en profundidad.

**3. Presión Neutra ( $U_w$ ) y Presión Efectiva ( $\mathcal{P}$ ).-**

Una arena suelta ya saturada bajo carga, en la que no se permite el drenaje, desarrolla presiones entre grano y grano y una presión neutra en el agua dentro de los poros, es decir:

$$\mathcal{P} = P - U_w$$

Donde:

$\mathcal{P}$  = presión efectiva (grano a grano)

$P$  = presión total

$U_w$  = presión en el agua de los poros

Cuando  $U_w$  es iguala a la presión total, la presión efectiva es igual a cero.

En términos de fallamiento:

$$\bar{\eta} = \Omega - U_w$$

Donde:

$\bar{\eta}$  = tensión efectiva grano a grano al momento de fallar.

$\Omega$  = tensión normal en el plano de falla.

Por lo tanto  $U_w$ , a medida que tiende a  $\Omega$ ,  $\bar{\eta}$  tiende a cero. Debido a que la tensión efectiva al momento de fallar, la tensión de corte también tiende a cero. Entonces, la arena se vuelve inestable y puede licuarse.

En un tajo rellenado, esta condición puede darse por efectos de voladura en rellenos sueltos saturados.

#### 4. Consolidación.-

Es el cambio de volumen de una carga constante a medida que transcurre el tiempo. Se diferencia de la compresión, en que en ésta hay un cambio de volumen debido a un incremento de carga.

El relleno tiende a consolidarse bajo cargas estáticas, tales como las que ocurren cuando el tajeo tiende a cerrarse. Esta consolidación inicial puede ser muy grande en rellenos sueltos, mientras que en rellenos densos tienen menor tendencia a consolidarse bajo cargas estáticas.

Después de una consolidación inicial ocurre una consolidación secundaria más lenta tanto en rellenos sueltos como en densos.

#### **5. Compactación.-**

Es la densificación artificial de los suelos. Los materiales cohesivos se compactan mejor bajo cargas dinámicas. La eficiente compactación de estos materiales a su máxima densidad está en muchos casos, en relación al contenido de agua del material. La cantidad de agua presente debe ser suficiente como para lubricar las partículas; un exceso de agua llenará los vacíos y creará tensiones neutras positivas en el suelo, reduciendo así su densificación.

En materiales no cohesivos, como muchos rellenos, no se llega generalmente a su máxima densidad mediante la aplicación de cargas estáticas o dinámicas, siendo necesario el uso de vibradores.

#### **6. Cementación.-**

La cementación de los rellenos hidráulicos puede tomar muchos años, dependiendo principalmente de la composición química del relleno.

Los rellenos provenientes de relaves pobres en sulfuros muestran un grado de cementación baja. En realidad la cementación ocurre en estos

rellenos, en un periodo corto de tiempo, pero las altas temperaturas debido a las oxidaciones son una desventaja para la cementación.

## 7. Compresibilidad.-

Los rellenos hidráulicos son los menos compresibles de todos los rellenos usados como soporte en minería subterránea. Rara vez se comprimen más 20 %del, variando generalmente entre 5 % y 10 % .La resistencia del relleno no se desarrolla hasta que el contenido de agua ha sido reducido de un semifluido a una condición consolidada.

### Compresibilidad de Material de Relleno

MATERIAL CONFINADO IMPEDIDO A MOVERSE LATERALMENTE	TONELADAS NETAS POR m <sup>2</sup> PARA PRODUCIR UNA COMPRESION DE:					CARGA Y COMPRESIÓN AL FINAL DEL ENSAYO	
	3%	5%	10%	20%	30%	CARGA (TM)	COMPRESIÓN (%)
Arenisca rota	35.8	59.7	143.4	501.6	1061.3	666	35
Arenisca rota y arena	37.7	62.1	262.9	3320.7	-	666	33
Cenizas de carbón secas	10.8	20	57.3	116.3	269.1	666	51
Cenizas de carbón húmedas	-	-	-	59.2	236.8	666	51
Arena seca	32.3	56.7	358.4	1388.5	5371.2	666	32.2
Arena húmeda	423	712.2	1870	5978.3	-	666	20.75

**Características** de rellenos arenosos y arcillosos.

CARACTERÍSTICAS	ARENAS	ARCILLAS
Relación de vacíos	Baja	Alta
Cohesión	Baja	Acentuada función de la humedad
Fricción interna	Alta	Baja
Compresibilidad	Ligera	Alta, función del tiempo
Permeabilidad	Variable	Impermeable

## 2.8. HIPÓTESIS.

Para minimizar los problemas de inestabilidad del macizo rocoso producto de los espacios vacíos dejados por la explotación del yacimiento, es necesario rellenar dichas aberturas, para lo cual se aprovechará como agregado del relleno hidráulico el desmonte proveniente de la mina, consiguiendo al mismo tiempo reducir el impacto ambiental negativo producido por la acumulación de desmonte en superficie.

### 2.8.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:

- a) Los factores de carácter condicionante de la evaluación técnica del relleno hidráulico en la Compañía Minera Poderosa S.A. Se presenta de manera divergente.
- b) Para estabilizar las zonas explotadas en la – Compañía Minera Poderosa es indispensable.

- c) Existe relación directa positiva en la evaluación técnica del relleno Hidráulico para estabilizar las zonas explotadas en la – Compañía Minera Poderosa S.A.

## 2.9.- VARIABLES DE ESTUDIO:

### Identificación de Variables.

#### Independiente.

X: Relleno hidráulico.

#### Dependiente.

Y: Estabilizar el macizo rocoso generado por la extracción del mineral.

### DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES E INDICADORES.

VARIABLES	TIPO DE VARIABLE	INDICADORES	INDICES
Relleno hidráulico.	Variable Independiente	· Disposición de 230 m <sup>3</sup> /día de relleno hidráulico utilizando en un 30 % como agregados el desmonte proveniente de. Mina	m <sup>3</sup> / día
Estabilizar el macizo rocoso generadas por la extracción del mineral	Variable Dependiente	Volumen de espacios abiertos	m <sup>3</sup> / día

Fuente: Elaboración Propia.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO.

Distrito : Pataz.

Provincia : Pattaz.

Región : La Libertad.

#### 3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.

Según Oseda D. (2011:141). "El tipo de estudio de la presente investigación es **Aplicativo** porque persigue fines de aplicación directos e inmediatos. Busca la aplicación sobre una realidad circunstancial antes que el desarrollo de teorías. Esta investigación busca conocer para hacer y para actuar".

#### 3.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN.

El nivel de la investigación es Explicativo porque se requiere de considerable conocimientos del área de estudio del campo para su comprobación, las

características de cada uno de los fenómenos observados, tal cual y como se presenta en la realidad, con relación al relleno hidráulico para dar estabilidad a los espacios vacíos por la explotación del mineral.

El nivel de investigación es el descriptivo. Según Oseda, G. (2008) 119 “las investigaciones descriptivas buscan ser sometidos a análisis, es decir, busca saber quien, donde, cuando, como y porque el sujeto de estudio, y principalmente del fenómeno o fenómenos a investigar.

### **3.4 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.**

#### **3.4.1 MÉTODO GENERAL.**

En la presente investigación, se utilizará el Método Científico como método general. En la actualidad según Oseda G, Ramírez F, Gonzales C y Gave Cha, (2011) 71: “El estudio del método fue tradicionalmente, objeto de estudio de la metodología o metódica, como se le llamaba a esta disciplina, que era parte de la lógica. Normas, En la actualidad el estudio del método científico es objeto de estudio de la epistemología. Asimismo, el significado de la palabra “método” ha variado. El conjunto de reglas fijas, que deberán servir de pautas a la investigación (71).

A decir de Santiago V. (2009), 24 “el método científico es un instrumento que emplea el investigador para resolver diversos tipos de problemas que se plantea.

Mario Tamayo y Tamayo (1998) 142,” Define el método científico en función a los procedimientos o técnicas que se utilizan para resolver los problemas

planteados. Uno de los objetivos básicos del método científico es llegar a la comprensión de los fenómenos o hechos que se estudian”.

El Método Experimental. Según Oseda, G. (2008): 50 Toda ciencia tiene su método específico pero podemos encontrar ciertas características generales.

El conocimiento científico parte de los principios, sobre los cuales se basan dos actividades fundamentales de la ciencia.

- Los principios se toman de la experiencia, pero pueden ser hipótesis o postulados.
- A partir de los principios la ciencia usa la demostración.

### 3.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

Según Oseda G, Ramírez F, Gonzales C y Gave C., (2011) 71: El método de investigación es el descriptivo dentro de las clases de diseño descriptivo ex post facto y atendiendo a sus clases de diseño del grupo criterio.

$G_1 \quad (X) \quad O_1$

$G_2 \quad \quad \quad O_2$

Donde:

$G_1$  y  $G_2$ : Grupo de estudio.

$O_1$  y  $O_2$ : Mediciones realizadas.

$X$  : Variable independiente que no ha sido manipulada.

### 3.6 POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO

#### 3.6.1 Población.

Según Oseda, D (2008) 120 “La población es el conjunto de individuos que comparten por lo menos una característica, sea una ciudadanía común, la calidad de ser miembros de una asociación voluntaria o de una raza, la matrícula en una misma universidad, o similares”. (39)

En el caso de nuestra investigación, la zona donde se realizó la investigación es la mina Poderosa S.A. con una población de 150.

### **3.6.2 Muestra.**

Según el mismo Oseda, D. (2008), 121 menciona que “la muestra es una parte pequeña de la población o un subconjunto de esta, que sin embargo posee las principales características de aquella. Esta es la principal propiedad de la muestra (poseer las principales características de la población) la que hace posible que el investigador, que trabaja con la muestra, generalice sus resultados a la población”. (40).

En nuestro caso el tamaño de la muestra será no probabilística, a lo que se refiere es que las muestras serán basándose en juicio o criterio, por ser una investigación experimental, Veta Jimena.

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

### **3.7.1 Técnicas.**

Las técnicas usadas en la presente investigación serán por observación directa, análisis de documentos, análisis de laboratorio.

- Utilización del relave de la planta concentradora.

- Utilización del material detrítico producto de las labores de preparación y desarrollo.
- Utilización de tuberías como medio de transporte del relleno hidráulico.

### **3.7.2 Instrumentos.**

Los instrumentos usados en la presente investigación serán:

- Datos de campo (in situ).
- Análisis de granulometría del relleno hidráulico.

## **3.8 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.**

Los procedimientos de recolección de datos estarán en función al cronograma establecido del proyecto de tesis.

## **3.9 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.**

Se utilizará el programa.

- SPSS.
- Excel.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1. CALIDAD DEL MATERIAL DE RELLENO**

Para determinar el material adecuado a utilizarse en el relleno hidráulico de la veta Jimena se han realizado análisis granulométricos de los distintos posibles agregados.

La distribución granulométrica ideal para que el relleno alcance una máxima densidad in-situ de tal forma que garantice la resistencia a la compresión uniaxial del diseño, viene determinada por la **Curva de Talbot** (curva para máxima densidad).

En total se realizaron cuatro pruebas de análisis granulométricos las cuales se describen a continuación:

##### **4.1.1. Primer análisis de muestras.**

Las muestras de arena sometidas a los ensayos granulométricos proceden de la zona de Papagayo en el (lecho del río), de la quebrada

La Brava en el y de la cantera de Glorita; de los cuales se obtiene los siguientes resultados:

**a. Análisis Granulométrico:**

A continuación se presenta un resumen de análisis granulométrico de las distintas posibles canteras de material para el relleno hidráulico:

Malla	Abertura (mu)	% Ac(-) NV		% Ac(-)	
		Papagayo	2080	Glorita	Talbot
+1 1/2"	38100	100.00	85.68		100.00
+1"	25400	98.77	83.84		81.65
+1/2"	12700	98.53	79.43	100.00	57.74
+3/8"	9525	98.24	78.27	99.97	50.00
+1/4"	6350	97.68	76.54	99.90	40.82
+m6	3350	93.81	70.84	96.72	29.65
+m10	2000	83.00	60.12	82.73	22.91
+m20	850	51.69	37.14	46.54	14.94
+m50	300	20.86	19.75	19.06	8.87
+m100	150	9.55	14.42	10.25	6.27
+m150	106	6.00	11.97	7.53	5.27
+m200	75	4.03	10.45	5.84	4.44
+m325	45	2.89	9.04	4.63	3.44
+m400	38	2.65	8.60	4.32	3.16

Ø60	1155	1994	1278	13903
Ø10	156	65	146	402
<b>C.U.=Ø60/Ø10</b>	<b>7.41</b>	<b>30.47</b>	<b>8.75</b>	<b>34.57</b>

### CURVAS GRANULOMÉTRICAS

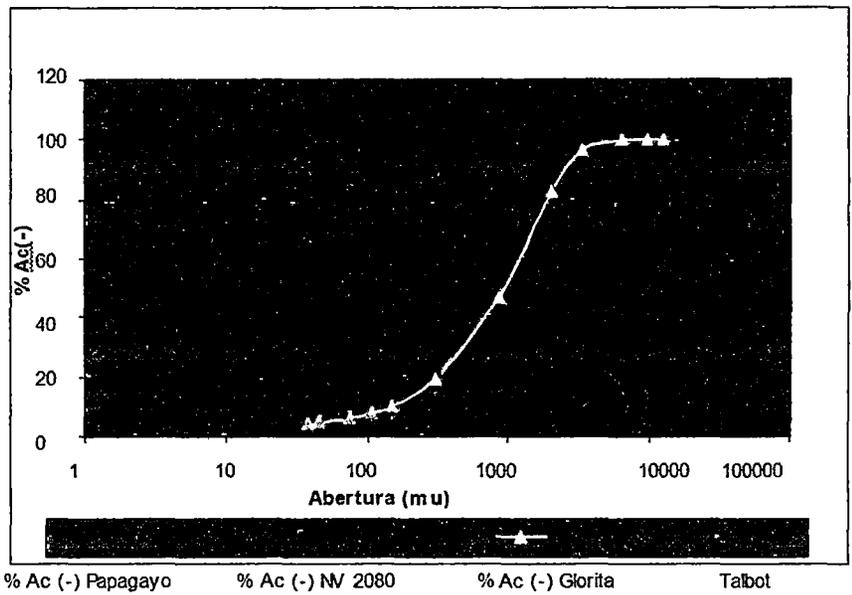


Figura N° 4 Primer Análisis granulométrico

La Curva de talbot viene a ser la distribución ideal de los granos, para lo cual el resto de curvas tiene que estar lo más próximo posible a ésta, del gráfico en la Figura N° 9 se deduce que les faltan finos a las muestras.

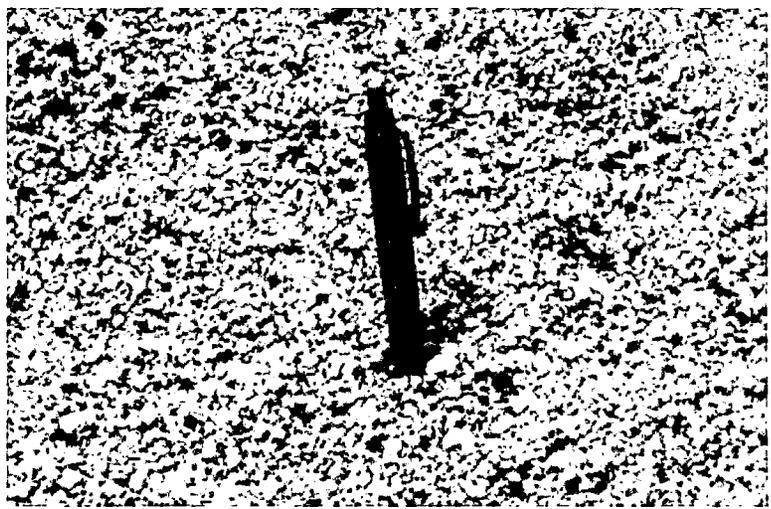


Figura N° 5 Arenas de la Zona de Gloria (NV 2420)

**b. Velocidad de Sedimentación (Prueba del Slump)**

Para esta prueba se utilizó un cono de base menor igual a 10 cm, base mayor igual a 20 cm y una altura igual a 30 cm.

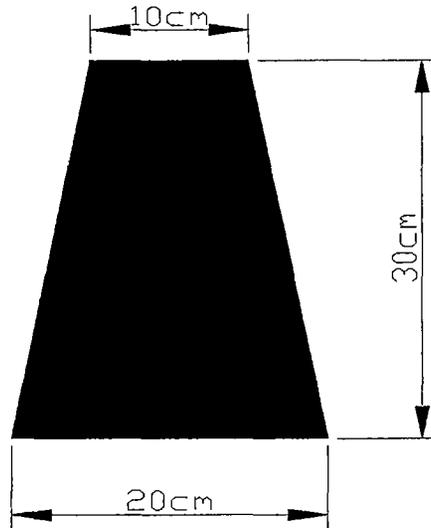


Figura N° 6 Cono para prueba de Slump.

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 para que se puedan depositar y acomodar en el tajeo.

Para la prueba se utilizó:

- Capacidad del cono : 5 litros
- Relación de mezcla : 1 a 1
- Peso de arena : 3 kg
- Peso de agua : 3 kg

Como resultado se tuvo un Slump de 3.25" de altura lo que nos indica que el material no se va a depositar y acomodar en la labor por sí solo, por lo que será necesario buscar un mayor asentamiento del material.



Figura N° 7 Primera prueba de Slump

**c. Prueba de Velocidad de Percolación.**

La velocidad de percolación más adecuada debe ser de 4 pulgadas/hora Para determinar la velocidad de percolación se realizó dos pruebas:

**Prueba N° 1:** arena sin moler, mas agua.

- Relación de mezcla : 1 a 1
- Peso de arena : 2 kg
- Peso de agua : 2 kg

El tiempo de percolación fue de 2 cm en 9 minutos es decir:

0.22 cm/ min (5.20 pulgadas/hora).

**Prueba N° 2:** material molido, mas agua.

- Relación de mezcla : 1 a 1
- Peso de arena : 3.1 kg
- Peso de agua : 3.1 kg

El tiempo de percolación fue de 2 cm en 20 minutos, esto es 0.1 cm/min (2.36 pulgadas/hora) como podemos observar hay una disminución respecto a la primera prueba, esto debido a que el material se a molido.

#### **4.1.2. SEGUNDO ANÁLISIS DE MUESTRAS.**

Para el segundo análisis se ha utilizado solamente material de la cantera de Glorita NV 2420 pues en esta zona existe un gran volumen de material insitu para el relleno y que además es de donde procede el material existente en las zonas de Papagayo y la Brava.

##### **a. Análisis Granulométrico:**

Para dicho ensayo la muestra se pasó por molienda a distintos tiempos y se le practicó el análisis granulométrico cuyo resultado se da en el siguiente cuadro:

Malla	Abertura (µm)	% Acum (-)						
		Sin reducción de tamaño	Molienda 0 min	Molienda 5 min	Molienda 10 min	Molienda 20 min	Molienda 30 min	TALBOT
3/8"	9525	100	100	100	100	100	100	100
1/4"	6350	99.77	100	100	100	100	100	81.66
m6	3350	96.43	100	100	100	100	100	58.30
m10	1651	81.54	99.74	98.89	98.96	98.98	100.00	45.82
m20	850	43.91	51.16	81.45	90.87	97.68	99.62	29.87
m30	600	29.62	36.56	70.37	84.84	96.41	99.35	25.10
m50	300	15.33	17.88	44.39	61.92	87.93	97.77	17.75
m70	212	11.12	12.24	33.40	48.04	74.96	94.05	14.92
0	150	6.91	8.59	24.65	36.24	58.61	81.81	12.55
0	106	4.64	6.62	19.10	28.24	46.59	66.69	10.56
0	75	3.22	5.04	14.21	21.10	34.88	50.11	8.87
0	53	2.66	3.99	10.77	15.67	25.96	36.85	7.46
0	45	2.10	3.80	9.62	14.01	23.61	33.52	6.87
0	33	1.83	3.45	8.42	12.20	20.28	28.77	6.32
0	25		3.10	6.98	9.81	15.95	22.66	5.12
Ø60		1192	996	480	288			
Ø10		196	174	48	26			
C.U.=Ø60/Ø10		6.10	5.72	10.08	11.23			

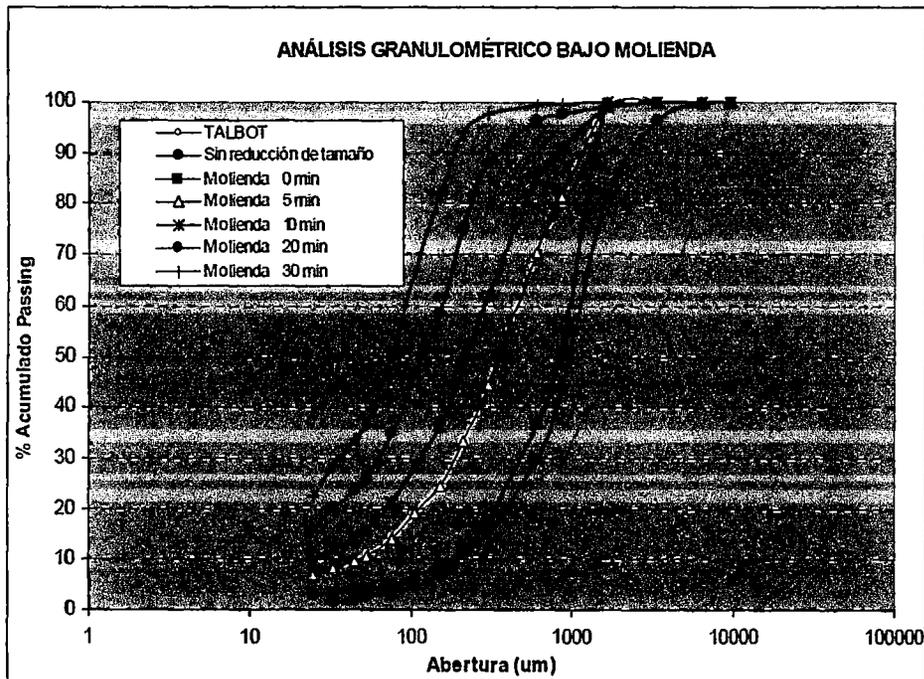


Figura N° 8 Segundo análisis granulométrico

En el cuadro se observa que a mayor tiempo de molienda de la muestra se va alejando de la Curva Talbot; esto es porque se va generando mayor cantidad de finos los cuales producen lamas y esto no permite una buena percolación.

**b. Velocidad de Sedimentación (Prueba del SLUMP)**

Como resultado se tuvo un Slump de 1.6 pulgadas de altura lo que nos indica que vamos mejorando con relación al primer análisis, nuestro objetivo es llegar a menos 1 pulgada de altura.

**c. Prueba de la Velocidad de Percolación.**

La velocidad de percolación es de 0.50 cm/hora; lo que equivale a 0.20 pulgadas/hora. Esto nos indica que se produciría el fenómeno de embalse por lo tanto el agua no va a circular.

**4.1.3. TERCER ANÁLISIS DE MUESTRAS.**

**a. Análisis Granulométrico:**

Una vez obtenida la mejor combinación entre la cantera de Glorita y el desmonte de mina reducido a una granulometría menor a 3/8", se procede a mezclar ambos productos en una relación de 1:1; 2:1; 3:1. Los resultados del análisis granulométrico obtenidos se presentan en el gráfico siguiente:

Abertura		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
MALLA	(um.)	TALBOT	MEZCLA GO + DO	MEZCLA GO + DO	MEZCLA GO + DO
+1"	25400		100.00	100.00	100.00
+1/2"	12700		100.00	100.00	100.00
3/8"	9525	100.00	100.00	100.00	100.00
+1/4"	6350	81.65	90.16	93.21	97.24
+m6	3350	59.30	74.56	82.64	90.44
+m10	2000	45.82	58.97	66.22	73.81
+m20	850	29.87	33.93	36.79	41.36
+m50	300	17.75	16.10	15.95	17.50
+m100	150	12.55	10.05	9.27	9.99
+m150	106	10.55	8.01	7.23	7.74
+m200	75	8.87	6.39	5.54	5.89
+m325	45	6.87	5.34	4.65	4.83
+m400	38	6.32	4.53	3.92	4.28

D60	3429	2078	1732	1473
D10	95	149	165	150
C.U.=D60/D10	36.00	13.95	10.48	9.81

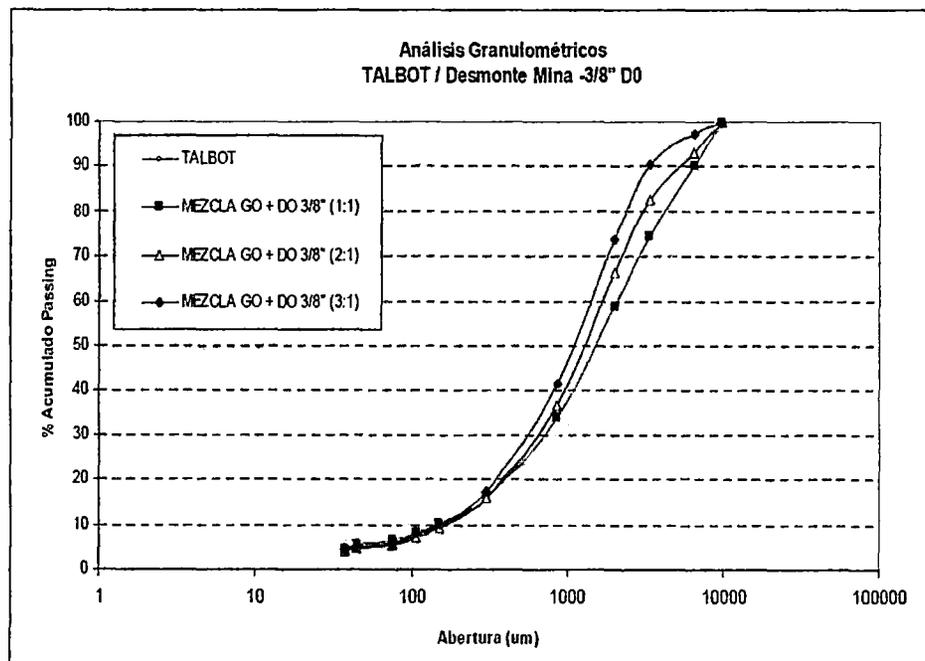


Figura Nº 9 Cuarto análisis granulométrico

La curva obtenida para una relación de mezcla + desmonte (1,1) es relativamente cercana a la Curva de talbot, lo que indica que la mezcla entre material de cantera Glorita y desmonte de mina chancado a 100% = 3/8" cumple con las condiciones de densidad del material para relleno Hidráulico.

Las curvas para una relación de mezcla cantera Glorita + desmonte (2,1 y 3,1) están más alejados de la Curva de Talbot y tienen un menor coeficiente de uniformidad.

En el siguiente cuadro se presenta el análisis granulométrico del material producto de la mezcla de las arenas de Glorita y el desmonte de mina chancado a un 100% = 3/8".

MALLA	Abertura	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
	(um.)	TALBOT	MEZCLA GO + DO 3/8" (1:1)
+1"	25400		100.00
+1/2"	12700		100.00
+3/8"	9525	100.00	100.00
+1/4"	6350	81.65	92.33
+m6	3350	59.30	78.71
+m10	2000	45.82	62.26
+m20	850	29.87	35.07
+m50	300	17.75	16.12
+m100	150	12.55	9.91
+m150	106	10.55	7.93
+m200	75	8.87	6.31
+m325	45	6.87	5.31
+m400	38	6.32	4.58

D60	3429	1893
D10	95	152
<b>C.U.=D60/D10</b>	<b>36.00</b>	<b>12.46</b>

La curva obtenida es relativamente cercana a la Curva de Talbot, lo que indica que la mezcla entre material de cantera Glorita y desmante de mina chancado a 100% = 3/8" cumple con las condiciones de densidad del material para relleno hidráulico.

#### Características de la Mezcla Glorita + Desmante 3/8" (1:1)

Densidad Aparente de Muestra:

Muestra	Cantera Glorita	Desmante Mina 100%-3/8"	Mezcla (1:1)
Peso (gr)	2476.4	3011.3	2713.3
Volumen (cc)	1767.15	1767.15	1767.15
<b>Densidad Aparente</b>	1.401	1.704	1.535

#### Prueba de Agitación

Descripción	Prueba 1	Prueba 2	Unidad
Gravedad específica mezcla (1:1)	2.650	2.650	
Densidad pulpa:	1900	1900	gr./litro pulpa
% Sólidos:	76.07%	76.07%	
Peso de mezcla (1:1)	6.00	6.00	Kilos
Por cada kilo de muestra:	1888	1888	cc H2O
Cal (0.75 Kg/TM):	0	4.50	gr. Por kilo de muestra
RPM	1400	1400	
Observaciones:	Homogeneidad en pulpa	Mayor homogeneidad	

#### Prueba Slump

Descripción	Prueba 1	Prueba 2	Unidad
Cal (0.75 Kg/TM):	0.00	4.50	gr. Por kilo de
<b>Resultado</b>	<b>1.5</b>	<b>0.40</b>	<b>Pulgadas</b>

## Prueba de Percolación

Descripción	Prueba	Unidad
Tamaño de muestra	6	kilos
Diámetro de Columna (cm)	4	pulgadas
<b>Reducción de la altura de la cama de mineral</b>	<b>4</b>	<b>cm/ hora</b>
Pérdida flujo agua:	462	cc / hora

### 4.2. RESUMEN DE RESULTADOS.

1. MEZCLA: Arenas de Glorita + Desmorte de Mina chancado al 100% a -  
 $\frac{3}{8}$ " en relación 1:1.
2. Análisis Granulométrico: D60 = 1893 micras y D10 = 152 micras.
3. Coeficiente de uniformidad (CU): 12.46
4. Gravedad específica de la mezcla: 2.65.
5. Densidad aparente: Glorita =  $1.401 \text{ g/cm}^3$ , Desmorte 100%  $\frac{3}{8}$ " =  $.704 \text{ g/cm}^3$ , Mezcla (1:1) =  $1.535 \text{ g/cm}^3$ .
6. Work Index Desmorte Mina: 12.51 Kw-h/TM.
7. Densidad de pulpa: 1900 g/L equivale a 76% en contenido de sólidos, la diferencia es agua.
8. Prueba de agitación: Se obtiene pulpa homogénea considerando unos 1400 RPM, uso de deflectores en diseño de tanque y 0.75 kg de Cal por TM de mezcla (1:1).
9. Prueba Slump: La altura en la cama esparcida bajó de 1.5 a 0.4 pulgadas con el uso de Cal en proporción de 0.75 kg/TM.

10. Prueba de Percolación: Existe una marcada reducción en la altura de la cama de la Mezcla a razón de 4 cm/hora. A continuación se presenta dos fotografías de la pruebas de Slump, en donde se observa mejores resultados en el cuarto análisis respecto a la primera prueba.

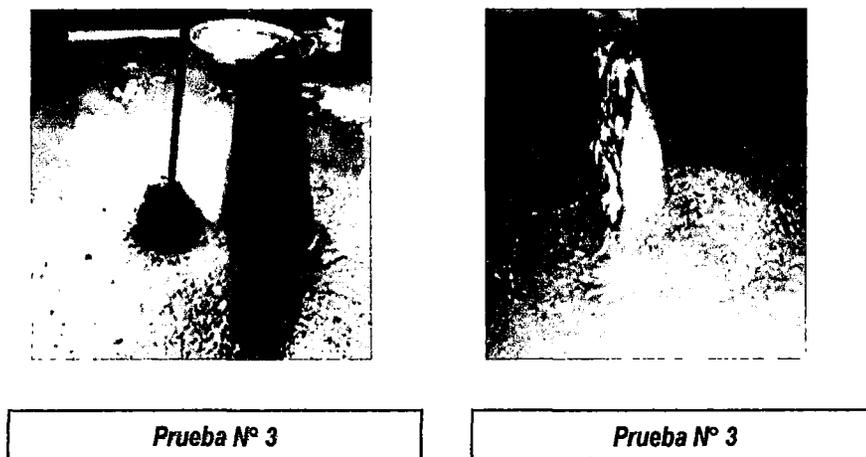


Figura N° 10 Comparación de la primera y tercera prueba de Slump

#### 4.3. REQUERIMIENTO Y DISPONIBILIDAD DE RELLENO HIDRÁULICO

El requerimiento de relleno hidráulico en la Veta Jimena de la Mina Papagayo estará en función de su programa de producción. La disponibilidad de agregados para el relleno es más que suficiente porque se tiene una cantera de arena y el desmonte de los avances de mina. En cuanto al agua, más adelante se hace un análisis de esta necesidad la cual es suficiente con la que se tiene del drenaje de la Mina Glorita NV 2420.

##### 4.3.1. Requerimiento de Agregados para el Relleno

El programa anual de producción de CMPSA para es de 15,190

TM/mes como se muestra en el siguiente cuadro.

### Programa de Producción Anual CIA Minera Poderosa S.A

PROGRAMA ANUAL DE PRODUCCIÓN CMPSA			
MES	ZONA SUR TM	ZONA NORTE TM	TOTAL TM
ENRO	5,000	10,190	15,190
FEBRERO	5,000	10,190	15,190
MARZO	5,000	10,190	15,190
ABRIL	5,000	10,190	15,190
MAYO	5,000	10,190	15,190
JUNIO	5,850	9,340	15,190
JULIO	5,000	10,190	15,190
AGOSTO	4,800	10,390	15,190
SETIEMBRE	4,800	10,390	15,190
OCTUBRE	4,760	10,430	15,190
NOVIEMBRE	5,000	10,190	15,190
DICIEMBRE	5,000	10,190	15,190
<b>Total general</b>	<b>60,210</b>	<b>122,070</b>	<b>182,280</b>
<b>Promedio</b>	<b>5,018</b>	<b>10,173</b>	<b>15,190</b>
<b>mes</b>			
<b>Promedio día</b>	<b>167</b>	<b>339</b>	<b>506</b>

Como la implantación del Relleno Hidráulico que se va realizar es en la zona Norte, en la mina Papagayo, en la Veta Jimena, es necesario analizar específicamente los requerimientos de relleno para esta zona, este análisis se presenta en el cuadro siguiente:

## Programa de Producción Anual de la Veta Jimena - CMPSA

PROGRAMA DE PRODUCCION PARA LA ZONA NORTE (MINA PAPPAGAYO-VETA JIMENA)			
Mes	TM	M3	M3/DIA
Ene	10,190	3,575	119
Feb	10,190	3,575	119
Mar	10,190	3,575	119
Abr	10,190	3,575	119
May	10,190	3,575	119
Jun	9,340	3,277	109
Jul	10,190	3,575	119
Ago	10,390	3,646	122
Set	10,390	3,646	122
Oct	10,430	3,660	122
Nov	10,190	3,575	119
Dec	10,190	3,575	119
<b>Total general</b>	<b>122,070</b>	<b>42,832</b>	<b>1,428</b>
<b>Promedio mes</b>	<b>10,173</b>	<b>3,569</b>	
<b>Promedio día</b>	<b>339</b>	<b>119</b>	<b>119</b>

Cuadro N° 15 Programa de Producción anual de la veta Jimena - CMPSA

Del cuadro anterior se concluye que la producción mensual promedio es de  $3,569\text{m}^3/\text{mes}$ . Esto nos indica que el volumen promedio requerido de relleno es de  $119\text{m}^3/\text{día}$ .

### 4.3.2. Necesidad de Agua

El caudal inicial estimado del relleno hidráulico es de  $40\text{m}^3/\text{hora}$  y  $200\text{m}^3/\text{día}$  de pulpa. De los  $200\text{m}^3$  de pulpa al 75 % de sólido se tiene:  $150\text{m}^3$  de sólidos y  $50\text{m}^3$  de agua. Para el lavado de tubería se requiere  $30\text{m}^3$  más de agua.

Entonces el total de agua requerido es de 80 m<sup>3</sup>/día. Se realizaron mediciones del caudal del drenaje de agua en la bocamina del Nv 2190 el cual es de 11.75 m<sup>3</sup>/hora, de los cuales el consumo de mina es de 11 m<sup>3</sup>/hora.

En la bocamina de Glorita, NV 2420, se tiene un caudal de 28.80 m<sup>3</sup>/hora es decir que sería suficiente tres horas para tener un volumen acumulado de 80 m<sup>3</sup> que es el requerimiento diario de agua para el relleno. Esta cantidad de agua nos permitiría aumentar el caudal de relleno, cuando aumente la producción de la mina.

#### **4.3.3. Disponibilidad de Agregados para el Relleno**

Los agregados para el relleno están formados por 50 % de arena y 50 % de desmonte proveniente de los avances de interior mina.

El volumen de relleno hidráulico será de 200 m<sup>3</sup> con 75 % de sólidos, entonces se requiere 150 m<sup>3</sup> de arena más desmonte. Es decir 75 m<sup>3</sup>/día de arena y 75 m<sup>3</sup>/día de desmonte de mina; al año sería 27000 m<sup>3</sup> de arena y 27000 m<sup>3</sup> de desmonte.

Se cuenta con una cantera de arena de 419,868 m<sup>3</sup> con una necesidad de 27000 m<sup>3</sup>/año tendría una vida útil de 16 años estos datos se presentan en el cuadro siguiente:

DESCRIPCIÓN	UND	al
	m <sup>3</sup>	
Volumen Relleno Anual	m <sup>3</sup>	54000
Volumen requerido de arena anual	m <sup>3</sup>	27000
Vida Útil de Cantera	años	16

Cuadro N° 16 Volumen de Arena de la cantera para relleno

En cuanto a la disponibilidad de desmote, se presenta los datos en el cuadro siguiente:

DESCRIPCIÓN	UND	Total
Programa de producción de mineral anual	Ton	122,070
Densidad del mineral	ton/m <sup>3</sup>	2.85
Volumen de producción de mineral anual	m <sup>3</sup>	42832
Relación Desmote/Mineral		1.20
Producción de desmote anual	Ton	146484
Densidad del desmote	ton/m <sup>3</sup>	2.75
Volumen de desmote anual	m <sup>3</sup>	53267

Cuadro N° 17 Disponibilidad de desmote para relleno

Como se observa en el cuadro anterior se tiene una disponibilidad de más de 50,000 m<sup>3</sup>/año y nuestro requerimiento solo alcanza 27,000 m<sup>3</sup>/año. De los dos últimos cuadros anteriores se concluye que hay suficientes agregados de arena y desmote para cubrir los requerimientos del relleno hidráulico.

#### 4.4. ESTUDIOS PARA LA UBICACIÓN DE LA PLANTA DE RELLENO HIDRÁULICO.

Se ha definido la distribución de tamaños de partículas necesarias para el transporte de la pulpa por gravedad, con 75% de sólidos en peso así como su distribución uniforme en la labor, utilizando tubería de conducción SCH= 80 Ø4" y polietileno PN= 125 Ø4". Inicialmente se considerará un ratio de acción del relleno de 1 a 6.

Esto es para 1 m de vertical se tiene un empuje horizontal de 6 m en longitud equivalente. Considerando una densidad de pulpa de 1.90 kg/L, gravedad específica de los sólidos de 2.65 y tubería de conducción de Ø4", se espera alcanzar caudales entre 35 a 40 m<sup>3</sup>/h ó 48.5 a 55.5 ton/hora. El diseño de agregados a utilizar inicialmente (arena/desmonte) es de 1/1 en peso. Uno de arena con uno de desmonte de mina chancado a -<sup>3</sup>/<sub>8</sub>", más 0.75 kg de cal por tonelada de agregados. Inicialmente la arena se tomará de la quebrada Papagayo y el desmonte de mina, NV 2080. El diseño de la planta debe contemplar la posibilidad de utilizar cemento a granel para obtener un relleno estructural, esto con el fin de minimizar la compactación. Para la profundización de la mina se debe considerar, dejar desmonte grueso en los tajos y completar con relleno estructural. Para definir la ubicación más adecuada de la planta de Relleno Hidráulico se analizó tres alternativas, las cuales se presentan a continuación:

#### 4.4.1. ALTERNATIVA – A: Planta RH en NV-2080

En el gráfico siguiente se esquematiza la alternativa de ubicación de la Planta RH respecto a la zona de explotación (Veta Jimena).

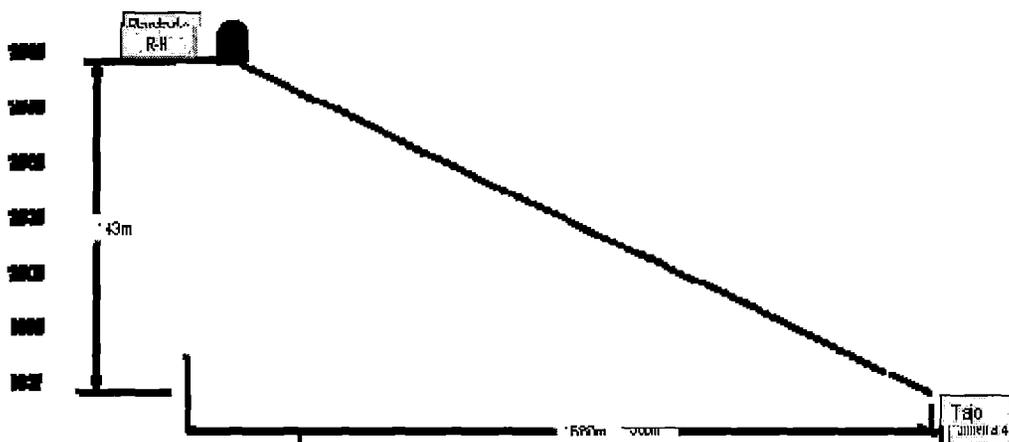


Figura N° 11 Esquema de ubicación de la planta NV - 2080

Según el gráfico anterior es necesario vencer la resistencia de 1560 m de tendido de tubería para llegar a los tajeos de la Veta Jimena-4. Si a los 1560 m se le agrega 7% de pérdidas por codos, se tiene una longitud equivalente de 1669 m. Se tiene una diferencia de cota a favor entre el NV 2080 al NV 1937 de 143 m. Si un ratio de alcance de 1 a 6 se obtiene para 143 m un avance horizontal de 868 m menor a 1669 m, lo que indica que se requiere una bomba. Para una pulpa con más de 75% de sólidos, se requiere una bomba de desplazamiento positivo. Una bomba centrífuga horizontal para pulpa solo alcanza en % de sólidos no mayores al 40%. Considerar un relleno utilizando bomba de desplazamiento positivo implica costos elevados, aproximadamente \$ 250 000, sólo en la adquisición de los equipos y accesorios.

#### 4.4.2. ALTERNATIVA - B: Planta RH en el NV-2250

El grafico siguiente muestra la posible ubicación de la planta.

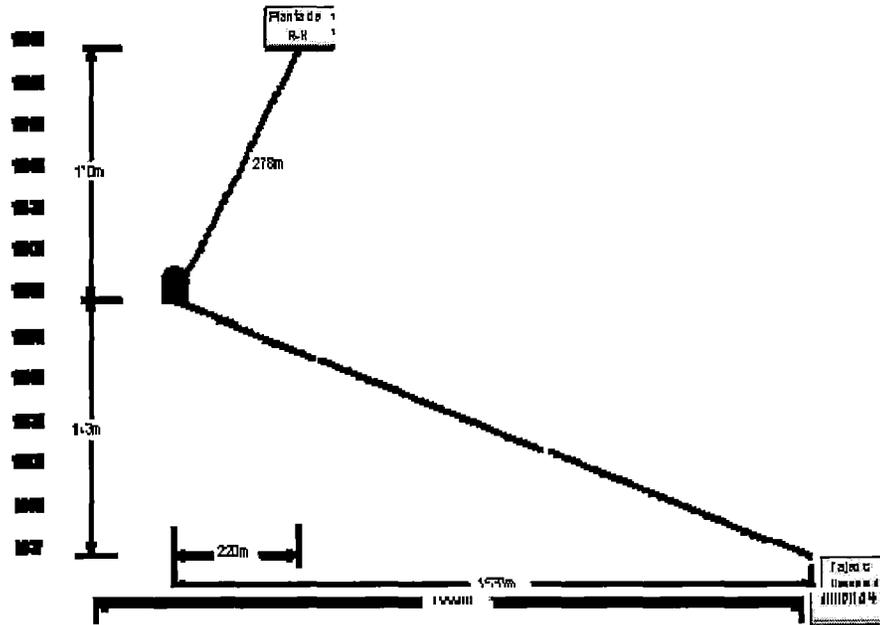


Figura N° 12 Esquema de ubicación de la planta en NV 2250

Según el grafico anterior se requiere vencer la resistencia de 1750 m de tendido de tubería para llegar a los tajeos de Jimena-4. Si a los 1750 m se le agrega 7% de perdidas por codos, se tiene una longitud equivalente de 1872 m.

Se tiene una diferencia de cota a favor entre el NV 2250 al NV 1937 de 313 m. Con un ratio de alcance de 1 a 6, se obtiene para 313 m un avance horizontal de 1878 m mayor a 1872 m, lo que indica que es suficiente el empuje por gravedad.

#### 4.4.3. ALTERNATIVA – C: Planta RH en NV-2375

El grafico siguiente esquematiza esta alternativa de ubicación de la planta RH.

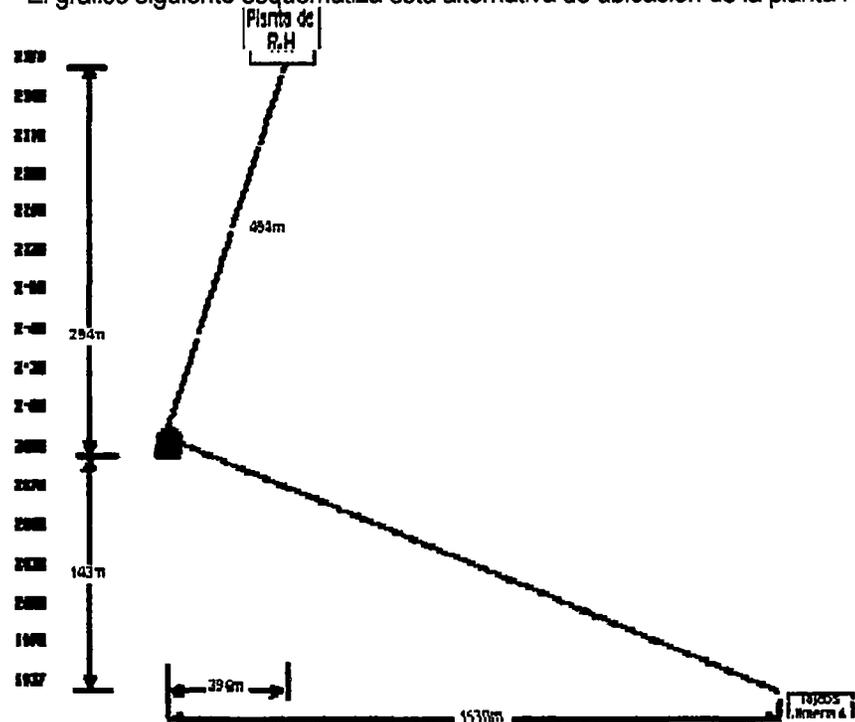


Figura N° 13 Esquema de ubicación de planta en NV 2375

En la figura 21 se observa la zona donde se ubicaría la Planta RH, según esta alternativa.



Figura N° 14 Vista de ubicación de planta en NV 2375

Según el gráfico anterior se requiere vencer la resistencia de 1926 m de tendido de tubería para llegar a los tajeos de Jimena -4 Si a los 1926 m se le agrega 7 % de perdidas por codos se tiene una longitud equivalente de 2060 m.

Se tiene una diferencia de cota a favor entre el NV-2375 al NV-1937 de 438 m. Considerando un ratio de alcance de 1 a 6, se obtiene para 438 m un avance horizontal de 2628 m mayor a 2060m, lo cual indica que es suficiente el empuje por gravedad.

#### 4.5. RESUMEN PARA UBICAR LA PLANTA DE RELLENO HIDRAULICO

En el siguiente cuadro se resume los resultados de cada alternativa:

##### Comparación de alternativas para ubicar la planta RH

RESUMEN DE ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN DE PLANTA RH			
	ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN		
	NV/2080	NV/2250	NV/2375
Longitud Horizontal (m)	1560	1750	1926
Longitud adicional por pérdidas (7%)	109	123	135
Longitud Horizontal equivalente (m)	1669	1873	2061
Diferencia de Cotas (m)	143	313	438
Gradiente Hidráulico	1:6	1:6	1:6
Alcance de lanzamiento (m)	858	1878	2628
Diferencia entre alcance y necesidad (m)	-811	6	567
OBSERVACIÓN	requiere	por gravedad	por gravedad

4

Del cuadro anterior se puede concluir que la mejor alternativa es ubicar la Planta de Relleno Hidráulico en el NV 2375, debido a que sus 458 m de diferencia de cotas, considerando una gradiente 1 a 6 permiten tener un alcance de lanzamiento de 2628 m en horizontal, lo cual es mayor que 2061 m que es el requerimiento. Adicional a esta ventaja, en el NV 2375 se cuenta con una tolva de gruesos, la cual se puede acondicionar como tolva de los agregados para el relleno hidráulico.

#### 4.6. TRANSPORTE DEL MATERIAL DE RELLENO

Los equipos de transporte para el relleno hidráulico están formados por el conjunto de volquetes, bombas, tuberías y accesorios a través de los cuales la pulpa es transportada hasta los tajeos.

##### 4.6.1. RED DE TUBERÍAS

La pulpa se transporta por un sistema de tuberías aprovechando la gravedad. La pulpa recorre una distancia total de 2081 m desde la planta de relleno hidráulico hasta el NV 1800 acumulando 586 m de diferencia de cotas. Desde la planta de relleno (NV 2375) hasta el NV 1937 se ha instalado 1506 m de tubería de acero SCK 80 S/C Ø4" del NV 1937 al NV 1815 se tiene 775 m de tubería de polietileno PN 12.5 Ø4", desde donde se distribuyen otras redes secundarias a las distintas zonas de explotación.

#### 4.6.2. VELOCIDAD CRÍTICA DE DEPOSICIÓN ( $V_c$ )

Es la velocidad de circulación mínima, la cual debe producir la suficiente turbulencia para mantener las partículas sólidas en suspensión y evitar así la deposición de partículas en el fondo de la tubería.

La velocidad crítica depende del tamaño de las partículas sólidas, tipo de fluido, tipo de pulpa o lodo, concentración, gravedad específica del sólido y del líquido.

Esta velocidad se podrá calcular con la fórmula siguiente:

$$V_c = F_r \sqrt{2gd(y-1)}$$

Donde:

$F_r$  = Concentración de las partículas; este factor adimensional se obtiene del cuadro de análisis de mallas (% en peso de gruesos).

$g$  = Aceleración de la gravedad terrestre (9.8 m/s<sup>2</sup>).

$d$  = tamaño de las partículas.

$y$  = peso específico de los sólidos.

Para el tamaño de las partículas ( $d$ ) se tendrá en cuenta el cuadro siguiente:

##### Análisis granulométrico de material de relleno hidráulico

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL MATERIAL DE RH			
MALLA	Abertura		% en peso (FL)
	( $\mu\text{m}$ )	(m)	
+1"	25400	0.025400	0.00
+1/2"	12700	0.012700	0.00
+3/8"	9525	0.009525	0.00

+1/4"	6350	0.006350	9.84
+m6	3350	0.003350	15.61
+m10	2000	0.002000	15.59
+m20	850	0.000850	25.03
+m50	300	0.000300	17.83
+m100	150	0.000150	6.05
+m150	106	0.000106	2.04
+m200	75	0.000075	1.61
+m325	45	0.000045	1.06
+m400	38	0.000038	0.81
-m 400			4.53

Aplicando la fórmula se calcula la velocidad crítica para las partículas de las malla 200 a la malla 50:

➤ **Malla 200:**

$$Fr = 1.61 \text{ (del cuadro N° 14)}$$

$$g = 9.80 \text{ m/s}^2$$

$$d = 0.000075\text{m (del cuadro N° 14)}$$

$$y = 2.65$$

Reemplazando a la formula:

$$V_c = 1.61 \sqrt{2 \left( 9.80 \text{ m/s}^2 \right) (0.000075\text{m})(2.65-1)}$$

$$V_c = 0.0794 \text{ m/s}$$

$$V_c = 0.2605 \text{ pie/s}$$

➤ **Malla 150:**

$$Fr = 2.04 \text{ (del cuadro N° 14)}$$

$$g = 9.80 \text{ m/s}^2$$

$$d = 0.000106\text{m (del cuadro N° 14)}$$

$$y = 2.65$$

Remplazando a la formula:

$$V_c = 2.04 \sqrt{2 \left( 9.80 \text{ m/s}^2 \right) (0.000106\text{m})(2.65-1)}$$

$$V_c = 0.1194 \text{ m/s}$$

$$V_c = 0.3917 \text{ pie/s}$$

➤ **Malla 100:**

$$Fr = 6.05 \text{ (del cuadro N° 14)}$$

$$g = 9.80 \text{ m/s}^2$$

$$d = 0.000150\text{m (del cuadro N° 14)}$$

$$y = 2.65$$

Remplazando a la formula:

$$V_c = 6.05 \sqrt{2 \left( 9.80 \text{ m/s}^2 \right) (0.000150\text{m})(2.65-1)}$$

$$V_c = 0.4216 \text{ m/s}$$

$$V_c = 1.3828 \text{ pie/s}$$

➤ **Malla 50:**

$$Fr = 17.83 \text{ (del cuadro N° 14)}$$

$$g = 9.80 \text{ m/s}^2$$

$$d = 0.000300\text{m (del cuadro N° 14)}$$

$$y = 2.65$$

Reemplazando a la formula:

$$V_c = 17.83 \sqrt{2 \left( 9.80 \text{ m/s}^2 \right) (0.000300\text{m})(2.65-1)}$$

$$V_c = 1.7566 \text{ m/s}$$

$$V_c = 1.5828 \text{ pie/s}$$

#### 4.6.3. VELOCIDAD DE MÍNIMA PÉRDIDA ( $V_m$ )

Al trabajar con lodos heterogéneos, como lo es el caso de pulpa para relleno hidráulico, la velocidad de mínima pérdida ( $V_m$ ) se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_m = 3.43 \sqrt[3]{(C_v \times \cos \theta) \frac{g \times \phi \times (P_s - 1)}{\sqrt{C_a}}}$$

Donde:

$V_m$  = velocidad mínima de pérdida.

$C_v$  = concentración de volúmenes en sólido.

$\theta$  = Angulo de inclinación de la tubería con respecto a la horizontal.

$\phi$  = diámetro de la tubería.

$g$  = aceleración de la gravedad terrestre.

$P_s$  = gravedad específica de los sólido.

$C_a$  = coeficiente de arrastre.

#### 4.6.4. DIÁMETRO DE TUBERÍA ( $\emptyset$ )

El diámetro ( $\emptyset$ ) de tubería debe ser tal que permita operar en un régimen sin sedimentación y bajo condición de mínima pérdida. Como se observa en la ecuación anterior, la determinación del diámetro ( $\emptyset$ ) resulta ser un proceso iterativo. Con la finalidad de minimizar el trabajo, el cálculo puede iniciarse con un diámetro ( $\emptyset$ ) de tubería igual al siguiente:

$$\emptyset = \frac{0.0133 \times C_a^{0.1} \times W_s^{0.4}}{(C_v \times \cos \theta)^{0.33} \times (P_s)^{0.4} (P_s - 1)^{0.2}}$$

Donde:

$\emptyset$  = diámetro de la tubería en metros.

$W_s$  = peso de los sólidos (TM/h).

$C_v$  = concentración de sólidos en volumen.

$\theta$  = Angulo de inclinación de la tubería con respecto a la horizontal.

$P_s$  = Gravedad específica de los sólidos.

$C_a$  = Coeficiente de arrastre.

El coeficiente de arrastre ( $C_a$ ) de las expresiones anteriores puede determinarse exactamente haciendo uso de las gráficas de Adam Zanker, pero puede tomarse como valor promedio  $C_a = 0.44$ .

Finalmente el  $\emptyset$  de la tubería será aquel que permita una velocidad ( $V_f$ ):

$$V_f = V_c + 0.3(\text{m/s})$$

$$V_f = V_c + 0.98(\text{pie/s})$$

Es importante anotar que cuando se habla de velocidad crítica ( $V_c$ ), también se refiere al mínimo de abrasión en las tuberías. Mientras mayor sea la velocidad del relleno, mayor será el desgaste en las tuberías. La proporción de desgaste de las tuberías de relleno hidráulico está directamente en relación al ángulo de inclinación de las tuberías. Con un pequeño ángulo de inclinación de una tubería, el desgaste de la misma puede llegar al 90 ó 95% de la vida útil del tubo.

Como el caudal (Q) del relleno hidráulico que ingresa a las labores de interior mina se estima en 55 m<sup>3</sup>/K, 15.26 L/s, 242.22 GPM, 15280 cm<sup>3</sup>/s, 0.5396 pie<sup>3</sup>/s

La velocidad con la que el relleno hidráulico ingresa al tajeo estará en función del diámetro de la tubería que se utilice, considerando que el caudal es constante.

El caudal se calcula con la fórmula siguiente:

$$Q = A \times V$$

$$Q = V \left( \frac{\pi \phi^2}{4} \right)$$

Donde:

Q = Caudal.

A = Área de la sección de la tubería.

V = Velocidad del flujo de la pulpa.

$\phi$  = Diámetro de la tubería.

Despejando de la fórmula anterior se tiene:

$$V = 1.2732 \left( \frac{Q}{\phi^2} \right)$$

Reemplazando la fórmula y simulando con distintos diámetros de tubería

se obtiene el cuadro siguiente:

<b>VELOCIDAD PARA DISTINTOS DIAMETROS</b>			
<b>Q</b>	<b>Ø</b>		<b>V</b>
(pies <sup>3</sup> /s)	(pulg.)	(pies)	(pies/s)
0.5396	2	0.17	24.733
0.5396	3	0.25	10.992
0.5396	4	0.33	6.183
0.5396	6	0.50	2.748

Como se puede observar en el cuadro anterior la velocidad para una tubería de Ø4'' sobrepasa todas las velocidades críticas para cada tamaño de partícula. Las tuberías de Ø3'' quedaría descartada por tener una velocidad muy alta que causaría un desgaste prematuro de las tuberías; la tubería de Ø6'' también se descarta por tener una velocidad menor a la velocidad crítica. Por lo tanto con una tubería de Ø4'', controlando el flujo y densidad de la pulpa se puede eliminar la posibilidad de atoros de la pulpa en la tubería.

#### 4.6.5. VELOCIDAD DE TRANSPORTE ( $V_t$ )

Considerando los valores de la velocidad crítica de las partículas sólidas en el transporte por tuberías ya calculados y estableciendo que en la operación se suele utilizar como velocidad de flujo para usos prácticos un rango de velocidades que sean superiores por lo menos en una unidad a la velocidad crítica ( $V_t = V_c + 1$ ) pie/s Consideramos inicialmente que la pulpa caerá por gravedad y descartaremos el cálculo para el tubo de  $\varnothing 6''$ , por ser demasiada baja la velocidad encontrada.

La cota hidráulica empieza en el NV 2375 (superficie); utilizando la formula de Darcy-Weisbach, tendremos:

$$V = \sqrt{\frac{2gHd}{pL}}$$

Donde:

$g$  = gravedad (9.81 m/seg)

$H$  = Cabeza 457 m desde la planta al NV 1937

$d$  = diámetro interior de la tubería 0.1016 m

$p$  = pérdida por fricción (ábaco)

$L$  = distancia horizontal a transportar al tajeo 2060 m

La pérdida por fricción "F" en tuberías de acero comercial depende del

$\varnothing$ , para:

$\varnothing 4'' = 0.02$

Reemplazando a la formula:

$$V = \sqrt{\frac{2 \times 9.81 \times 437 \times 0.1016}{0.02 \times 2060}}$$

$$V = 4.59 \text{ m/s}$$

#### 4.6.6. PÉRDIDA DE CARGA

La pérdida de carga se produce por los siguientes factores: Fricción del fluido en las paredes de la tubería ( $H_{pc}$ )

$$H_{pc} = f \frac{L V^2}{\varnothing 2g}$$

Pérdida de carga adicional por armaduras en la tubería ( $H_{pca}$ )

$$H_{pca} = \frac{V^2}{2g} \left( \sum NK \right)$$

Entonces la pérdida de carga total sería:

$$H_{pct} = H_{pc} + H_{pca}$$

Donde:

F = Coeficiente de fricción (Diagrama de Moody)

L = Longitud de tubería (m)

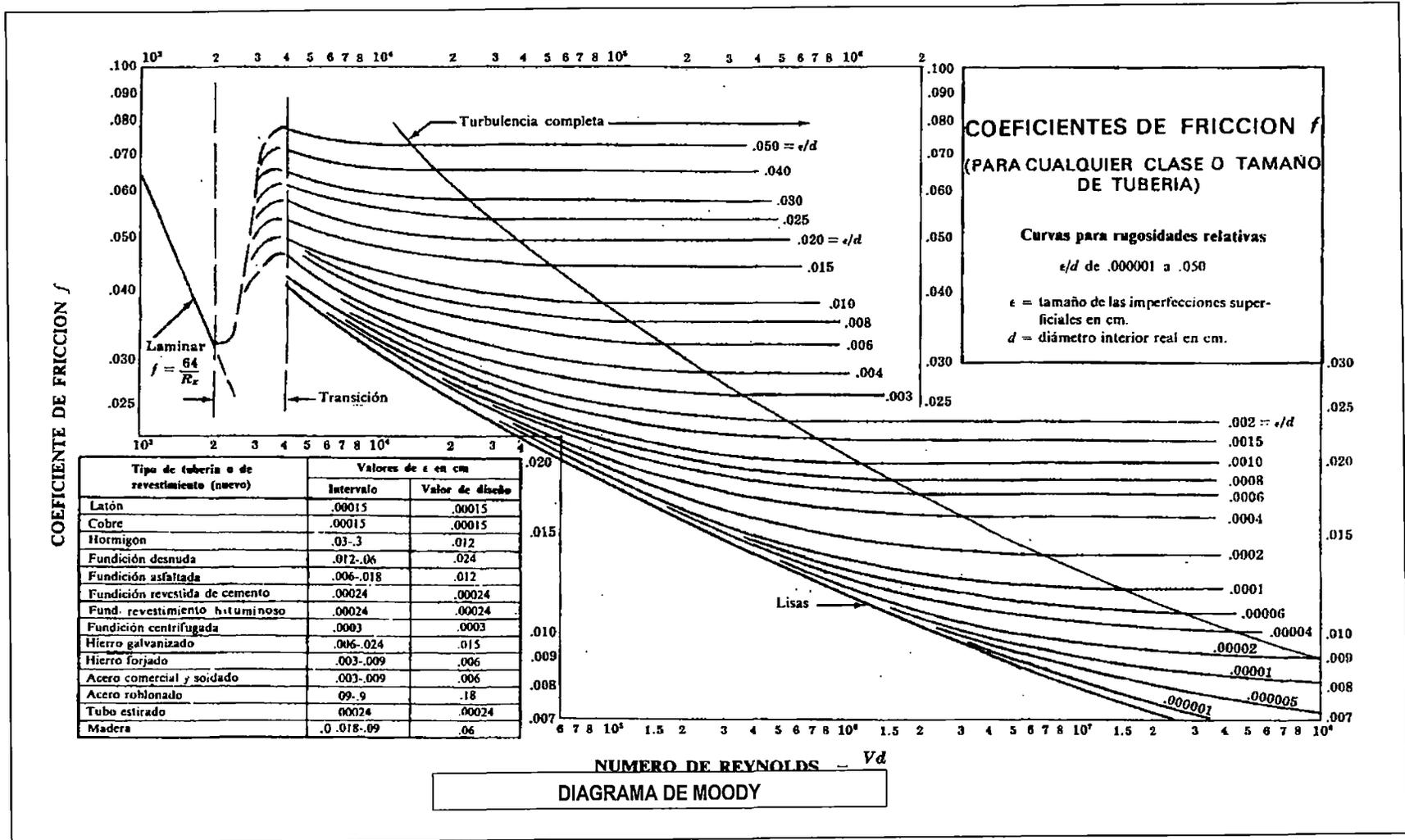
V = Velocidad del flujo (m/s)

$\varnothing$  = Diámetro de la tubería (m)

g = Gravedad ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )

N = Numero de armaduras en la tubería

Factor de pérdida de carga para cada armadura de la tubería.



Ahora se calculara la pérdida de carga:

**a. Pérdida de carga por fricción del Fluido en la tubería:**

$$H_{pc} = f \frac{L}{\varnothing} \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

F = coeficiente de fricción.

L = 2060 m

V = 4.59m/s

$\varnothing = 0.10$  m

g = Gravedad (9.81m/s<sup>2</sup>)

Luego:

f = Se obtiene del Diagrama de Moody (figura N° 22), el cual está en función del Número de Reynolds (Re) y la Rugosidad relativa (a/∅)

1. Primero calculamos el Número de Reynolds:

$$R_e = \frac{V \times \varnothing}{\gamma}$$

Donde:

V = viscosidad cinemática del agua para T 20°C de tablas.

$$\gamma = 1.007 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$R_e = \frac{4.59 \times 0.10}{1.007 \times 10^{-6}} = 455806.33 \approx 4.56 \times 10^3$$

$$R_e = 4.36 \times 10^3 > 2000$$

Por lo tanto se trata de un flujo turbulento.

2. Ahora calcularemos la Rugosidad Relativa:

$$a/\phi = \frac{\text{Rugosidad absoluta (Fig.N}^\circ\text{22)}}{\phi} = \frac{0.006 \text{ cm}}{10 \text{ cm}}$$

$$a/\phi = 0.0006$$

3. Del Diagrama de Moody (figura N° 22) se obtiene:

$$f = 0.0183$$

Reemplazando datos, se obtiene:

$$H_{pc} = 0.0185 \times \frac{2060 \text{ m}}{0.10 \text{ m}} \times \frac{(4.59 \text{ m/s})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2} = 409.23\text{m} \approx 409\text{m}$$

b. Pérdida de carga adicional por armaduras en la tubería ( $H_{pca}$ ):

$$H_{pca} = \frac{V^2}{2g} \left( \sum NK \right)$$

Donde:

$$V = 4.59 \text{ m/s}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

DESCRIPCIÓN	N	K	NK
Válvulas abiertas	0	3.00	-
Tee	0	2.00	-
Codos de 45°	16	0.45	7.20
Codos de 90°	0	0.75	-
Coplas de uniones	234	0.35	81.90
$\Sigma NK$			89.10

**Pérdidas de carga por armadura en la tubería**

$$H_{pca} = \frac{(4.59 \text{ m/s})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2} \times 89.10 = 95.68\text{m} \approx 96\text{m}$$

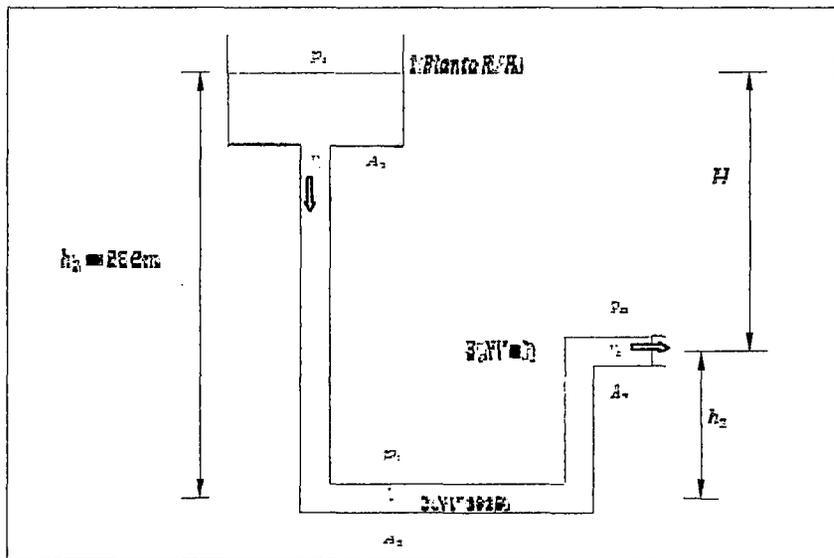
c. Entonces la pérdida de carga total sería:

$$H_{pct} = H_{pc} + H_{pca}$$

$$H_{pct} = 409 + 69 = 505\text{m}$$

#### 4.6.7. ALTURA MÁXIMA ( $h_2$ ) QUE ALCAZARÁ EL R/H RESPECTO AL NIVEL MAS BAJO DE INTERIOR MINA - NV 1815.

Para calcular la máxima altura a la que puede llegar el relleno hidráulico en interior mina, es necesario considerar la Ecuación de Bernoulli.



**Esquema del sistema de tuberías**

Donde:

$A$  = Área de la Sección de la tubería

$V$  = Velocidad de la pulpa

$P$  = Presión

$P_a$  = Presión atmosférica

$h$  = Altura

$H$  = Diferencias de cotas entre la planta R/H y el Pto 3

$g$  = Aceleración de la gravedad =  $9.81 \text{ m/s}^2$

$w = \text{gravedad específica} = 1.90 \text{ Kg/L}$

$Q = \text{caudal}$

Analizando por la Ley de Bernoulli:

$$Z_1 = \frac{P_1}{w} + \frac{(V_1)^2}{2g} = \frac{P_3}{w} + \frac{(V_3)^2}{2g} + H_{pct}$$

Donde, observando la figura anterior:

$$Z_1 = 586\text{m}$$

$$V_1 = 0$$

$$V_3 = 4.59 \text{ m/s}$$

$$P_1 = P_3 = P_a$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Entonces, reemplazando:

$$586\text{m} + \frac{P_a}{w} + 0 = h_2 + \frac{P_a}{w} + \frac{(4.59 \text{ m/s})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2} + 505\text{m}$$

$$586 \text{ m} = h_2 + 1.07\text{m} + 505\text{m}$$

$$h_2 = 586 \text{ m} - (1.07\text{m} + 505\text{m}) = 79.93\text{m} \approx 80\text{m}$$

Por lo tanto el R/H alcanzará una altura máxima:  $H_2 = 80\text{m}$ .

#### 4.6.8. GRADIENTE HIDRAULICA

Se llama así a la pérdida de carga por unidad de longitud, está dada

por:

$$GH = \frac{H_{pct}}{L}$$

Donde:

$H_{pct}$  = pérdida de carga total (en m)

$L$  = longitud total de la tubería (en m)

Remplazando:

$$GH = \frac{505 \text{ m}}{2060 \text{ m}} = 0.2451 \text{ m/m} \approx 24.51 \text{ m}/100 \text{ m}.$$

#### 4.6.9. MÁXIMA DISTANCIA HORIZONTAL (DH)

La máxima distancia horizontal a que podrá ser enviada la pulpa debido al impulso adquirido durante su caída vertical (gravedad), está dada por:

$$DH = \frac{h \times \phi \times 2g}{w \times c}$$

Donde:

$h$  = altura de caída (m)

$\phi$  = diámetro de la tubería (0.10m)

$w$  = coeficiente de resistencia

$g$  = gravedad 9.81m/s<sup>2</sup>

$c$  = coeficiente = 0.00045 para  $\phi 4$

$$W = w \left[ C_{pu} + \frac{0.0018}{\frac{V \times \phi}{2}} \right]$$

Donde:

$w$  = Densidad de la pulpa (1900 Kg/m<sup>3</sup>)

$V$  = Velocidad de la pulpa (4.59 m / s)

$C_{pu}$  = Constancia para pulpas (para este caso) = 0.5

$$w = 1900 \left[ 0.5 + \frac{0.0018}{\frac{4.59 \times 0.10}{2}} \right]$$

$$w = 584.90$$

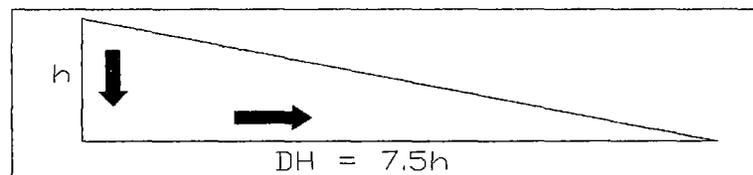
Reemplazando en la ecuación de DH, tenemos:

$$DH = \frac{h \times 0.10 \times 2 \times 9.81}{584.90 \times 0.00045}$$

$$DH = 7.4545 h$$

$$DH = 7.5 h$$

Por lo tanto se tiene un ratio de acción del relleno de 1: 7.5; lo cual significa que para 1m de caída vertical se tiene un empuje horizontal de 7.5 m en longitud equivalente, como se observa en la figura siguiente:



**Distancia máxima horizontal**

#### 4.7. CÁLCULOS DE LOS PARÁMETROS MÁS IMPORTANTES DE LA PULPA DEL RELLENO HIDRÁULICO

En este acápite, se presentarán los parámetros más importantes de la pulpa que ingresa a las labores de explotación de interior mina y que, además, son cantidades sujetas a determinarse satisfaciendo ciertos valores condicionales.

Los datos para efectos de cálculos, han sido obtenidos a partir de las

muestras tomadas del tanque agitador y mezclador.

En este acápite, se presentarán los parámetros más importantes de la pulpa que ingresa a las labores de explotación de interior mina y que, además, son cantidades sujetas a determinarse satisfaciendo ciertos valores condicionales.

Los datos para efectos de cálculos, han sido obtenidos a partir de las muestras tomadas del tanque agitador y mezclador.

Para determinar la densidad de la pulpa se tomaron ocho muestras del tanque agitador en la planta de relleno hidráulico; y se utilizó la balanza Marcy para obtener las densidades.

#### 4.7.1. Densidad de la Pulpa:

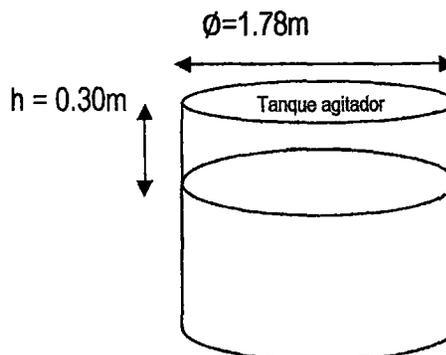
<b>DENSIDAD DE LA PULPA</b>	
<b>N° DE MUESTRA</b>	<b>g / L</b>
1°	1950
2°	1800
3°	1900
4°	1900
5°	2000
6°	1850
7°	1950
8°	1850
<b>PROMEDIO</b>	<b>1900</b>

Entonces, la densidad promedio de la pulpa será:  $P = 1900 \text{ g/l}$

#### 4.7.2. CAUDAL DEL RELLENO HIDRÁULICO QUE LLEGA AL TAJEO (Q)

Para calcular el caudal (Q) del relleno hidráulico que llega al tajeo, se

tomaron diversos datos como: el diámetro del tanque, altura que bajó la pulpa en el tanque agitador y los tiempos.



Luego:

Diámetro ( $\varnothing$ ) = 1.78m

Altura (h) = 0.30m

Volumen (V) =  $\pi r^2 h$

Volumen =  $\pi \times (1.78/2)^2 \times 0.30$

Volumen =  $0.7465\text{m}^3$

Tiempo promedio en que bajo el Relleno Hidráulico en el tanque agitador.

TOMA DE TIEMPOS	
Nº DE MUESTRA	UNIDAD (s)
1º	28
2º	30
3º	29
4º	29
5º	30
6º	29
7º	28

8°	29
<b>PROMEDIO</b>	<b>29</b>

Tiempo promedio = 29 segundos.

Luego el caudal de relleno hidráulico que llega al tajeo será:

$$Q = V/t$$

$$Q = 0.7465 \text{ m}^3 / 29\text{s}$$

$$Q = 0.0257 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = (0.0257 \text{ m}^3/\text{s})(60 \text{ s}/\text{min})(\text{gl}/3.785 \text{ L})(1000 \text{ L}/\text{m}^3)$$

$$Q = 407.40 \text{ GPM}$$

$$Q = 92.67 \text{ m}^3/\text{h}.$$

#### 4.7.3. VELOCIDAD DEL RELLENO HIDRÁULICO CON QUE INGRESA AL TAJEO POR TUBERÍAS DE Ø4'' (V)

En la sección anterior, se halló que el caudal del relleno hidráulico que llega al tajeo es de 407.40 GPM es decir 92.67 m<sup>3</sup> h ó 0.02570 m<sup>3</sup> /s

Entonces:

$$V = Q/A$$

Donde:

A = area de la sección de la tubería de 4'' Ø.

$$A = \pi r^2 = (0.0508 \text{ m})^2 = 0.0081 \text{ m}^2$$

Luego:

$$V = \frac{0.0257 \text{ m}^2/\text{s}}{\pi 0.00081 \text{ m}^2}$$

$$V = 3.18 \text{ m/s} = 10.41 \text{ pie/s.}$$

#### 4.7.4 CONSTANTE DE SÓLIDOS ( K )

$$K = \frac{S - 1}{S}$$

Donde:

S = Gravedad específica de los sólidos = 2.65

Luego:

$$K = \frac{2.65 - 1}{2.65} = 0.6226$$

#### 4.7.5. PESO DE SOLIDO SECO EN UN LITRO DE PULPA ( W )

$$K = \frac{F - 1000}{K}$$

Donde:

F = densidad de la pulpa = 1900 g/L

K = constante de sólidos = 0.6226

Luego:

$$K = \frac{1900 - 1000}{0.6226} = 1440.00 \text{ g/L}$$

#### 4.7.6. PORCENTAJE DE SÓLIDOS POR PESO EN LA PULPA ( P<sub>w</sub> )

$$P_w = 100 \times \frac{F - 1000}{FK}$$

Donde:

F = Densidad de la pulpa = 1900 g/L

K = Constante de sólidos = 0.6226

Luego:

$$P_w = 100 \times \frac{1900 - 1000}{1900 \times 0.6226} = 76.08\%$$

#### 4.7.7. RELACIÓN: PESO LÍQUIDO A PESO SÓLIDO (G)

$$G = \frac{1000 - P_w}{P_w}$$

Donde:

$P_w$  = porcentaje de sólidos por peso 76.08%

Luego:

$$G = \frac{100 - 76.08}{76.08} = 0.3144$$

#### 4.7.8. RELACIÓN VOLUMÉTRICA DE LÍQUIDOS A SÓLIDOS (L)

$$L = G \times S$$

Donde:

G = Relación: peso líquido/ peso sólido = 0.3144

S = Gravedad específica de los sólidos = 2.65

Luego:

$$L = 0.3144 \times 2.65 = 0.833$$

#### 4.7.9. TONELAJE DE SÓLIDOS POR HORA QUE LLEGA AL TAJEO (T)

En los párrafos anteriores se calculó el peso de sólidos en un litro de pulpa  $W = 144555 \text{ Kg/L}$  así como el caudal del relleno hidráulico que llega al tajeo  $Q = 407.40 \text{ Gal/min}$ .

Entonces:

$$T = 1.44555 \frac{\text{Kg}}{\text{L}} \times 407.40 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \times \frac{3.785}{\text{gal}} \times \frac{60 \text{min}}{\text{hora}} \times \frac{\text{ton}}{1000 \text{Kg}}$$

$$T = 133.74 \text{ ton/h}$$

#### 4.7.10. VOLUMEN DE LÍQUIDO ENVIADO POR HORA AL TAJEO ( $V_1$ )

Se tiene la siguiente relación:

$$\text{Peso del liquido} = T \times G$$

Donde:

$$G = \text{Relación: peso liquido / peso solido} = 0.3144$$

$$T = \text{peso de solido} = 133.74 \text{ ton/h}$$

Luego:

$$\text{Peso del liquido} = 0.3144 \times 133.74 = 42.05 \text{ ton / h}$$

Considerando  $1.00 \text{ g/cm}^3$  ó  $1.00 \text{ Kg/L}$  el peso específico del liquido (agua) se tendrá lo siguiente:

$$V_1 = 42.05 \frac{\text{ton}}{\text{h}} \times \frac{1000 \text{Kg}}{\text{ton}} \times \frac{1 \text{L}}{\text{Kg}} \times \frac{1 \text{m}^3}{1000 \text{L}}$$

$$V_1 = 42.05 \text{ m}^3/\text{h}$$

#### 4.7.11. VOLUMEN DE SÓLIDO ENVIADO POR HORA AL TAJEO ( $V_s$ )

Como ya se ha calculado la relación volumétrica de líquido a sólido ( $L = 0.833$ ), y además conocemos el volumen de líquido por hora enviado al tajeo ( $V_t = 42.05 \text{ m}^3/\text{h}$ ), entonces podemos calcular el volumen de sólido que llega al tajeo por hora:

$$V_s = \frac{V_t}{L} = \frac{42.05 \text{ m}^3/\text{h}}{0.833} = 50.48 \text{ m}^3/\text{h}$$

### 4.8. PROCESO DE RELLENADO DE UN TAJEO

#### 4.8.1. PREPARADO DEL TAJEO

El primer paso es la limpieza del mineral fino que queda en el tajeo; luego se prepara el tajeo para el relleno tapando todas las zonas de posibles fugas del material de relleno colocando tapones o barreras; en esta operación se utiliza madera redonda de  $\varnothing 8'' \times 10''$  para los postes, y tablas de  $2'' \times 8'' \times 10''$  para el enrejado dejando un espacio de  $2''$  entre tablas. Estas barreras se cubren con tela de polipropileno o poliyute (de 8 a 10 onzas de peso por metro cuadrado), la cual se clava a las tablas un tanto flojas para que el relleno pueda amoldarse a las formas de la madera. El contorno de esta tela va fijada a la pared del tajeo con una mezcla de cemento y yeso (diablo fuerte).

Otra cuadrilla de operarios va instalando la tubería de polietileno de

4"Ø hacia el tajeo a rellenar desde la red de tubería principal de relleno. Cabe señalar que el relleno es enviado desde superficie (NV 2375) hasta los niveles inferiores (NV 1937 y NV 1815) a través de una tubería de 4"Ø por gravedad y que luego desde los niveles inferiores se reparten a las diferentes labores a rellenarse.

#### **4.8.2. RELLENADO DEL TAJEO**

Una vez preparado el tajeo, el operador de superficie procede a enviar agua para lavar la red de tuberías con la finalidad de evacuar posibles vestigios de relleno de anteriores envíos y comprobar que la tubería no esté atorada.

En seguida el operador de interior mina observa que llegue el agua al tajeo y se comunica por teléfono con el operador de superficie solicitando el envío de la pulpa.

En lo posible debe evitarse que las barreras no reciban el impacto directo de la pulpa para evitar deterioros de la misma.

El proceso de relleno continúa hasta que el operador de interior mina comunique el termino del proceso o alguna parada por algún problema; este operador debe cuidar que el drenaje de agua se realice correctamente, para lo cual se utiliza tubos ranura dos de 4" de diámetro.

El relleno utilizado llega a percolar a 12cm/hora necesitando esperar menos de 2 horas para el secado de dicha lama para continuar con

el proceso de minado.

En la práctica se ha comprobado que un coeficiente de permeabilidad de 10cm/hora es el ideal para la consolidación de un relleno. Un coeficiente de permeabilidad menor de 3cm/hora se dice que demora excesivamente en eliminar el agua; en cambio un coeficiente de permeabilidad mayor de 20cm/hora puede causar el fenómeno de embudo, por el cual se forma pequeños conductos abiertos dentro de la masa de relleno a través de los cuales fluye la pulpa a gran velocidad saliendo buena cantidad de relleno a las galerías.

En la Mina Jimena, no se tiene problemas con la percolación, ni con la resistencia al hundimiento de relleno una vez rellenado el tajeo; pues el relleno resiste pisadas de un hombre ( $0.5 \text{ Kg/cm}^2$ ) desde el momento que esta rellenándose el tajeo. El relleno tiene una resistencia de hundimiento de  $0.80 \text{ Kg/cm}^2$  a las 12 horas de vaciado la pulpa.

Al culminar el proceso de rellenado, el operador de superficie debe enviar agua para lavar la tubería.

En la figura N° 25 se esquematiza el proceso de minado de un tajeo con corte y relleno hidráulico en forma ascendente.

#### **4.8.3. PROBLEMAS EN EL PROCESO DE RELLENADO**

En la mina Jimena los problemas más comunes en los

primeros días de aplicación del relleno hidráulico fueron los atoros de tuberías, estos se debía principalmente a la falta de experiencia del personal encargado de enviar el agua y la pulpa desde la planta de relleno. Luego estos problemas se están minimizando al tener un personal cada vez más experimentado.

Las filtraciones y escapes de la pulpa son otro problema, los cuales se producen por una mala preparación del tajeo. Esto causa inundación de las rampas, galerías y pozas de decantación de los niveles inferiores NV 1815 y NV 1847

Los desgastes de tuberías son consecuencia del rozamiento de la pulpa contra las paredes de la tubería. La duración de las tuberías depende de la ubicación y ángulo de inclinación que tengan. Las tuberías instaladas verticalmente tiene poco desgaste cuando estás instaladas a plomo y bien aseguradas; mientras que las tuberías instaladas en forma horizontal tienen un mayor desgaste en la parte inferior, por lo que es recomendable hacer una rotación de las tuberías cada cierto tiempo para tener un desgaste uniforme.

#### **4.8.4. TIEMPO NETO DE RELLENO DE UN TAJEO**

En los acápite anteriores se determinó que la pulpa del relleno hidráulico tiene una composición en peso de 76% d sólidos y 24% de agua aproximadamente.

También se considerará en forma supuesta que por el proceso de drenaje se elimine solamente agua, logrando al final un relleno in-situ con una composición aproximada del 85% de sólidos y 15% de agua, entonces si podremos calcular el tiempo neto de relleno de un tajeo.

#### Dimensiones del tajeo:

$$\text{Volumen del tajeo (V)} = l \times a \times h = A \times h$$

Donde:

V = volumen del tajeo en  $m^3$

A = área de la base del tajeo en  $m^2$

l = longitud del tajeo en m

a = ancho del tajeo en m

h = altura del tajeo en m

#### 4.8.5. Alimentación de la pulpa al tajeo:

En secciones anteriores, se calculó datos sobre la pulpa que llega al tajeo, estos datos se resume como condiciones iniciales en el cuadro siguiente:

DESCRIPCIÓN	PESO (W)			VOLUMEN (V)			DENSIDAD ( $\gamma$ )	
	(TM/h)	(TM/min)	%W	( $m^3/h$ )	( $m^3/min$ )	%V	(TM/ $m^3$ )	(g/L)
Sólidos (s)	133.74	2.23	76%	50.48	0.84	55%	2.65	2649
Agua (a)	42.05	0.70	24%	42.05	0.70	45%	1.00	1000
<b>Pulpa (p)</b>	<b>175.79</b>	<b>2.93</b>	<b>100%</b>	<b>92.53</b>	<b>1.54</b>	<b>100%</b>	<b>1.90</b>	<b>1900</b>

#### 4.8.6. Condiciones de Descarga:

Líneas arriba se mencionó que en la descarga de la pulpa se tiene una composición de 76% de sólidos y 24% de agua. También se supone que al final se logra un relleno in-situ con una composición de 85% de sólidos y 15% de agua aproximadamente, asimismo se asume que por el drenaje se elimina solamente agua.

Entonces se tiene:

Condiciones Iniciales:  $W_S=0.76W_P$

$W_a=0.24W_P$

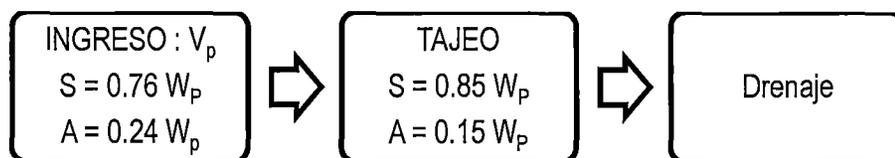
Condiciones Finales:  $W'_S=0.85W'_P$

$W'_a=0.15W'_P$

Ahora, para calcular el tiempo  $dt$ , donde  $dt = 1\text{min}$ , se tendrá los siguientes volúmenes:



Entonces:  $d_v/d_t = V_p - x$



Esquema explicativo:  $d_v/d_t = V_p - x$

El incremento de la altura de R/H en un tiempo  $dt$  será el siguiente:

$$h = \frac{V}{A}$$

$$dh = \frac{dV}{a}$$

Resolviendo la ecuación diferencial se tiene:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{1}{A}(V_P - x) \dots \dots \dots (\alpha)$$

$$dh = \frac{A}{V_P - x} dt \dots \dots \dots (\text{ecuación diferencia de variables separables})$$

$$Adh = (V_P - x)dt$$

Integrando:

$$\int_0^t dt = \int_0^h \frac{A}{V_P} dh$$

$$|t|_0^t = \left| \frac{Ah}{V_P - x} + C \right|_0^h$$

Donde:

C = constante de integración

Para:  $t = 0$ ,  $h = 0$ , y  $C = 0$

$$t = \frac{A}{V_P - x}$$

Entonces, el tiempo necesario para rellenar un tajeo con R/H

hasta Una altura "h" será:

$$t = \frac{Ah}{V_P - x} \dots \dots \dots (\beta)$$

**Cantidad de agua “x” que se drena por unidad de tiempo:**

De acuerdo a las condiciones iniciales y finales de descarga, se tiene que:

DESCRIPCION	PULPA	SOLIDO	AGUA
Condiciones iniciales	$W_p$	$0.7 \text{ o } W_p$	$0.24W_p$
Condiciones finales	$W^1_p$	$0.85W^1_p$	$0.15W^1_p$

Pero:

$$[\text{Peso del sólido que ingresa}] = [\text{peso del sólido que se queda}]$$

$$0.76 W_F = 0.85 W^0_F$$

El peso final de pulpa será:

$$W^1_F = \frac{0.76}{0.85} W_F = 0.89W_F \dots \dots \dots (\gamma)$$

La cantidad final de agua será:

$$W^1_a = 0.15W^1_F = 0.15(0.89W_F) = 0.13W_F$$

Entonces el peso de agua drenada será:

$$x = W_a - W^1_a = 0.24W_F - 0.13W_F = 0.11W_F \dots \dots \dots (\delta)$$

Aquí nos referimos indistintamente a peso o volumen de agua, pues supondremos que su gravedad específica es 1.00 por lo tanto, “x” puede ser expresado en TM/min ó m<sup>3</sup>/min.

**Tiempo neto de rellenado del tajeo, hasta una altura “h”:**

Como:

$$V_F = 1.54 \text{ m}^3/\text{min} \dots \dots \dots (\text{condición inicial})$$

$W_F = 2.93 \text{ TM/min}$  .....(condición inicial)

De ( $\delta$ )

$$X = 0.11W_F = 0.11 \times 2.93 = 0.32$$

Reemplazando valores en la ecuación ( $\beta$ ):

$$t = \frac{Ah}{V_F - X} = \frac{Ah}{1.54 - 0.32} = \frac{Ah}{1.22}$$

$$t = \frac{Ah}{1.22} \dots\dots\dots(\lambda)$$

Las unidades son:

A = en metros cuadrados ( $\text{m}^2$ )

h = en metros (m)

t = en minutos (m)

**A Continuación Se Presentara Un Ejemplo Ilustrativo Real Del Tiempo Neto**

**De Rellenado De Un Tajeo:**

Dimensiones del tajeo:

$$t = 40 \text{ min}$$

$$a = 2 \text{ m}$$

$$h = 6 \text{ m}$$

$$A = 80 \text{ m}^2$$

Reemplazando datos en la formula ( $\lambda$ )

$$t = \frac{80 \times 6}{1.22} = 393.44 \text{ min} = 6.56 \text{ horas}$$

## CONCLUSIONES

1. La aplicación del relleno hidráulico ofrece una serie de ventajas las cuales se traducen en la reducción de costos, mayor productividad y seguridad operacional.
2. Con la aplicación del relleno hidráulico se considera aprovechar un 40% a 50% del desmonte producto de los avances de la mina, esto se traduce en mayor vida útil de la desmontará actual, reduciendo el impacto ambiental negativo y aumentando la rentabilidad del proyecto.
3. Con la aplicación del relleno hidráulico el rendimiento por hombre guardia se incrementará de 4.71 TM/tarea a 9.11 TM/tarea.
4. El consumo de madera por tonelada de mineral roto antes de aplicar relleno hidráulico es de 28.40 Kg/TM. Aplicando el relleno hidráulico se reduce a 4.60 Kg/TM.
5. El costo de sostenimiento sin utilizar relleno hidráulico es de, 5.99 \$/TM, al aplicar el relleno hidráulico este costo se reducirá a 1.85 \$/TM. Esta diferencia nos representa \$ 499,200 de ahorro en sostenimiento básicamente con madera. El costo del relleno hidráulico es de, 2.77 /TM esto representa \$ 332,400 por año; por lo tanto se tendría un ahorro neto de \$ 166,800 por año.
6. Se tomó la decisión de ubicar la Planta de Relleno Hidráulico en el NV 2575 considerando que para vencer la resistencia de 2,060 m de tendido de tubería para llegar a los tajeos de Jimena 4, la planta de debe de estar ubicado a una altura de 438 m, considerando un ratio de alcance del relleno de 1 a 6 los cálculos indican que el relleno por 1 m de vertical tiene un alcance de 7.5 m en horizontal, pero por seguridad se trabajo con la relación de 1 a 6.

7. Los agregados para el relleno hidráulico estarán formados por una mezcla de arena de la zona de Glorita y desmonte de los avances de la mina chancado al 100 % a  $-3/8''$  en relación 1 a 1 También se adicionará cal a razón de 0.75 Kg/TM de mezcla para mejorar las propiedades ligantes de la mezcla.
8. Los análisis granulométricos determinaron que se tiene:  $D_{60} = 1893$  micras y  $D_{10} = 152$  micras, con lo cual se obtiene un coeficiente de uniformidad (CU) de 12.45.
9. La gravedad específica de la mezcla de agregados es de 2.65 con una densidad aparente de  $1.54 \text{ g/cm}^3$ .
10. El relleno hidráulico tendrá una densidad de pulpa:  $1900 \text{ g/L}$ , con un 76 % en contenido de sólidos.
11. Para obtener una pulpa homogénea es necesario unas 1400 RPM en el tanque agitador.
12. La prueba realizada de percolación indicó  $4 \text{ cm/hora}$ .
13. De las pruebas de compactación se determinó que el relleno se compacta hasta en un 10 %.
14. Para un volumen de producción de mineral de  $333 \text{ TM/día}$  ó  $10,000 \text{ TM/mes}$ , es decir de  $3,509 \text{ m}^3/\text{mes}$  ó  $116 \text{ m}^3/\text{día}$ , la producción de relleno debería ser de  $40 \text{ m}^3/\text{hora}$  ó  $200 \text{ m}^3/\text{día}$  de pulpa; pero luego de realizar las pruebas en tajeos se calculó un caudal de ingreso de  $92 \text{ m}^3/\text{hora}$ , lo cual hace posible incrementar la producción.
15. El consumo de agua para la planta de relleno hidráulico será de  $80 \text{ m}^3$  por día de los cuales  $50 \text{ m}^3$  se utilizaran para el transporte de los sólidos y  $30 \text{ m}^3$  para el lavado de tubería.

## RECOMENDACIONES

1. Como los resultados del análisis técnico de aplicación del relleno hidráulico son favorables, se recomienda implementar la Planta de Relleno Hidráulico en el NV 2375 de tal manera que se aproveche la gravedad para el impulso y traslado de la pulpa hasta los tajeos.
2. El diseño de la planta debe contemplar la posibilidad de utilizar cemento a granel para obtener mejores propiedades estructurales en el relleno, esto con el fin de minimizar la compactación.
3. Para la profundización de la mina se debe considerar, dejar desmonte grueso en los tajeos y completar con relleno cementado.
4. Se debe considerar la posibilidad de reutilizar el agua que ingresa con el relleno, creando un circuito cerrado de agua, optimizando su utilización.
5. Se debe rellenar todos los espacios vacíos posibles dejados en los niveles superiores al actual nivel de explotación, con la finalidad de crear barreras geomecánicas y mejorar las condiciones de estabilidad del macizo rocoso.
6. Los resultados de análisis financiero son positivos por lo que se puede concluir que el proyecto es rentable y económicamente viable, por lo tanto se recomienda realizar su construcción y aplicación.

## BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSUREIRA E., ESTELA., 1989. "Transporte de Partículas Sólidas por Tuberías". Pontificia Universidad Católica del Perú.
2. BELTRAN C., WILFREDO., "Estudio Experimental de Relleno Hidráulico en la Mina Atacocha". Perú.
3. BOUSO, JUAN LUIS., 1993. "Manual de Bombeo de Pulpas". ERAL, Equipos y Procesos, S.A. Madrid, España.
4. CORDOVA ROJAS, DAVID., 2000. "Técnicas Geomecánicas Básicas para Evaluación de la Estabilidad de Excavaciones Rocosas Subterráneas". Mina Chacua, Perú.
5. DAVE LANDRIAULT., 1998. "Tecnología de Pasta para Aplicaciones de Relleno Subterráneo". Golder Paste Technology Ltd. Curso Internacional, Perú.
6. F. DE LUCIO, 1972. "Teoría de Relleno Hidráulico". Perú, XII Convención de Ingenieros de Minas.
7. HUANCAYA DELGADO, GUILLERMO, 1998. "Análisis de los Sistemas de Relleno Hidráulico en la Mina Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A.". Lima-Perú.
8. INGERSOLL-DRESSER PUMPS, 1994. "CAMERON HYDRAULIC DATA".C.C. Head, USA.108
9. MEZA POVIS, EMILIO JOSUÉ, 1978. "Proyecto de Optimización y Ampliación del Sistema de Relleno Hidráulico en la Compañía Minera Huampar S.A.". Lima-Perú.
10. SIFUENTES, SOCRATES., 1995. "Agregados en Relleno Hidráulico para la Explotación por Cámaras y Pilares Temporales en Yacimientos Sub Horizontales".

Compañía Minera Aurífera Retamas S.A., Perú.

11. TOLEDO GARAY, FERNANDO ENRIQUE, 2006. "Reducción del Impacto Ambiental en Minas con la Disposición de Residuos en el Subsuelo". Lima- Perú, Tesis universitaria, Unidad de post grado, UNMSM.
12. VALERA, CRISTOBAL., "Requerimiento de Relleno Hidráulico en Uchucchacua". Compañía de Minas Buenaventura S.A., Perú.
13. MEZA POVIS, EMILIO JOSUÉ, 1978. "Proyecto de Optimización y Ampliación del Sistema de Relleno Hidráulico en la Compañía Minera Huampar S.A.". Lima-Perú.
14. SIFUENTES, SOCRATES., 1995. "Agregados en Relleno Hidráulico para la Explotación por Cámaras y Pilares Temporales en Yacimientos Sub Horizontales". Compañía Minera Aurífera Retamas S.A., Perú.
15. TOLEDO GARAY, FERNANDO ENRIQUE, 2006. "Reducción del Impacto Ambiental en Minas con la Disposición de Residuos en el Subsuelo". Lima- Perú, Tesis universitaria, Unidad de post grado, UNMSM.
16. VALERA, CRISTOBAL, "Requerimiento de Relleno Hidráulico en Uchucchacua". Compañía de Minas Buenaventura S.A., Perú.

# ANEXO

## APÉNDICES APÉNDICE I: GLOSARIO DE TÉRMINOS

Estas definiciones principales, materia del estudio de investigación se en cuadra en las normas ISO, la normatividad legal del Perú y las ciencias de la Ingeniería de Minas; así tenemos los siguientes en orden alfabético:

**Ambiente:** Alrededores en las cuales la organización opera, incluyendo aire, agua, tierra, recursos naturales, flora, fauna, humanos y sus interrelaciones.

**Contaminante Ambiental:** Toda materia o energía que al incorporarse y/o actuar en el ambiente, degrada su calidad a un nivel que afecta la salud, el bienestar humano y pone en peligro los ecosistemas (Art.2, D.L. N° 016-93- EM).

**Contaminación Ambiental:** Acción que resulta de la introducción por hombre, directa o indirectamente en el medio ambiente, de contaminantes, que tanto por su concentración, al superar los límites máximos permisibles establecidos, como por el tiempo de permanencia, hagan que el medio receptor adquiera características diferentes a las originales, perjudiciales o nocivas a la naturaleza, a la salud y a la propiedad (Art. 2, D.L. N° 016-93- EM).

**Chimenea: Excavación** minera subterránea de forma tubular, de posición vertical o inclinada, perforada desde un nivel inferior para alcanzar otro nivel superior, con fines exploratorios, de ventilación, u otros servicios.

**Desmonte:** Material formado por las rocas sin valor económico que se extrae del laboreo de una mina.

**Desmontera:** Lugar del espacio superficial terrestre donde se colocan los residuos sólidos de desmonte provenientes de las labores de desarrollo en mina.

**Galería:** Túneles o excavaciones subterráneas, horadadas en diferentes niveles siguiendo las estructuras mineralizadas (vetas, cuerpos y mantos), cuando estas dejan las estructuras mineralizadas para unirse a otras galerías se denominan cruceros.

**Impacto Ambiental:** Cualquier cambio al ambiente, ya sea adverso o benéfico, total o parcial, resultante desde las actividades, productos o servicios de una compañía (ISO 14001).

**Ley:** Grado de concentración del o los metales en un mineral que se mide en porcentaje (%) para la mayoría de los metales y en gramos por toneladas (g/t) para los metales preciosos (platino, oro y plata).

**Ley de Corte:** Concentración del metal que por su valor cotizado en el mercado internacional se encuentra en el límite económico de los costos de explotación.

**Mejoramiento Continuo:** Proceso de realzar el sistema de administración ambiental para lograr mejoramiento en el desempeño total ambiental, en línea con la política ambiental de la compañía.

Nota: El proceso necesita no tomar lugar en todas las áreas de actividad simultáneamente (ISO 14001).

**Mena:** Mineral o conjunto de minerales con valor económico, que después del beneficio se obtiene un metal o conjunto de metales comercializables.

**Mineral:** Elemento o combinación natural de estos que se encuentran dentro o como constituyente de las rocas en la corteza terrestre.

**Mineral Económico:** Es la mena factible de comercialización inmediata que deja un margen de utilidad al deducirse todos los costos.

**Mineral Marginal:** Es la mena, el mineral o conjunto de minerales cuya concentración metálica o económica referida en la ley, tiene un valor que sólo cubre todos los costos, sin dejar utilidad

a la empresa.

**Objetivo Ambiental:** Metas ambientales totales que surgen de la política ambiental y que una organización establece por sí misma para lograrlo, y que son cuantificados cuando es práctico.

**Operación Minera:** Conjunto de trabajos realizados en el arranque, extracción, tratamiento, transporte y comercialización de las sustancia económica materia de explotación, así como los servicios auxiliares prestados con esta finalidad.

**Relave:** Desecho que resulta del tratamiento de beneficio de los minerales, compuesto de ganga, roca, agua y reactivos químicos.

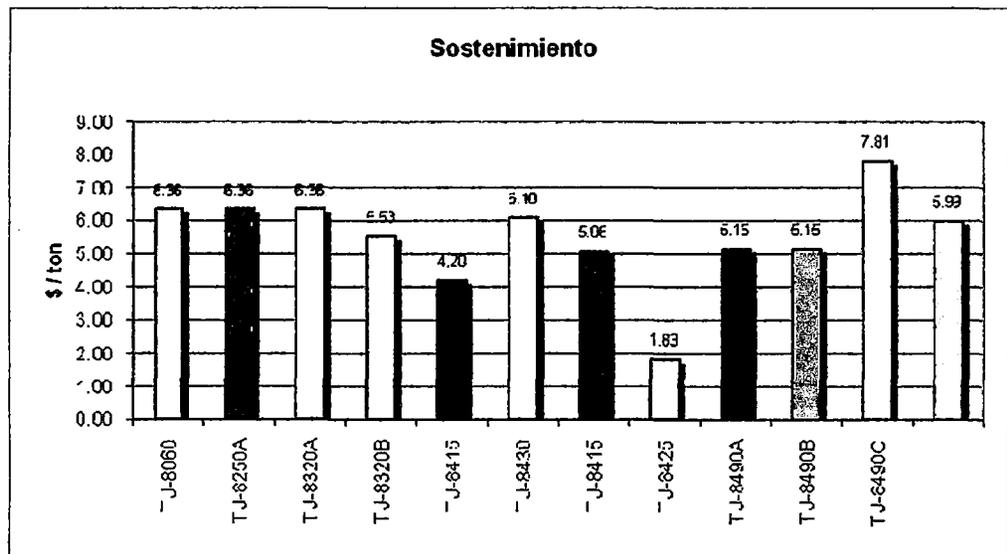
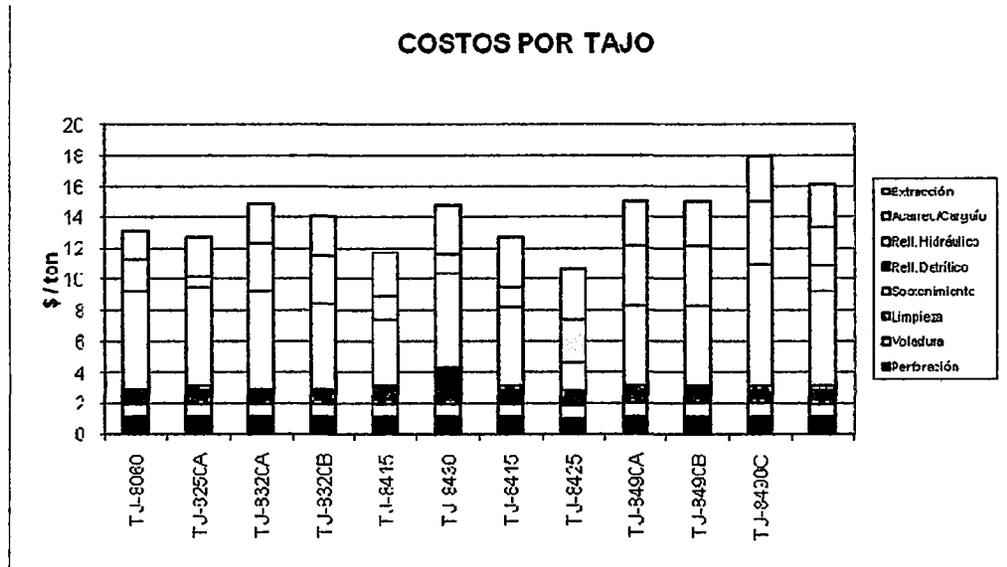
**Relleno Convencional:** Llamado también relleno detrítico, cualquier material rocoso disgregado por el intemperismo, utilizado para rellenar las cavidades del subsuelo originada por la extracción del mineral.

**Relleno Hidráulico:** Se define como relleno hidráulico al material que es transportado en forma de pulpa por tuberías. En su mayoría el material es el relave de planta concentradora, pero también se utiliza arenas glaciares y otros materiales granulares que se encuentra en la naturaleza

**Tajeo:** Es el bloque insitu de donde se arranca el mineral para extraerlo y beneficiarlo

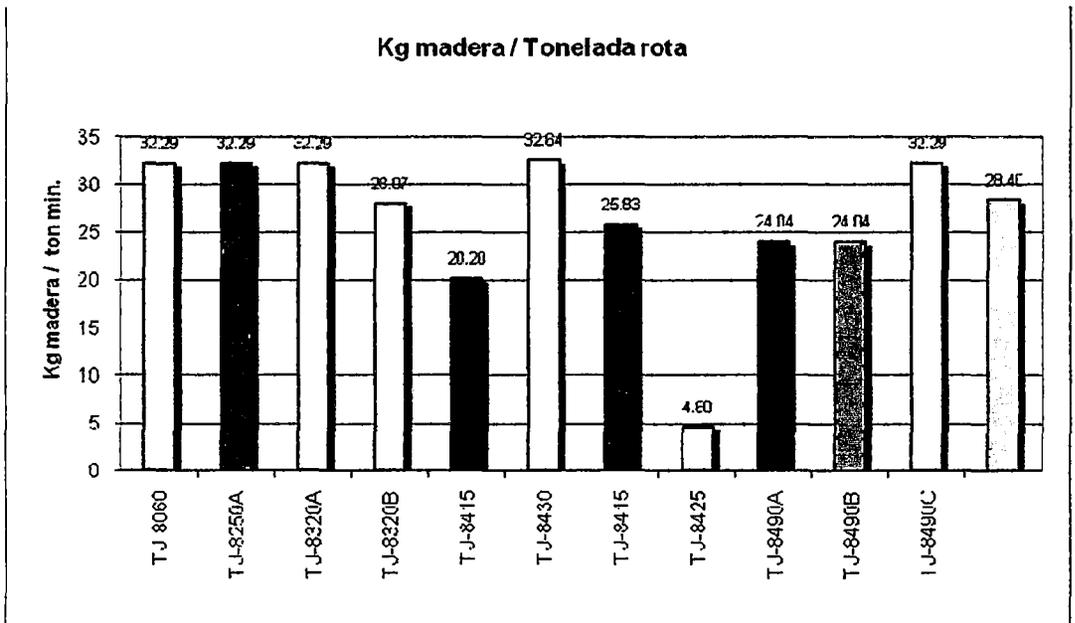
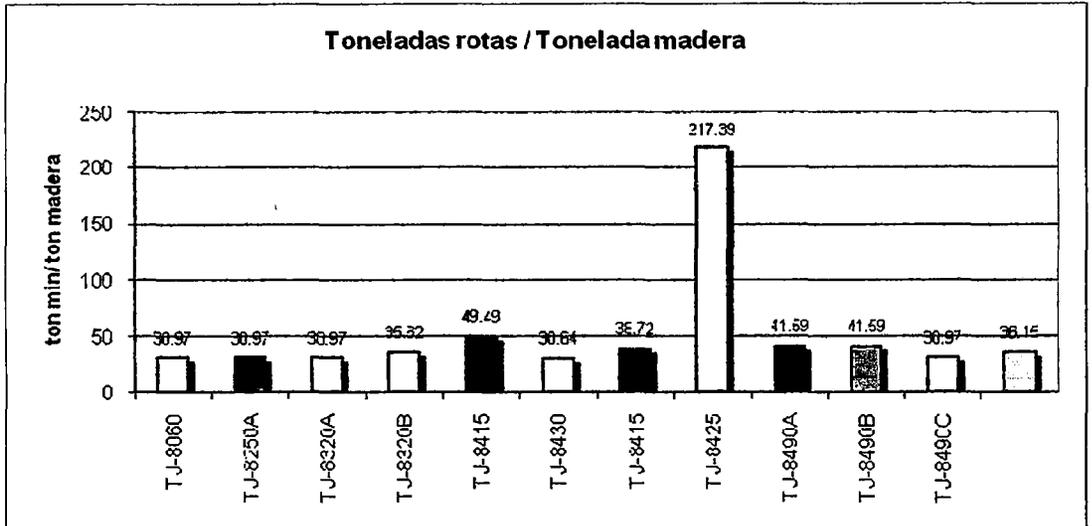
**APÉNDICE III: Comparación de costos en tajeos.**

**NOTA: sólo el TJ 8425 se aplica R/H (tajo piloto).**

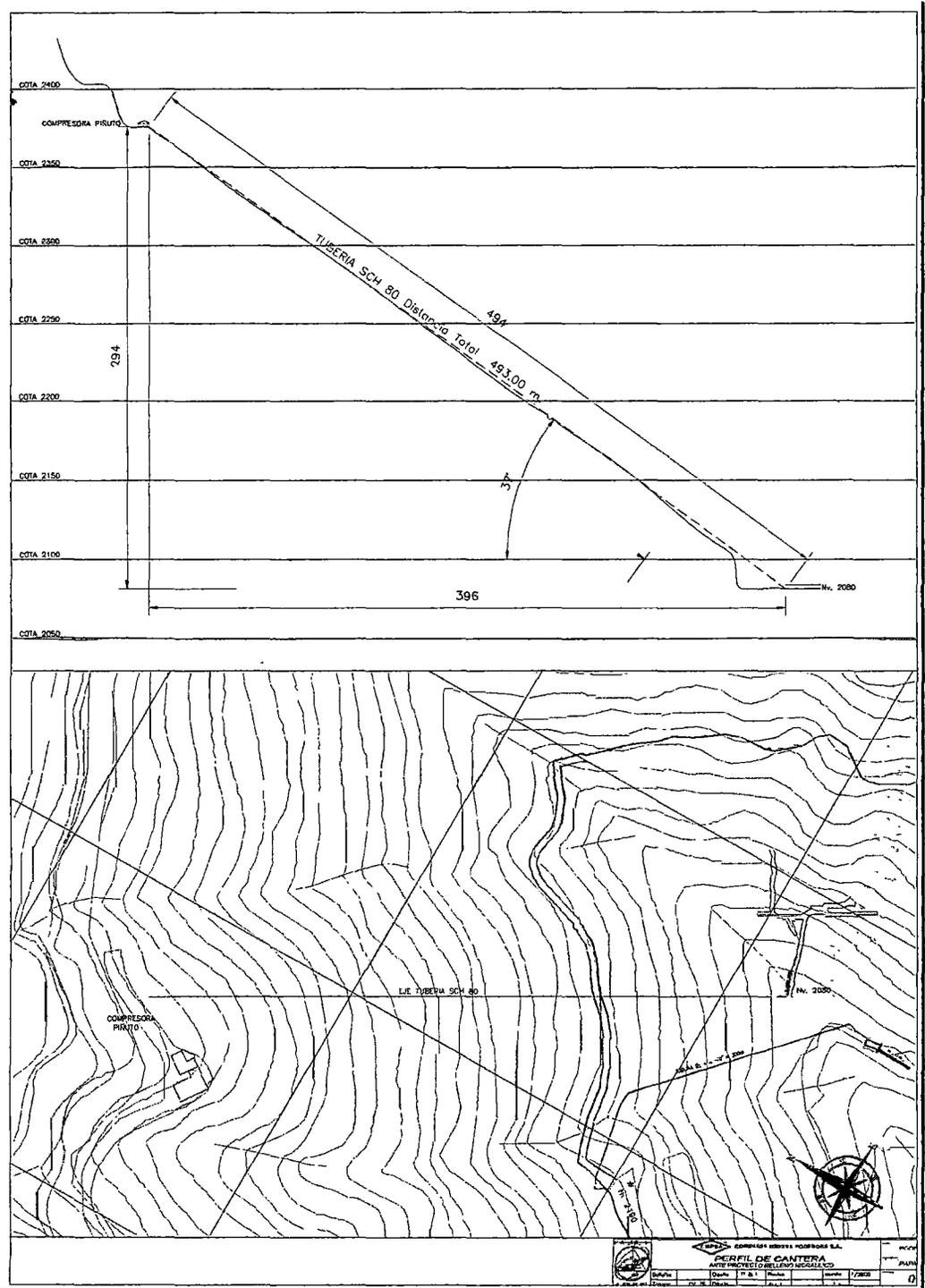


**APÉNDICE IV: Comparación de producción de mineral por consumo de madera en tajeos.**

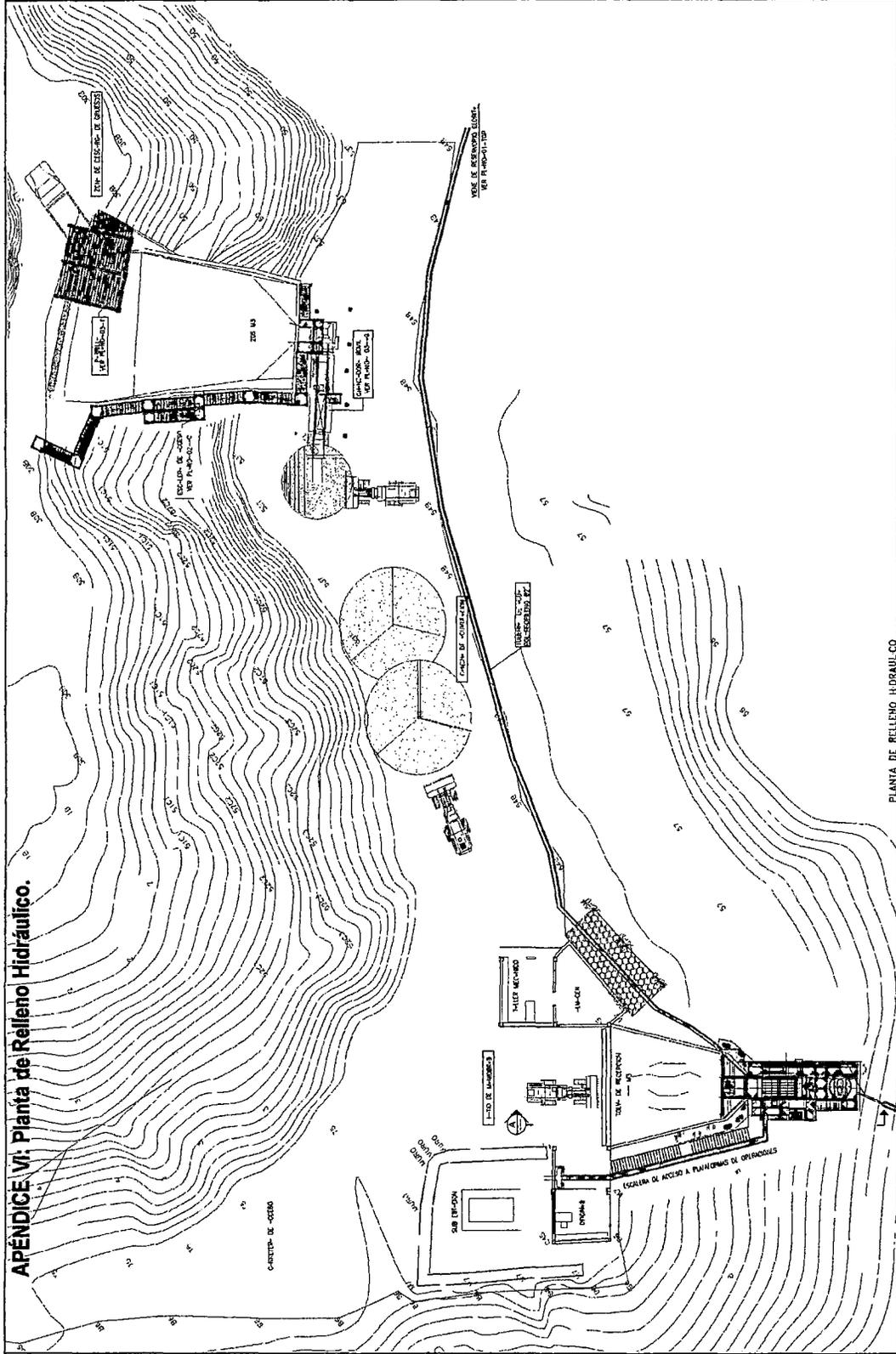
**NOTA: sólo el TJ 8425 se aplica R/H (tajo piloto).**



**APÉNDICE V: Ubicación de Planta de Relleno Hidráulico (NV 2375).**

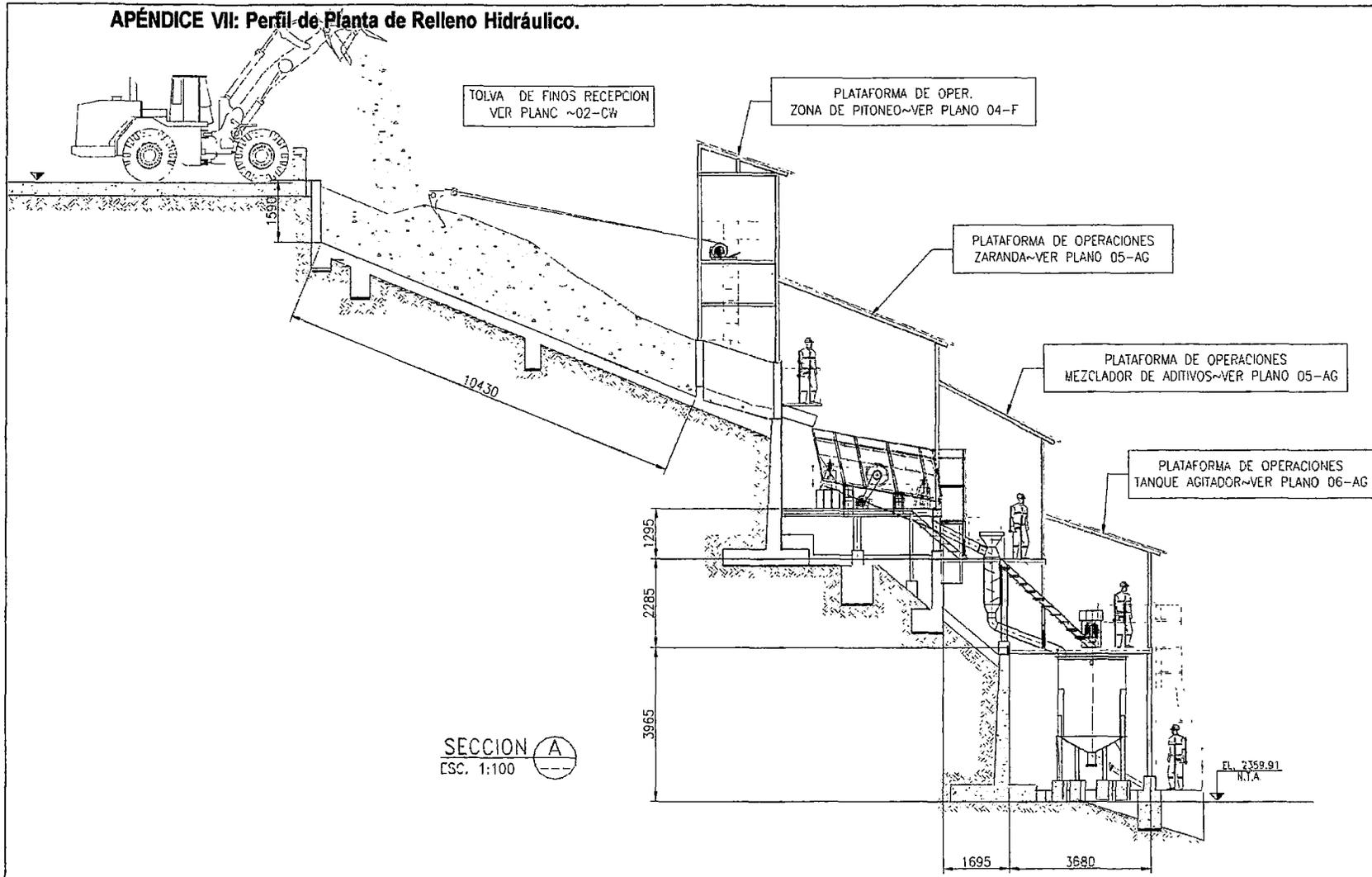


APÉNDICE VI: Planta de Relleno Hidráulico.

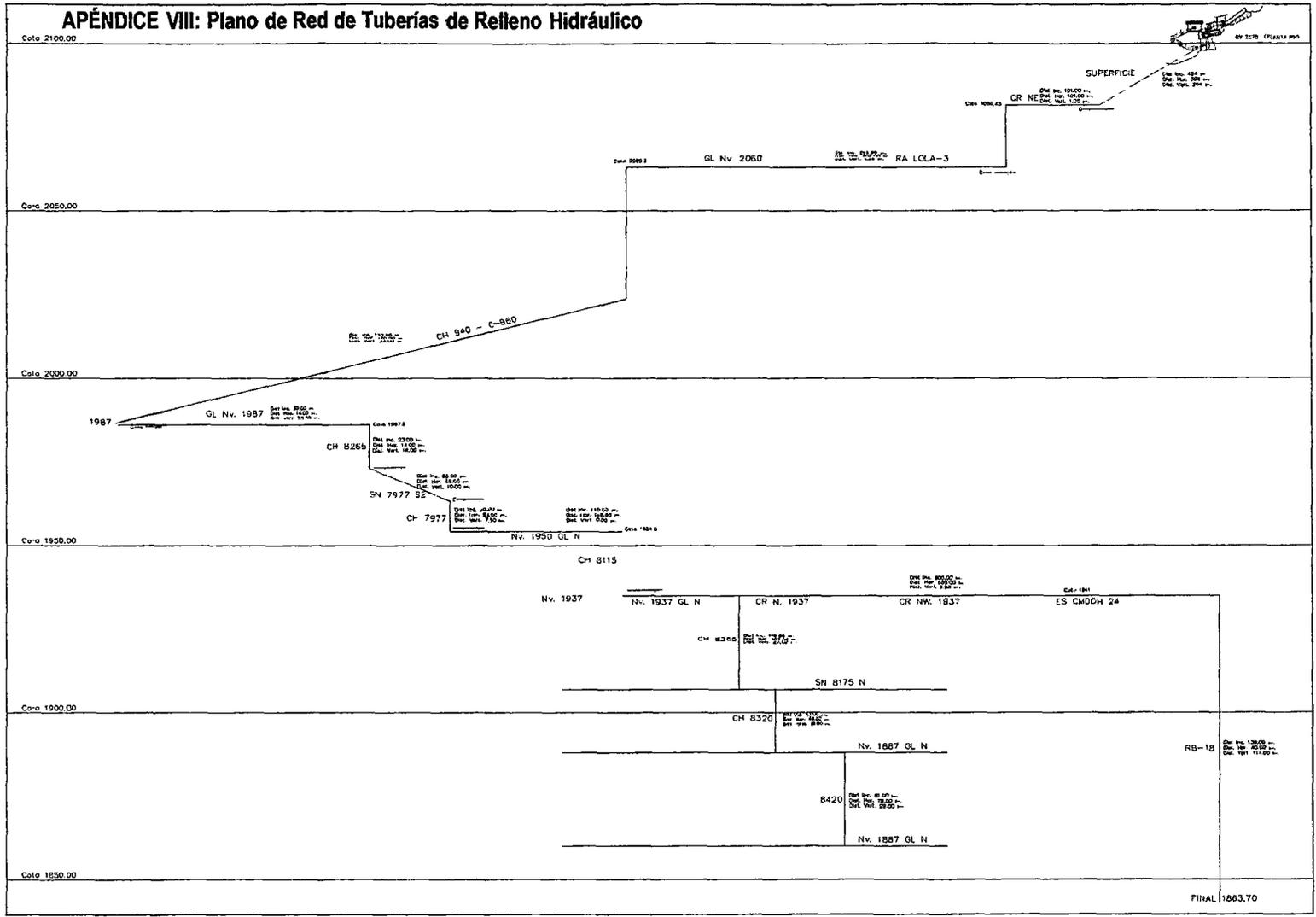


PLANTA DE RELLENO HIDRÁULICO

# APÉNDICE VII: Perfil de Planta de Relleno Hidráulico.



# APÉNDICE VIII: Plano de Red de Tuberías de Relleno Hidráulico



**Anexo N° 1  
MATRIZ DE CONSISTENCIA**

**TITULO: EVALUACION TECNICA DEL RELLENO HIDRAULICO PARA ESTABILIZAR LAS ZONAS EXPLTOTADAS EN LA – COMPAÑÍA MINERA PODEROSA S.A.**

PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPOTESIS Y VARIABLE:	METODOLOGÍA
<p><b>PROBLEMA GENERAL:</b></p> <p>¿De qué manera la evaluación técnica del relleno hidráulico influye en la estabilidad de las zonas explotadas en la – Compañía Minera Poderosa S.A.?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS:</b></p> <p>a) ¿De qué manera la evaluación técnica influyen los Requerimientos y Disponibilidades del Relleno Hidráulico en la Compañía Minera Poderosa S.A.?</p> <p>b) ¿Cual es la evaluación de la estabilidad en zonas explotadas en la Compañía Minera Poderosa S.A.</p> <p>c) ¿Cómo se relaciona la evaluación técnica del relleno hidráulico con la estabilidad en zonas explotadas de la Compañía Minera Poderosa S.A.?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL:</b></p> <p>Determinar si la evaluación técnica del relleno hidráulico influye en la estabilidad de las zonas explotadas en la – Compañía Minera Poderosa S.A.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</b></p> <p>a) Establecer la evaluación técnica de los rellanos hidráulicos explotados en la – Compañía Minera Poderosa S.A.</p> <p>b) Establecer el relleno hidráulico para estabilizar las zonas explotadas en la Compañía Poderosa S.A.</p> <p>c) Establecer la relación que existe entre la evaluación técnica del relleno hidráulico y estabilizar las zonas explotadas en la Compañía Minera Poderosa S.A.</p>	<p><b>1. ANTECEDENTES</b></p> <p>1.- Autores: Oscar Cantorin, William Arenas Bustillos Relleno en Pasta utilizando agregados e incorporando relaves en la Cia Minera Ares S.A.C, XXV Convención de Ingenieros de Minas del Perú - 10 de septiembre de 2001.</p> <p>2.- Cia. Minera Izcaycruz Método de minado cámaras y pilares con taladros largos y relleno consolidado para recuperación de pilares. El sistema de Relleno con agregados cementados y de transporte mecánico.</p> <p><b>3.- MEZA POVIS, EMILIO JOSUÉ, 1978.</b> "Proyecto de Optimización y Ampliación del Sistema de Relleno Hidráulico en la Compañía Minera Huampar S.A.". Lima-Perú.</p> <p><b>4.- MEZA POVIS, EMILIO JOSUÉ, 1978.</b> "Proyecto de Optimización y Ampliación del Sistema de Relleno Hidráulico en la Compañía Minera Huampar S.A.". Lima-Perú.</p> <p><b>MARCO TEORICO REFERENCIAL:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· El relleno hidráulico</li> <li>· La pulpa</li> </ul> <p>Las características más importantes de los sólidos que influyen en su transporte</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Análisis granulométrico</li> </ul>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b></p> <p>La aplicación de la evaluación técnica del relleno hidráulico influyen significativamente en estabilizar las zonas explotadas en la compañía MINERA Poderosa S.A.</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:</b></p> <p>a) Los factores de carácter condicionante de la evaluación técnica del relleno hidráulico en la compañía Minera Poderosa S.A. Se presenta de manera divergente.</p> <p>b) Para estabilizar las zonas explotadas en la – Compañía Minera Poderosa es indispensable.</p> <p>c) Existe relación directa positiva en la evaluación técnica del relleno Hidráulico para estabilizar las zonas explotadas en la – Compañía Minera Poderosa S.A.</p> <p><b>VARIABLES:</b></p> <p><b>Variable Independiente:</b></p> <p>Relleno hidráulico</p> <p><b>Variable Dependiente:</b></p> <p>Estabilizar los macizos rocosos generados por la extracción del mineral.</p>	<p><b>TIPO DE INVESTIGACION:</b> Aplicada.</p> <p><b>NIVEL DE INVESTIGACION:</b> Explicativo.</p> <p><b>MÉTODO DE INVESTIGACION:</b> Experimental.</p> <p><b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b></p> <p>Experimental.</p> <p>GEO<sub>1</sub> x O<sub>2</sub></p> <p>.....</p> <p>GEO<sub>3</sub> O<sub>4</sub></p> <p><b>POBLACIÓN Y MUESTRA</b></p> <p>Mina Poderosa S.A. Veta Jimena.</p> <p><b>MUESTRA:</b> no probabilística</p> <p><b>TÉCNICAS O INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS</b></p> <p>observación directa, análisis de documentos, análisis de laboratorio</p> <p><b>TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS</b></p> <p>Se utilizará el programa SPSS, Excel</p>