

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA



“SISTEMA DE RELLENO HIDRAULICO - U.E.A. CERRO DE PASCO”

**INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL**

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

**PRESENTADO POR:  
MARCO ANTONIO SANTIVAÑEZ RIOS**

**LIMA, PERÚ**

**2009**

**DEDICATORIA**

**A mis padres, esposa e hijos, por el  
amor que me brindan y su apoyo  
incondicional**

## **AGRADECIMIENTO**

Van mis agradecimientos a la Superintendencia General de la Compañía Minera Volcán, Unidad Paragsha, por darme las facilidades para desarrollar y recopilar los datos necesarios para la presentación del presente informe.

A mis colegas de la unidad Minera que con su apoyo y consejos, supieron absolver mis inquietudes y a todas aquellas personas que en forma incondicional me brindaron sus consejos para llevar a buen término este informe.

## **RESUMEN**

El sistema de Relleno Hidráulico es una solución atractiva para rellenar los espacios vacíos dejados en la explotación minera, la facilidad en el transporte y en la deposición de los sólidos hacen que sea un sistema técnicamente y económicamente viables.

El término de relleno hidráulico se debe al transporte de sólidos mezclados en un líquido cualquiera que adquiere propiedades hidráulicas. Este sólido transportado debe poseer ciertas características físicas, como una granulometría apropiada, un porcentaje de sólidos en la pulpa, una velocidad de transporte superior a la velocidad crítica para evitar la sedimentación en las tuberías, y otras propiedades más.

La pulpa al ser depositados en las labores debe poseer propiedades adicionales como son una velocidad de percolación apropiada, un grado de cohesión para el soporte de los esfuerzos circundantes.

Así mismo debe poseer una estabilidad química para evitar la formación de aguas ácidas efecto de la presencia de pirita en su proceso de oxidación del sulfuro y lixiviación de los metales asociados.

Este informe expresa todo el proceso del relleno Hidráulico desde su captación en planta concentradora, clasificación, transporte y deposición en las áreas vacías dejadas por la explotación minera.

El contenido del presente trabajo sirve como un manual y guía visualizando la situación actual del relleno y su proyección a futuro, asimismo se tiene el beneficio ambiental debido a la utilización de mayor cantidad de relave. Incluye además, la infraestructura del sistema de relleno hidráulico, los estándares, PETS, ampliación y reingeniería de la Planta, estadísticas de producción, análisis granulométricos, performance, características del relave (propiedades físicas y químicas), la disposición actual de relave, costos de relleno y los posibles impactos ambientales.

## **INDICE**

<b>INTRODUCCION</b>	10
<b>OBJETIVO</b>	12

### **CAPITULO I RELLENO HIDRAULICO**

1. DESCRIPCION	13
2. PROPIEDADES ESTRUCTURALES DEL RELLENO HIDRÁULICO	13
2.1. PROPIEDADES A CORTO PLAZO Y DURANTE EL TIEMPO DE CICLO	13
2.2. PROPIEDADES A LARGO PLAZO	13
3. VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL RELLENO HIDRAULICO	14
3.1. VENTAJAS	14
3.2. LIMITACIONES	14

### **CAPITULO II REQUERIMIENTO DE LA CANTIDAD DE RELLENO HIDRAULICO**

1. DISPONIBILIDAD DE RELAVE PARA EL RELLENO HIDRAULICO	16
2. NECESIDAD DE RELLENO DE LA MINA SUBTERRANEA	16
3. CAPACIDAD DE LA PLANTA DE RELLENO HIDRAULICO	16
4. CONSIDERACIONES PARA EL RELLENO DE LABORES	17
4.1. LABORES EN EL METODO DE CORTE Y RELLENO ASCENDENTE	17
4.2. LABORES EN EL METODO SUBLEVEL CAVING	18
5. CUADROS ESTADISTICOS DE LA PRODUCTIVIDAD DEL AREA DE RELLENO HIDRAULICO	19

### **CAPITULO III SISTEMA DEL RELLENO HIDRAULICO EN LA MINA**

1. PLANTA DE RELLENO HIDRAULICO	22
1.1. AUTOMATIZACION DE LA PLANTA DE RELLENO	22
1.2. TABLERO ELECTRONICO	22
1.3. CAMARA DE BOMBAS	23
1.4. DESCARGA DE CEMENTO	23
1.5. NIDO DE CICLONES	24

1.6. SILOS DE ACUMULACION DE CEMENTO	25
1.7. SISTEMA MECANICO DE ALIMENTACION DE CEMENTO	25
1.8. PREPARACION DE MEZCLAS	26
1.8.1. TIPOS DE MEZCLA	26
1.9. DOSIFICADOR DE CEMENTO	27
1.10. TANQUES AGITADORES	28
1.11. TANQUE DISTRIBUIDORES	28
1.12. DIAGRAMA UNIFILAR DE LA PLANTA DE RELLENO	29

## **CAPITULO IV**

### **CARACTERISTICAS DEL RELAVE DE LA PLANTA CONCENTRADORA**

1. COMPOSICION MINERALOGICA DEL RELAVE	30
2. ANALISIS GRANULOMETRICO DEL RELAVE	31
3. FORMA TAMAÑO Y DUREZA	32
4. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (CU)	32
5. GRAVEDAD ESPECIFICA DEL RELAVE ( $G_e$ )	32
6. CONCENTRACION DE SÓLIDOS AL PESO (%S)	33
7. CONCENTRACIÓN VOLUMÉTRICA DE SÓLIDOS (%V)	33

## **CAPITULO V**

### **CARACTERISTICAS DEL MATERIAL DE RELLENO**

1. PROPIEDADES FISICAS DEL RELLENO	36
1.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE CLASIFICACION DE NIDO DE CICLONES DE RELLENO HIDRAULICO	36
1.2. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (CU)	36
1.3. VELOCIDAD DE PERCOLACION O COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (V)	36
1.4. RAZON DE POROS (e)	37
1.5. COMPACIDAD RELATIVA (Cr)	38
2. PROPIEDADES QUIMICAS DEL RELAVE	39
2.1. pH	39
2.2. CARACTERISTICAS DEL AGUA	39
3. PROPIEDADES MECANICAS	39
3.1. CAPACIDAD PORTANTE	39
3.2. RESISTENCIA AL CORTE	39
3.3. RESISTENCIA A LA COMPRESION	40

## **CAPITULO VI**

### **TRANSPORTE DEL MATERIAL DE RELLENO**

1. VELOCIDAD DE SEDIMENTACION	42
1.1. SEDIMENTACION LIBRE	42
2. VELOCIDAD DE LA PULPA	42
3. VELOCIDAD CRITICA	42
4. CONDUCCION DEL RELLENO HIDRAULICO	44
5. PERDIDA DE CARGA EN TUBERIAS	47

## **CAPITULO VII**

### **COSTOS**

1. COSTO UNITARIO DEL RELLENO HIDRAULICO	53
1.1. COSTO DEL RELLENO EN PANELES DE ACUERDO A LA MEZCLA	55
2. PROYECTO PARA TERCERIZAR EL AREA DE RELLENO HIDRAULICO	57

<b>CONCLUSIONES</b>	59
<b>RECOMENDACIONES</b>	60
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	61

## INDICE DE TABLAS

TABLA N° 01: Cantidad de relave disponible	16
TABLA N° 02: Necesidad de relleno hidráulico en mina	16
TABLA N° 03: Capacidad de la planta de relleno hidráulico	17
TABLA N° 04: Resumen estadístico de relleno hidráulico por zonas: Año 2008	20
TABLA N° 05: Mezcla usual de cemento	22
TABLA N° 06: Análisis granulométrico del Relave y material de Relleno Hidráulico	31
TABLA N° 07: Determinación de la gravedad especifica	33
TABLA N° 08: Tabulación del %Sv en Volumen y %Sp en Peso	34
TABLA N° 09: Análisis granulométrico del material de Relleno Hidráulico	36
TABLA N° 10: Ensayo de Resistencia a la compresión Mezcla 1:6	40
TABLA N° 11: Ensayo de Resistencia a la compresión Mezcla 1:30	40
TABLA N° 12: Análisis granulométrico del Under flow	42
TABLA N° 13: Tubos de Polietileno con Esfuerzo de diseño de 6.3 Mpa según NTP ISO 4427 - PE 80	47
TABLA N° 14: Propiedades de las tuberías de polietileno	48
TABLA N° 15: Pérdida de Carga por fricción	48
TABLA N° 16: Tipos de Singularidades	49
TABLA N° 17: Pérdida de Carga en Singularidades	49
TABLA N° 18: Pérdida de Carga Total	50
TABLA N° 19: Determinación de Equipo de bombeo	50
TABLA N° 20: Determinación del costo unitario	54
TABLA N° 21: Tabulación del costo unitario de pulpa enviado a mina	54
TABLA N° 22: Análisis del precio unitario relleno de panel primario mezcla 1:6 y 1:30	55
TABLA N° 23: Análisis del precio unitario relleno de panel primario mezcla 1:30	56
TABLA N° 24: Análisis del precio unitario relleno de panel secundario lama	56
TABLA N° 25: Costo unitario en tercerización	58

## **INDICE DE GRAFICOS**

GRAFICO N° 01: Ubicación Geográfica	10
GRAFICO N° 02: Estándar para la construcción de barreras	17
GRAFICO N° 03: Vista de planta del relleno de un tajo corte y relleno ascendente	18
GRAFICO N° 04: Vista de planta del relleno de un tajo sublevel caving	19
GRAFICO N° 05: Cuadros estadísticos de relave y cemento	21
GRAFICO N° 06: Tablero de control electrónico	23
GRAFICO N° 07: Equipo de descarga de cemento	24
GRAFICO N° 08: Nido de hidrociclones	24
GRAFICO N° 09: Silos de acumulación de cemento	25
GRAFICO N° 10: Equipo mecánico de alimentación de cemento	26
GRAFICO N° 11: Dosificador automático de cemento	27
GRAFICO N° 12: Tanques Agitadores de relave y cemento	28
GRAFICO N° 13: Tanques Distribuidores de relave y cemento	28
GRAFICO N° 14: Diagrama unifilar de la planta de Relleno Hidráulico	29
GRAFICO N° 15: Curvas de clasificación del relave y materia de relleno hidráulico	31
GRAFICO N° 16: Porcentaje de Solido en Peso y Volumen	35
GRAFICO N° 17: Ensayo de Resistencia a la compresión Mezcla 1:6	40
GRAFICO N° 18: Ensayo de Resistencia a la compresión Mezcla 1:30	41
GRAFICO N° 19: Maquina de prueba de resistencia a la compresión	41
GRAFICO N° 20: Flow Sheet de las líneas de Relleno Hidráulico	45
GRAFICO N° 21: Plano Isométrico de las líneas de Relleno Hidráulico	46
GRAFICO N° 22: Perfil de las líneas de relleno Hidráulico	51
GRAFICO N° 23: Plano Isométrico de las líneas de Relleno Hidráulico	51
GRAFICO N° 24: Vista de planta de la mina y sus líneas de Relleno Hidráulico	52
GRAFICO N° 25: Organigrama del área de Relleno Hidráulico	53
GRAFICO N° 26: Costo unitario respecto al volumen de pulpa enviado a mina	54

## INTRODUCCION

La Unidad Económica Administrativa de Cerro de Pasco, está ubicada geográficamente en la región central del territorio peruano y políticamente en los distritos de Chaupimarca, Yanacancha y Simón Bolívar de la Provincia y Departamento de Pasco, dista por carretera 130 km desde la Oroya y 310 km. Desde Lima.

GRAFICO N° 01: Ubicación Geográfica



Desde el punto de vista ambiental la influencia de la actividad minera alcanza un área de 780 Ha., y ecológicamente sensible.

La temperatura promedio de la zona es 6.8°C, la humedad 74%, la precipitación 910 mm/año y la dirección del viento es de 1.4 mt/seg predominantemente al norte.

Los minerales provenientes de Cerro de Pasco tanto de la mina subterránea como del Tajo Raúl Rojas se procesan en la Planta Concentradora, cuyo desecho es el relave. Así mismo, el desmonte proveniente del desbroce del tajo es acumulado en los botaderos (stock pile).

Desde los primeros años de operación de la mina subterránea, el relave se ha depositado en forma natural en el depósito de Quiulacocha, cesando en 1992 por colmatación de la misma. A partir de esta fecha, la Empresa Centromín ahora Volcán Compañía Minera, teniendo como prioridad la preservación del medio ambiente, inició la construcción de un nuevo depósito de relaves ubicado en el paraje de Ocroyoc, presa en la que actualmente se depositan el relave. La empresa como parte de la Implementación del Sistema de Gestión Ambiental ISO 14001, tiene el compromiso de continuar desarrollando la ejecución de proyectos de mejoramiento ambiental.

El objetivo de la producción de la mina fue de 110,000 ton/mes en el año 2007 y 2008 actualmente es de 150,000 ton/mes y el reto es llegar a los 200,000 ton/mes, lo cual también implica un incremento de labores a rellenar en la mina, por lo que es de necesidad mejorar las condiciones ambientales, de sostenimiento y la seguridad integral dentro de la mina.

Las aberturas subterráneas ocasionadas por la explotación minera han contribuido al desequilibrio de esfuerzos (sostenimiento), presencia de gases irritantes, gases analgésicos y asfixiantes, generación de aguas ácidas y altas temperaturas por oxidación de la pirita.

El relave como amenaza al medio ambiente, ha sido utilizado como Relleno Hidráulico en la mina subterránea, lográndose resultados positivos en las operaciones de mina. Por ello la pulpa transportada debe reunir características hidráulicas óptimas para su fácil transporte sin ocasionar mayores dificultades.

## OBJETIVO

Siendo el relave el principal contaminante de la industria minera, y dada la importancia en el manejo, SE debe aplicarse y desarrollar en forma continua tecnología adecuada para la disposición de relaves, cuyo resultado es preservar el medio ambiente.

Los objetivos que se desean alcanzar son:

- 1) Disponer del relave para rellenar los espacios vacíos dejados en las labores mineras de explotación.
- 2) Enviar una menor cantidad de sólidos a las canchas de relaves contribuyendo en medida a la menor contaminación ambiental.
- 3) Los relaves depositados en las labores contribuirán al sostenimiento de la masa rocosa, evitando de esta manera derrumbes y/o subsidencias debido a espacios vacíos que se pudieran dejar.
- 4) Reducir costos al momento del abandono de mina al tener menor relave que disponer en la cancha.

## **CAPITULO I**

# **RELLENO HIDRAULICO**

### **1. DESCRIPCION**

El término de relleno hidráulico se debe al transporte de sólidos mezclados en un líquido cualquiera que adquiere propiedades hidráulicas. La operación consiste en captar los relaves de la planta concentradora, clasificarlos de acuerdo al tamaño de las partículas los cuales deben poseer ciertas características que permitan su transporte en suspensión como pulpas a través de una red tuberías hasta los espacios vacíos de las labores.

Este informe expresa todo el proceso del relleno Hidráulico desde su captación en planta concentradora, clasificación, transporte y deposición en las áreas vacías dejadas por la explotación minera.

El Relleno Hidráulico en la mina Lourdes de Cerro de Pasco, es una mezcla de relave-agua o relave-agua-cemento. Esta mezcla es transportada por gravedad a través de tuberías de 4" de diámetro, obteniendo su presión por diferencias de cotas. Los espacios explotados se cubren en un 85% a 90%, lo cual permite sostener la mina, mitigar el polvo, gases e incendios.

### **2. PROPIEDADES ESTRUCTURALES DEL RELLENO HIDRÁULICO**

El relleno hidráulico debe cumplir ciertas características estructurales de tal manera que su empleo sea favorable a corto y largo plazo.

#### **2.1. PROPIEDADES A CORTO PLAZO Y DURANTE EL TIEMPO DE CICLO**

- Resistencia al hundimiento, deben soportar presiones que se apliquen al relleno como son: pisadas, apoyo de las patas neumáticas de perforación, apoyo de las patas hidráulicas de los equipos pesados de perforación, de las llantas, etc.
- Estabilidad de techo de tajeos invertidos, para el método de corte y relleno descendente es necesario conocer la carga que ejercerá la masa de relleno y si podrá auto sostener o en su defecto necesite columnas de sostenimiento.
- El tiempo que pasa el relleno hidráulico del estado de pulpa al estado sólido, conociendo el coeficiente de permeabilidad.
- La gradación de las partículas del relleno conociendo el coeficiente de uniformidad.
- Tixotropismo, propiedad en la cual ciertas sustancias se comportan como sólidos cuando esta en reposo y como líquido cuando están expuestas a un impacto o vibración. También se le conoce como licuefacción.

#### **2.2. PROPIEDADES A LARGO PLAZO**

- Densidad relativa, medida del grado de compactación que adquiere un relleno, si esta densidad es mayor será menos compresible y de mayor resistencia al desplazamiento de las cajas.

- Reducción de volumen, si el relleno hidráulico contiene arcillas tiende a reducir de volumen al perder agua, de esta manera permitiendo el desplazamiento de las cajas alterando la estabilidad.
- Estabilidad de tajeos continuos, es requisito que la pared del tajeo anterior no se derrumbe dentro del nuevo tajeo abierto.

### **3. VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL RELLENO HIDRAULICO**

#### **3.1. VENTAJAS**

- La obtención de relave es gratuita, pues los costos de reducción a material a transportar son cargados a la planta concentradora.
- Los costos de operación y mantenimiento son bajos.
- El transporte por tuberías es más eficiente, ágil y flexible, veloz y económico que el transporte de detritus por echaderos y locomotoras.
- Las operaciones de explotación se ven agilizadas por una reducción en el ciclo de minado.
- El relleno puesto en el vacío busca su nivel en un plano horizontal por ser un fluido, evitando el esparcimiento manual o mecánico.
- Ofrece resistencia al desplazamiento de las cajas; siendo el relleno una pulpa ocupa los intersticios de los vacíos ocupando esos espacios que con el relleno mecánico no se logra alcanzar, además de la porosidad que es menor en el relleno hidráulico que en el relleno detrítico.
- La forma del uso del relleno hidráulico hacen que el requerimiento de esfuerzo sea bajo, y su fácil consistencia a la consolidación hacen que se adapten fácilmente a las técnicas modernas de minado y se preste para control automático.
- Se reduce el volumen de relave a ser almacenado en superficie, por el hecho de emplear parte del relave previamente clasificado, disminuyendo así los costos de almacenamiento y transporte.
- Disminuye el periodo no productivo durante el ciclo de minado.
- Se disminuye la cantidad del personal y maquinaria durante la operación de relleno.
- Se reduce la cantidad de polvo en las labores y se mantiene fresco el ambiente.
- Ofrece un piso nivelado y resistente sobre todo para equipos sobre neumáticos.
- Estabilidad del techo en tajeos invertidos, para métodos de corte y relleno descendente.
- La carga estática se convierte en energía potencial, permitiendo transportar el relleno horizontalmente con la energía ganada en la caída vertical.
- Los tajeos son rellenados entre un 85% a 90%..

#### **3.2. LIMITACIONES**

- En el nivel más bajo (2100) lugar donde se bombean las aguas subterráneas, tiene problemas de acumulación de finos en las cámaras.

- Las cunetas deben estar en óptimas condiciones, ya que el promedio de agua enviado con el relleno hidráulico es de 95 GPM.
- Los finos del relleno son arrastrados en la filtración y depositados en las cunetas obstruyéndolas, y en galerías ocasionando problemas en el transporte de las labores.
- Obstrucción y atoramiento de las tuberías por altas densidades de la pulpa, por roturas de tuberías o desacoples de las mismas.
- Fugas en las tuberías por desgaste de las mismas, o en las conexiones de tuberías mal aseguradas.
- Posibles fugas de relleno hidráulico por rotura del yute de retención o rotura de los puntales de soporte de barreras.
- Cuando el relleno empleado es relave y esta parcialmente relleno, la oxidación eleva la temperatura y produce el desprendimiento de  $SO_2$ .
- Se requiere personal capacitado para los trabajos de relleno hidráulico (operación de planta de relleno, mantenimiento de tuberías, enyutadores y construcción de barreras).
- El mantenimiento de las bombas y red de tuberías, requiere de personal capacitado.

## CAPITULO II

## REQUERIMIENTO DE LA CANTIDAD DE RELLENO HIDRAULICO

## 1. DISPONIBILIDAD DE RELAVE PARA EL RELLENO HIDRAULICO

Para aplicar el relleno hidráulico en las labores mineras se debe determinar la cantidad de relave que se dispone de la planta concentradora y la calidad del mismo.

TABLA N° 01: Cantidad de relave disponible

Tratamiento de la Planta concentradora	12000	ton/dia
Concentrado recuperado de Pb y Zn	1023	ton/dia
Relave	10977	ton/dia
Relave cicloneado enviado a mina	2520	ton/dia
	1440	m3 de pulpa/dia
Porcentaje de relave enviadoa mina	22,96	%
Relave enviado a Ocroyoc	8457	ton/dia
Promedio de relave enviado por minuto	5,87	ton/min

## 2. NECESIDAD DE RELLENO DE LA MINA SUBTERRANEA

Teniendo un programa de producción mensual es posible determinar la necesidad de relleno hidráulico en la mina subterránea, así mismo se podrá proyectar a que zonas y cuerpos mineralizados se enviará el relleno hidráulico, pudiéndose adelantar la instalaciones respectivas de tuberías.

TABLA N° 02: Necesidad de relleno hidráulico en mina

Producción de mina	150000	ton/mes
Densidad del mineral	3,5	ton/m3
Volumen a ser relleno	42857	m3
% de volumen de relleno detritico	35	%
% de volumen de relleno hidraulico	65	%
Volumen para relleno hidraulico	27857	m3
Flujo de pulpa para relleno hidraulico	60	m3/hra
Volumen de solidos enla pulpa	35	m3/hra
Horas totales para rellenarlos espacios vacios	716,3	hra/mes
Horas de relleno por dia (promedio)	23,88	hra/dia

## 3. CAPACIDAD DE LA PLANTA DE RELLENO HIDRAULICO

Un punto importante en el Relleno Hidráulico es saber la capacidad de la Planta de Relleno Hidráulico, por que nos permitirá proyectar la necesidad actual y futura de las áreas a rellenar y de ser necesario ampliar la planta en cuestión.

TABLA N° 03: Capacidad de la planta de relleno hidráulico

Flujo de relleno por línea	60	m3/hra
N° de líneas trabajando simultáneamente	2	líneas
Horas efectivas de trabajo por línea y guardia	6	hra/gdia
N° de guardias	3	gdia
Total de horas trabajadas a 2 líneas por día	36	hra/dia
Volumen de pulpa a enviar a mina	2160	m3/dia
Volumen de sólidos a enviar a mina	1260	m3/dia
Volumen de sólidos al mes	37800	m3/mes
Volumen de pulpa al mes	64800	m3/mes

De los cuadros anteriores podemos deducir que la capacidad de la planta de relleno cubre ampliamente la necesidad de relleno de la mina subterránea.

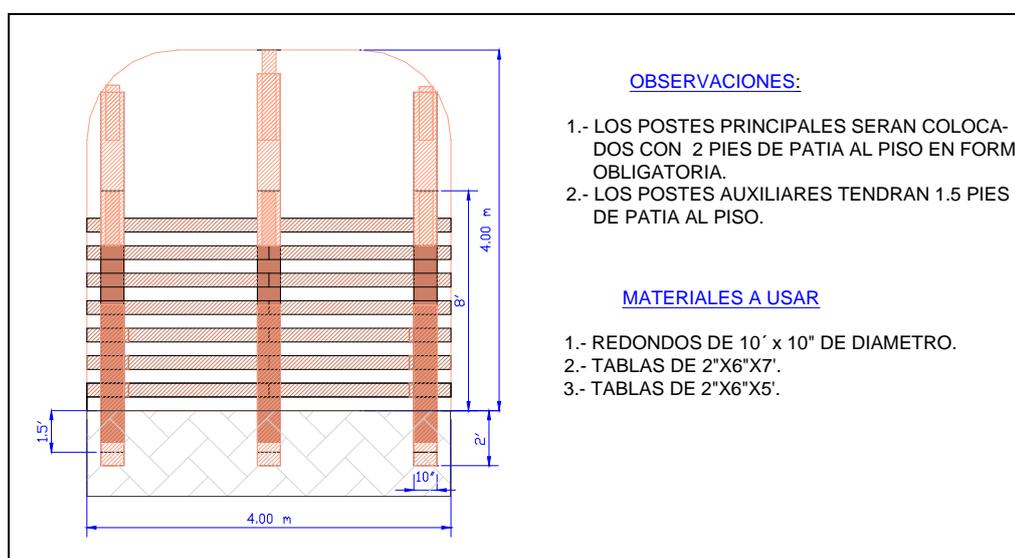
#### 4. CONSIDERACIONES PARA EL RELLENO DE LABORES

##### 4.1. LABORES EN EL METODO DE CORTE Y RELLENO ASCENDENTE

Siendo corte y relleno ascendente un método de explotación por paneleo, se debe tener en consideración algunos aspectos:

1. Existen paneles primarios y paneles secundarios: Los primarios corresponden a las calles primarias que parten del Subnivel principal cruzando el cuerpo intercaladamente, teniendo como pilar a la roca mineralizada. Los paneles secundarios son las calles que cruzan el cuerpo, teniendo como pilar la calle primaria rellena.
2. La barrera debe ser construida de acuerdo al estándar.
3. Los paneles primarios debe rellenarse la 1ra etapa con loza (mezcla 1/6) hasta la altura de 1.20 mts.
4. Rellenarse la siguientes etapas con mezcla 1/30, hasta cubrir la corona de la labor.
5. Los paneles secundarios debe rellenarse por etapas con lama.

GRAFICO N° 02: Estándar para la construcción de barreras



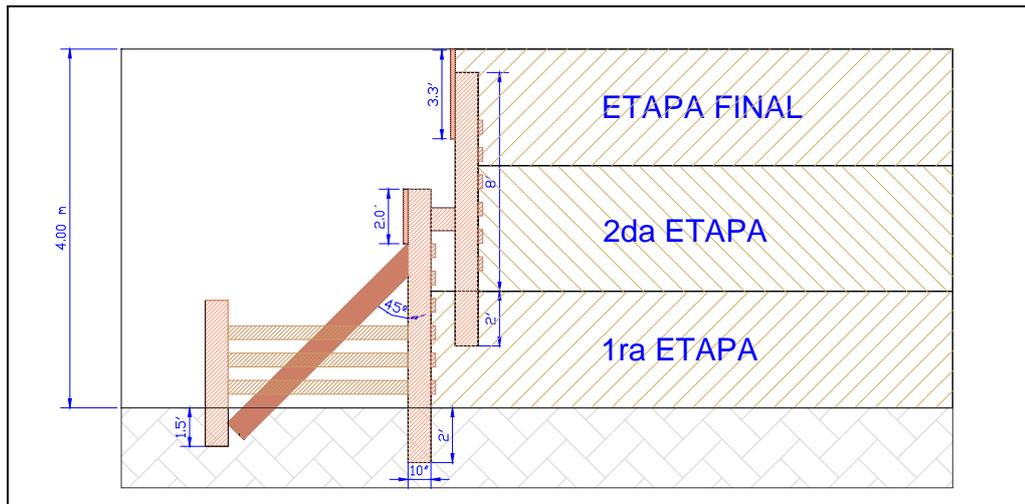
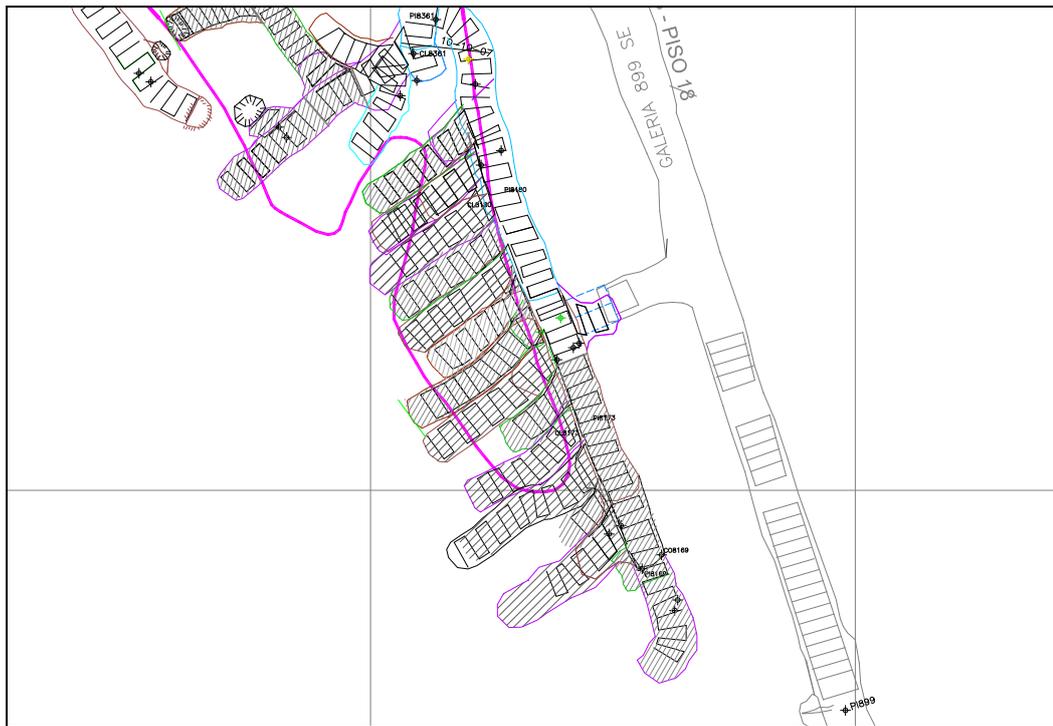


GRAFICO N° 03: Vista de planta del relleno de un tajo corte y relleno ascendente



#### 4.2. LABORES EN EL METODO SUBLEVEL CAVING

En este método se debe rellenar con loza (mezcla 1/6) la entrada del subnivel, la construcción de barreras de acuerdo al estándar y el tajo propiamente dicho debe rellenarse con lama.

GRAFICO N° 04: Vista de planta del relleno de un tajo sublevel caving



## 5. CUADRO ESTADISTICO DE LA PRODUCTIVIDAD DEL AREA DE RELLENO HIDRAULICO

La productividad del área de relleno hidráulico aumentó en estos últimos años debido esencialmente a que se automatizó la planta de relleno y a la capacidad de poder rellenar a 2 líneas la mina subterránea.

Así mismo el consumo de cemento se redujo en gran medida por que los métodos de explotación solo se limitó a Corte Relleno Ascendente y Sublevel Caving, en ambos casos el consumo se redujo, porque se dejó de emplear el método de minado Corte y Relleno Descendente.

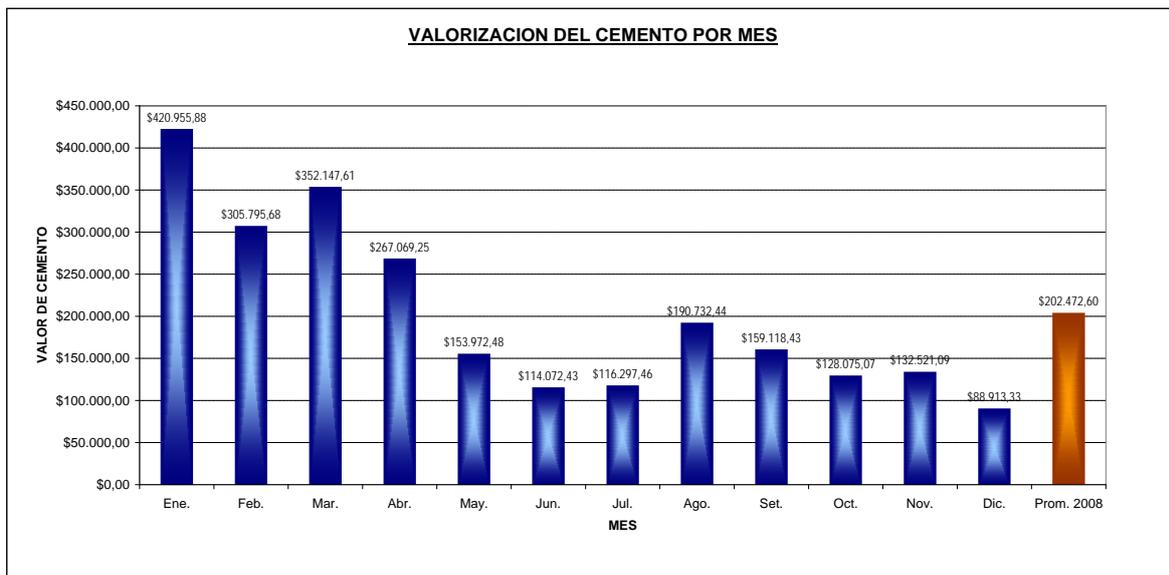
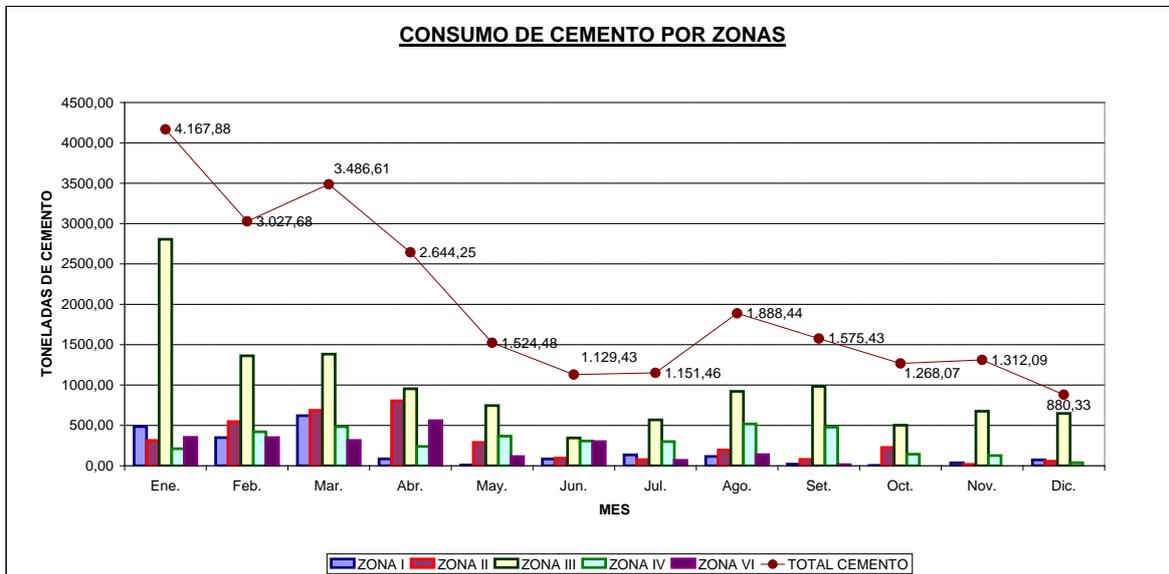
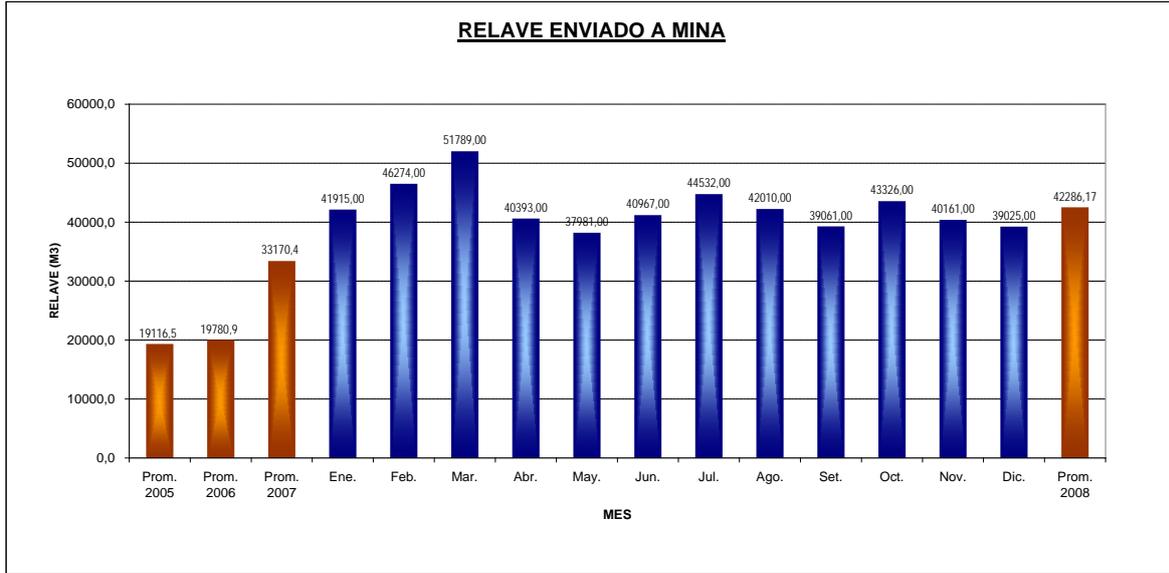
En cuanto al material de relleno se tiene a disponibilidad por la capacidad de tratamiento de la planta concentradora, más aún ahora, que entrara en funcionamiento la planta de concentradora San Expedito que trata mineral proveniente de la unidad de Vinchos.

TABLA N° 04:

**RESUMEN ESTADISTICO DE RELLENO HIDRAULICO POR ZONAS : AÑO 2008**COSTO DE CEMENTO  
COSTO M.O. Y SUMINISTRO101,00 \$/Ton  
2,34 \$/m3

ZONAS	Prom. 2005	Prom. 2006	Prom. 2007	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total	Prom. 2008
<b>ZONA I</b>																	
Horas de relleno	89:14:00	20:44:00	138:16:00	221:10:00	271:15:00	363:22:00	225:10:00	234:35:00	280:20:00	278:25:00	211:30:00	189:55:00	158:30:00	264:15:00	121:45:00	2820:12:00	235:01:00
Cemento (Ton)	463	108,6	338,0	485,97	348,82	620,38	86,24	8,89	84,30	135,64	115,55	19,90	3,35	36,14	72,59	2 018	168,15
Costo cemento (\$)	\$46.806,09	\$10.968,35	\$34.142,35	\$49.082,97	\$35.230,82	\$62.658,38	\$8.710,24	\$897,89	\$8.514,30	\$13.699,64	\$11.670,55	\$2.009,90	\$338,35	\$3.650,14	\$7.331,59	\$203.794,77	\$16.982,90
Relave cicloneado (m3)	3611,5	1096,6	8179,8	13191,00	16483,00	22041,00	13733,00	14170,00	17181,00	17177,00	13159,00	11759,00	9592,00	15736,00	7320,00	171542,00	14295,17
Costo M.O.Suminstro				\$30.866,94	\$38.570,22	\$51.575,94	\$32.135,22	\$33.157,80	\$40.203,54	\$40.194,18	\$30.792,06	\$27.516,06	\$22.445,28	\$36.822,24	\$17.128,80	\$401.408,28	\$33.450,69
<b>ZONA II</b>																	
Horas de relleno	115:48:00	84:02:00	111:04:00	63:15:00	87:05:00	165:30:00	132:35:00	81:05:00	164:40:00	94:15:00	145:05:00	99:00:00	182:15:00	22:00:00	107:50:00	1344:35:00	112:02:55
Cemento (Ton)	849	616,3	421,1	313,54	547,99	686,00	805,36	288,41	93,89	76,39	195,48	79,44	226,69	17,55	56,02	3 387	282,23
Costo cemento (\$)	\$85.769,03	\$62.243,69	\$42.530,60	\$31.667,54	\$55.346,99	\$69.286,00	\$81.341,36	\$29.129,41	\$9.482,89	\$7.715,39	\$19.743,48	\$8.023,44	\$22.895,69	\$1.772,55	\$5.658,02	\$342.062,76	\$28.505,23
Relave cicloneado (m3)	4639,9	4351,2	6895,7	3862,00	5253,00	10124,00	8012,00	5055,00	10044,00	5598,00	8949,00	6166,00	11181,00	1328,00	6453,00	82025,00	6835,42
Costo M.O.Suminstro				\$9.037,08	\$12.292,02	\$23.690,16	\$18.748,08	\$11.828,70	\$23.502,96	\$13.099,32	\$20.940,66	\$14.428,44	\$26.163,54	\$3.107,52	\$15.100,02	\$191.938,50	\$15.994,88
<b>ZONA III</b>																	
Horas de relleno	60:31:00	131:39:00	223:05:00	326:10:00	183:30:00	205:55:00	177:05:00	206:00:00	86:10:00	201:25:00	210:30:00	247:00:00	198:00:00	219:30:00	358:15:00	2619:30:00	218:17:30
Cemento (Ton)	326	1097,8	1607,9	2805,96	1361,64	1382,59	953,88	745,42	344,22	568,99	921,25	984,18	502,94	675,61	648,69	11 895	991,28
Costo cemento (\$)	\$32.910,01	\$110.873,26	\$162.398,24	\$283.401,96	\$137.525,64	\$139.641,59	\$96.341,88	\$75.287,42	\$34.766,22	\$57.467,99	\$93.046,25	\$99.402,18	\$50.796,94	\$68.236,61	\$65.517,69	\$1.201.432,37	\$100.119,36
Relave cicloneado (m3)	2428,4	7309,8	13162,3	19839,00	11223,00	12584,00	10776,00	12541,00	5332,00	12402,00	13087,00	15259,00	12044,00	13272,00	21616,00	159975,00	13331,25
Costo M.O.Suminstro				\$46.423,26	\$26.261,82	\$29.446,56	\$25.215,84	\$29.345,94	\$12.476,88	\$29.020,68	\$30.623,58	\$35.706,06	\$28.182,96	\$31.056,48	\$50.581,44	\$374.341,50	\$31.195,13
<b>ZONA IV</b>																	
Horas de relleno	203:17:00	140:39:00	82:08:00	59:20:00	95:20:00	94:40:00	86:20:00	74:35:00	106:25:00	76:50:00	95:10:00	88:55:00	88:40:00	52:55:00	13:45:00	932:55:00	77:44:35
Cemento (Ton)	941	705,6	415,8	210,75	420,92	483,48	239,53	367,59	306,66	299,48	517,83	477,86	143,61	126,51	38,31	3 633	302,71
Costo cemento (\$)	\$94.996,06	\$71.261,22	\$41.999,50	\$21.285,75	\$42.512,92	\$48.831,48	\$24.192,53	\$37.126,59	\$30.972,66	\$30.247,48	\$52.300,83	\$48.263,86	\$14.504,61	\$12.777,51	\$3.869,31	\$366.885,53	\$30.573,79
Relave cicloneado (m3)	8436,6	7023,2	4932,6	3612,00	5753,00	5755,00	5250,00	4503,00	6569,00	4827,00	5914,00	5398,00	5399,00	3036,00	837,00	56853,00	4737,75
Costo M.O.Suminstro				\$8.452,08	\$13.462,02	\$13.466,70	\$12.285,00	\$10.537,02	\$15.371,46	\$11.295,18	\$13.838,76	\$12.631,32	\$12.633,66	\$7.104,24	\$1.958,58	\$133.036,02	\$11.086,34
<b>ZONA VI</b>																	
Horas de relleno				23:45:00	128:25:00	21:40:00	42:20:00	28:25:00	30:05:00	13:10:00	14:50:00	8:00:00	85:05:00	113:10:00	45:55:00	554:50:00	46:14:10
Cemento (Ton)				351,66	348,31	314,16	559,24	114,17	300,36	67,71	138,33	14,05	391,48	456,28	64,72	3 120	260,04
Costo cemento (\$)				\$35.517,66	\$35.179,31	\$31.730,16	\$56.483,24	\$11.531,17	\$30.336,36	\$6.838,71	\$13.971,33	\$1.419,05	\$39.539,48	\$46.084,28	\$6.536,72	\$315.167,47	\$26.263,96
Relave cicloneado (m3)				1411,00	7562,00	1285,00	2622,00	1712,00	1841,00	815,00	901,00	479,00	5110,00	6789,00	2799,00	33326,00	2777,17
Costo M.O.Suminstro				\$3.301,74	\$17.695,08	\$3.006,90	\$6.135,48	\$4.006,08	\$4.307,94	\$1.907,10	\$2.108,34	\$1.120,86	\$11.957,40	\$15.886,26	\$6.549,66	\$77.982,84	\$6.498,57
<b>ZONA COBRE</b>																	
Horas de relleno										59:40:00						59:40:00	59:40:00
Cemento (Ton)										3,25						3 2500	3,25
Costo cemento (\$)										\$328,25						\$328,25	\$328,25
Relave cicloneado (m3)										3713,00						3713,00	3713,00
Costo M.O.Suminstro										\$8.688,42						\$8.688,42	\$8.688,42
<b>MINA SUBSUELO</b>																	
Horas de relleno	468:50:00	377:04:00	554:33:00	693:40:00	765:35:00	851:07:00	663:30:00	624:40:00	667:40:00	723:45:00	677:05:00	632:50:00	712:30:00	671:50:00	647:30:00	8331:42:00	694:18:30
Cemento (Ton)	2.579,02	2.528,18	2.782,88	4.167,88	3.027,68	3.486,61	2.644,25	1.524,48	1.129,43	1.151,46	1.888,44	1.575,43	1.268,07	1.312,09	880,33	24.056,15	2.004,68
Costo cemento (\$)	\$260.481,19	\$255.346,52	\$281.070,68	\$420.955,88	\$305.795,68	\$352.147,61	\$267.069,25	\$153.972,48	\$114.072,43	\$116.297,46	\$190.732,44	\$159.118,43	\$128.075,07	\$132.521,09	\$88.913,33	\$2.429.671,15	\$202.472,60
Relave cicloneado (m3)	19116,5	19780,9	33170,4	41915,00	46274,00	51789,00	40393,00	37981,00	40967,00	44532,00	42010,00	39061,00	43326,00	40161,00	39025,00	507434,00	42286,17
Costo M.O.Suminstro				\$98.081,10	\$108.281,16	\$121.186,26	\$94.519,62	\$88.875,54	\$95.862,78	\$104.204,88	\$98.303,40	\$91.402,74	\$101.382,84	\$93.976,74	\$91.318,50	\$1.187.395,56	\$98.949,63

GRAFICO N° 05: Cuadros estadísticos de relave y cemento



## CAPITULO III

### SISTEMA DEL RELLENO HIDRAULICO EN LA MINA

#### 1. PLANTA DE RELLENO HIDRAULICO

##### 1.1. AUTOMATIZACION DE LA PLANTA DE RELLENO

La planta de Relleno Hidráulico fue construida en el año 1982, a través de los años se ha ido mejorando, es así que el año 2000 se decide automatizar la planta de Relleno Hidráulico a cargo de la empresa CEYESA y en el año 2007 se amplía para poder rellenar a dos líneas simultáneamente.

##### Objetivos de la automatización

- Optimizar el uso de cemento en las mezclas de relleno enviado a mina.
- Mejorar la calidad de relleno hidráulico (relación relave-cemento).
- Control en el consumo de cemento.
- Envío de relleno en condiciones hidráulicas óptimas.
- Tener un sistema de control automático (tablero de control electrónico).

##### Mezclas del Relleno

Se tiene un flujo de planta de 60 m<sup>3</sup>/hora de pulpa, con un relleno efectivo de 35 m<sup>3</sup>/hora de sólidos.

Las mezclas más usuales son: 1:6 y 1:30.

TABLA Nº 05: Mezcla usual de cemento

MEZCLA	CEMENTO Ton/hra	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	DIAS DE CURADO
1:6	14.5	90 – 100	28
1:30	3.00	6 – 10	28

##### 1.2. TABLERO ELECTRONICO

El tablero electrónico computarizado ha sido instalado en la cabina central de la Planta de Relleno, en ella se registra el tiempo de relleno, volumen de carga enviado a mina, tonelaje de relave y cemento, presión de carga a los hidrociclones, sistemas de alarmas, densidades, flujos, gráficas, tendencias, entre otros.

GRAFICO N° 06: Tablero de control electrónico



### 1.3. CAMARA DE BOMBAS

Se cuenta con 4 bombas centrífugas, Gardner Denver de 6" x 8" de 1400 GPM de 60 HP. Para el relleno de labores en mina se trabajan 1 o 2 líneas simultáneamente, trabajando 2 o 3 bombas al mismo tiempo, y quedando una de ellas en stand by.

El relave proveniente de planta concentradora, es conducido por un canal de madera y es captada por las bombas e impulsadas al nido de hidrociclones donde se produce la separación. El over flow regresa al circuito de transporte de relave que va a Ocroyoc. Cuando no funciona la planta de relleno el relave sigue su curso a Ocroyoc a través de una tubería de 19" de diámetro.

Se cuenta con una bomba Vertical Galigher, cuya función es la de bombear el relave y agua proveniente de las fugas y refrigeración o rebose de las pozas de captación de relave, como también posibles escapes de relave que pudieran tener las bombas. El flujo es enviado nuevamente al canal de relave.

### 1.4. DESCARGA DE CEMENTO

El cemento empleado en el relleno hidráulico es descargado en una estación junto a la "Cámara de Bombas", el cemento proviene de la Fabrica Condorcocha – "Cemento Andino" a través de camiones contenedores. La descarga se hace con presión de aire comprimido que a la vez es controlado por un manómetro, cuya presión adecuada para descargar el cemento debe estar entre 25 a 30 PSI. El transporte de cemento de la estación se realiza a través de una tubería de fierro de 4" de Ø hasta los dos silos de acumulación de cemento de 200 ton de capacidad cada uno, los cuales se encuentran ubicados en la Planta de Relleno Hidráulico.

GRAFICO N° 07: Equipo de descarga de cemento



### 1.5. NIDO DE CICLONES

El relave proveniente de planta concentradora se bombea a los nidos de hidrociclones, se cuenta con 2 nidos de 4 y 8 hidrociclones respectivamente, de marca Krebs de 15" con Apex de 1 $\frac{1}{4}$  y Vortex de 5 $\frac{1}{4}$  pulgadas de diámetro, cada una de ellas tiene sus respectivas válvulas de alimento.

La descarga (Under Flow), de los hidrociclones se distribuye independientemente por cualquiera de las cinco líneas existentes, 4 para la mina central y 1 para la mina satélite CNB, toda la red de tuberías son de 4" de Ø.

GRAFICO N° 08: Nido de hidrociclones



## 1.6. SILOS DE ACUMULACION DE CEMENTO

Se cuenta con 2 silos de 200 ton de cemento de capacidad y un auxiliar de 50 ton de capacidad, la descarga se realiza a través de tuberías de 4" de diámetro con presión de aire comprimido.

En la parte superior de los silos se posee un sistema de filtrado de captación de polvo de cemento, lo cual evita la contaminación ambiental.

Cuando existe sobre presión en los silos se acciona un control automático computarizado de alarma luminosa y sonora, para tomar las medidas de respectivas de control.

GRAFICO N° 09: Silos de acumulación de cemento



## 1.7. SISTEMA MECANICO DE ALIMENTACION DE CEMENTO

La planta de relleno cuenta en caso de emergencia, con un sistema mecánico (Tornillo sin fin) de alimentación de cemento, el cual esta graduado para abastecer cemento para una mezcla de 1:6 ó 1:30. la alimentación proviene del silo auxiliar de cemento de 50 ton de capacidad.

GRAFICO N° 10: Equipo mecánico de alimentación de cemento



## 1.8. PREPARACION DE MEZCLAS

Se debe tener una proporción adecuada de relave-cemento-agua, para garantizar la calida del relleno (lozas) y evitar accidentes.

La pulpa se obtiene en el tanque mezclador de 8 m<sup>3</sup> de capacidad, la cual es controlada por una balanza y el contómetro electrónico. El tonelaje para ambas muestras son de 15 y 3 ton/hra para la mezcla 1:6 y 1:30 respectivamente, cuyas lecturas deben marcar como:

15% - 20%	para mezcla de	1:6
45% - 50%	para mezcla de	1:30

Para mantener la uniformidad cemento-relave los tanques mezcladores cuenta con agitadores a base de un motor y paletas.

### 1.8.1. TIPOS DE MEZCLA

Viene ha ser la mezcla adecuada entre el cemento y las partículas del relave cicloneado.

#### **Mezcla 1:6 lozas**

Es usado para el relleno de las labores en preparación (sill) o en labores del método de minado UCF , Los cuales servirán de techo en la posterior explotación, también es empleado para algunos trabajos especiales como derrumbes, chimeneas, contornos de echaderos y recuperación de galerías.

La loza de concreto es una mezcla de cemento y relave en la proporción de 1:6, su resistencia a la compresión es buena pero es débil de resistencia a los esfuerzos de tensión.

La resistencia de la loza de cemento en las pruebas realizadas a los esfuerzos de compresión fueron en el orden de 85 a 100 kg/cm<sup>2</sup> con un tiempo de fraguado de 28 días.

#### **Mezcla 1:30 (sobre loza)**

Forma parte del relleno final de las labores de los métodos de explotación del UCF, OCF, cámaras y pilares y SLS. Asimismo, del relleno de los paneles adyacentes cuando se tiene pilares de mineral por explotar, generalmente del piso 3 hacia la parte superior del bloque, La resistencia a la compresión es del orden de 6 a 10 kg/cm<sup>2</sup>.

#### **Lama (relave sin cemento)**

Es usada para relleno final de áreas vacías, que son dejadas por la explotación de un pilar que ha tenido en sus extremos adyacentes labores ya explotadas y rellenadas con una mezcla de 1:30. También se emplea en los cortes superiores después del sill de las cámaras y pilares.

Además es usada para el relleno de labores abiertas (abandonadas), también como relleno temporal en lugares donde es necesario preparar techos con loza (mezcla 1:6) y obtener un acceso adecuado y seguro.

### **1.9. DOSIFICADOR DE CEMENTO**

La alimentación se inicia con la dosificación de cemento del tolvin hacia la faja transportadora. La dosificación es realizada por medio de un alimentador de álabes que es movido por un motor de 5HP, siendo regulable la velocidad del alimentador en función del régimen de carga requerido.

En la faja transportadora se instaló un puente de pesaje MILLTRONICS, que ocupa la posición de un polín a lo largo de la faja. El puente de pesaje cuenta con dos celdas de pesaje que en todo momento censan el peso de cemento que pasa registrándose en la computadora.

GRAFICO Nº 11: Dosificador automático de cemento



### 1.10. TANQUES AGITADORES

Estos tanques reciben las partículas gruesas del relave cicloneado, se cuenta con dos tanques de 8 m<sup>3</sup>, asimismo cada tanque tiene un agitador eléctrico que se encarga de mezclar el cemento y el relave cicloneado según el requerimiento de la mezcla.

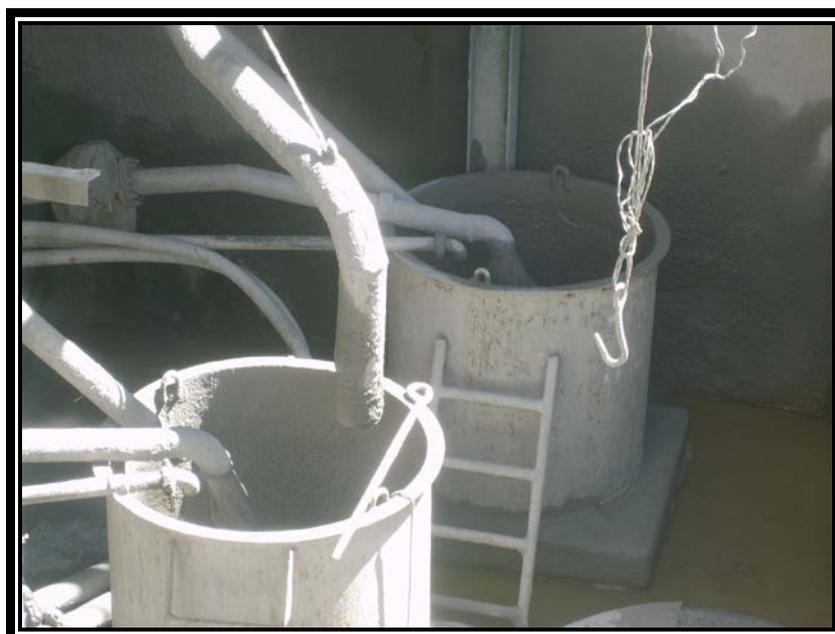
GRAFICO N° 12: Tanques Agitadores de relave y cemento



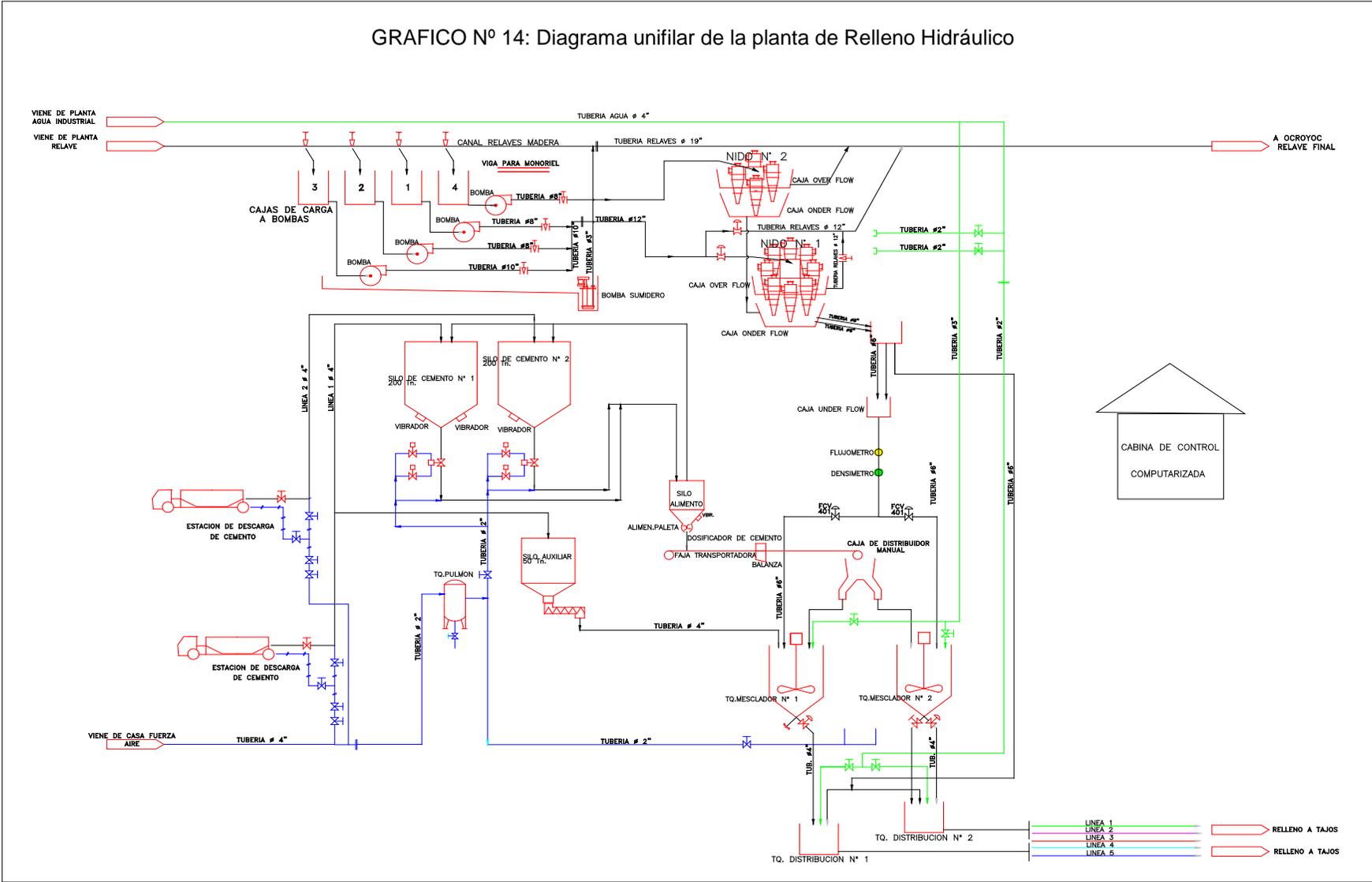
### 1.11. TANQUE DISTRIBUIDORES

Este tanque recibe la pulpa (cemento-relave-agua) proveniente del tanque mezclador, es el punto principal donde se controla el flujo, la densidad de la alimentación de relleno a la mina por medio de unas válvulas que están ubicadas entre el tanque mezclador y el tanque distribuidor. En estos tanques distribuidores están conectadas las líneas de relleno hidráulico que parten a las diversas zonas.

GRAFICO N° 13: Tanques Distribuidores de relave y cemento



1.12. DIAGRAMA UNIFILAR DE LA PLANTA DE RELLENO



## CAPITULO IV

# CARACTERISTICAS DEL RELAVE DE LA PLANTA CONCENTRADORA

### 1. COMPOSICION MINERALOGICA DEL RELAVE

Se realizó el análisis en laboratorio con microscopio de minerales opacos. Se determinó la existencia de los siguientes minerales por luz reflejada.

- **Ganga**, es el 72% de la muestra total, se presenta partículas con tamaño que varia entre 25 – 400 micrones (0.025 mm – 0.400 mm), presentan bordes subredondeadas en su mayoría y algunos bordes rectos, efecto de su sistema de cristalización . El mayor porcentaje es sílice, seguido por carbonatos.
- **Pirita**, abarca el 22% de la muestra tiene formas angulosas, con tamaños predominantes entre 50 – 150 micrones (0.050 mm – 0.150 mm), la dureza según la escala de Mohs es de 3.5 – 4.0
- **Calcopirita**, se presenta en un 2.5% de la muestra, tienen formas angulosas y subangulosas con tamaños predominantes entre 25 – 100 micrones (0.025 mm – 0.100 mm), y con dureza semejante a la pirita.
- **Esfalerita**, Compone el 2.5% de la muestra, presenta formas angulosas y subangulosas, presentando además algunos bordes rectos por efecto de la cristalización, el tamaño predominante es de 50 – 150 micrones (0.050 mm – 0.150 mm), con dureza similar a la pirita.
- **Galena**, compone el 1% de la muestra, presenta en su mayoría bordes rectos por su forma de cristalización en menor proporción presenta formas angulosas y subangulosas, el tamaño predominante es de 50 a 100 micrones (0.050 mm – 0.100 mm), y dureza de 6.

Se reseña las principales asociaciones de **minerales presente** en el relave.

- Ganga – pirita
- Ganga – calcopirita
- Calcopirita – escalerita – ganga
- Escalerita – pirita
- Pirita – galena
- Galena – ganga – calcopiritita
- Esfalerita – ganga – calcopiritita
- Ganga – pirita – galena – escalerita
- Ganga – magnetita

#### Elementos constituyentes del relave

- Cu            0.72 %/ton
- Pb            0.64 %/ton
- Zn            1.71 %/ton
- Fe            0.23 %/ton

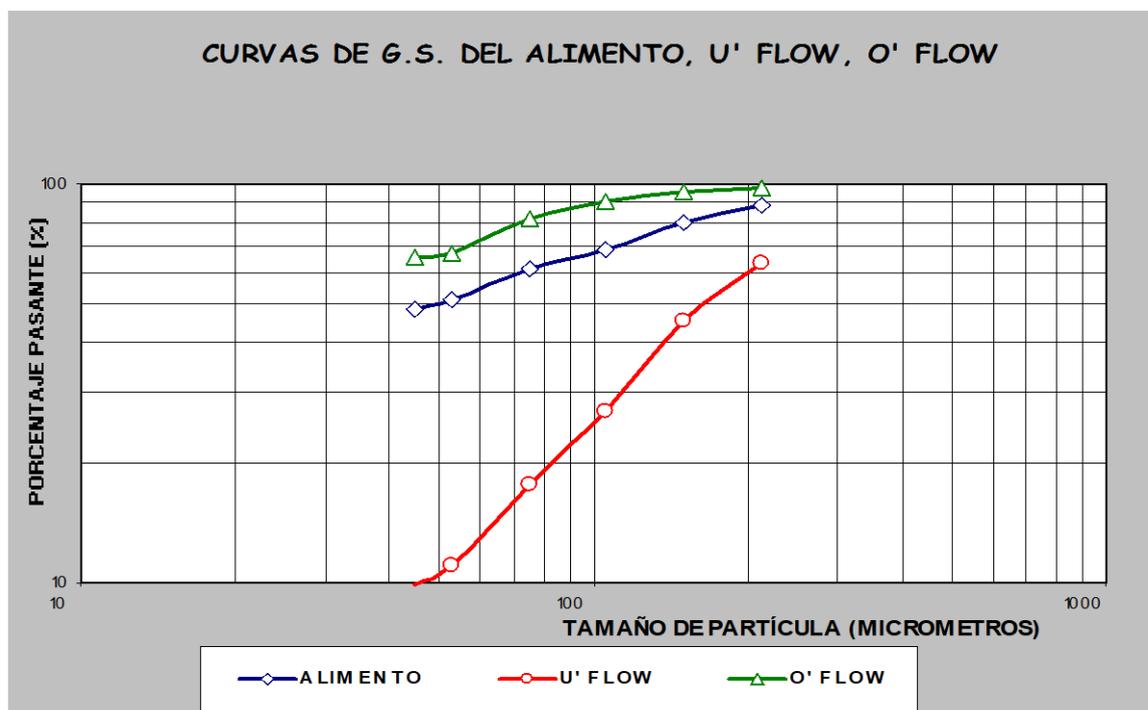
- Ag 46 gr/ton
- As 0.01 %/ton
- Cianuro 0.14 %/ton

## 2. ANALISIS GRANULOMETRICO DEL RELAVE

TABLA N° 06: Análisis granulométrico del relave y material de relleno hidráulico

MALLA	MICRAS	ALIMENTO		UNDER FLOW		OVER FLOW	
		% PESO	ACUM (-)	% PESO	ACUM (-)	% PESO	ACUM (-)
		0,00	100,0	0,00	100,0	0,00	100,0
20	850	0,00	100,0	0,00	100,0	0,00	100,0
28	600	0,00	100,0	0,00	100,0	0,00	100,0
35	425	0,00	100,0	0,00	100,0	0,00	100,0
48	300	0,00	100,0	0,00	100,0	0,00	100,0
65	212	11,43	88,6	36,84	63,2	2,32	97,7
100	150	8,52	80,1	17,80	45,4	2,08	95,6
150	106	11,38	68,7	18,54	26,8	5,48	90,1
200	75	7,63	61,0	9,19	17,6	8,16	82,0
270	53	9,82	51,2	6,61	11,0	14,95	67,0
325	45	2,55	48,7	1,15	9,9	1,68	65,3
-325	0	48,67	0,0	9,87	0,0	65,33	0,0

GRAFICO N° 15: Curvas de clasificación del relave y materia de relleno hidráulico



### 3. FORMA TAMAÑO Y DUREZA

Los minerales que conforman el relave se presentan con formas angulosas, sub angulosas y sub redondeadas. Predominan las partículas sub redondeadas esto ocasionara problemas de abrasión en las tuberías de transporte de sólidos, el tamaño varia en un rango de 25 a 400 micrones y la dureza varia de 3.5 a 6.5 en la escala de dureza de Mohs.

### 4. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (CU)

El coeficiente de uniformidad del material del relleno, está directamente en función de su granulometría; se define como la razón del diámetro de la partícula más grande que se encuentra en el 60% de la fracción negativa acumulada (-) del material, al diámetro de la partícula de tamaño presente en el 10 % de la fracción negativa acumulada (-) del mismo material.

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

CU: Coeficiente de uniformidad.

$D_{60}$ : Diámetro de la partícula mas grande en el 60% de la fracción negativa acumulada del material.

$D_{10}$ : Diámetro de la partícula mas grande en el 10% de la fracción negativa acumulada del material.

El coeficiente de uniformidad para el relave y relleno es:

$$CU \text{ Alimento} = 72.76/9.24 = 7.87$$

$$CU \text{ Over flow} = 41.35/6.89 = 6.00$$

$$CU \text{ Under flow} = 200.85/45.73 = 4.39$$

El material de relleno para que sea apropiado, el coeficiente de uniformidad debe estar dentro de un rango  $4 < CU < 5$ .

### 5. GRAVEDAD ESPECIFICA DEL RELAVE ( $G_s$ )

La gravedad especifica esta definida como el peso unitario del material dividido por el peso unitario del agua destilada a 4 grados centígrados.

$$V_d = V_f - V_i$$

$V_d$ : Volumen desalojado.

$V_f$ : Volumen final.

$$W_m = V_d \times D$$

$V_i$ : Volumen inicial.

$$W_{H_2O} = V_d \times D_{H_2O}$$

$W_m$ : peso de la muestra.

$W_{H_2O}$ : peso del agua.

$D$ : densidad de la muestra.

Gravedad específica de relave ( $G_s$ ).

$$G_s = \frac{W_m}{W_{H_2O}}$$

TABLA N° 07: Determinación de la gravedad especifica

MUESTRA DE RELAVE	UNDER FLOW		OVER FLOW		ALIMENTO	
	1	2	1	2	1	2
Ensayo N°	1	2	1	2	1	2
Peso fiola + H <sub>2</sub> O	664	664	664	664	664	664
Peso fiola + H <sub>2</sub> O + 300	964	964	964	964	964	964
Peso fiola + H <sub>2</sub> O + Mat.Sat. s.s.	884	885	876	875	877	877
Vol.de masa + Vol. de vacios	80	79	88	89	87	87
Peso mat.seco en horno (105-110 °C)	297	297	298	298	293	293
Volumen de masa	77	76	86	87	80	80
Peso especifico Bulk (base seca)	3,71	3,76	3,39	3,35	3,37	3,37
Peso especifico Bulk (base sat.)	3,75	3,80	3,41	3,37	3,45	3,45
Peso especifico aparente (base seca)	3,86	3,91	3,47	3,43	3,66	3,66
Absorcion %	1,0	1,0	0,7	0,7	2,3	2,3

PROMEDIO	UNDER FLOW	OVER FLOW	ALIMENTO
Gravedad especifica Bulk (base seca)	3,74	3,37	3,37
Gravedad especifica Bulk (base sat.)	3,77	3,39	3,45
Gravedad especifica aparente	3,88	3,45	3,66
Absorcion %	1,0	0,7	2,3

## 6. CONCENTRACION DE SÓLIDOS AL PESO (%S)

La cantidad de sólidos presentes en el relave, expresado en tanto por ciento del peso total. se determina por la siguiente relación:

$$\%S = \frac{100.G_e.(D_p - 1)}{D_p.(G_e - 1)}$$

%S : Porcentaje de sólidos

G<sub>p</sub> : Gravedad especifica de pulpa

G<sub>e</sub> : Gravedad especifica de sólidos

$$\%S = \frac{100 \times 3.37 \times (1.3 - 1)}{1.3 \times (3.37 - 1)} = 32.81\%$$

## 7. CONCENTRACIÓN VOLUMÉTRICA DE SÓLIDOS (%V)

Se refiere a la cantidad de sólidos presentes en el relave, ocupando un cierto volumen en la mezcla total. Se expresa como el porcentaje de sólidos en volumen del relave.

$$\%V = \frac{(D_p - 1).100}{G_e - 1}$$

%V : porcentaje de volumen

$$\%V = \frac{(1.3 - 1).100}{3.37 - 1} = 12.66\%$$

**TABULACION DEL %Sv EN VOLUMEN Y %Sp EN PESO**

$$G_s = 3,74$$

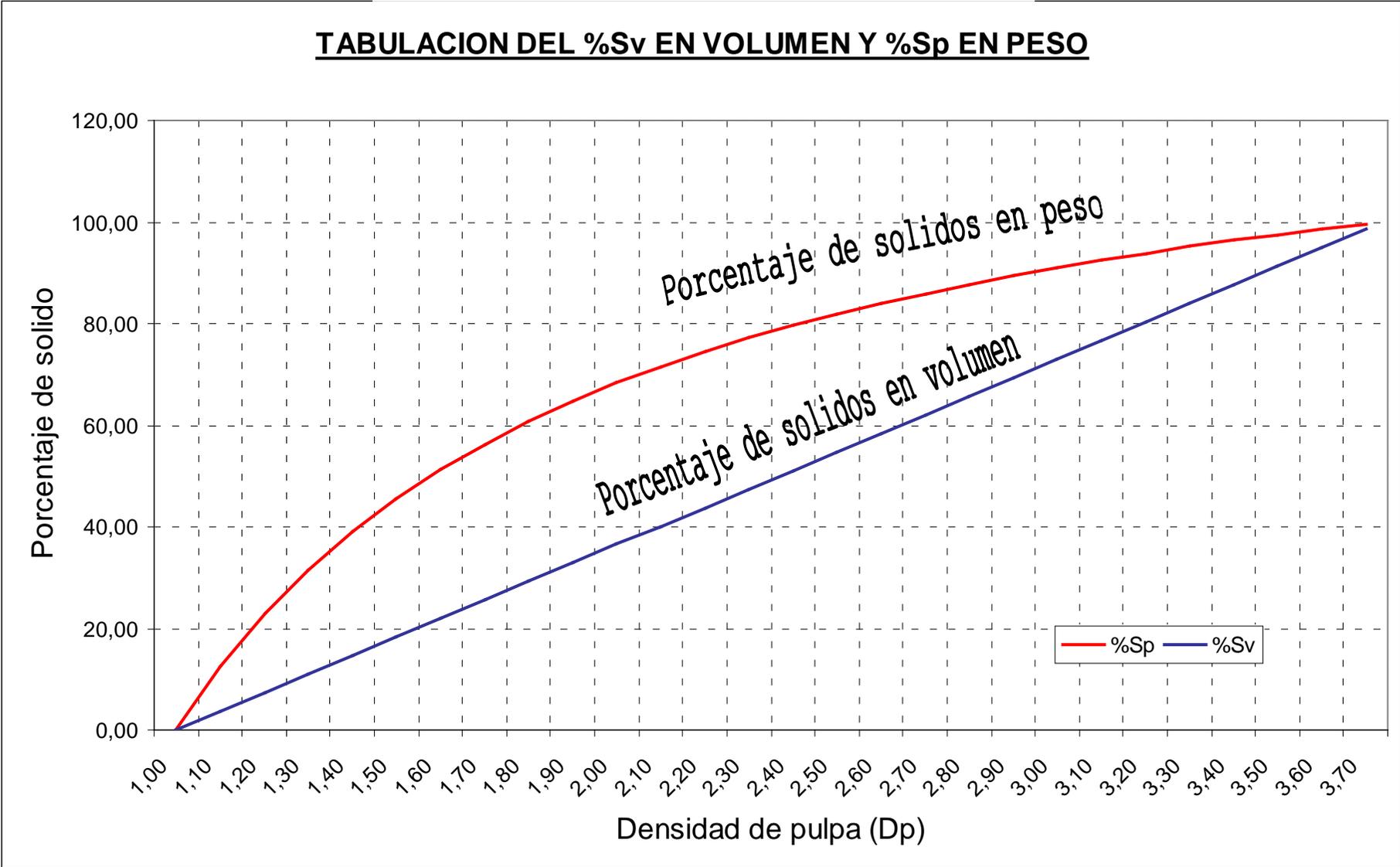
$$\%Sp = \frac{100.(Dp - 1).G_s}{(G_s - 1).Dp}$$

$$\%Sv = \frac{100.(Dp - 1)}{(G_s - 1)}$$

TABLA N° 08: Tabulación del %Sv en Volumen y %Sp en Peso

Dp	%Sp	%Sv	Dp	%Sp	%Sv	Dp	%Sp	%Sv
1,00	0,00	0,00	2,00	68,25	36,50	3,00	91,00	72,99
1,10	12,41	3,65	2,10	71,50	40,15	3,10	92,47	76,64
1,20	22,75	7,30	2,20	74,45	43,80	3,20	93,84	80,29
1,30	31,50	10,95	2,30	77,15	47,45	3,30	95,13	83,94
1,40	39,00	14,60	2,40	79,62	51,09	3,40	96,35	87,59
1,50	45,50	18,25	2,50	81,90	54,74	3,50	97,50	91,24
1,60	51,19	21,90	2,60	84,00	58,39	3,60	98,58	94,89
1,70	56,20	25,55	2,70	85,94	62,04	3,70	99,61	98,54
1,80	60,67	29,20	2,80	87,75	65,69			
1,90	64,66	32,85	2,90	89,43	69,34			

GRAFICO Nº 16:



## CAPITULO V

### CARACTERISTICAS DEL MATERIAL DE RELLENO

#### 1. PROPIEDADES FISICAS DEL RELLENO

##### 1.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE CLASIFICACION DE NIDO DE CICLONES DE RELLENO HIDRAULICO

TABLA N° 09: Análisis granulométrico del material de Relleno Hidráulico

MALLA	MICRAS	ALIMENTO		UNDER FLOW		OVER FLOW	
		% PESO	ACUM (-)	% PESO	ACUM (-)	% PESO	ACUM (-)
48	300	0,00	100,0	0,00	100,0	0,00	100,0
65	212	11,43	88,6	36,84	63,2	2,32	97,7
100	150	8,52	80,1	17,80	45,4	2,08	95,6
150	106	11,38	68,7	18,54	26,8	5,48	90,1
200	75	7,63	61,0	9,19	17,6	8,16	82,0
270	53	9,82	51,2	6,61	11,0	14,95	67,0
325	45	2,55	48,7	1,15	9,9	1,68	65,3
-325	0	48,67	0,0	9,87	0,0	65,33	0,0
<b>TOTAL</b>		<b>100,0</b>		<b>100,0</b>		<b>100,00</b>	

##### 1.2. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (CU)

El material de relleno (under flow) para que sea apropiado debe estar el coeficiente de uniformidad dentro de un rango  $4 < CU < 5$ .

$$CU = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$CU \text{ del Under flow (material de relleno)} = 200.85/45.73 = 4.39$$

Si este CU es mayor a 5 nos indicará que la velocidad de percolación es baja.

##### 1.3. VELOCIDAD DE PERCOLACION O COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (V)

Se define como la rapidez o velocidad del agua que circula a través de la masa granular del relleno, por efecto de la gravedad, es decir se determina en que tiempo el material pasará de estado de pulpa al de masa granular.

La percolación varía de acuerdo a las características del material de relleno:

- Tamaño de las partículas.
- Ordenamiento y estructura de las partículas.
- Grado de saturación.
- Composición mineralógica.
- Volumen de espacios vacíos entre las partículas, etc.

La velocidad de percolación en el material de relleno debe estar dentro de ciertos límites para ser apropiado, según estudios anteriores estos límites son.

**Velocidad de percolación > 20** , Un valor mayor puede causar el fenómeno de embudo, lo que significa que se formara pequeños conductos abiertos dentro de la masa granular del relleno, el que a su vez causará el flujo de la pulpa a gran velocidad con posible afección a los accesos y formando vacíos en la masa de relleno ocasionando derrumbes.

**Velocidad de percolación < 4** , Un valor menor significa un empleo de mayor tiempo en la eliminación del agua de los tajeos, ocasionando demora en el retorno del personal por consiguiente mayor tiempo en el ciclo de minado.

La velocidad la percolación también se puede definir de acuerdo a la función matemática que vincula a  $D_{10}$  , siendo esta:

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

V : Velocidad de percolación en cm/hr.

$D_{10}$  : Diámetro de la partícula mas grande en el 10% de la fracción negativa acumulada del material.

$$V = \left( 45.73x \frac{6}{100} \right)^2$$

$$V = 7.53 \text{ cm/hra}$$

#### 1.4. RAZON DE POROS (e)

Se denomina razón de poros a la relación del volumen ocupado por los poros ( $V_p$ ), al volumen ocupado por los sólidos ( $V_s$ ), en una masa granular.

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

Para una determinada cantidad de relleno granular  $V_s$  es constante, mientras que para  $V_p$  varia entre un valor máximo ( $e_{\max}$ ) y uno mínimo ( $e_{\min}$ ).

#### Razón de poros real (e)

No se mide directamente sino que se calcula en base a otros datos.

$$e = \frac{Ge}{d} (1 + RH) - 1 = 0.581$$

e : Razón de poros real

Ge : Gravedad especifica de los sólidos = 3.74

D : Densidad relativa del relleno = 2.65 gr/cm<sup>3</sup>

RH : Relación de humedad = 12%

$$RH = \frac{\text{Peso de agua en el relleno}}{\text{Peso de solidos en el relleno}} = 0.12$$

El volumen de los poros para cada tipo de material varía entre un mínimo y un máximo; se determina experimentalmente.

### Razón de poros máximo ( $e_{\max}$ )

Para determinar la razón de poros máximo, se emplea en el experimento una muestra de relleno en un estado completamente seco. Cuando  $e_{\max}$ , la densidad relativa del relleno se hace mínimo.

$$e_{\max} = \frac{Ge}{d_{\min}} - 1 = 1.021$$

$e_{\max}$  : Razón de poros máximo

$Ge$  : gravedad específica de los sólidos, grs/cm<sup>3</sup> = 3.74

$d_{\min}$  : Densidad mínima, grs/cm<sup>3</sup> = 1.85

### Razón de poros mínimo ( $e_{\min}$ )

El material de relleno adquiere su estado mas compacto cuando alcanza su mayor densidad al reducir al mínimo el volumen ocupado por sus poros. Por tanto para conocer la razón de poros mínimo es necesario determinar una densidad máxima.

$$e_{\min} = \frac{Ge}{d_{\max}} (1 + RH) - 1 = 0.31$$

$e_{\min}$  : Razón de poros mínimo

$Ge$  : gravedad específica de los sólidos, grs/cm<sup>3</sup> = 3.74

$d_{\max}$  : Densidad máxima, grs/cm<sup>3</sup> = 3.21

Para determinar el  $d_{\max}$  se hace uso del equipo llamado COMPACTADOR PROCTOR.

## 1.5. COMPACIDAD RELATIVA ( $Cr$ )

Se llama así al comportamiento mecánico del relleno, es el grado de acomodo de las partículas del relave, es un equivalente de las características de consolidación.

En un relave muy compacto, las partículas sólidas que lo constituyen tienen un alto grado de acomodo y la capacidad de deformación bajo carga del relave es pequeña.

Se determina mediante la expresión empírica matemática de TERZAGHI:

$$Cr = \frac{(e_{\max} - e)}{(e_{\max} - e_{\min})} \times 100 = 61.5 \% \text{ buena compacidad aceptable.}$$

$Cr$  : Compacidad relativa

MUESTRA	RAZON DE POROS			COMPACIDAD RELATIVA %
	MAXIMO	REAL	MINIMO	
Relave U/F	1.02	0.58	0.31	61.5

Del resultado se determina que el material de relleno es compacto.

## 2. PROPIEDADES QUIMICAS DEL RELAVE

En el caso de los relaves empleados para el relleno de la mina, es común la presencia de sulfuros metálicos sin valor económico, tales como pirita, pirrotita, marcasita entre otros.

Una vez depositado el relleno en los tajeos, los sulfuros comienzan a oxidarse y a liberar anhídrido sulfuroso  $SO_2$  que se introduce al medio ambiente.

En la práctica, la cantidad de gas sulfuroso emitido es mucho menor debido a que la oxidación de la pirrotita nunca es completa.

El relleno tiene una buena percolación, el agua no estará suficiente tiempo en contacto con el sulfuro de hierro y el azufre; con la carencia de oxígeno cesará la reacción.

El sulfuro ferroso formara una película alrededor de cada grano de pirrotita protegiéndolo de mayor oxidación.

Los otros sulfuros comunes en los relaves de la planta de flotación como la pirita, tienen un proceso de oxidación muy lento, para que sus emisiones de gases tengan influencia durante el ciclo de minado.

### 2.1. pH

El pH del relave general esta alrededor de 11.65, con la adición de cemento este valor llega a los 12.00, el cual indica una alcalinidad adecuada para el control de aguas acidas, por lo que es necesario mantener estos valores.

### 2.2. CARACTERISTICAS DEL AGUA

Para el relleno hidráulico de la mina, se envía en promedio 95 GPM de agua, lo cual forma parte de la pulpa proveniente del mismo relave de la planta concentradora. El pH del agua esta en el rango de 10 – 12.

## 3. PROPIEDADES MECANICAS DEL RELLENO

### 3.1. CAPACIDAD PORTANTE

La carga sobre el relleno de relave consolidado produce asentamientos grandes y difíciles de calcular, esta carga se conoce como capacidad portante. El resultado del ensayo fue:

Relave Under Flow	Kg/cm <sup>2</sup>	
	1.95	Valor aceptable para el relleno

### 3.2. RESISTENCIA AL CORTE

La resistencia al corte del relleno de relave esta influenciado por la relación de vacíos y la presión de confinamiento y en menor grado por el tamaño, forma, granulometría de las partículas que constituyen el relave.

Relave Under Flow	Kg/cm <sup>2</sup>	
	0.16	Valor aceptable para el relleno

### 3.3. RESISTENCIA A LA COMPRESION

TABLA N° 10: Ensayo de Resistencia a la compresión Mezcla 1:6

MUESTRAS	DIAMETRO cm	AREA cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>		
			7 días	14 días	28 días
MUESTRA 01	15,24	182,4	52,1	79,9	100,0
MUESTRA 02	15,24	182,4	75,4	81,7	96,7
MUESTRA 03	15,24	182,4	74,8	80,1	96,3
MUESTRA 04	15,24	182,4	34,6	68,8	81,4
MUESTRA 05	15,24	182,4	44,8	78,3	86,8

GRAFICO N° 17: Ensayo de Resistencia a la compresión Mezcla 1:6

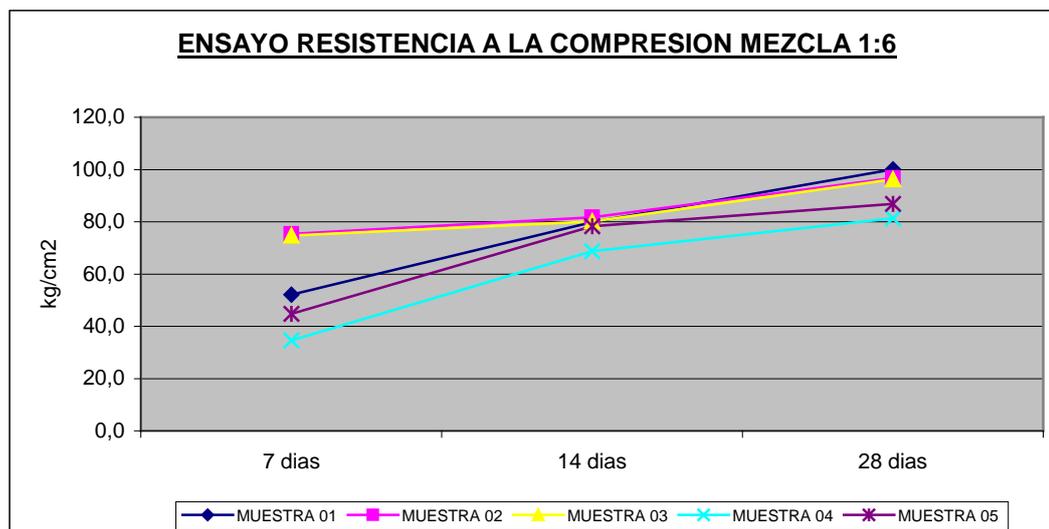


TABLA N° 11: Ensayo de Resistencia a la compresión Mezcla 1:30

MUESTRAS	DIAMETRO cm	AREA cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>		
			7 días	14 días	28 días
MUESTRA 01	15,24	182,4	1,2	4,7	7,4
MUESTRA 02	15,24	182,4	1,5	4,5	9,5
MUESTRA 03	15,24	182,4	2,6	3,1	6,0
MUESTRA 04	15,24	182,4	1,0	5,2	8,2
MUESTRA 05	15,24	182,4	1,0	1,2	3,4

GRAFICO N° 18: Ensayo de Resistencia a la compresión Mezcla 1:30

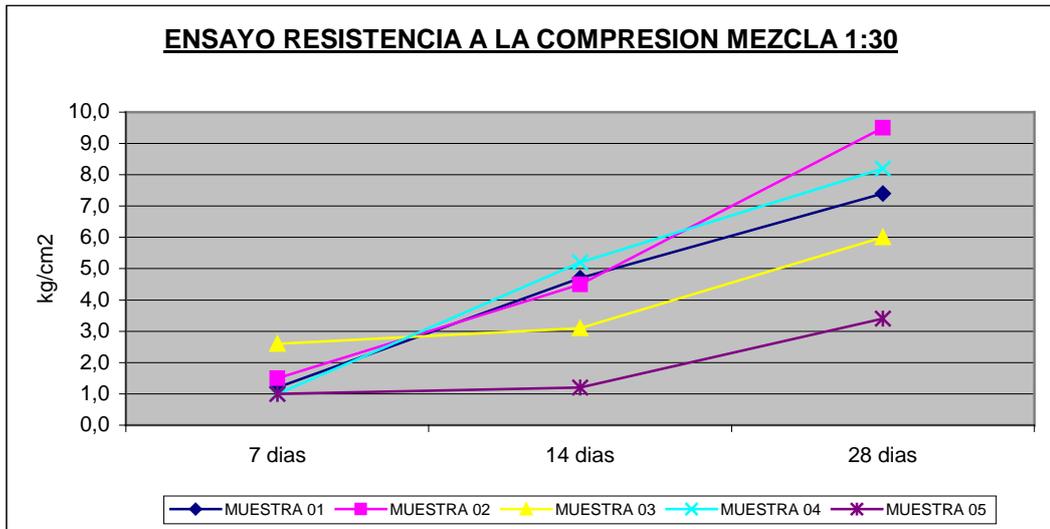


GRAFICO N° 19: Maquina de prueba de resistencia a la compresión



## CAPITULO VI

### TRANSPORTE DEL MATERIAL DE RELLENO

#### 1. VELOCIDAD DE SEDIMENTACION

Se denomina así a la caída de las partículas de un estado de suspensión a un estado de sedimentación. La velocidad de caída de las partículas dependerá de la densidad, viscosidad y el movimiento del fluido (agua); como también de la forma, tamaño, y gravedad específica de las partículas (sólidos de relleno).

##### 1.1. SEDIMENTACION LIBRE

Caída de las partículas en forma libre en un medio fluido (agua). La velocidad de sedimentación se determina por la ley de STOKES:

$$V_s = \frac{g \cdot D_{50}^2 \cdot (D_s - D_a)}{18 \cdot \mu}$$

$V_s$  : Velocidad de sedimentación cm/seg.

$g$  : Gravedad 980 cm/seg<sup>2</sup>.

$D_{50}$  : Diámetro de las partículas promedio = 165.76 $\mu$  = 16.576 x 10<sup>-3</sup>.

$D_s$  : Densidad de los sólidos = 3.74 gr/cm<sup>3</sup>.

$D_a$  : Densidad del agua = 1.0 gr/cm<sup>3</sup>.

$\mu$  : Viscosidad del agua ( 21°C aprox.) 98.1x10<sup>-4</sup> gr/cm<sup>2</sup>seg

$$V_s = \frac{980 \times (16.576 \times 10^{-3})^2 \times (3.74 - 1)}{18 \times 98.10 \times 10^{-4}} = 4.178 \text{ cm/seg}$$

#### 2. VELOCIDAD DE LA PULPA

La velocidad real de la pulpa se determina en base a los datos tomados en la el flujómetro, la relación matemática apropiada es :

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

$V$  : Velocidad de la pulpa

$Q$  : Caudal de la pulpa 60 m<sup>3</sup> / hra (del flujómetro) = 1.0 m<sup>3</sup> / min

$A$  : Área libre de la tubería (4" Ø) = 0.0081073 m<sup>2</sup>

$$V = \frac{1}{0.0081073} = 123.35 \text{ m / min}$$

#### 3. VELOCIDAD CRITICA

La velocidad crítica o velocidad mínima, se define como el promedio de velocidades bajas o límites que permiten que una partícula durante su transporte no se sedimente.

La necesidad de conocer la velocidad donde no se produzcan atoramiento en la tubería ha llevado a desarrollar ecuaciones, así tenemos:

## DURAN Y CONDOLIOS

$$V_c = F1 \cdot \sqrt{\frac{2gD(G_s - G_p)}{G_p}}$$

- V<sub>c</sub> : Velocidad crítica.  
 F1 : Parámetro adimensional que depende de la concentración volumétrica C<sub>v</sub> y del tamaño de las partículas d (μ).  
 g : Gravedad 32.2 pies/seg.  
 G<sub>s</sub> : Gravedad específica de los sólidos.  
 G<sub>p</sub> : Gravedad específica de la pulpa.  
 C<sub>v</sub> : Porcentaje de sólidos al volumen.  
 D : Diámetro de la tubería.

## STEEL

$$V_c = F1 \cdot \sqrt{2gD(G_s - 1)}$$

- V<sub>c</sub> : Velocidad crítica.  
 F1 : Concentración de las partículas.  
 g : Gravedad 32.2 pies/seg.  
 G<sub>s</sub> : Gravedad específica de los sólidos.  
 d : Tamaño de las partículas (malla).

Según la formula de **Steel**.

TABLA N° 12: Análisis granulométrico del Under flow

MALLA	MICRAS	UNDER FLOW	
		% PESO	ACUM (-)
65	212	36,84	63,2
100	150	17,80	45,4
150	106	18,54	26,8
200	75	9,19	17,6
270	53	6,61	11,0
325	45	1,15	9,9
-325	0	9,87	0,0
<b>TOTAL</b>		<b>100,0</b>	

Partículas de la malla 65

$$V_c = 36.84 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.8 \cdot 0.000212 \cdot (3.74 - 1)} = 235.85 \text{ m/min}$$

Partículas de la malla 100

$$V_c = 17.80 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.8 \cdot 0.000150 \cdot (3.74 - 1)} = 95.86 \text{ m/min}$$

Partículas de la malla 150

$$V_c = 18.54 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.8 \cdot 0.000106 \cdot (3.74 - 1)} = 83.93 \text{ m/min}$$

Partículas de la malla 200

$$V_c = 9.19x\sqrt{2x9.8x0.000075x(3.74-1)} = 35.01 \text{ m/min}$$

Partículas de la malla 2700

$$V_c = 6.61x\sqrt{2x9.8x0.000053x(3.74-1)} = 31.42 \text{ m/min}$$

La velocidad crítica de las partículas es inferior a la velocidad de pulpa que es 123.35 m/min, este resultado nos indica que no se va a producir atoros en la red de tuberías.

#### 4. CONDUCCION DEL RELLENO HIDRAULICO

El transporte de relleno se debe realizar a través de tuberías de 4 " de diámetro, actualmente se cuenta con cinco líneas de relleno

Línea 01, para el relleno en:

Zona 1 Nv. 800 piso 15 Js, Nv.1000 piso 17 y 09 área Js

Zona 3 Nv. 1400 piso 01 Js, piso 00 XN

Zona 4 Nv. 1600 piso 06 y 17 Js, Nv. 1800 piso 03, 27 y 28 Js, Nv.1900 piso 11 Js

Línea 02, para el relleno en:

Zona 2 Nv. 1200 piso 02 A4, piso 08 Ks, piso 23 XC

Zona 3 Nv. 1400 piso 00 XN, Nv. 1600 piso 04 XN

Línea 03, para el relleno en:

Zona 1 Nv. 800 piso 15 Js, Nv.1000 piso 17 y 09 área Js

Zona 3 Nv. 1400 piso 01 Js, piso 00 XN

Zona 4 Nv. 1600 piso 06 y 17 Js, Nv. 1800 piso 03, 27 y 28 Js, Nv.1900 piso 11 Js

Línea 04, para el relleno en:

Zona 2 Nv. 1200 piso 08 Colas XN, piso 09 XC

Zona 3 Nv. 1400 piso 09. 18, 24 y 28 XN

Línea 05, para el relleno en:

Zona 6 Nv. 600 piso 01 y 10 CNB, Nv. 800 piso 09 y 18 CNB

GRAFICO N° 20: Flow Sheet de las líneas de Relleno Hidráulico

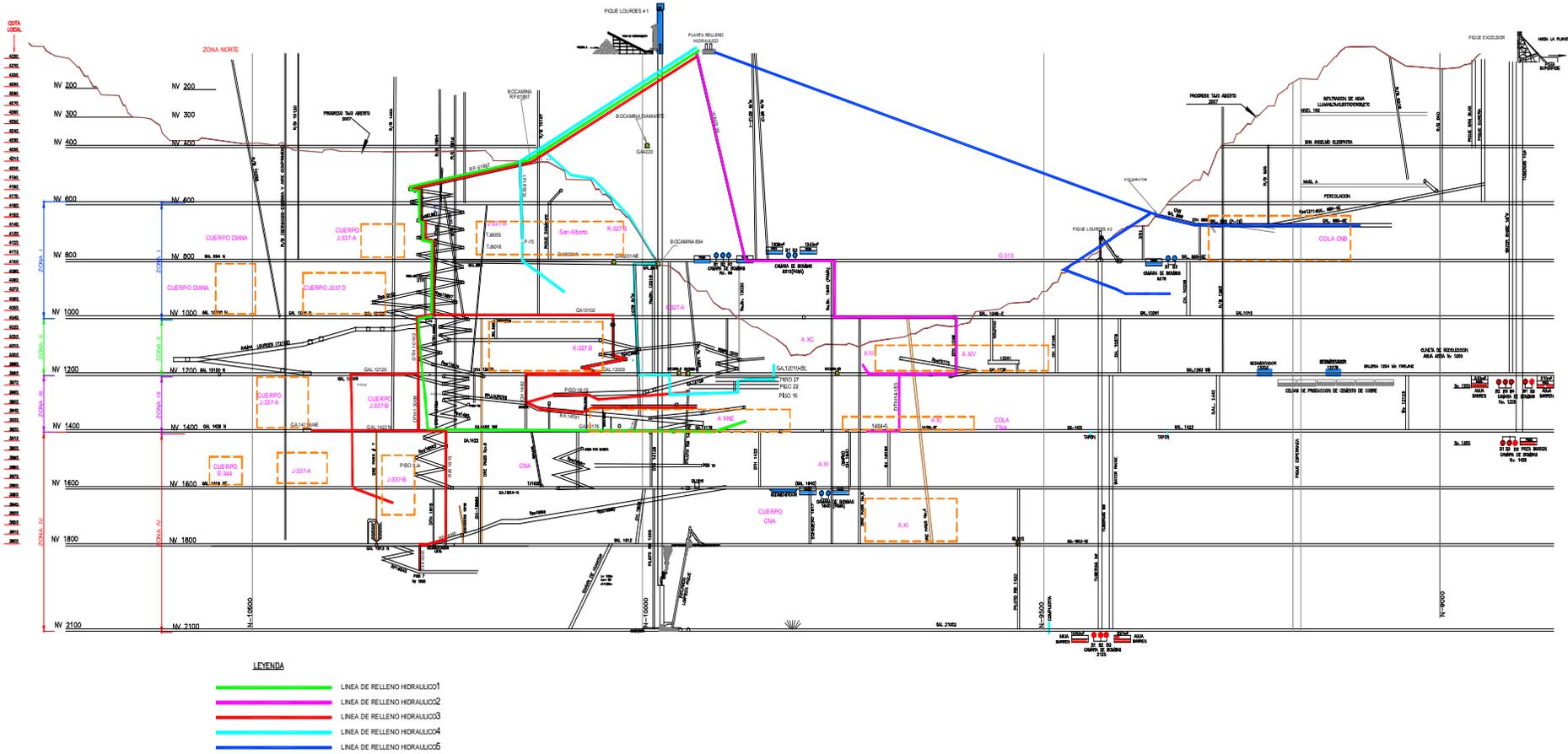
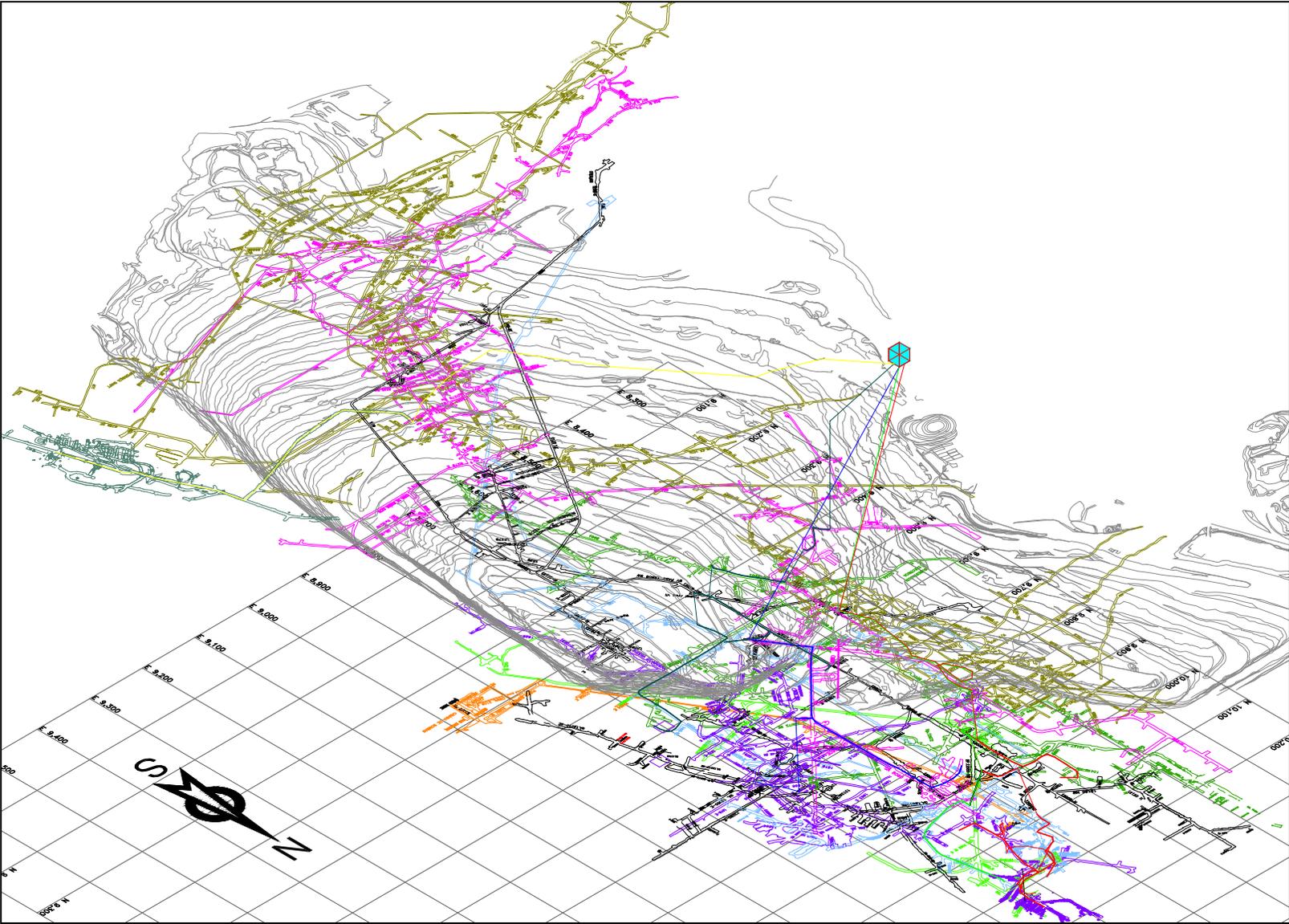


GRAFICO N° 20: Plano Isométrico de las líneas de Relleno Hidráulico



## 5. PERDIDA DE CARGA EN TUBERIAS

### Tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE)

El polietileno (PE) es un polímero resultado de la polimerización del etileno. El polietileno de alta densidad (HDPE) Es un polímero de cadena lineal no ramificada. Es más duro, fuerte y un poco más pesado que el de baja densidad

#### Ventajas

Gran flexibilidad y resistencia al impacto que durante la instalación permite adaptarse a topografías difíciles. Además absorbe esfuerzos por oleaje, vibración o movimientos del terreno. Muy útil para aplicaciones de cruce de ríos, lagos, pantanos y terrenos inestables.

La tubería es resistente a la corrosión y a la mayoría de productos químicos que se usan en la industria minera.

Muy lisas y con bajos coeficientes de rugosidad

n	Manning=0.009	Para tuberías de gran diámetro
C	Hazen.Williams= 150.	Para tub. De < diámetro y completo
ε	Darcy-Weisbach= 0.0015 mm	Para tuberías de fundición

Elevada resistencia a la abrasión, que les permite ser usadas en lodos, relaves, "slurry", etc. Con una vida útil hasta 4 veces mayor a la del acero.

Presentación en longitudes mayores, lo cual reduce el número de uniones (menor costo) y reduce las posibilidades de fallas humanas en la instalación

TABLA N° 13: Tubos de Polietileno con Esfuerzo de diseño de 6.3 Mpa según NTP ISO 4427 - PE 80

Diámetro externo nominal dn mm	Series de tubos									
	S 10		S 8		S 6,3		S 5		S 4	
Relación dimensional normalizada	Relación dimensional normalizada									
	SDR 21		SDR 17		SDR 13,6		SDR 11		SDR 9	
Presión nominal PN para $\sigma = 6,3$ MPa	Presión nominal PN para $\sigma = 6,3$ MPa									
	PN 6		PN 8		PN 10		PN 12,5		PN 16	
	Espesor	Peso	Espesor	Peso	Espesor	Peso	Espesor	Peso	Espesor	Peso
	mm	Kg/m	mm	Kg/m	mm	Kg/m	mm	Kg/m	mm	Kg/m
16									2.3	0.095
20									2.3	0.122
25							2.3	0.156	2.8	0.186
32							3.0	0.260	3.6	0.306
40							3.7	0.401	4.5	0.477
50							4.6	0.624	5.6	0.743
63					4.7	0.818	5.8	0.991	7.1	1.185
75			4.5	0.947	5.6	1.160	6.8	1.385	8.4	1.670
90	4.3	1.100	5.4	1.364	6.7	1.666	8.2	2.002	10.1	2.409
110	5.3	1.657	6.6	2.037	8.1	2.464	10.0	2.985	12.3	3.587
125	6.0	2.131	7.4	2.598	9.2	3.180	11.4	3.866	14.0	4.638
140	6.7	2.666	8.3	3.263	10.3	3.990	12.7	4.826	15.7	5.825
160	7.7	3.500	9.5	4.268	11.8	5.220	14.6	6.336	17.9	7.592
180	8.6	4.400	10.7	5.407	13.3	6.618	16.4	8.008	20.1	9.593
200	9.6	5.456	11.9	6.681	14.7	8.130	18.2	9.876	22.4	11.874

TABLA N° 14: Propiedades de las tuberías de polietileno

Especificaciones Técnicas: Tuberías PE 80			
Propiedad	Método de Prueba	Valor Normal	Unidad
Densidad (resina base)	ISO 1183	945	kg/m <sup>3</sup>
Densidad (compuesto)	ISO 1183	955	kg/m <sup>3</sup>
Índice de fluidez (190°C/5 kg)	ISO 1133	0,85	g/10 mín
Tensión máxima elástica	ISO 6259	21	MPa
Alargamiento a la rotura	ISO 6259	>600	%
Módulo de elasticidad	ISO 527	1000	MPa
T° de reblandecimiento Vicat (1 kg)	ISO 306	125	°C
T° de reblandecimiento Vicat (5 kg)	ISO 306	72	°C
Estabilidad térmica (OIT, 210°C)	ISO 10837	>20	Min
ESCR (10% Igepal), F50	ASTM D 1693- A	>10000	H
Contenido de negro de humo	ASTM D 1603	≥2	%

La pérdida de carga se identifica con la pérdida de energía de un flujo hidráulico a lo largo de una conducción, por efecto del rozamiento

Según la fórmula de Hazen.Williams la **pérdida de carga por fricción** a lo largo de la tubería es:

$$h_f = 10.674 \times \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} \times D^{4.871}} \times L$$

- $h_f$  : Pérdida de carga o de energía (m)  
 $Q$  : Caudal = 0.0167 m<sup>3</sup>/s.  
 $C$  : Coeficiente de rugosidad (adimensional) = 150  
 $D$  : Diámetro interno de la tubería = 0.0859 m  
 $L$  : Longitud de la tubería (m) variable de acuerdo a la distancia de cada línea de Relleno Hidráulico

TABLA N° 15: Pérdida de Carga por fricción

LINEAS	Long. (m)	Diametro (m)	Coef. Rugos. (C)	Caudal Q (m <sup>3</sup> /seg)	Pérdida carga $h_f$ (m)
Línea 1	1372	0,0859	150	0,0167	108,13
Línea 2	1201	0,0859	150	0,0167	94,66
Línea 3	1591	0,0859	150	0,0167	125,39
Línea 4	990	0,0859	150	0,0167	78,03
Línea 5	1321	0,0859	150	0,0167	104,11

**La pérdida de carga por singularidad** cuando se originan en puntos singulares de la tubería (cambios de dirección, codos, juntas, etc.) y que se deben a fenómenos de turbulencia:

$$h_m = \sum k_m \times \frac{V^2}{2 \times g}$$

- $H_m$  : Pérdida de carga por singularidad (m)  
 $V$  : Velocidad = 2.056 m/s.  
 $g$  : Aceleración de la gravedad = 9.81 m/s<sup>2</sup>  
 $k$  : Coeficiente empírico (adimensional).

TABLA N° 16: Tipos de Singularidades

Tipo de singularidad	K	L/D
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	350
Válvula en angulo recto (totalmente abierta)	5	175
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2.5	-
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	135
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0.2	13
Válvula de compuerta (abierta 3/4)	1.15	35
Válvula de compuerta (abierta 1/2)	5.6	160
Válvula de compuerta (abierta 1/4)	24	900
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	40
T por salida lateral	1.80	67
Codo a 90° de radio corto (con bridas)	0.90	32
Codo a 90° de radio normal (con bridas)	0.75	27
Codo a 90° de radio grande (con bridas)	0.60	20
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0.45	-
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0.40	-
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0.35	-

TABLA N° 17: Pérdida de Carga en Singularidades

LINEAS	Codo a 90° de radio grande (con bridas)	k	Codo a 45° de radio grande (con bridas)	k	Gravedad (m/seg <sup>2</sup> )	V (m/seg)	Pérdida carga $h_m$ (m)
Línea 1	7	0,60	10	0,35	9,81	2,056	1,66
Línea 2	12	0,60	5	0,35	9,81	2,056	1,93
Línea 3	11	0,60	13	0,35	9,81	2,056	2,40
Línea 4	6	0,60	5	0,35	9,81	2,056	1,15
Línea 5	1	0,60	6	0,35	9,81	2,056	0,58

Para determinar la pérdida de carga total tenemos:

$$H_r = h_f + h_m$$

- $H_r$  : Pérdida de carga total.  
 $h_f$  : Pérdida de carga por fricción.  
 $h_m$  : Pérdida de carga por singularidades.

TABLA N° 18: Pérdida de Carga Total

LINEAS	Pérdida carga $H_r$ (m)
Línea 1	109,79
Línea 2	96,58
Línea 3	127,80
Línea 4	79,18
Línea 5	104,70

Para determinar si es necesario un **equipo de bombeo**

$$H_m = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} + z_2 - z_1$$

$\gamma = \rho g$  El peso específico de los fluidos

Como el flujo es por gravedad, la presión inicial es igual a la presión final. Adicional tenemos que el flujo inicial es igual al flujo final y la tubería mantiene el mismo diámetro por tanto la velocidad inicial será igual a la velocidad de salida.

$$H = H_m + H_r$$

- $H$  : Altura efectiva de carga  
 $H_m$  : Altura manométrica  
 $H_r$  : Pérdida de carga total

TABLA N° 19: Determinación de Equipo de bombeo

DATOS DE INSTALACION	LINEA 1	LINEA 2	LINEA 3	LINEA 4	LINEA 5
Altura de entrada ( $z_1$ ) [m]	4315,19	4315,19	4315,19	4315,19	4315,19
Presión de entrada ( $p_1$ ) [bar]	1	1	1	1	1
Velocidad de entrada ( $c_1$ ) [m/s]	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06
Altura de salida ( $z_2$ ) [m]	3924,00	3923,40	3800,00	3977,60	4142,40
Presión de salida ( $p_2$ ) [bar]	1	1	1	1	1
Velocidad de salida ( $c_2$ ) [m/s]	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06
Caudal (Q) [m <sup>3</sup> /s]	0,0167	0,0167	0,0167	0,0167	0,0167
<b>Para dimensionar la bomba</b>					
Altura manométrica de la instalación ( $H_m$ ) [mca]	-391,19	-391,79	-515,19	-337,59	-172,79
Pérdida de carga ( $H_r$ ) [mca]	109,79	96,58	127,80	79,18	104,70
Altura efectiva para la bomba (H) [mca]	-281,40	-295,21	-387,39	-258,41	-68,09
Rendimiento ( $\eta$ ) [%]	95%	95%	95%	95%	95%
Potencia teórica de la bomba (P) [W]	No es de necesidad instalar una bomba				

De los resultados obtenidos se puede determinar que la altura efectiva es negativo, lo que significa que el flujo desciende y la necesidad de bomba hidráulica no es necesario.

GRAFICO N° 22: Perfil de las líneas de Relleno Hidráulico

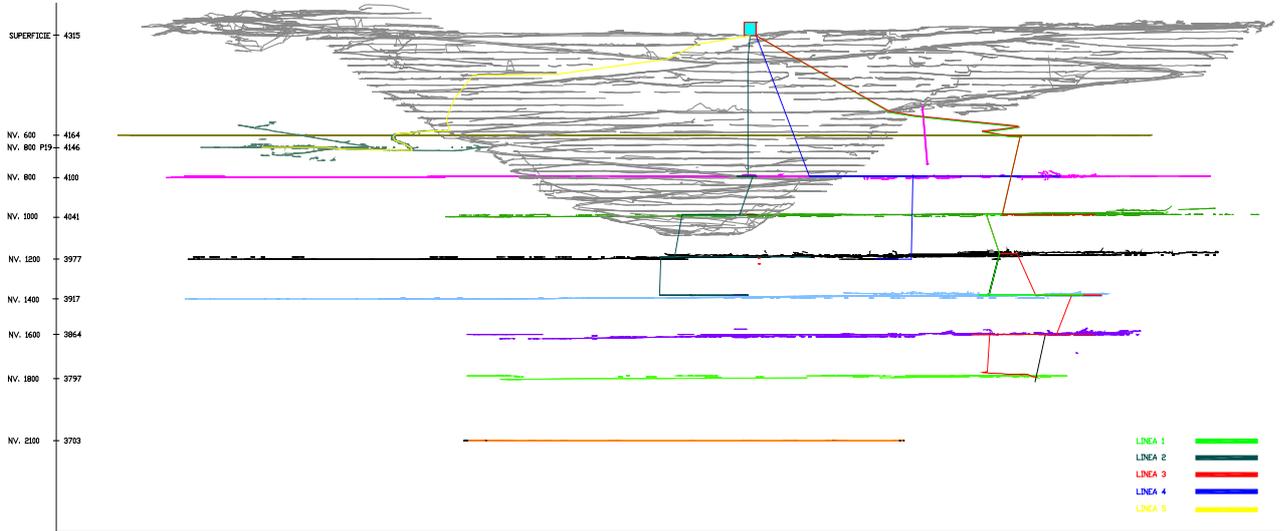


GRAFICO N° 23: Plano Isométrico de las líneas de Relleno Hidráulico

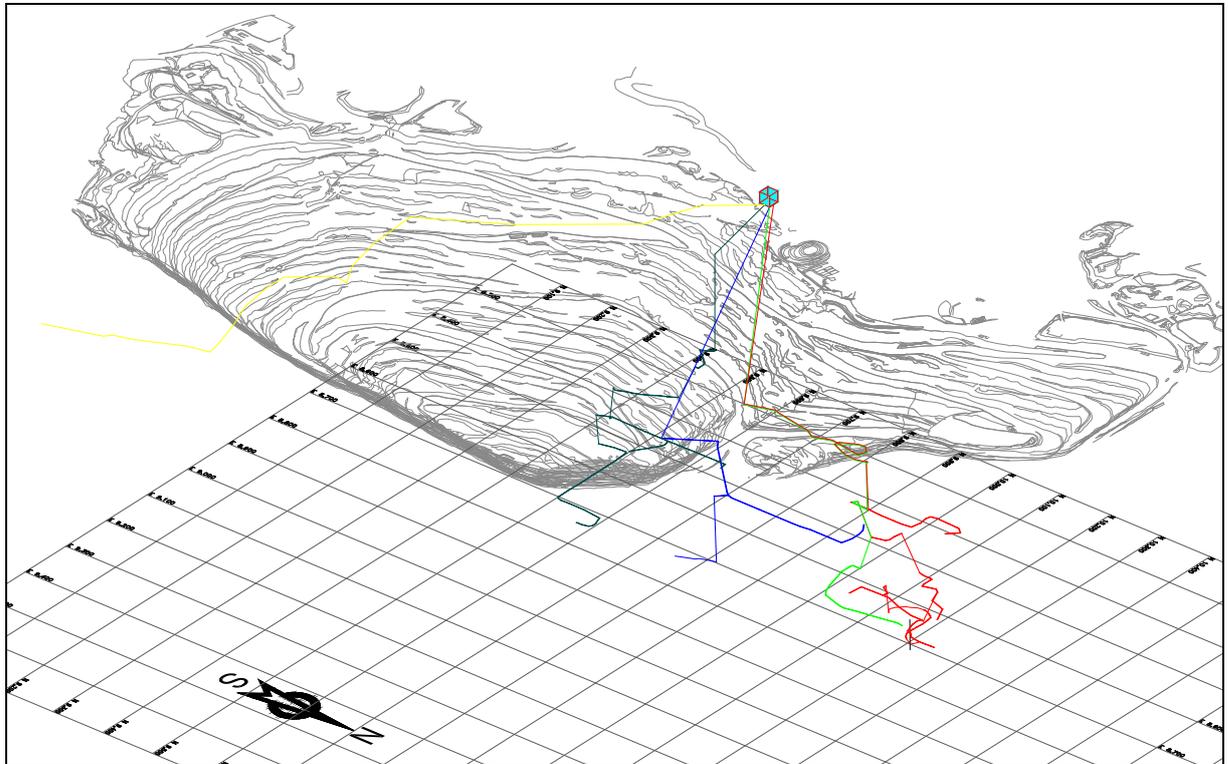
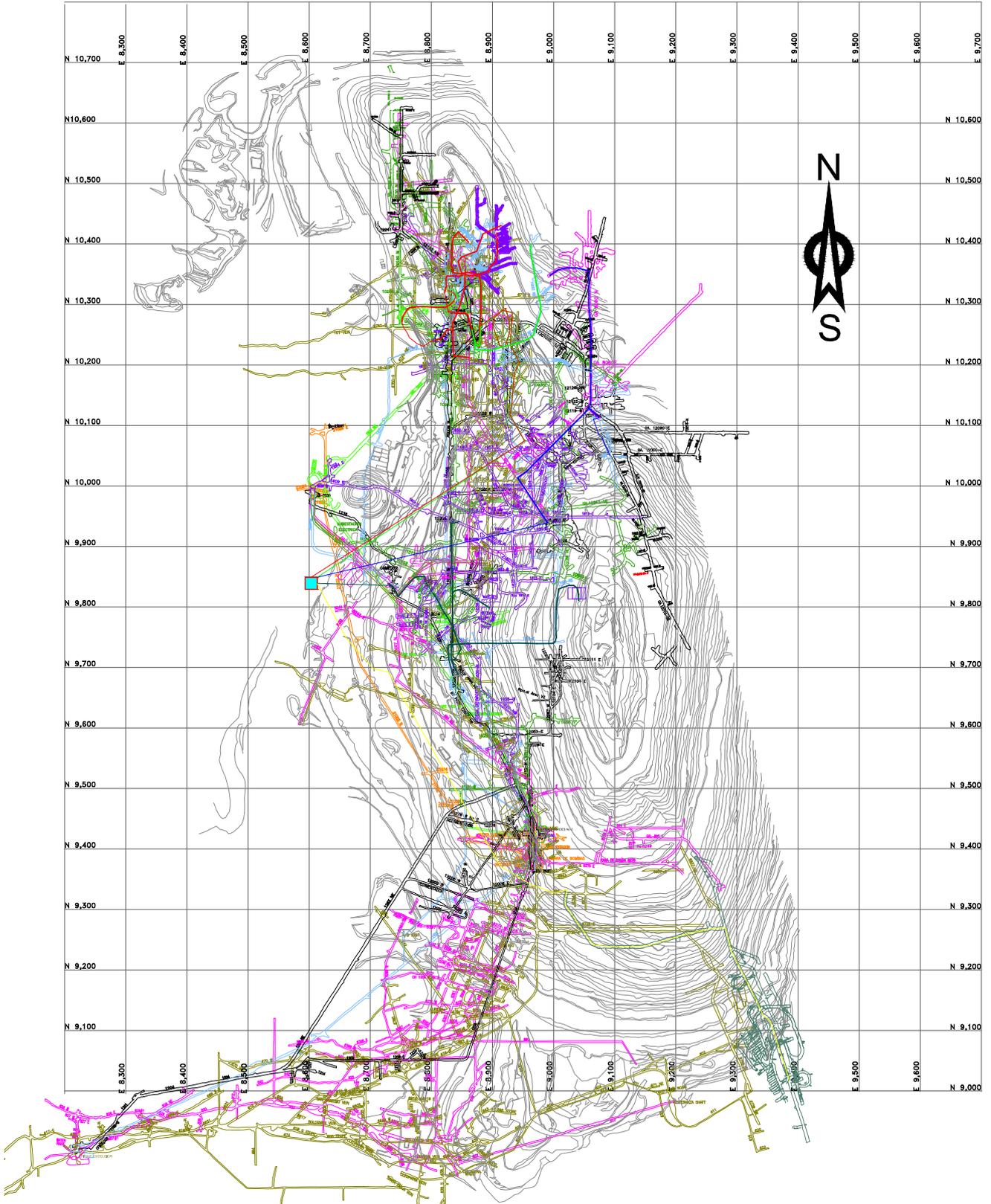


GRAFICO N° 24: Vista de planta de la mina y sus líneas de Relleno Hidráulico



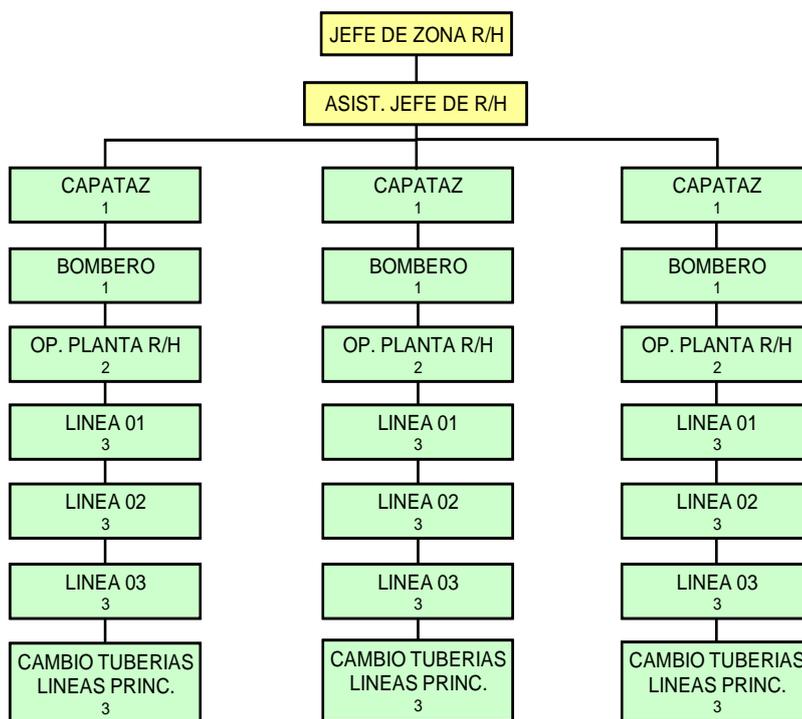
## CAPITULO VII COSTOS

### 1. COSTO UNITARIO DEL RELLENO HIDRAULICO

Esta relacionado con la mano de obra, suministros, supervisión, energía y mantenimiento de la planta de Relleno Hidráulico.

Actualmente se cuenta con el siguiente organigrama donde todo el personal es de planilla:

GRAFICO N° 25: Organigrama del área de Relleno Hidráulico



STAFF	2
EMPLEADOS	3
OBREROS	45
<b>TOTAL</b>	<b>50</b>

El costo unitario se ha determinado en base al personal de planilla \$ 86,123.00 mensuales.

Determinando el costo unitario:

TABLA N° 20: Determinación del costo unitario

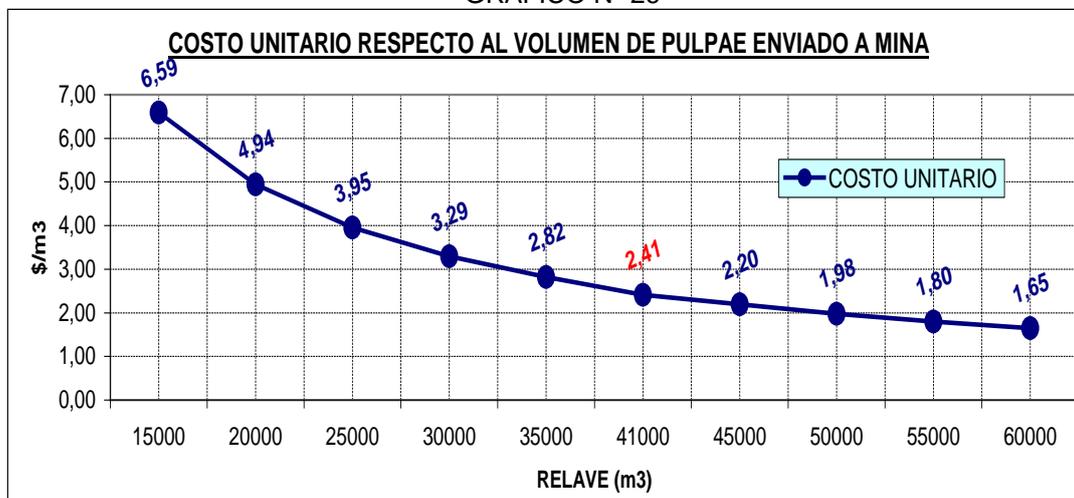
<b>COSTO UNITARIO DE RELLENO HIDRAULICO ENVIADO A MINA</b>				
CANTIDAD DE RELLENO ENVIADO A MINA PROMEDIO		41000 m3/mes		
DIAS POR MES		30 dias		
	CANTIDAD	COSTO	COSTO MENSUAL \$	
<b>1.- COSTO POR ENERGIA ELECTRICA</b>				
CONSUMO PROMEDIO DE ENERGIA (kw-h)	120 kw-h	0,0504 \$/kw-h	4354,56	4354,56
<b>2.- COSTO POR MATERIALES</b>				
TUBERIA DE 4"Ø POLIETILENO	350 mt	5,67 \$/mt	1984,50	
GRAMPAS DE ALTA PRESION 4"Ø	20 und	26,08 \$/und	521,60	
TELA ARPILLERA	1800 mt	0,24 \$/mt	432,00	
ALAMBRE N° 12	200 kg	0,83 \$/kg	166,00	
TUBO PVC RIGIDO 4"Ø	50 und	24,02 \$/und	1201,00	4305,10
<b>3.- COSTO DE MTTO. PREVENTIVO DE EQUIPOS</b>				
BALANZA CELDAS DE CARGA MILLTRONIC N°3	1 global	715,00 \$/global	715,00	
BOMBA HORIZONTAL 8"x6" SRL-C N° 01	1 global	121,33 \$/global	121,33	
FILTRO DE POLVO PLANTA DE RELLENO HyD "A"	1 global	500,00 \$/global	500,00	
FILTRO DE POLVO PLANTA DE RELLENO HyD "B"	1 global	1000,00 \$/global	1000,00	
BOMBA HORIZONTAL 8"x6" SRL-C N° 02	1 global	390,37 \$/global	390,37	
TANQUE AGITADOR PLANTA DE RELLENO "A"	1 global	219,10 \$/global	219,10	
BOMBA HORIZONTAL 8"x6" SRL-C N° 03	1 global	292,25 \$/global	292,25	
BOMBA HORIZONTAL 8"x6" SRL-C N° 04	1 global	242,66 \$/global	242,66	
TANQUE AGITADOR PLANTA DE RELLENO "B"	1 global	109,55 \$/global	109,55	3590,26
<b>4.- COSTO DE MANO DE OBRA</b>				
INGENIEROS, SUPERVISORES Y PERSONAL OPERATIVO	50 pers	86123 \$/global	86123,00	86123,00
<b>5.- IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD</b>				
EPP	1 global	460,2 \$/global	460,2	460,2
<b>TOTAL GENERAL AL MES (\$)</b>			<b>98833,12</b>	
<b>COSTO UNITARIO POR M3 DE PULPA ENVIADO A MINA (\$/m3)</b>			<b>2,41</b>	

TABLA N° 21

TABULACION DEL COSTO UNITARIO DE PULPA ENVIADO A MINA

RELAVE (m3)	15000	20000	25000	30000	35000	41000	45000	50000	55000	60000
COSTO AL MES (\$)	98833	98833	98833	98833	98833	98833	98833	98833	98833	98833
COSTO UNITARIO (\$/m3)	6,59	4,94	3,95	3,29	2,82	2,41	2,20	1,98	1,80	1,65

GRAFICO N° 26



## 1.1. COSTO DEL RELLENO EN PANELES DE ACUERDO A LA MEZCLA

### Para el método de corte y relleno ascendente

Siendo corte y relleno ascendente y realizado por paneleo, se debe tener en consideración lo siguientes aspectos:

1. Los primarios corresponden a las calles primarias que parten del Subnivel cruzando el cuerpo intercaladamente, teniendo como pilar a la roca mineralizada. Los paneles secundarios son las calles que cruzan el cuerpo, teniendo como pilar la calle primaria rellena.
2. La barrera debe ser construida de acuerdo al estándar.
3. Los paneles primarios debe rellenarse la 1ra etapa con loza (mezcla 1/6) hasta la altura de 1.20 mts.
4. Rellenarse la siguientes etapas con mezcla 1/30, hasta cubrir la corona de la labor.
5. Los paneles secundarios debe rellenarse por etapas con lama.

### Para el método de explotación Sublevel Caving

En este método se debe rellenar con loza (mezcla 1/6) la entrada del subnivel, la construcción de barreras de acuerdo al estándar y el tajo propiamente dicho debe rellenarse con lama.

Los costos por cemento empleado es asumido por la ZONA, de acuerdo a la mezcla que solicite en cada una de sus labores, así tenemos.

TABLA N° 22

### ANALISIS DE PRECIO UNITARIO RELLENO DE PANEL PRIMARIO MEZCLA 1:6 Y 1:30

<b>PARTIDA:</b>	RELLENO DE PANELES PRIMARIOS	<b>LOG. LABOR</b>	20 ml
<b>AREA DE BARRERA</b>	4 x 4 m2	<b>AREA</b>	16 m2
		<b>VOL. RELLENAR</b>	288 m3

ITEM	DESCRIPCION	INCID.	UNI.	CANTID.	PRECIO UNITARIO	P.PARC. \$	SUBTOT. \$	TOTAL US\$/M3
1.-	<b>MANO DE OBRA Y SUMINISTROS</b>							
	M.O. SUMINISTROS	1	h-h	493,71	1,93 \$/hr	952,87	47,64	
2.-	<b>BARRERA Y CEMENTO</b>							
	BARRERA DE MADERA		m2	16,00	16,50 \$/m2	264,00	13,20	
	CEMENTO		ton	55,95	101,00 \$/ton	5650,95	282,55	

<b>TOTAL COSTO METRO LINEAL DE PANEL EN DOLARES US\$</b>	<b>343,39</b>
<b>TOTAL COSTO M3 DE RELAVE CEMENTADO EN DOLARES US\$</b>	<b>23,85</b>

TABLA N° 23

**ANALISIS DE PRECIO UNITARIO  
RELLENO DE PANEL PRIMARIO MEZCLA 1:30**

<b>PARTIDA:</b>	RELLENO DE PANELES PRIMARIOS	<b>LOG. LABOR</b>	20 ml
<b>AREA DE BARRERA</b>	4 x 4 m2	<b>AREA</b>	16 m2
		<b>VOL. RELLENAR</b>	288 m3

ITEM	DESCRIPCION	INCID.	UNI.	CANTID.	PRECIO UNITARIO	P.PARC. \$	SUBTOT. \$	TOTAL US\$/M3
1.-	<b>MANO DE OBRA Y SUMINISTROS</b>							
	M.O. SUMINISTROS	1	h-h	493,71	1,93 \$/hr	952,87	47,64	
2.-	<b>BARRERA Y CEMENTO</b>							
	BARRERA DE MADERA		m2	16,00	16,50 \$/m2	264,00	13,20	
	CEMENTO		ton	28,80	101,00 \$/ton	2908,80	145,44	

<b>TOTAL COSTO METRO LINEAL DE PANEL EN DOLARES US\$</b>	<b>206,28</b>
<b>TOTAL COSTO M3 DE RELAVE CEMENTADO EN DOLARES US\$</b>	<b>14,33</b>

TABLA N° 24

**ANALISIS DE PRECIO UNITARIO  
RELLENO DE PANEL SECUNDARIO LAMA**

<b>PARTIDA:</b>	RELLENO DE PANELES PRIMARIOS	<b>LOG. LABOR</b>	20 ml
<b>AREA DE BARRERA</b>	4 x 4 m2	<b>AREA</b>	16 m2
		<b>VOL. RELLENAR</b>	288 m3

ITEM	DESCRIPCION	INCID.	UNI.	CANTID.	PRECIO UNITARIO	P.PARC. \$	SUBTOT. \$	TOTAL US\$/M3
1.-	<b>MANO DE OBRA Y SUMINISTROS</b>							
	M.O. SUMINISTROS	1	h-h	493,71	1,93 \$/hr	952,87	47,64	
2.-	<b>BARRERA Y CEMENTO</b>							
	BARRERA DE MADERA		m2	16,00	16,50 \$/m2	264,00	13,20	
	CEMENTO		ton	0,00	101,00 \$/ton	0,00	0,00	

<b>TOTAL COSTO METRO LINEAL DE PANEL EN DOLARES US\$</b>	<b>60,843</b>
<b>TOTAL COSTO M3 DE RELAVE EN DOLARES US\$</b>	<b>4,225</b>

## 2. PROYECTO PARA TERCERIZAR EL AREA DE RELLENO HIDRAULICO

El tercerizar el Área de Relleno Hidráulico tendrá ventajas como son

- Se trabajara bajo un sistema de 14 días de trabajo por 7 de descanso, actualmente se trabaja bajo sistema de 8 horas diarias y descanso el día domingo.
- Se evitaría las faltas y los trabajos serian de forma continua incluyendo domingos y feriados.
- El personal que radica fuera de la ciudad de Cerro de Pasco tendrían más tiempo de pasar con sus familias por la ventaja del sistema.
- En cuanto a los costos se tendría ahorros significativos según el cuadro que se muestras.

TABLA Nº 25: Costo unitario en tercerización

<b>Analisis de Precios Unitarios</b>				
<b>CLIENTE</b>		<b>VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A.</b>		
PARTIDA		<b>COSTO UNITARIO M3 DE RELLENO HIDRAULICO</b>		
UNIDAD DE MEDIDA		\$/M3		
VOLUMEN DE RELLENO (PULPA)		M3 41000		
TIPO PRESUPUESTO		A TODO COSTO MANO DE OBRA		
FECHA		DICIEMBRE DEL 2008		
				TC: 3,10
DESCRIPCION		US\$ POR MES	UNID. de MEDIDA	Monto a Valorizar 56291,41
<b>1.A.</b>	<b>SUELDOS EMPLEADOS</b>			
	Ingeniero Residente 1	3264,41	MES	5,80%
	Ing. Jefe de Guardia 3	6855,27	MES	12,18%
	Ing. De Seguridad 1	2611,53	MES	4,64%
	Administrador 1	1305,77	MES	2,32%
	Asistente Social 1	1175,19	MES	2,09%
	Logistica 1	658,60	MES	1,17%
	Secretaria 1	512,24	MES	0,91%
	Lampareros 1	512,24	MES	0,91%
	Capataz 3	2414,85	MES	4,29%
	Maestros 12	7025,02	MES	12,48%
	Ayudantes 30	15367,23	MES	27,30%
<b>3.A.</b>	<b>HERRAMIENTAS</b>			
	Herramientas manuales	226,38	MES	0,40%
<b>2.A.</b>	<b>ALIMENTACION, ALOJAMIENTO, IMPLEMENTOS Y UTILES DE OFICINA</b>			
	Alimentación Empleados 7	677,42	MES	1,20%
	Alojamiento Empleados	200,00	MES	0,36%
	Implementos Personal Administrativo 7	231,28	MES	0,41%
	Implementos Personal Obrero 48	2078,70	MES	3,69%
	Utiles de oficina y almacén	100,00	MES	0,18%
	Casa Lámparas (Cargadora, Acidos, H2O Destil., herram.,etc)	318,04	MES	0,56%
<b>3.A.</b>	<b>VIAJES Y COMUNICACIONES</b>			
	Fax, teléfonos, correos, radio	150,00	MES	0,27%
	Camioncito para traslado de materiales	1250,00	MES	2,22%
<b>4.A.</b>	<b>ADMINISTRATIVOS Y FINANCIEROS</b>			
	Gerente de Operaciones	500,00	MES	0,89%
	Administrador General	300,00	MES	0,53%
	Gastos Oficina Lima	200,00	MES	0,36%
	Gastos administrativos de la obra	100,00	MES	0,18%
	* Otros Gastos e Imprevistos	120,00	MES	0,21%
<b>5.A.</b>	<b>PERSONAL</b>			
	Exámen médico personal	451,61	MES	0,80%
	Contrato de trabajo Ministerio de Trabajo	134,41	MES	0,24%
	Inscripciones y Reinscripciones IPSS	67,20	MES	0,12%
	Gastos de Identificación de personal	41,67	MES	0,07%
	Viáticos de personal	100,00	MES	0,18%
<b>TOTAL COSTO US\$/MES</b>		<b>48949,05</b>	<b>MES</b>	<b>87,0%</b>
	<b>Utilidad</b> 15 %	<b>7342,36</b>		<b>13,0%</b>
<b>GRAN TOTAL</b>		<b>\$ 56291,41</b>		<b>100,0%</b>
<b>COSTO UNITARIO</b>		<b>\$/M3</b>	<b>1,37</b>	
* Mobiliario Oficina Lima, Herramientas Mantenimiento Mina, Gastos Bancarios, Atenciones médicas del personal dentro de los tres primeros meses, Trámites del Ministerio de Energía y Minas, Ministerio de Trabajo, ESSALUD, Gastos por inspecciones de parte de Ministerios, ESSALUD, etc.				

## **CONCLUSIONES**

1. El empleo del Relleno Hidráulico en la mina es Técnica y económicamente adecuado teniendo el material de relleno producto de los relaves de la Planta Concentradora Paracsha.
2. La automatización ha permitido tener un control en todas las etapas del proceso de relleno hidráulico, las ventanas múltiples del software cubre desde el bombeo hasta la salida del material de relleno.
3. Se tiene una densidad elevada ( $3.74 \text{ gr/cm}^3$ ) del material de relave, debido a la presencia de pirita, por lo que se debe tener una velocidad superior a la velocidad crítica.
4. La capacidad de generación de material de relleno de la Planta de Relleno ( $37800 \text{ m}^3$  al mes), cubre ampliamente la demanda de la mina para el rellenado de sus labores ( $27857 \text{ m}^3$  al mes).
5. Los tiempos no productivos se han visto reducidos por la calidad de material que se tiene para el relleno hidráulico, pudiéndose regresar en un lapso de una guardia de 8 horas después de rellenada la labor.
6. Las labores rellenadas son empleadas como pilares para los cortes de la calles aledañas, pudiéndose recuperar el mineral hasta en un 100%.
7. El emplear el relleno hidráulico hace posible que la vida útil de la Cancha de relaves se haya incrementado en un 21%.
8. La cantidad de material de relleno que se envía a mina es el 21% del material de relave, el 79% va a la relavera de Ocroyoc.
9. La capacidad de la Planta de Relleno se vio ampliada al aumentar una línea más de relleno, del año 2007 al año 2008 se aumento en un 25%.
10. El consumo de cemento para el relleno hidráulico ha bajado, debido principalmente a los métodos de explotación que se esta empleando y al estricto control para su empleo en labores que lo requieran. Si en enero del 2008 se empleo 4167 ton en diciembre del mismo año se consumió 880 ton, con un promedio de 2004 ton/mes. Significando un ahorro en el consumo de cemento del orden del \$70000 por mes, en este año 2009 se debe reducir aun más el consumo promedio.
11. El costo unitario por enviar relleno a la mina es de  $2.34 \text{ \$/m}^3$  de pulpa, sin considerar el consumo de cemento.

## **RECOMENDACIONES**

1. La preparación de barreras para el relleno hidráulico debe ceñirse al “estándar de preparación de barreras”. Es importante que cada una cuente con su barrera auxiliar.
2. Tomar muestras de la pulpa enviada a mina, de la misma labor donde se realiza el relleno hidráulico y hacer las pruebas de resistencia a la compresión.
3. Según el análisis al tercerizar el área de Relleno Hidráulico será rentable y las ventajas buenas, y el costo de mano de obra de personal de planilla que es de 86,123 \$/mes variará en la tercerización a 56,291\$/mes.
4. Los trabajos de minado en la mina satélite de corte relleno ascendente y sublevel caving, esta subiendo las labores de producción, siendo el relleno hidráulico por gravedad la diferencia de cotas respecto a la planta de relleno hidráulico es cada vez menor, por lo que es necesario realizar un estudio para el empleo de bomba de lodos, y poder rellenar las labores.
5. Las partículas gruesas del relave de la planta concentradora tienden a sedimentarse en la tubería de 19” de diámetro, principalmente por dos motivos la alta densidad de los sólidos y la gradiente que es menor al 1% de inclinación. Es necesario mantener un relleno continuo en la mina para evitar el atoramiento de la tubería de 19” de diámetro.
6. Realizar proyectos de DTH para reubicar las tuberías de relleno hidráulico, por que las labores de producción están subiendo en altura por cada nivel, y como el relleno es por gravedad tiene que bajar hasta el piso cero de cada nivel y subir hasta una altura determinada. Las presiones en el piso cero van aumentando pudiendo ocasionar rotura de tuberías o atoros.
7. El tajo abierto Raúl Rojas va ampliar sus operaciones, como las líneas de relleno hidráulico bajan por la ladera del tajo es necesario reubicar las troncales principales, mediante el diseño de chimeneas y taladros DTH.
8. Realizar pruebas empleando yeso, para acelerar el tiempo de fraguado, se debe determinar la dosificación apropiada junto al cemento.

## BIBLIOGRAFIA

“OPERACIONES UNITARIAS EN PROCESAMIENTO DE MINERALES”.

Autor : John M, Currie.

Traducido: Ing. Juan Chia Aquije.

“SISTEMA DE RELLENO HIDRAULICO MINA CERRO DE PASCO”.

Autor : Ing. J. Jara C.

“ESTUDIO DE RELLENO HIDRAULICO Y SU APLICACIÓN”.

Autor : Ing. Henry Brañez.

“ESTUDIO EXPERIMENTAL DE RELLENO HIDRAULICO EN LA MINA ATACOCHA”.

Autor : Ing. W. Beltran.

“XVI CONVENCION DE INGENIEROS DE MINAS”.

NOV. 1985.

“MANUAL DE TUBERIAS Y FITTINGS DE HDPE”

EMPRESA DURATEC

“MECANICA DE FLUIDOS”

Autor : Pedro Fernández Díez                      <http://libros.redsauce.net>

“TUBERIAS DE HORMIGON ARMADO Y POSTESADO”

Perdidas de carga en tuberías-Coeficientes de Rugosidad

Autor : Fernando Martinez Alzamora & Juan F. Fernandez Bono