

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Mejora de la productividad del sistema de relleno
hidráulico en la zona Mirko Este - Volcan Compañía
Minera S. A. A PERÚ - Unidad minera Chungar - Animón**

Rafael Cahuana Huarcaya
Javier David Vasquez Quispe

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Ing. Javier Córdova Blancas

AGRADECIMIENTO

Principalmente a Dios, por su bendición e iluminación en el día a día; a nuestros padres, por habernos dado la vida, sus sabios consejos y apoyo constante, a todas las personas involucradas en Volcan Compañía Minera S. A. A., tanto ingenieros como trabajadores, de quienes aprendimos mucho durante el día a día en esta prestigiosa empresa.

DEDICATORIA

A mis padres, por habernos dado los valores necesarios, apoyarnos con nuestra educación, desarrollo profesional y formarnos como personas de bien.

ÍNDICE

Asesor-----	ii
Agradecimiento-----	iii
Dedicatoria-----	iv
Índice-----	v
Lista de tablas-----	viii
Lista de <u>figuras</u> -----	x
Resumen-----	xi
Abstract-----	xiii
Introducción-----	xv
CAPÍTULO I-----	17
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO-----	15
1.1. Planteamiento y formulación del problema-----	17
1.1.1. Planteamiento del problema-----	17
1.1.2. Formulación del problema-----	18
1.2. Objetivos-----	18
1.2.1. Objetivo general-----	18
1.2.2. Objetivos específicos-----	18
1.3. Justificación e importancia-----	19
1.3.1. Justificación académica-----	19
1.3.2. Justificación económica-----	19
1.4. Hipótesis de la investigación-----	19
1.4.1. Hipótesis general-----	19
1.4.2. Hipótesis específicas-----	20
1.5. Identificación de las variables-----	20
1.5.1. Variable independiente-----	20
1.5.2. Variables dependientes-----	20
1.5.3. Matriz de operacionalización de variables y de consistencia-----	21
CAPÍTULO II-----	23
MARCO TEÓRICO-----	21
2.1. Antecedentes del problema-----	23
2.1.1. Antecedentes nacionales-----	23

2.1.2. Antecedentes internacionales -----	24
2.2. Generalidades de la unidad minera Chungar -----	25
2.2.1. Ubicación, accesibilidad y generalidades -----	25
2.3. Geología general-----	27
2.3.1. Geología regional -----	27
2.3.2. Geología estructural-----	28
2.3.3. Tipo de depósito-----	28
2.4. Descripción del método corte y relleno ascendente en unidad minera Chungar-Animón -----	29
2.4.1. Descripción general del método -----	29
2.4.2. Explotación -----	29
2.5. Bases Teóricas del estudio -----	30
2.5.1. Descripción del unifamiliar del relleno hidráulico en Chungar -----	31
2.5.2. Características del relleno hidráulico - planta concentradora -----	40
2.5.3. Características del relleno hidráulico – casa de bombas -----	42
2.5.4. Características del relleno hidráulico – líneas de bombeo-----	45
2.5.5. Características del relleno hidráulico – interior de mina-----	50
2.5.6. Características del relleno hidráulico – relleno en tajeos -----	51
2.6. Definición de términos básicos-----	54
CAPÍTULO III -----	59
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN-----	57
3.1. Método y alcances de la investigación-----	59
3.1.1. Método de la investigación -----	59
3.1.2. Alcances de la investigación-----	60
3.2. Diseño de la investigación-----	60
3.2.1. Tipo de diseño de investigación -----	60
3.2.2. Nivel de investigación-----	61
3.3. Población y muestra -----	61
3.3.1. Población-----	61
3.3.2. Muestra -----	61
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos -----	61
3.4.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos -----	61

3.4.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos-----	61
CAPÍTULO IV-----	62
RESULTADOS Y DISCUSIÓN-----	60
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información-----	62
4.1.1. Consideraciones generales de la unidad minera Chungar -----	62
4.1.2. Consideraciones numéricas para el cálculo de relleno hidráulico ----	65
4.1.3. Consideraciones del análisis granulométrico de la planta de relleno hidráulico-----	69
4.1.4. Consideraciones operacionales del relleno hidráulico -----	72
4.1.5. Consideraciones de producción de relleno hidráulico -----	79
4.1.6. Consideraciones de plan de producción de relleno hidráulico tipo largo plazo-----	83
4.1.7. Consideraciones económicas de relleno hidráulico -----	87
Conclusiones-----	90
Recomendaciones-----	93
Lista de referencias-----	94
Anexos-----	95

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables.....	21
Tabla 2. Matriz de consistencia.....	22
Tabla 3. Ruta geográfica.....	26
Tabla 4. Disponibilidad de relleno hidráulico a mina.....	35
Tabla 5. Horas de bombeo por la línea de relleno a mina.....	36
Tabla 6. Longitud de tubería en la red principal de relleno hidráulico, unidad minera Changar.....	37
Tabla 7. Especificaciones estándar para los materiales y tuberías de polietileno basadas en el diámetro exterior, unidad minera Chungar.....	39
Tabla 8. Balance metalúrgico mensual, unidad minera Chungar.....	40
Tabla 9. Alimentación de relave al nido de ciclones, unidad minera Chungar.....	40
Tabla 10. Over flow de relave, unidad minera Chungar.....	41
Tabla 11. Under flow de relave, unidad minera Chungar.....	41
Tabla 12. Estándares de tubería para relleno hidráulico, Unidad Minera Chungar	46
Tabla 13. Capacidad de almacenamiento de silos 3 y 4 (tm/h), unidad minera Chungar.....	50
Tabla 14. Variables obtenidas en planta concentradora y planta de relleno hidráulico Montenegro. U. M. Chungar.....	65
Tabla 15. Variables obtenidas en planta concentradora y planta de relleno hidráulico Montenegro, U. M. Chungar.....	68
Tabla 16. Análisis granulométrico de nido hidrociclones, planta de relleno hidráulico Montenegro, U. M. Chungar.....	70
Tabla 17. Curva tromp del nido de hidrociclones D - 15, planta de relleno hidráulico Montenegro, U. M. Chungar.....	71
Tabla 18. Análisis de la eficiencia y resultados del nido de hidrociclones D - 15, planta de relleno hidráulico Montenegro, U. M. Chungar.....	71
Tabla 19. Relación de actividades unitarias, U. M. Chungar.....	74
Tabla 20. Demanda requerida de relleno hidráulico, de acuerdo al método de minado, U. M. Chungar.....	75

Tabla 21. Cobertura de relleno hidráulico, de acuerdo al método de minado, U. M. Chungar.....	76
Tabla 22. Producción de relleno hidráulico y porcentaje de recepción 18 – 19, unidad minera Chungar	80
Tabla 23. Esquema del proceso productivo, unidad minera Chungar	81
Tabla 24. Esquema del proceso productivo, unidad minera Chungar	82
Tabla 25. Producción de relleno hidráulico tipo largo plazo 2015 al 2019, U. M. Chungar.....	84
Tabla 26. Producción tipo largo plazo de relleno hidráulico, periodo 2015 al 2019, unidad minera Chungar	85
Tabla 27. Producción de porcentaje de recepción de relleno hidráulico, tipo largo plazo, periodo 2015 al 2019, unidad minera Chungar	86
Tabla 28. Evaluación de las líneas de relleno hidráulico, unidad minera Chungar.....	88
Tabla 29. Matriz de operacionalización de variables	96
Tabla 30. Matriz de consistencia	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la mina	27
Figura 2. Unifamiliar del relleno hidráulico, unidad minera Chungar	33
Figura 3. Unifamiliar de red de tuberías de relleno hidráulico, unidad minera Chungar.....	34
Figura 4. Esquema con solución para eliminar exceso de agua de los silos, unidad minera Chungar.....	48
Figura 5. Diseño del relleno hidráulico, en método de minado Over Cut and Fill, unidad minera Chungar	53
Figura 6. Layout de tubería de relleno hidráulico en superficie, unidad minera Chungar.....	63
Figura 7. Esquema con solución para eliminar exceso de agua de los silos, unidad minera Chungar.....	64
Figura 8. Esquema del proceso productivo, unidad minera Chungar.....	73
Figura 9. Relación promedio de mineral y relave en el flow sheet, U. M. Chungar	74
Figura 10. Procedimiento de llenado del relleno hidráulico en los tajeos OCF, U. M. Chungar.....	77
Figura 11. Unifamiliar de red de tuberías de relleno hidráulico, unidad minera Chungar.....	98
Figura 12. Diagrama de flujo del proceso de relleno hidráulico, planta Montenegro, unidad minera Chungar	99
Figura 13. Diagrama de flujo del proceso de relleno hidráulico, planta Montenegro, unidad minera Chungar	100

RESUMEN

La investigación tiene por objetivo, el análisis de la mejora de la productividad del sistema de relleno hidráulico en la zona Mirko Este, perteneciente a la unidad minera Chungar de Volcan Compañía Minera S. A. A.

Para la ejecución de la investigación se ha considerado emplear el método analítico, siendo la investigación de un alcance descriptivo - explicativo. El diseño de la investigación fue de carácter preexperimental, de manera que se observaron los resultados del análisis del sistema de relleno hidráulico, durante el periodo julio 2018 a agosto 2019. La técnica para la obtención de datos fue la revisión documentaria y el acopio de información correspondiente a la unidad minera.

Por lo que, se concluye con el análisis del sistema de gestión de relleno hidráulico desde la planta de relleno hidráulico Montenegro, los silos 1, 2, 3 y 4 considerando el análisis del *under flow* y el *over flow*, para la obtención de relleno hidráulico y su transporte por tuberías HDPE de 4" de diámetro hacia los diferentes tajeos a ser rellenos.

El cálculo de relleno hidráulico considera la alimentación de mineral en planta concentradora de 5,761.61 toneladas métricas secas promedio por día, con un radio de concentración de 9.98, se obtuvieron 577.48 toneladas de concentrado (Pb, Zn y Cu) y 5,184.13 toneladas de relave, que se enviará a la planta de relleno hidráulico Montenegro para su clasificación en los ciclones, obteniendo un total de 2,436.54 toneladas en el *under flow* y de 2,747.59 toneladas en el *over flow*, con una eficiencia del 47%, y una densidad de 1800 kg / m³.

La demanda total de relleno hidráulico necesario para cubrir el método de minado *Over Cut and Fill* es de 3,780 tpd, considerando un peso específico de 3.15, se necesitará 1200 m³ de relleno hidráulico.

El mayor aporte de relleno hidráulico durante el periodo 2015 al 2019, se incrementó de un promedio mensual de 18,713 m³ a 24,037 m³. Este mayor incremento de aporte de relleno hidráulico mejoró la productividad en el transporte de relleno hidráulico considerando menores costos de relleno. El costo de consumo de energía, por metro cúbico, con esta nueva línea sería de 0.075 USD/m³, es decir, se reduciría el costo al 45.7% del costo actual.

Palabras clave: método de minado, relleno hidráulico, relleno detrítico, producción, optimización, productividad, costos de energía, *under flow*, *over flow*.

ABSTRACT

The objective of the investigation is to analyze the improvement of the productivity of the hydraulic filling system in the Mirko East area, belonging to the Chungar mining unit of Volcan Compañía Minera S.A.A.

To carry out the research, it has been considered to use the analytical method, the research being of a descriptive-explanatory scope. The research design was of a pre-experimental nature, so that the results of the analysis of the hydraulic filling system were observed, during the period July 2018 to August 2019. The technique for obtaining data was the documentary review and the collection of information corresponding to the mining unit.

Finally, it concludes with the analysis of the hydraulic fill management system from the Montenegro hydraulic fill plant, silos 1,2,3 and 4, and considering the analysis of under flow and over flow, to obtain hydraulic fill and its transport by 4 " diameter HDPE pipes to the different pits has to be filled

The calculation of hydraulic fill, considers the mineral feed in the concentrator plant of 5,761.61 metric dry tons per day, with a concentration radius of 9.98, 577.48 tons of concentrate (Pb, Zn and Cu) and 5,184.13 tons of tailings were obtained, which will be sent to the Montenegro hydraulic filling plant for classification in cyclones, obtaining a total of 2,436.54 tons in the under flow and 2,747.59 tons in the over flow, with an efficiency of 47%, and a density of 1800 kg / m³.

The total demand for hydraulic fill necessary to cover the Over Cut and Fill mining method is 3,780 tpd, considering a specific weight of 3.15, 1200 m³ of hydraulic fill will be needed.

The largest contribution of hydraulic fill during the period 2015 to 2019, increased from a monthly average of 18,713 m³ to 24,037 m³. This greater increase in the contribution of hydraulic fill improved productivity in the transportation of

hydraulic fill considering lower fill costs. The cost of energy consumption, per cubic meter, with this new line would be 0.075 USD / m³, that is, the cost would be reduced to 45.7% of the current cost.

Keywords: mining method, hydraulic fill, debris fill, production, optimization, productivity, energy costs, under flow, overflow.

INTRODUCCIÓN

La unidad minera Chungar de Volcan Compañía Minera S. A. A., trata minerales de las minas de Animón e Islay, con una producción aproximada de 5,500 toneladas produciendo concentrados de plomo, zinc y cobre, cuyas estructuras mineralizadas están emplazadas en ambientes sedimentarios.

La Veta Principal y Precaución, son conocidos desde superficie hasta profundidad de 500 metros en Chungar (Nivel 150), la potencia de las vetas varía desde 0.80 m hasta 20 m.

El relleno hidráulico es una de las actividades operacionales unitarias que inciden en la operación minera en la unidad minera Chungar con un 72%, es por lo que generar programas de optimización y reducción de costos es imperativo, para mejorar la rentabilidad de la operación minera.

El relave de la planta concentradora es enviado mediante dos líneas de dos bombas enseriadas modelo HR200 (una línea permanece en *stand by*) a la planta de Relleno Hidráulico por medio de dos tuberías de polietileno de 8" de diámetro y mediante una válvula *Tech* y una conexión en "y", este relave llega a un nido de hidrociclones D15 (compuesta por cinco hidrociclones) que se encargan de clasificar el relave en una fracción fina (*over flow*) y una gruesa llamada *under flow*. La fracción fina (*over flow*) es descargada directamente mediante una tubería de 10" hacia el tanque A, posteriormente se bombea hacia el cono profundo. El *under flow* del nido de hidrociclones serán colectados en los silos 1 y 2, para ser almacenados y luego alimentar a los acondicionadores 1 y 2 donde se homogeniza la pulpa y llevada a la concentración de sólidos adecuada para ser enviada a los silos 3 y 4, respectivamente, y de allí ser enviada a los distintos tajeos a ser rellenos, para esto se utilizan tres líneas de bombeo con tuberías de polietileno de 4" pulgadas PE 100 PN 20.

El resultado del análisis del sistema de gestión de relleno hidráulico permitió mejorar la productividad en el incremento del tonelaje transportado de relleno hidráulico a los diferentes tajeos minados por el método de minado *Over Cut and Fill*.

La presente tesis considera los siguientes criterios, en el Capítulo I, el planteamiento del problema, objetivos de investigación, justificación correspondiente, hipótesis de investigación e identificación de variables.

En el Capítulo II se presenta el marco teórico, antecedentes del problema, generalidades de la empresa, las bases teóricas del sistema de relleno hidráulico aplicado en el método de minado *Over Cut and Fill*.

En el capítulo III está incluida la metodología de la investigación, en la cual se especifica el método, el alcance de la investigación, el diseño a desarrollar, nivel de investigación, población, muestra, la técnica de recolección y tratamiento de información.

En el capítulo IV se muestran los resultados obtenidos en el análisis del sistema de relleno hidráulico en la zona Mirko Este en la unidad minera Chungar, los cuales son presentados con el análisis e interpretación de resultados.

Los Autores.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y Formulación del Problema

1.1.1. Planteamiento del Problema

La empresa Volcán Compañía Minera S.A.A Perú, en su unidad minera Chungar-Animón, de 5500 tmd (100%) de mineral, en su proceso final obtiene como relave 4840 tmd (88%) y concentrado 660 tmdTMSD (12%).

Las 4840 tm (2547 m³) de relave que se encuentran en la planta concentradora son bombeados hacia los hidrociclones D-15, donde, el 41% (1044 m³) es clásico para relleno hidráulico y enviados hacia los silos 1 y 2 con capacidad de 240 m³ y 220 m³ respectivamente, y al final enviado al silo 3 con capacidad de 420m³ para luego ser enviado a interior de mina por tres líneas de tubería polietileno 4" Ø.

Las tres líneas troncales ingresan por la rampa Mirko hasta el niv. 310 donde es distribuida por la rampa Mirko Este y la rampa Mirko Oeste hacia los distintos tajos a rellenar.

El relleno hidráulico programado es de 25100 m³ mensuales, el año 2018 su cumplimiento era un 87% promedio, en la actualidad el cumplimiento bajó consideradamente hasta un 74% debido a muchos factores como falta de personal,

el desgaste de tubería, arenado de la red de tubería y hasta el sistema de bombeo de agua en interior de mina.

En esta investigación se tomó como prioridad la línea de red de tubería que se distribuye por la rampa Mirko Este ya que es la rampa con más tránsito de equipos mineros (volquetes), donde, a diario, la tubería es afectada por el contacto de dichos equipos, y otro de los factores que afecta la productividad del sistema de relleno hidráulico es la mala distribución de la red de línea de la tubería.

1.1.2. Formulación del Problema

Problema general

¿Cómo mejorar la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019?

Problemas específicos

¿De qué manera influye el desgaste de la tubería en la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019?

¿De qué manera influye la mala distribución de la línea de red de tubería en la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Mejorar la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar la influencia del desgaste de la tubería en la mejora de la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019.
- Determinar la influencia de la mala distribución de la línea de red de tubería en la mejora de la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019.

1.3. Justificación e Importancia

1.3.1. Justificación Académica

Esta investigación disminuirá la capacidad de disposición de relave en la cancha para que, posteriormente, sea transportado a mina y se realice el sostenimiento en tajos generando una mejora en rentabilidad económica puesto que el costo de obtención del material es cero.

De esa forma no solo se incrementa la producción de tonelaje sino se mejora la productividad en el sistema de relleno ya que el transporte de este material en tuberías es mucho más económico, eficiente y rápido.

1.3.2. Justificación Económica

La presente investigación planea optimizar la productividad en el sistema de relleno hidráulico, ya que mejora la eficiencia en el tiempo de sostenimiento, con lo cual, se incrementa la producción de tonelaje de mineral. El cual, en términos económicos, representa una mayor rentabilidad.

1.4. Hipótesis de la Investigación

1.4.1. Hipótesis General

Mejora de la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019.

1.4.2. Hipótesis Específicas

- La mejora de la vida útil de la tubería influirá positivamente en la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019.
- La mejora de la distribución de la línea de red de tubería influirá positivamente en la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019.

1.5. Identificación de las Variables

1.5.1. Variable Independiente

Mejora de la productividad

1.5.2. Variables Dependientes

Sistema de relleno hidráulico

1.5.3. Matriz de Operacionalización de Variables y de Consistencia

Tabla 1.

Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definiciones	Definición operacional		
		Dimensiones	Subdimensión	Indicadores
VI Mejora de la productividad	Crecimiento de la producción logrando una competitividad sostenida que garantice una operación eficaz de la mina.	Crecimiento de la producción	<ul style="list-style-type: none"> •Competitividad sostenida •Operación eficaz 	<ul style="list-style-type: none"> •% de cumplimiento de avance en los tajeos •Efectividad de la operación •Rentabilidad en la producción
VD Sistema de relleno hidráulico	Material que es transportado en forma de pulpa por tuberías con la finalidad de disminuir problemas de inestabilidad el cual busca el nivel de sostenimiento en forma natural en la explotación. En su mayoría, el material es el relave de planta concentradora.	Material transportado en forma de pulpa por tuberías	<ul style="list-style-type: none"> •Inestabilidad de explotación •Busca su nivel en forma natural 	<ul style="list-style-type: none"> •Índice de permeabilidad •Velocidad de percolación

Tabla 2.
Matriz de consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables
<p>Problema general ¿Cómo mejorar la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019?</p> <p>Problemas específicos ¿De qué manera influye el desgaste de la tubería en la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019?</p> <p>¿De qué manera influye la mala distribución de la línea de red de tubería en la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019?</p>	<p>Objetivo general Mejorar la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019.</p> <p>Objetivos específicos Determinar la influencia del desgaste de la tubería en la mejora de la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019.</p> <p>Determinar la influencia de la mala distribución de la línea de red de tubería en la mejora de la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019.</p>	<p>Hipótesis general Mejora de la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019.</p> <p>Hipótesis específicas La mejora de la vida útil de la tubería influirá positivamente en la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019.</p> <p>La mejora de la distribución de la línea de red de tubería influirá positivamente en la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcan Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019.</p>	<p>VI: mejora de la productividad VD: Sistema de relleno hidráulico</p> <p>VI: vida útil de la tubería VD: Sistema de relleno hidráulico</p> <p>VI: distribución de la línea de red de tubería VD: Sistema de relleno hidráulico</p>

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Problema

2.1.1. Antecedentes Nacionales

- En la tesis “Aplicación de relleno hidráulico para acelerar el ciclo de minado en la veta principal- niv. 310 - Empresa administradora Chungar S. A. C. (ECH) unidad minera Animón”, el investigador tiene como **objetivo** mejorar y acelerar el ciclo de minado y lograr una estabilidad permanente de las zonas explotadas. Los **resultados** obtenidos se dieron con la aplicación del relleno hidráulico que se considera aprovechable un 40% a 50% del relave producto de los avances de la mina y el tratamiento de minerales, esto se traduce en mayor vida útil de la relavera actual, reduciendo el impacto ambiental negativo y aumentando la rentabilidad del proyecto. Asimismo, el rendimiento por hombre guardia se incrementa de 4.71 tm/tarea a 9.11 tm/tarea. (1)

- En la tesis “Evaluación técnica del relleno hidráulico para estabilizar las zonas explotadas en la Compañía Minera Poderosa S. A.”, el investigador tuvo como **objetivo** determinar si la evaluación técnica del relleno hidráulico influye en la estabilidad de las zonas explotadas en la compañía minera Poderosa S. A. Los **resultados** obtenidos en el consumo de madera por tonelada de mineral roto antes de aplicar relleno hidráulico fueron de 28.40 kg/tm. Aplicando el relleno hidráulico se reduce a 4.60 kg/tm. (2)

- En la tesis “Optimización del cálculo en el volumen de relleno hidráulico para tajos mecanizados y convencionales del consorcio minero Horizonte S. A.”, el investigador tiene como **objetivo** determinar si la evaluación técnica del relleno hidráulico influye en la estabilidad de las zonas explotadas en la compañía minera Poderosa S. A. (3)

2.1.2. Antecedentes Internacionales

- En la tesis “Evaluación técnica y económica de una mina subterránea utilizando relleno cementado”, el investigador tiene como **objetivo** realizar diseño minero comparativo entre una mina subterránea que utilice rellenos cementados y otra que no. Estos diseños tienen que ser geomecánicamente estables, no pueden producir subsidencia en superficie y deben maximizar la recuperación minera. Y como **resultados** de este estudio es que el uso de relleno de relave cementado en una mina de cobre chilena es factible, siendo posible implementarla en yacimientos de otros minerales y en otros lugares de Sudamérica. Además, esta tecnología agrega valor al negocio incrementando los beneficios económicos y la vida útil de la explotación, y reduce el tonelaje de relaves que debe conducirse y depositarse en tranques de relaves. Esto último implica una disminución en inversión, manejo y cierre de los depósitos de residuos mineros como también una disminución de los riesgos asociados (como la contaminación directa del suelo, agua y aire por derrames y por el propio tranque). Por tanto, el negocio es más sustentable. (4)
- En la tesis “Optimización del sistema de relleno RDC para el método de explotación cámaras y pilares corte y relleno (*drift and fill*) ascendente en la mina El Roble ubicada en el municipio El Carmen de Atrato del departamento de Choco, Colombia”, el investigador tiene como **objetivo** optimizar el sistema de relleno RDC para el método de explotación cámaras y pilares corte y relleno (*drift and fill*) en la mina El Roble ubicada en el municipio El Carmen de Atrato del departamento de Choco, Colombia. Los resultados obtenidos fueron que el desgaste de la tubería es la culpable del taqueo de esta y como **resultado** optimizó el sistema de relleno RDC dando solución al taponamiento y desgaste

de las tuberías; bajando los costos de cambio de tubería taponadas y de relleno para el método de explotación cámaras y pilares corte y relleno (*drift and fill*) ascendente en la mina El Roble ubicada en el municipio El Carmen de Atrato del departamento de Choco, Colombia. (5)

2.2. Generalidades de la Unidad Minera Chungar

2.2.1. Ubicación, Accesibilidad y Generalidades

A) Historia

Volcán Compañía Minera S. A. A es una empresa minera, con operaciones de diversos *commodities*, con una presencia importante en zinc, plata y plomo a nivel mundial.

Las operaciones iniciales durante el año 1943 fueron *Ticlio* y *Carahuacra*, con la razón social de *Volcan Mines Company*. Durante los años 90, la empresa adquirió diversas concesiones mineras y licitó propiedades pertenecientes al estado peruano, generando un incremento importante dentro del rubro de minería.

De estas adquisiciones Volcan Compañía Minera S. A. adquirió las operaciones *Mahr Túnel*, San Cristóbal y *Carahuacra* de la empresa minera *Mahr Túnel S. A.* Estas adquisiciones marcaron la expansión de la compañía, lo que generó un incremento del 400% de producción.

A partir del año 1998 se fusionaron ambas empresas formándose Volcán Compañía Minera S. A. A, su actual razón social.

Durante el periodo del 1999, Volcán Compañía Minera S. A. A., adquirió la empresa minera *Paragsha S. A. C* por US\$ 62 millones, además de un compromiso de inversión de US\$ 70 millones, con esta compra se incluyó la unidad minera Cerro de Pasco, lo que convirtió a la empresa en el primer productor de zinc del Perú.

Durante el periodo 2000, la empresa adquirió la empresa administradora Chungar S. A. C. y la empresa explotadora de Vinchos Ltda. S. A. C., dueños de

las operaciones Animón y Vinchos respectivamente, con un valor de compra total de US\$ 20 millones, además de 16 millones de acciones Clase B de Volcán.

B) Ubicacion

La compañía minera Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú – unidad minera Chungar - Animón, está ubicada en el lugar de *Cuchimachay* – La Cruzada, en el distrito de *Huayllay*, provincia y departamento de Pasco, altura de 4610 m s. n. m., y a 79°25'19" de longitud y 11°01'35" de latitud.

Sus coordenadas UTM: N: 8 780 500 y E: 345 000

C) Accesibilidad

La empresa Volcán Compañía Minera S. A. A Perú – unidad minera Chungar-Animón, la accesibilidad es por:

Tabla 3.
Ruta geográfica

Ruta	Kilómetros
Lima – Oroya – Cerro de Pasco – U. Minera Chungar - Animón	304 km
Lima – Huaral – Unidad Minera Chungar - Animón	225 km
Lima – Canta – Unidad Minera Chungar - Animón	219 km

La unidad minera Chungar- Animón se ubica a 50 km. Al sur – oeste de la ciudad de Cerro de Pasco y a 7 km. Al oeste del distrito de Huayllay.

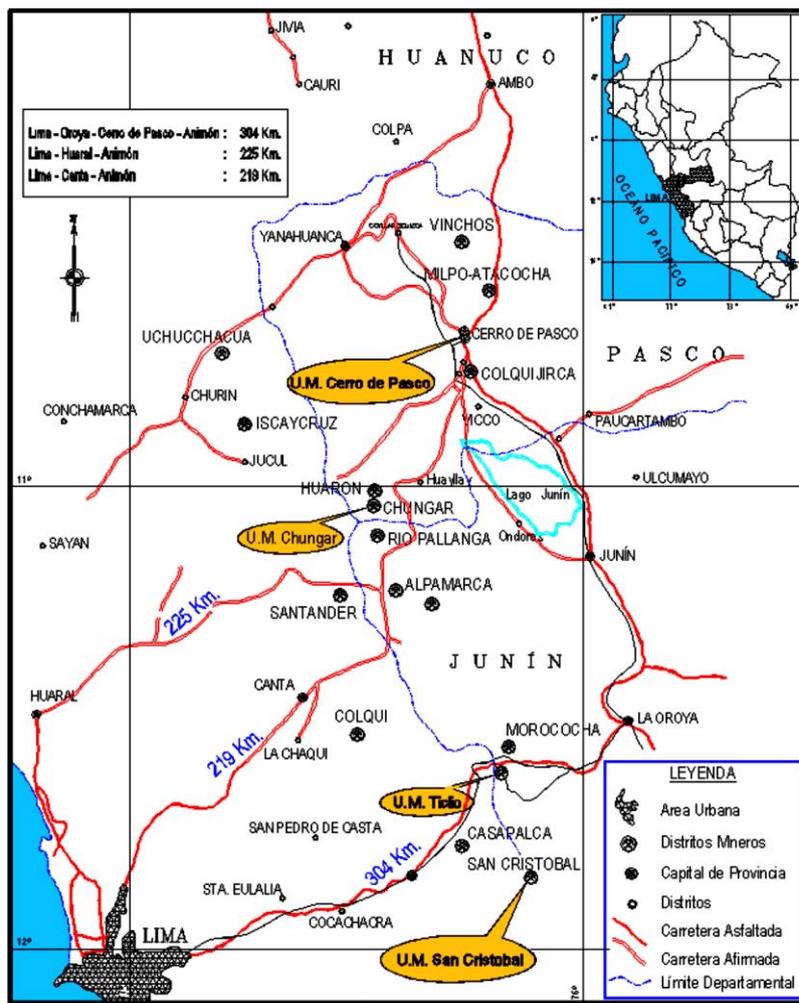


Figura 1. Ubicación de la mina

2.3. Geología General

2.3.1. Geología Regional

La estratigrafía que se emplaza en la unidad minera de Animón está compuesta por sedimentitas de ambiente terrestre de tipo “molásico” conocidos como “capas rojas”, rocas volcánicas andesíticas y dacíticas.

En el área se observan las “capas rojas” que pertenecen al grupo Casapalca constituido por areniscas arcillitas y margas de coloración rojiza o verde en estratos delgados con algunos lechos de conglomerados y esporádicos horizontes lenticulares de calizas grises, se estima un grosor de 2,385 metros que datan del cretáceo superior terciario inferior (Eoceno).

2.3.2. Geología Estructural

El yacimiento Chungar se asocia principalmente a estructuras geológicas como el anticlinal de Huarón, Está compuesto por rocas sedimentarias como marga gris, marga roja, areniscas, conglomerados y un intrusivo cuarzo monzonita en la periferia. Las rocas sedimentarias se presentan en secuencias alternas y gradacionales observadas claramente en la superficie, formándose pliegues y anticlinales donde se encuentra emplazada la mineralización del yacimiento de Chungar. Las principales estructuras geológicas son representadas en:

Plegamiento: son estructuras que se orientan en forma regional de N 25° W. La manifestación tectónica principal de la zona es el anticlinal de Huarón.

Intrusión: principalmente compuesta por intrusivos monzoníticos cuarcíferos, con presencia de diques axiales longitudinales y transversales. Los diques axiales longitudinales se presentan como un enjambre de 6 diques dentro de un cuerpo lenticular, cuya parte más ancha tiene 1.4 km. y se orienta al N 25° W. Esta parte se adelgaza progresivamente en su recorrido de 3 km. al norte y de 5 km hacia el Sur.

Fracturamiento: el fracturamiento se realizó mediante dos conjuntos de fracturas preminerales: El conjunto transversal orientado en dirección E-W: y el conjunto longitudinal orientado en la dirección N-S. El primer conjunto se caracteriza por presentar dos sistemas de fracturas que tienden a converger en profundidad. Al primer sistema que buza 70°-80° al Norte y se localiza en la parte media y Sur del distrito, pertenecen una gran cantidad de fracturas, entre las que se encuentran las fracturas inversas mineralizadas de Andalucía, Restauradora (Principal), Cometa, Elena, Yanamina, Travieso, Alianza y Yanacrestón.

2.3.3. Tipo de Depósito

Mineralización: está compuesta por sulfuros: esfalerita (sl), galena (gn), calcopirita con trazas de sulfosales de cobre (tetrahedrita-tennantita) (td) y sulfosales de plata (pirargirita) asociadas con pirita (py), marcasita y hematita (hm). La ganga no

metálica lo constituyen el cuarzo (qz), rodonita y carbonatos (calcita (ca), dolomita (do), rodocrosita (rd), ankerita y siderita).

Estructuras en vetas de Chungar: el yacimiento Chungar cuenta con más de 20 estructuras, siendo 8 estructuras mineralizadas polimetálicas (Pb, Zn, Ag, Cu) las que se han desarrollado y explotado actualmente, con longitudes de pocas centenas de metros (veta noreste – 300 metros) hasta longitudes mayores a 1800 metros (veta Principal y veta Precaución), con profundidades de 500 metros y potencias de 0.8 metros a 15 metros. Las estructuras E – W, con buzamientos entre 75° a 90°, estas estructuras al cortar diques monzoníticos se ramifican y al ingresar a los conglomerados reemplazan a clastos calcáreos. Hay vetas como María Rosa, 085 y Lorena han sido disturbadas por fallamiento postmineral transversal o concordante; estos aunados a la fuerte alteración hidrotermal de las cajas caolinización y silicificación.

2.4. Descripción del Método Corte y Relleno Ascendente en Unidad Minera Chungar-Animón

2.4.1. Descripción General del Método

El método de minado más común en la unidad minera de Chungar es el *Cut and Fill*, se caracteriza en cortar rebanadas horizontales de 150 metros, con alturas de 3 x 3 metros de ancho, con perforación horizontal tipo *breasting*, luego de realizado el corte, se realiza la limpieza del mineral, para continuar con el relleno hidráulico y detrítico, dejando una luz de 0.5 metros, que servirá de cara libre para el corte superior. Se realiza en 4 frentes en forma simultánea para mejorar la productividad, los cuales son direccionados por dos brazos que conectan a la rampa de acceso.

2.4.2. Explotación

La perforación: la perforación se realiza mediante una perforadora Jumbo.

La voladura: se usa: semexsa del 65%, semexsa de 45%, exadit 45%.

La limpieza: se usan *Scoop* eléctrico o *Scoop diesel* de 3.5 yd³, usados principalmente en los tajeos.

Sostenimiento: se usan los pernos cementados de 5', 7' y 8', así mismo se usa el concreto lanzado vía seca (*shotcreteo*) con fibra de 2" obteniendo una $f'c=375$ kg/cm².

Relleno hidráulico: el relleno hidráulico, tiene una densidad de 1950 gr/l, se transporta mediante tuberías de 4" desde la planta de relleno en superficie, producto del *overflow*.

2.5. Bases Teóricas del Estudio

El relleno hidráulico en la unidad minera Chungar se genera producto del relave de la planta concentradora, el cual se envía a dos hidrociclones, los cuales son clasificados en el *underflow* y el *overflow*, de acuerdo a su granulometría y velocidad de sedimentación.

El material que se clasifica en el *underflow* se envía a interior de mina transportado con agua, generando una pulpa, considerado relleno hidráulico, el cual servirá como relleno para los diferentes tajeos minados en los diferentes niveles de la unidad minera, mientras que el material clasificado como *overflow* son enviados a la relavera.

El relleno hidráulico en la unidad minera Chungar está en constante evaluación, por lo que su uso es mayor en proporción a las diferentes unidades básicas de explotación, siendo en algunos casos el uso de relleno detrítico. La finalidad del relleno hidráulico es generar piso, para continuar con la perforación y voladura, así como la limpieza y acarreo de material. Así mismo, genera la estabilidad inmediata de labores minadas y evita el colapso.

Este uso de relleno hidráulico o detrítico está relacionado a las condiciones de estabilidad de los diferentes tajeos minados, por lo que su uso está restringido a las propiedades geomecánicas del macizo rocoso.

El uso del relleno hidráulico, comparado con el relleno detrítico, permite tener una mejor productividad, sobre todo, en labores de profundización de la unidad minera.

2.5.1. Descripción del Unifamiliar del Relleno Hidráulico en Chungar

Debido al crecimiento del volumen de tratamiento y la cantidad de toneladas de relave apto para la operación de relleno hidráulico requiere de una alta confiabilidad en las operaciones de bombeo y de transporte de pulpa de relave desde la planta de relleno hacia interior de mina.

Durante junio del 2014, se realizó la uniformización de la línea de red de tuberías de relleno hidráulico estandarizando las tuberías de polietileno de HDPE de 4" \varnothing , acompañado de la estandarización general de la red principal de transporte de pulpa de relave a lo largo de las rampas y accesos desde el nivel 610 (bocamina de rampa Mirko) hasta el nivel 310 (comedor mina).

Se elaboró un plan de trabajo considerando todos los recursos necesarios como son: materiales y accesorios (tuberías, cadenas, alcayatas, hidrocopla), personal (con experiencia en instalación de tubería en labores permanentes y chimeneas), equipos (equipo utilitario, taladro para alcayatas, tecles) y horario (en horas muertas o de menor tráfico de equipos livianos). Los trabajos se realizaron sin perjudicar las operaciones de relleno hidráulico.

Se reemplazó el tramo de 700.0 metros de tubería de polietileno de HDPE P80 PN12.5 de un diámetro de 4" (\varnothing) para las 3 líneas y 6 600.0 metros de tubería de polietileno de HDPE PE 100 PN20 de un diámetro de 4" (\varnothing) también para las 3 líneas (4,5 y 6) que fueron instaladas entre los niveles 610 (superficie) hasta el nivel

310 (comedor de mina), siendo el desplazamiento por las vías de la rampa Mirko y Terry.

Uno de los objetivos de la instalación de tuberías de polietileno es optimizar el proceso de transporte de pulpa de relave para las operaciones de relleno hidráulico en interior de mina, y de esta manera reducir considerablemente las fallas en el proceso como es el arenamiento por causa de rotura de tubería o desempalmes en plena operación de bombeo.

a) Unifamiliar de relleno hidráulico

El layout de relleno hidráulico empieza con la concentración de mineral en la planta concentradora produciendo tres productos concentrados de Pb, Zn y Cu, el relave es tratado en la planta de relleno hidráulico Montenegro, en donde el material del *under flow* va hacia la planta de relleno hidráulico Esperanza acumulándose el material final que será transportado mediante tuberías a los diferentes tajeos a ser rellenos.

b) Unifamiliar de red de tuberías de relleno hidráulico

La producción de mineral en promedio es de 5,100 toneladas, el relleno hidráulico en la unidad minera Chungar se inicia en la planta Montenegro (5 hidrociclones) donde se acumula el relave que alimenta los silos 1 y 2, de allí se envía a la planta Esperanza que alimenta a los silos 3 y 4 para finalmente alimentar las distintas labores subterráneas de relleno hidráulico.

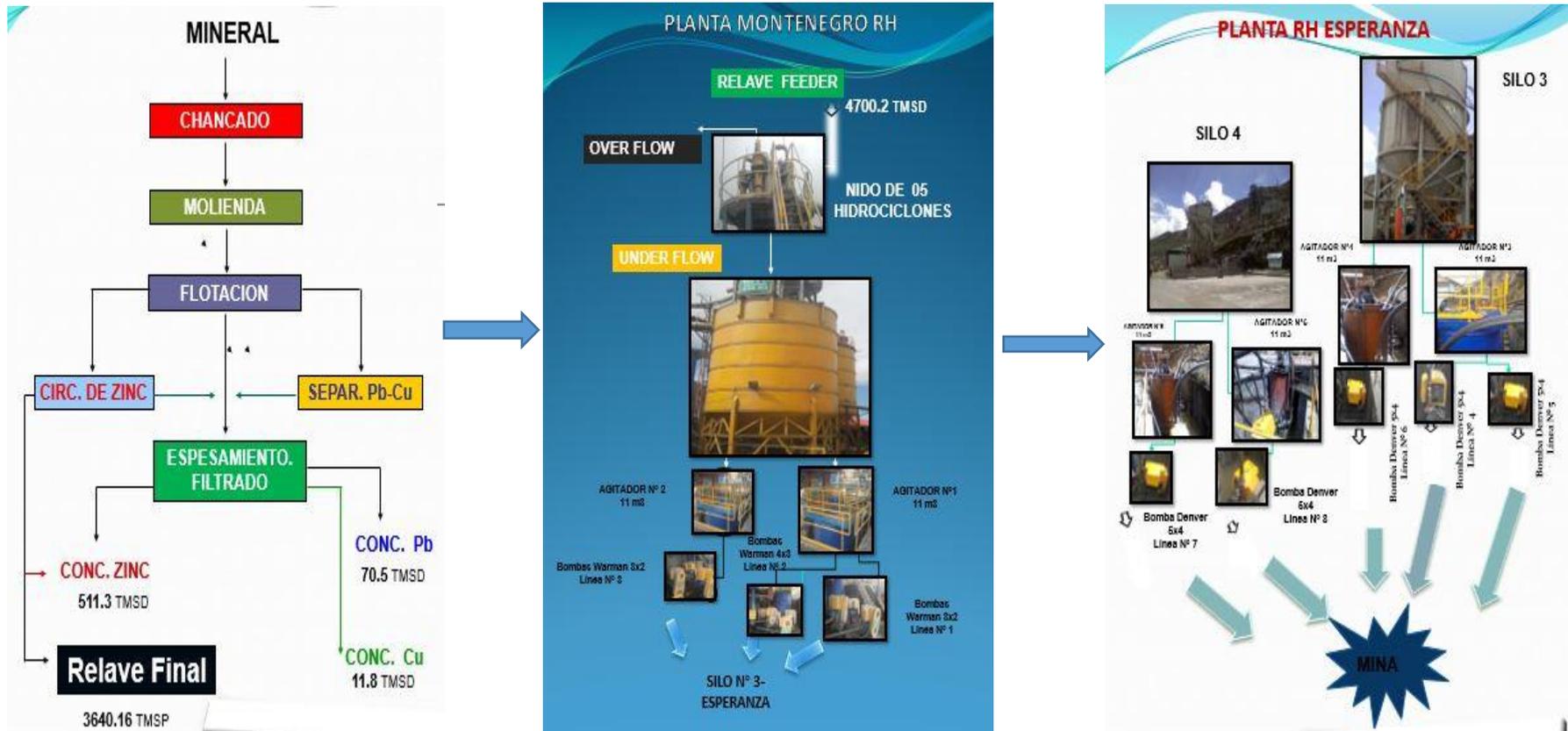


Figura 2. Unifamiliar del relleno hidráulico, unidad minera Chungar

UNIFAMILAR DE RED DE TUBERÍAS DE RELLENO HIDRAULICO DEL NIVEL 610 AL NIVEL 310

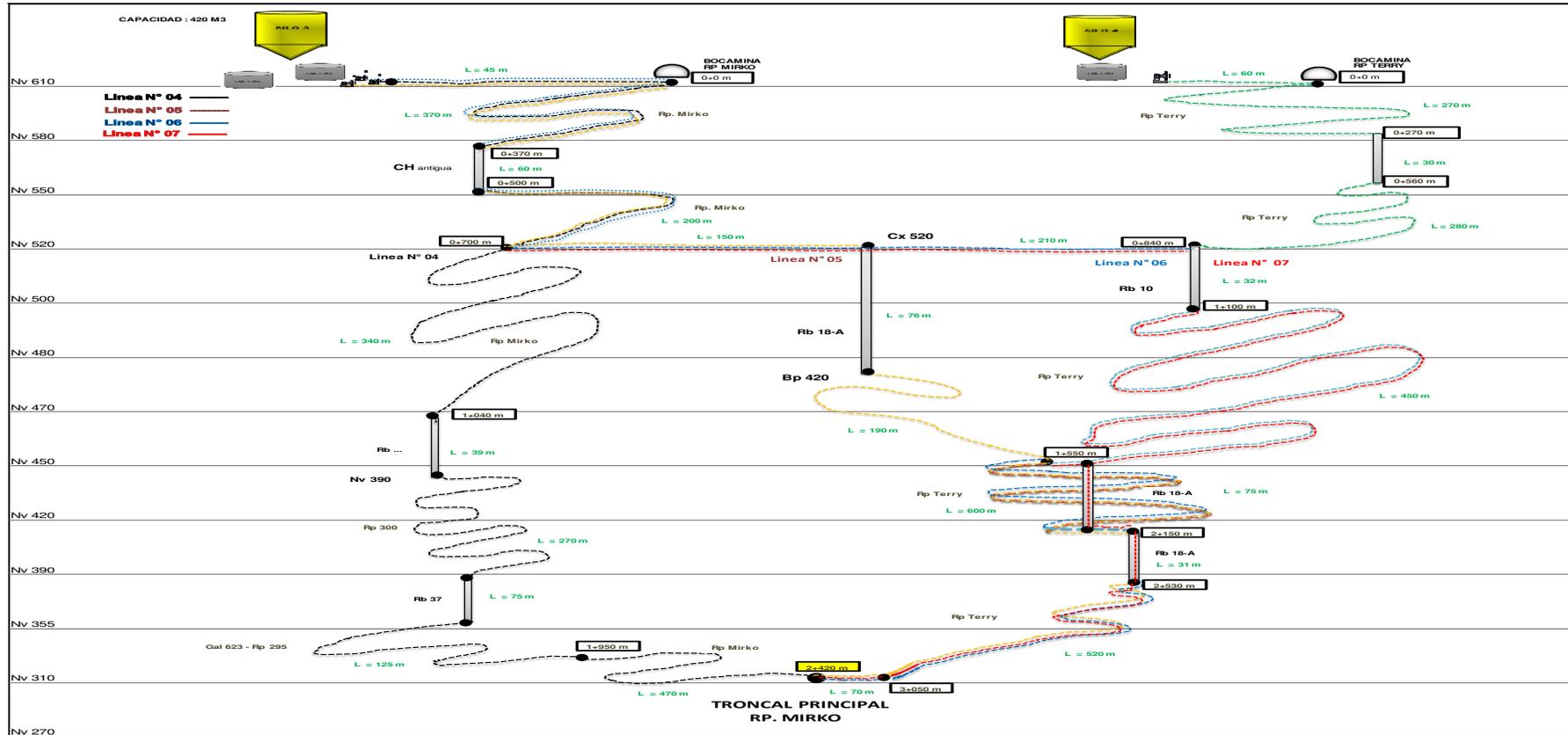


Figura 3. Unifamiliar de red de tuberías de relleno hidráulico, unidad minera Chungar

El tonelaje de relave generado por el procesamiento del mineral y que es enviado a planta de relleno hidráulico para su clasificación en la batería de hidrociclones D15 ubicados en el silo 1 de la planta en la zona de Montenegro, se ha logrado una eficiencia de U/F de 45% lo que genera aproximadamente 2,258.25 tmd de sólidos de relave aptos para una operación óptima de relleno y transporte de pulpa hacia interior de mina, como se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 4.
Disponibilidad de relleno hidráulico a mina

TRA TAMIENTO T.M.S.D	RADIO CONCENTRACION	CONCENTRADOS T.M.S.D	RELAVES T.M.S.D	
5,674.88	8.64	656.55	5,018.33	
HDROCICLONES PLANTA RH	U	2,258.25	45.00%	
	O	2,760.08	55.00%	
	F	5,018.33	100.00%	
	EFICIENCIA DE CLASIFICACION (U/F)		45.0%	
DISPONIBILIDAD DE R/H			T.M.S.D	2,258.25

El volumen clasificado ingresa a los silos 1 (capacidad: 220 m³) y silo 2 (capacidad: 240 m³) para luego ser enviadas a través de 3 líneas de bombeo que se detalla a continuación:

- ✓ Línea 1, (2 bombas warman 4 x 3 de 100 HP c/u)
- ✓ Línea 2, (3 bombas warman 4 x 3 de 50 HP c/u)
- ✓ Línea 3, (3 bombas warman 3 x 2 de 50 HP c/u)

El transporte de la pulpa de relave se realiza desde los silos 1 y 2 ubicados en la zona de Montenegro hasta la zona de Esperanza donde se encuentran ubicados los silos 3 (capacidad: 412 m³, ubicado en bocamina de rampa Mirko) y silo 4 (capacidad: 450 m³, ubicado en bocamina Terry) por medio de tuberías de polietileno de HDPE PE 100 PN 20 de 4" ø en una longitud de 1 760 m.

Los silos 3 y 4 sirven para el almacenamiento temporal para luego ser enviados a los tajos en interior de mina utilizando para tal fin 4 líneas de bombeo que a continuación se detallan:

- ✓ Línea 4, (1 bomba Denver 5 x 4 de 50 HP) ubicado en bocamina de rampa Mirko.
- ✓ Línea 5, (1 bomba Denver 5 x 4 de 50 HP) ubicado en bocamina de rampa Mirko.
- ✓ Línea 6, (1 bomba Denver 5 x 4 de 50 HP) ubicado en bocamina de rampa Mirko.
- ✓ Línea 7, (1 bomba Denver 5 x 4 de 50 HP) ubicado en bocamina de rampa Terry.

El transporte de la pulpa de relave desde los silos 3 y 4 se realiza por medio de tuberías de polietileno de HDPE PE 80 PN 12.5 de 4" ø.

Como se detalló líneas arriba al incrementarse la generación de volumen de pulpa de relave para la operación de relleno en mina, también ha sido directamente proporcional al incremento en el requerimiento de horas de bombeo en la planta de relleno hidráulico del silo 3 de la zona de Esperanza como se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 5.
Horas de bombeo por la línea de relleno a mina

Mes/Hrs	Línea N° 04	Línea N° 05	Línea N° 06	Total
Enero	253.20	315.30	246.30	814.80
Febrero	265.40	376.70	268.60	910.70
Marzo	232.99	375.47	230.60	839.06
Abril	311.40	305.30	245.95	862.65
Mayo	363.50	392.10	356.70	1,112.30
Prom edio/Mes	285.30	352.97	269.63	907.90
Promedio/Dia	9.5	11.8	9.0	30.3

Como muestra el cuadro anterior, se requiere en promedio 30.3 horas como mínimo de operación de bombeo a diario para que, de esta manera, lograr satisfactoriamente el consumo de toda la pulpa de relave que se genera en planta de relleno.

El total de longitud de tubería en la red principal de relleno hidráulico es de 7080 metros, considerando desde los silos 3 y 4.

Tabla 6.

Longitud de tubería en la red principal de relleno hidráulico, unidad minera Changar

CALCULO DE LA LONGITUD Y TIPO DE TUBERIA EN LA INSTALACION DE LA RED PRINCIPAL DE RELLENO HIDRAULICO

ITEM	DESCRIPCION	CARACTERISTICAS	METROS	TOTAL
SILO N° 03 - ESPERANZA LINEA: 04				
1	Rp Mirko del Nv 610 al Nv 570	Tub. HDPE PN 12.5, 4" ø	400.0	400.0
2	Rb 10 del Nv 570 al Nv 540	Tub. HDPE PN 20, 4" ø	40.0	40.0
3	Rp Mirko del Nv 540 al Nv 520	Tub. HDPE PN 12.5, 4" ø	400.0	400.0
4	Rb 10 del Nv 520 al Nv 420	Tub. HDPE PN 20, 4" ø	100.0	100.0
5	Rp Mirko del Nv 420 al Nv 390	Tub. HDPE PN 12.5, 4" ø	300.0	300.0
6	Rb 18 del Nv 390 al Nv 355	Tub. HDPE PN 20, 4" ø	80.0	80.0
7	Rp Mirko del Nv 355 al Nv 310	Tub. HDPE PN 12.5, 4" ø	300.0	300.0
TOTAL				1,620.00
SILO N° 03 - ESPERANZA LINEA: 05				
1	Rp Mirko del Nv 610 al Nv 570	Tub. HDPE PN 12.5, 4" ø	480.0	480.0
2	Rb 10 del Nv 570 al Nv 540	Tub. HDPE PN 20, 4" ø	60.0	60.0
3	Rp Mirko del Nv 540 al Nv 520	Tub. HDPE PN 12.5, 4" ø	400.0	400.0
4	Rb 18 del Nv 520 al Nv 420	Tub. HDPE PN 20, 4" ø	80.0	80.0
5	Rp Mirko del Nv 420 al Nv 390	Tub. HDPE PN 12.5, 4" ø	250.0	250.0
6	Rb 18 del Nv 390 al Nv 355	Tub. HDPE PN 20, 4" ø	80.0	80.0
7	Rp Mirko del Nv 355 al Nv 310	Tub. HDPE PN 12.5, 4" ø	300.0	300.0
TOTAL				1,650.00
SILO N° 03 - ESPERANZA LINEA: 06				
1	Rp Mirko del Nv 610 al Nv 570	Tub. HDPE PN 12.5, 4" ø	420.0	420.0
2	Rb 10 del Nv 570 al Nv 540	Tub. HDPE PN 20, 4" ø	60.0	60.0
3	Rp Mirko del Nv 540 al Nv 420	Tub. HDPE PN 12.5, 4" ø	550.0	550.0
4	Rp Mirko del Nv 420 al Nv 390	Tub. HDPE PN 12.5, 4" ø	390.0	390.0
5	Rp Mirko del Nv 390 al Nv 310	Tub. HDPE PN 12.5, 4" ø	450.0	450.0
TOTAL				1,870.00
SILO N° 04 - ESPERANZA LINEA: 07				
1	Rp Terry del Nv 610 al Nv 520	Tub. HDPE PN 12.5, 4" ø	600.0	700.0
2	CH 520 del Nv 520 al Nv 490	Tub. HDPE PN 20, 4" ø	40.0	40.0
3	Rp Terry del Nv 490 al Nv 390	Tub. HDPE PN 12.5, 4" ø	650.0	650.0
4	Rp Terry del Nv 390 al Nv 310	Tub. HDPE PN 12.5, 4" ø	550.0	550.0
TOTAL				1,940.00
TOTAL DE METROS DE TUBERIAS DE POLIETILENO DE HDPE DE 4" ø				7,080.00 m

c) Cálculo de la velocidad de bombeo y velocidad crítica

La velocidad real de la pulpa en la tubería, comparada con su correspondiente velocidad crítica, es lo suficientemente mayor para garantizar un funcionamiento continuo (evitando el arenamiento), aun contemplando el desgaste de la tubería dentro de los límites razonables.

✓ Cálculo de la velocidad de bombeo:

Datos:

V = velocidad de bombeo

Q = caudal

A = área interna de tubería

d = diámetro interno de tubería

$$V = \frac{Q}{A} \qquad A = \pi \frac{d^2}{4}$$

Q =	65.00	m ³ /h	0.0181	m ³ /s	
D =	4.00	pulg			
A (PN 20) =	0.0061	m ²	D (PN 20) =	0.0879	m
A (PN 16) =	0.0067	m ²	D (PN 16) =	0.0927	m
A (PN 12.5) =	0.0073	m ²	D (PN 12.5) =	0.0967	m
V (PN 20) =	2.98	m/s			
V (PN 16) =	2.68	m/s			
V (PN 12.5) =	2.46	m/s			

✓ Cálculo de la velocidad crítica:

Datos:

Fl = parámetro de cálculo 1.45

g = gravedad 9.8

gs = gravedad específica 2.9

ρ = densidad de pulpa 1.785

$$V_c = Fl \sqrt{2 \cdot g \cdot d \cdot \frac{g_s - \rho}{\rho}}$$

$$\begin{aligned} V_c \text{ (PN 20)} &= 1.50 \\ V_c \text{ (PN 16)} &= 1.54 \\ V_c \text{ (PN 12.5)} &= 1.58 \end{aligned}$$

Tabla 7.

Especificaciones estándar para los materiales y tuberías de polietileno basadas en el diámetro exterior, unidad minera Chungar

CARACTERISTICAS DE LA MATERIA PRIMA: Para la fabricación de las tuberías de Polietileno, bajo las Normas ASTM; utilizamos resina PE 3480 con una Clasificación de celda 345464C; la cual cumple con los requisitos de la Norma ASTM D 3350. Garantizandose un Esfuerzo Hidrostático de Diseño de 1600 psi.

NORMA ASTM F -714 / ASTM D 3350

ITEM	DESCRIPCION	TIPO	CLASE	Ø NOMINAL TUBERIA (pulg)	Ø EXTERIOR (mm)	ESPECIF.	PRESION (psi)	PRESION (bares)	e PARED (mm)	Ø INTERIOR (mm)	VELOCIDAD DE BOMBEO (m3/h)	VELOCIDAD CRITICA (m/s)	% EFICIENCIA (%F)
1	Tuberia de polietileno HDPE	PE 100	PN 12.5	4	114.30	SDR 13.5	128.00	8.82	8.42	96.70	2.46	1.58	35.80
2	Tuberia de polietileno HDPE	PE 100	PN 16	4	114.30	SDR 11	160.00	11.03	10.39	92.68	2.68	1.54	42.27
3	Tuberia de polietileno HDPE	PE 100	PN 20	4	114.30	SDR 9	177.78	12.26	12.70	87.88	2.98	1.50	49.45
4	Tuberia de polietileno HDPE	PE 100	PN 12.5	5	141.30	SDR 13.5	128	8.82	10.46	119.53	2.34	1.7	27.35
5	Tuberia de polietileno HDPE	PE 100	PN 16	5	141.30	SDR 11	160	11.03	12.85	114.58	2.54	1.6	37.01
6	Tuberia de polietileno HDPE	PE 100	PN 20	5	141.30	SDR 9	177.78	12.26	15.70	108.64	2.83	1.6	43.46
7	Tuberia de polietileno HDPE	PE 100	PN 20	6	168.28	SDR 9	177.78	12.26	18.69	129.39	1.73	1.8	-4.05

2.5.2. Características del Relleno Hidráulico - Planta Concentradora

Actualmente la planta concentradora está procesando 5500 tm/día, este mineral es acopiado de la mina principal (Animón) y de otras minas cercanas.

Tabla 8.
Balance metalúrgico mensual, unidad minera Chungar

BALANCE METALURGICO MENSUAL													
PROD.	T.M.S	LEYES				CONTENIDO METALICO				RECUPERACIONES			
		%Pb	%Zn	%Cu	Ag (Oz/T)	Pb	Zn	Cu	Ag	%Pb	%Zn	%Cu	Ag
CABEZA	5500	1.71	6.21	0.16	5.57	93.9	342	8.6	30625	100.0	100.0	100.00	96.57
Conc.Cu	16	8.94	6.27	24.4	787.2	1.4	1.0	3.8	12323	1.49	0.29	44.39	38.86
Conc.Pb	123	66.12	5.60	0.84	84.45	81.2	6.9	1.0	10371	86.45	2.01	12.01	32.70
Conc.Zn	548	0.75	58.22	0.49	7.51	4.1	319.3	2.7	4117	4.38	93.47	31.27	12.98
RELAVE	4813	0.15	0.30	0.02	1.02	7.2	14.4	1.1	4902	7.69	4.23	12.33	15.46
Cab. Cal.	5500.00	1.71	6.21	0.16	5.77	93.9	342	8.6	31712	100.0	100.0	100.0	100.0
		Rc Pb =	44.79	Rc Zn =	10.03		Rc Cu =		351.36				84.54

A partir del balance metalúrgico, se obtiene un radio de concentración total de 8 generando un total de relave de 4,813 tm/día.

A partir del análisis granulométrico de la alimentación al nido de ciclones y el análisis granulométrico a la salida del *Under* y *Over Flow*, se puede estimar el porcentaje del relave disponible para el relleno hidráulico:

Tabla 9.
Alimentación de relave al nido de ciclones, unidad minera Chungar

ALIMENTO			
MALLA	PESO	% PESO	ACUMULADO
	300 (g)		
+45	41.20	13.73	13.73
+70	36.50	12.17	25.90
+100	30.50	10.17	36.07
+150	29.50	9.83	45.90
+200	23.70	7.90	53.80
+270	17.30	5.77	59.57
+325	9.40	3.13	62.70
-325	111.90	37.30	100.00
G.E	2.91		

Tabla 10.
Over flow de relave, unidad minera Chungar

O/F			
MALLA	PESO	% PESO	ACUMULADO
	300 (g)		
+45	2.80	0.93	0.93
+70	4.00	1.33	2.27
+100	6.80	2.27	4.53
+140	17.60	5.87	10.40
+200	25.30	8.43	18.83
+270	24.90	8.30	27.13
+325	14.00	4.67	31.80
-325	204.60	68.20	100.00

G.E	2.83
-----	------

Tabla 11.
Under flow de relave, unidad minera Chungar

U/F					
MALLA	PESO	% PESO	ACUMULADO	PESO	% UF
	300 (g)			600 (g)	
+45	74.50	24.83	24.83	77.30	96.38
+70	63.20	21.07	45.90	67.20	94.05
+100	49.40	16.47	62.37	56.20	87.90
+140	40.10	13.37	75.73	57.70	69.50
+200	23.70	7.90	83.63	49.00	48.37
+270	13.00	4.33	87.97	37.90	34.30
+325	4.30	1.43	89.40	18.30	23.50
-325	31.80	10.60	100.00	236.40	13.45

G.E	2.88	58.43 %
-----	------	---------

Se estima que un 58.43% del relave pasa por el *underflow*, para efectos prácticos se redondea en 60%, lo que permite estimar que se tiene 2,887.8 tm/día de relave disponibles para el relleno hidráulico en los diferentes tajeos de la mina.

2.5.3. Características del Relleno Hidráulico – Casa de Bombas

a. Bombas centrífugas: una bomba es una máquina hidráulica que generalmente transforma energía mecánica en energía hidráulica que es aplicada a un líquido incompresible y como resultado se obtiene su movimiento en forma de flujo.

Existen diferentes tipos de bomba, pero se pueden resumir en dos: bombas de desplazamiento positivo o volumétricas y bombas rotodinámicas; las bombas centrífugas pertenecen al segundo tipo de bomba.

Las bombas centrífugas tienen una característica de funcionamiento definida por los parámetros característicos de dicho funcionamiento, el cual es conocido como régimen de bombeo. El cambio de alguno de estos parámetros genera una variación total del régimen de bombeo; cualquier régimen de bombeo que se encuentre dentro de las curvas de funcionamiento (proporcionadas por el fabricante) determinará una eficiencia que lo caracteriza, es decir, pequeñas variaciones dentro de los parámetros de funcionamiento de las bombas centrífugas pueden convertir una bomba con un régimen eficiente en una bomba con un régimen bastante menos eficiente.

Todo esto conlleva a definir un punto de máxima eficiencia conocido como BEP (del inglés *Best Efficient Point*). En el cálculo o diseño de una línea de bombeo (régimen de bombeo) es deseable que la bomba trabaje lo más cerca posible al mencionado punto.

Las bombas centrífugas por su diseño mecánico pueden alcanzar hasta un 65% de eficiencia mecánica; una pequeña variación en su régimen de bombeo puede llevarnos a una eficiencia sumamente menor (por ejemplo, 35%). Estas variaciones en los regímenes de bombeo se reflejarán en el consumo de energía eléctrica y por consiguiente en el costo del bombeo.

Otro de los aspectos a tener en consideración a la hora de elegir un régimen de bombeo es la velocidad de la bomba, sobre todo si se bombea pulpas con

elementos abrasivos como es el caso de las bombas de relleno hidráulico. El desgaste del impulsor, el de la caja de la bomba y el de otros elementos se relacionan de manera exponencial en función de la velocidad.

Una bomba de relleno hidráulico que trabaje con una velocidad de bombeo alto generará una mayor utilización de consumibles y esto también se reflejará en los costos de bombeo. La protección de estos consumibles con polímeros tales como el neopreno reducen el desgaste, pero la relación exponencial, entre el desgaste y la velocidad, permanece.

b. Sello de agua: para hermetizar la bomba es necesaria la utilización de sellos mecánicos, generándose el contacto entre la superficie del eje, que es un elemento móvil (está girando), y el cuerpo del sello, que es un elemento fijo. En el caso de bombear pulpas con contenido de sólidos abrasivos estos elementos abrasivos pueden situarse entre el sello y el eje generando un desgaste por el rozamiento de las partículas abrasivas con el eje. Para evitar este tipo de desgaste se genera un flujo continuo de agua que forma una película líquida entre el eje y el sello que se desplaza hacia la masa de relave formando de esta manera una barrera líquida que no bloquea el ingreso de las mencionadas partículas abrasivas a los puntos de contacto.

Para que esta barrera protectora se pueda formar es necesario que la presión del agua (formadora de la barrera) sea mayor que la presión del relave en esa zona de contacto. El inconveniente de este sistema de protección es la disminución de la densidad de la pulpa por el incremento del líquido que forma el sello de agua; por lo tanto, el flujo de agua para la formación de dicha barrera debe ser el mínimo posible (tendiente a cero). Esto solo se logra con bombas volumétricas, las cuales mantienen el valor del flujo de agua constante sin importar las variaciones de presión que puedan surgir en la zona de formación del sello de agua.

c. Regímenes de bombeo: una bomba centrífuga es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética y potencial requeridas. Aunque la fuerza centrífuga producida depende tanto de la velocidad en la periferia del impulsor como de la densidad de la pulpa, la energía que se aplica por unidad de masa de la pulpa es independiente de la misma. Por lo tanto, en una bomba dada que funcione a cierta velocidad y que maneje un volumen definido de pulpa, la energía que se aplica y transfiere a la pulpa es la misma para cualquier líquido sin importar su densidad, por lo tanto, la carga o energía de la bomba se da en metros y por eso es que se le conoce generalmente a esta característica como altura de bombeo. La cantidad de pulpa expulsada por la bomba, bajo las condiciones de una altura determinada, se denomina caudal de bombeo.

A partir del conocimiento de los valores de la altura y el caudal de bombeo se puede determinar la velocidad del impulsor (RPM), la eficiencia de la bomba y la potencia requerida. Estos dos parámetros principales (altura y caudal) mencionados previamente determina el régimen de bombeo; una pequeña variación de cualquiera de estos dos parámetros puede generar cambios sustanciales en el régimen de bombeo.

La altura de bombeo está definida por la altura estática y la altura dinámica; la primera depende principalmente de las características físicas de la pulpa y la distancia vertical que se desea alcanzar con el bombeo. La segunda depende principalmente de las características físicas (diámetro interno, material y longitud) de la tubería que se está utilizando.

La altura estática, en un sistema de bombeo, permanece generalmente constante cuando se trabaja con fluidos newtonianos. La altura dinámica puede cambiar significativamente cuando se modifica el diámetro interno de la(s) tubería(s) sea por cambio o por desgaste de esta(s).

En este caso, bombeo de pulpa de relave, el régimen de bombeo seleccionado debe asegurar un flujo cuya velocidad real supere la velocidad crítica.

d. Grado de automatización: el grado de automatización de una casa de bombas varía desde un sistema manual de control y toma de decisiones hasta un sistema totalmente inteligente de control y toma de decisiones. Ambos extremos resultan onerosos; generalmente el grado de automatización óptimo se encuentra en un punto intermedio de este intervalo.

El grado óptimo de automatización deberá disminuir en una gran medida los costos fijos (mano de obra) y asegurar la disponibilidad y pleno funcionamiento del sistema de bombeo.

Un sistema automatizado de bombeo se puede considerar óptimo si:

- Mantiene estable un régimen de bombeo seleccionado con anterioridad.
- Provee información confiable sobre el estado de los equipos y administra un sistema de mantenimiento predictivo.
- Provee un sistema de reportes técnico-económicos.
- Genera ahorros que justifiquen su implementación.
- Asegura una mejora en la calidad y productividad del trabajo del operador y en el desarrollo del proceso.

2.5.4. Características del Relleno Hidráulico – Líneas de Bombeo

Actualmente existen tres líneas de bombeo:

- Línea 1 (2 bombas Warman 4x3 de 100 HP c/u)
- Línea 2 (3 bombas Warman 4x3 de 50 HP c/u)
- Línea 3 (3 bombas Warman 3x2 de 50 HP c/u)

El material de la tubería que conforma las líneas 1, 2, y 3 es HDPE; la ventaja del uso de este tipo de material es que ofrece una mayor resistencia al desgaste por abrasión que el acero. Por el contrario, la resistencia que ofrece el material de

la tubería al paso de la pulpa (altura dinámica) es 27% menor que la resistencia que ofrecen las tuberías de acero.

Otra de las ventajas que ofrecen las tuberías de HDPE está relacionada con la facilidad de su instalación utilizando para esto el método de termofusión, el cual es fácil y económico.

Los diferentes accesorios para tuberías que existen en el mercado pueden ser utilizados para las tuberías HDPE.

Tabla 12.
Estándares de tubería para relleno hidráulico, Unidad Minera Chungar

	PN10		PN 12.5		PN16		PN20		
Diámetro nominal	Diámetro exterior	Espesor de la pared	Diámetro interno						
Pulg	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
2	63.0	3.80	55.40	4.70	53.60	5.80	51.40	7.10	48.80
3	90.0	5.40	79.20	6.70	76.60	8.20	73.60	10.10	69.80
4	110.0	6.60	96.80	8.10	93.80	10.00	90.00	12.30	85.40
5	125.0	7.40	110.20	9.20	106.60	11.40	102.20	14.00	97.00
6	160.0	9.50	141.00	11.80	136.40	14.60	130.80	17.90	124.20

a. Silo 3 y 4: una pulpa con 60% de sólidos, 1.65 kg/litro de densidad es una pulpa adecuada para el relleno hidráulico. El exceso de agua en cualquiera de los silos se debe principalmente a que se está bombeando una pulpa con un contenido de sólidos menor al 60%; esto puede estar sucediendo porque los regímenes de bombeo, principalmente la línea 1, están siendo forzados hacia los límites de la performance de la bomba; a esto hay que añadir la dilución que tiene la pulpa debido al agua que ingresa (necesaria para formar el sello de agua) a las bombas.

Si bien es cierto que las bombas, para formar el sello de agua, tienen un caudal de 17 m³/hora (4.7 litros/segundo) @ 180 metros de altura de presión (256 PSI) y parte de este caudal se desvía, nada garantiza que bajo estas condiciones

esté ingresando una mayor cantidad de agua que diluye la densidad de la pulpa y que se manifiesta en el exceso de agua, principalmente en el silo 3.

Una forma directa de solucionar este problema es controlar que la pulpa bombeada tenga la densidad requerida (1.65 kg/litro).

A manera de información se presenta un esquema (Figura 4) que ayudaría a eliminar el exceso de agua en los silos.

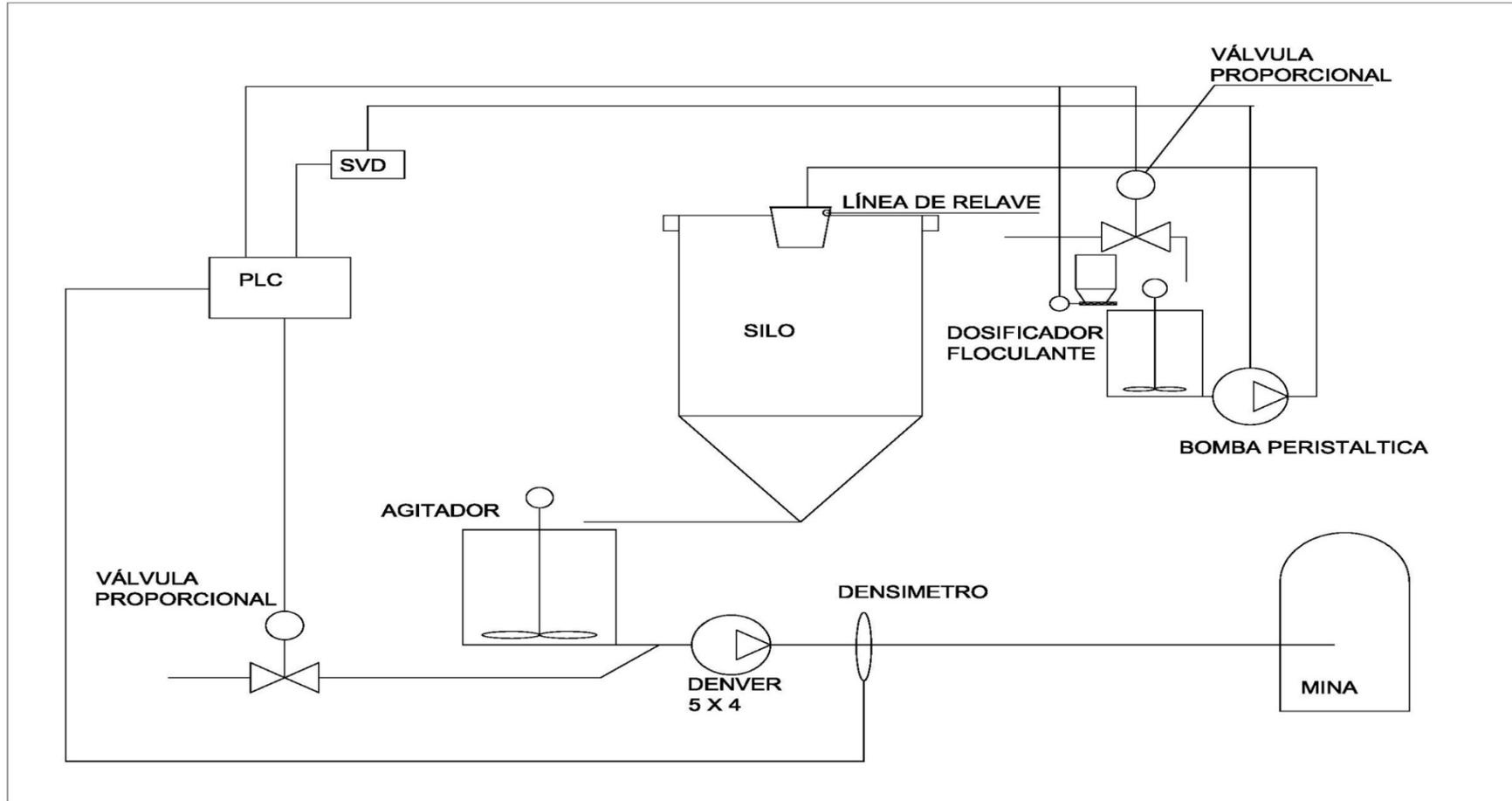


Figura 4. Esquema con solución para eliminar exceso de agua de los silos, unidad minera Chungar

✓ **Descripción del esquema:** en el esquema se puede observar un cilindro trapezoidal invertido ubicado en la parte superior central del silo; a este cilindro ingresa la pulpa tangencialmente generando una trayectoria helicoidal (remolino) la cual se aprovecha para el mezclado del floculante con la pulpa, ya que en la parte superior de este cilindro está instalado un dispensador en forma de anillo con ocho puntos de dispersión de floculante; como resultado de estas dos fuentes de alimentación se obtiene una mezcla con cierto grado de homogeneidad de pulpa y floculante.

Esta mezcla cae al silo en donde se lleva a cabo la formación del flóculo; la concentración de sólidos, por esta acción genera una liberación de agua que subirá a la parte superior del silo y se eliminará por una canaleta que circunscribe la parte superior del silo.

La alimentación de la pulpa de relave se continúa haciendo de la misma manera, es decir, alimenta al agitador. A la salida de la bomba, que es alimentada por el agitador, se instalará un densímetro analógico que permita tomar lecturas continuas de la densidad del relave (1.65 kg/l); con dichas lecturas se logrará controlar la densidad de la pulpa de relave. Cuando la densidad, por efecto del floculante, sobrepase la densidad deseada, una válvula se abrirá, en forma proporcional a la diferencia superior de la densidad deseada, lo que permitirá el ingreso de agua a la tubería que alimenta la bomba; todo lo anterior es controlado por un PLC. Al mismo tiempo, este PLC disminuirá el número de revoluciones de la bomba peristáltica que alimenta de floculante al silo.

Este proceso interactivo de control y corrección continuará hasta lograr una densidad estable.

En el caso en que la densidad sea inferior a la densidad deseada la alimentación del floculante se incrementará hasta un límite definido con el objetivo de eliminar el agua y aumentar la densidad de la pulpa.

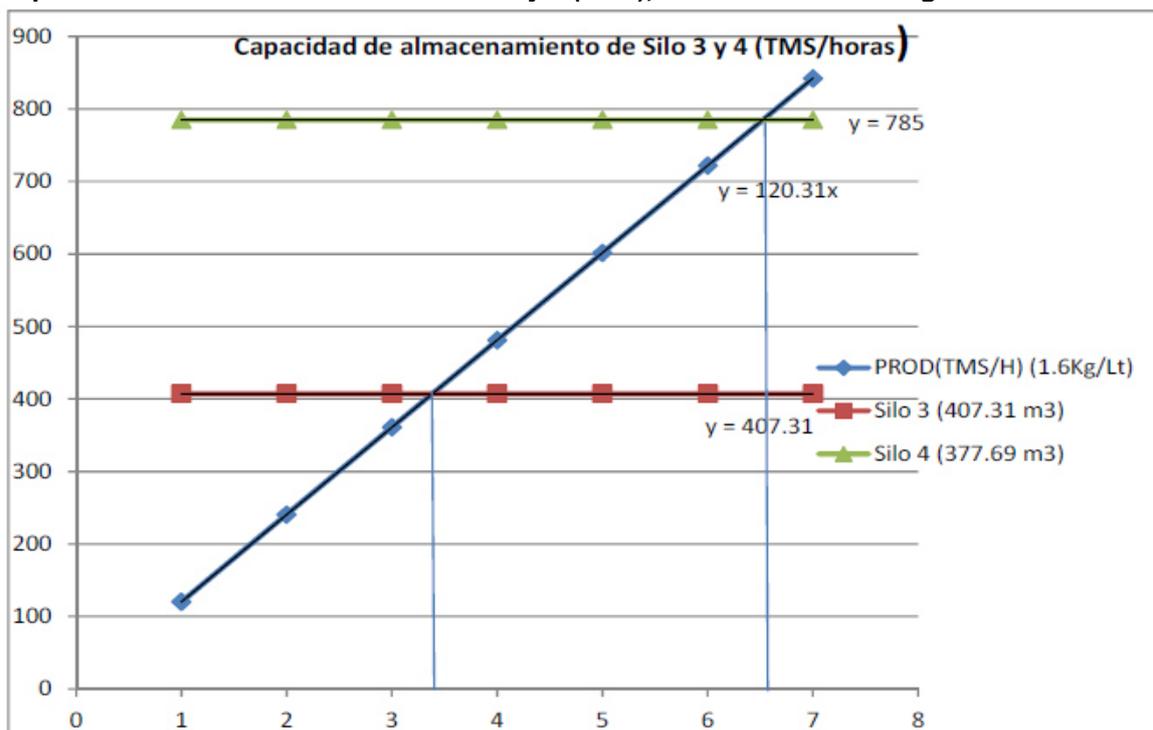
Este procedimiento, además de disminuir la cantidad de agua en forma controlada, permitirá incrementar la capacidad del contenido de relave en los silos 3 y 4, porque podemos elevar el nivel de la pulpa en función del agua que se ha extraído.

El problema que se presenta en el silo 3 (exceso de agua) está principalmente relacionado con la densidad de la pulpa que se está enviando desde la casa de bombas; para el control de esta densidad es necesario prever un sistema automático de control de densidad y al mismo tiempo optimizar el sistema de sello de agua existente.

2.5.5. Características del Relleno Hidráulico – Interior de Mina

a. Casa bombas bocamina: el relleno hidráulico de mina se inicia a partir de los silos 3 y 4 ubicados en B/M Mirko y en B/M Terry respectivamente; el silo 3 tiene una capacidad de almacenamiento de 412 m³ y el silo 4 una de 382 m³. La medición de la capacidad de almacenamiento de relave se realizará en tm de relave por hora (tm/h).

Tabla 13.
Capacidad de almacenamiento de silos 3 y 4 (tm/h), unidad minera Chungar



Con ayuda del gráfico se puede determinar que el silo 3 (línea roja) puede soportar un bombeo continuo durante 3.38 horas, con las dos líneas actuales (línea azul), juntos, el silo 3 y 4 pueden (línea verde) soportar un bombeo durante 6.52 horas.

El silo 3 alimenta 2 acondicionadores que a su vez alimentan 3 bombas Denver 5x4 modelo SRL C Frame 3.

El silo 4 alimenta dos acondicionadores que a su vez alimentan 2 bombas del mismo modelo descrito líneas arriba.

Es importante mencionar que dichas bombas han sido fabricadas en Perú por la empresa FIMA, en gran medida son una copia de las bombas *Goulds Pumps* SRL C 5x4, razón por la cual se utilizan las curvas de *Goulds Pumps* a falta de información por parte de la empresa FIMA.

Todas las bombas (silo 3 y 4) están funcionando bajo un solo régimen de bombeo:

- Flujo de 348 GPM o 74.04 m³/h (21.95 l/s)
- La presión de bombeo varía entre 45 a 60 PSI dependiendo de la línea de bombeo utilizada, esto equivale de 31.64 a 43.6 m de altura de bombeo.
- La eficiencia de la bomba es de 51.5%, pero considerando que no es la marca original se baja a 45%.
- La potencia requerida es de 28 HP, pero considerando las pérdidas por altura (4600 m s. n. m.) es de 38 HP.

2.5.6. Características del Relleno Hidráulico – Relleno en Tajeos

El método de minado que se aplica en la mina Chungar es el corte y relleno ascendente, se caracteriza porque el mineral es arrancado por franjas horizontales empezando por el nivel inferior del tajo y continúa en forma vertical; las rebanadas horizontales son de 2.5 m a 3 m de longitud de avance por una altura de 4 m. Lo

importante de la aplicación de este método es la perforación horizontal tipo *breasting*, es decir, que después de realizar un corte continúa con la etapa de relleno detrítico e hidráulico, dejando una luz de 0.50 metros como valor estándar, que servirá de cara libre para el corte superior.

Parámetros de dimensiones del tajeo:

- ✓ Longitud: 150 m
- ✓ Alto: 50 m
- ✓ Ancho: 3 a 5 m

Parámetros en labores de preparación:

- ✓ Rampa de acceso en "Z" (3.5 m x 3.0 m)
- ✓ *Bypass* (4.5 m x 4.5 m)
- ✓ Acceso de *bypass* a la veta (4m x 4m)

Parámetros de explotación:

- ✓ Perforación horizontal (*breasting*) con jumbo electrohidráulico de 12 pies
- ✓ Voladura con explosivos de baja densidad (emulsiones)
- ✓ Acarreo con *Scooptram* de 4.2 y 6 yd³
- ✓ Sostenimiento vía húmeda con *Shotcrete* más instalación de pernos *Hydrabolt* o *Split set*
- ✓ Relleno detrítico o hidráulico

Los blocks de mineral tienen una altura de 50 metros de nivel a nivel, con una longitud de 150 metros. Para poder minar los tajeos se diseñan dos accesos, con una gradiente tanto de 15% (-) y 15 % (+), y poder así explotar los 50 m de altura y los 150 metros de longitud que tienen los blocks de mineral, con 75 metros para cada lado del acceso.

a. **Consideraciones del relleno detrítico e hidráulico:** los tajeos explotados son rellenos en toda su longitud con desmonte mediante los *Scooptram*, la altura

de relleno detrítico es de 2.00 metros. Luego del relleno detrítico del tajo se procederá a realizar un dique con desmante al ingreso del tajo, para luego instalar las tuberías de PVC de 4" de diámetro, luego se procede a realizar un tapón de madera cubierta con tela artillera o yute, una vez concluido todo este trabajo se procederá con el relleno hidráulico. La planta de relleno hidráulico produce relaves ciclonados para ser utilizados como relleno solo y su rendimiento es de 30 m³/h, con una densidad de pulpa de 1700 gr/l a 1900 gr/l y es transportado a mina con una tubería de 4" de diámetro, los tajos se rellenan hasta una altura de 3.5 m dejando 0.5 m de luz como cara libre para un nuevo corte.

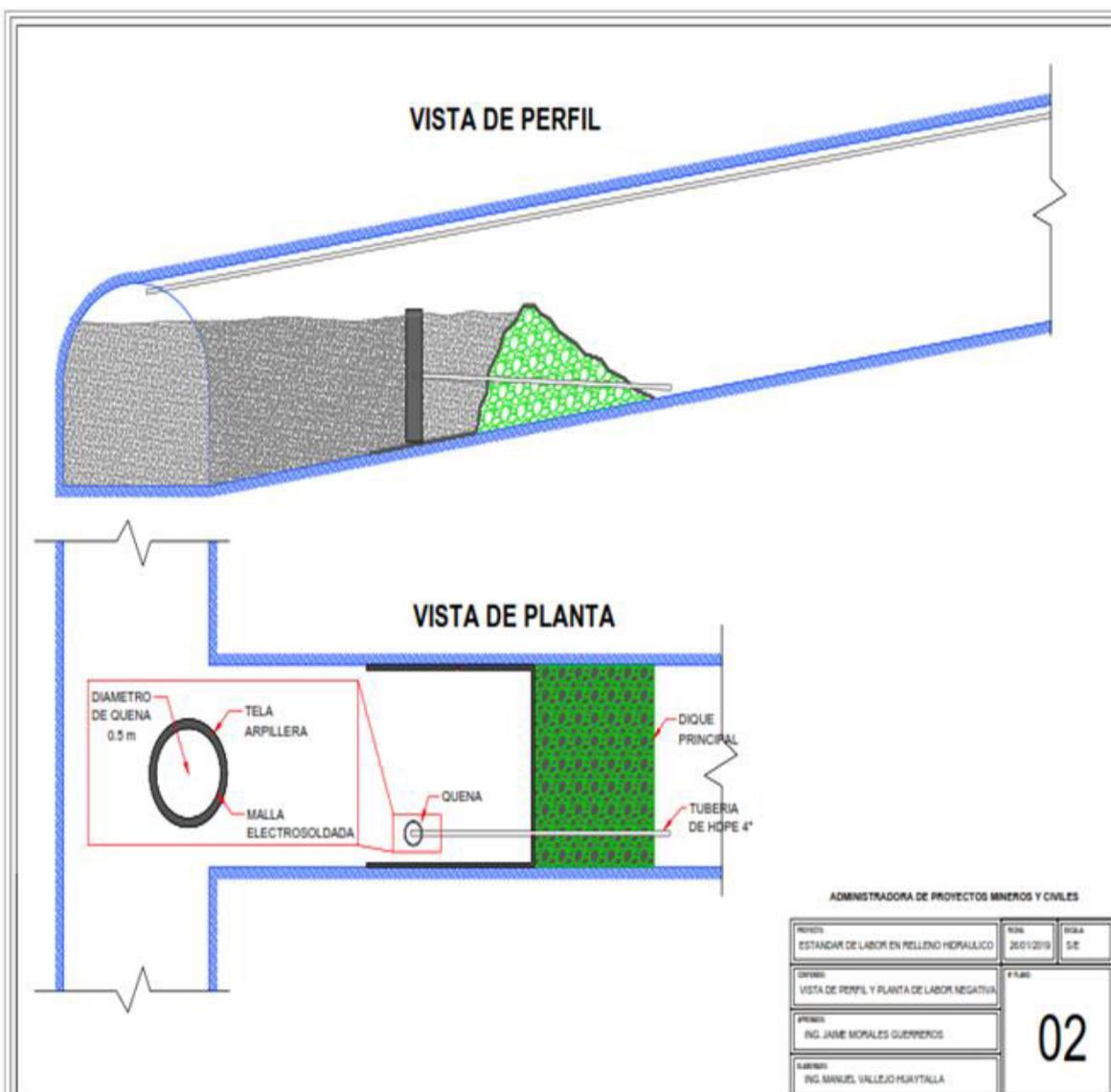


Figura 5. Diseño del relleno hidráulico, en método de minado Over Cut and Fill, unidad minera Chungar

2.6. Definición de Términos Básicos

ANFO: acrónimo de (*ammoniumnitrate and fuel oil*) nitrato de amonio y óleo combustible, mezcla utilizada en muchas minas como agente detonador.

Atacar: hace actuar sobre un mineral ciertos reactivos químicos, con el objeto de obtener elementos en solución.

Broca: extremidad cortante de un taladro, generalmente hecha de un material muy duro, como diamante industrial o carburo de tungsteno.

Burden: distancia desde el barreno al frente libre de la roca, medida perpendicular al eje del taladro.

Cara libre: se llama cara libre de labor a una zona o roca que se quiere volar, a cada uno de los lados que están en contacto con el aire, según un cubo imaginario tomado para comparación.

Carga específica: es la cantidad de explosivo usada por m³ de roca volada.

Carga de fondo: es la carga más potente que es requerida en el fondo del taladro, debido a que la roca es más resistente en esa parte.

Carga de columna: es la carga encima de la carga de fondo. Puede ser de menor potencia ya que la roca, en esta parte, no es tan resistente.

Costo de capital: es el gasto que una empresa realiza en bienes de equipo y que genera beneficios para una compañía, bien sea a través de la adquisición de nuevos activos fijos, o bien a través de un aumento en el valor a los activos fijos ya existentes.

Cordón detonante: es un cordón flexible que contiene un alma sólida de alto poder explosivo y resistencia a la tensión.

Costo de operación: es un costo permanente para el funcionamiento de un producto, negocio o sistema.

Detonador: es todo dispositivo que contiene una carga detonante para iniciar un explosivo, al que normalmente se le conoce con el nombre de fulminante. Pueden ser eléctricos o no, instantáneos o con retardo. El término detonador no incluye al cordón detonante.

Densidad: relación entre la masa y el volumen de una sustancia, o entre la masa de una sustancia y la masa de un volumen igual de otra sustancia tomada como patrón.

Diámetro del taladro: es el diámetro del agujero que se va a perforar, y que tiene forma de cilindro alargado.

Dilución: residuos de roca de bajo grado, inevitablemente retirados con el material en el proceso de mineralización, que contribuyen a bajar el grado de mineral.

Factor de carga: es la cantidad de explosivo usado para romper un volumen o peso unitario de roca. El factor de carga se indica mediante unidades de kg/m^3 o kg/t .

Frente: superficie libre en una voladura.

Fulminante común: es una cápsula cilíndrica de aluminio cerrada en un extremo, en cuyo interior lleva una determinada cantidad de explosivo primario muy sensible a la chispa de la mecha de seguridad y otro, secundario, de alto poder explosivo.

Inclinación de taladro: los taladros en un banco pueden ser perforados verticalmente o inclinados. Cuanto más se inclinen los taladros, menos constricción tendrán ya que el ángulo de deflexión en el fondo aumenta con el incremento de inclinación.

Longitud del taladro: es el largo del hueco perforado, el mismo que por una causa de la inclinación y la sobreperforación, será más largo que la altura del banco.

Malla: es la forma en la que se distribuyen los taladros de una voladura, considerando básicamente a la relación de burden y espaciamiento y su dirección con la profundidad de taladros.

Mecha lenta: es un accesorio para voladura que posee capas de diferentes materiales que cubren el reguero de pólvora.

Mecha rápida: es un accesorio (cordón flexible) que contiene dos alambres, uno de fierro y el otro de cobre; uno de los cuales está envuelto en toda su longitud por una masa pirotécnica especial, y ambos a la vez están cubiertos por un plástico impermeable.

Mecánica de las rocas: estudio de las propiedades mecánicas de las rocas, que incluye condiciones de tensión alrededor de las galerías y la capacidad de las rocas, y de las estructuras subterráneas de soportar estas tensiones.

Mineral: es todo compuesto químico inorgánico, que tiene propiedades particulares en cuyo origen no han intervenido los seres orgánicos, y se encuentran en lo interior o en la superficie de la tierra, tales como metales, piedras, etc.

Parámetros: se denomina así, a los diversos ratios obtenidos en la práctica, a través de la observación en el lugar de trabajo.

Perforación: es la primera operación en la preparación de una voladura. Su propósito es el de abrir en la roca huecos cilíndricos destinados a alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores, denominados taladros, barrenos, hoyos, o *blast hole*.

Proceso de voladura: es un conjunto de tareas que comprende el traslado del explosivo y accesorios de los polvorines al lugar del disparo, las disposiciones

preventivas antes del carguío, el carguío de los explosivos, la conexión de los taladros cargados, la verificación de las medidas de seguridad, la autorización y el encendido del disparo.

Procedimientos escritos de trabajo seguro (PETS): documento que contiene la descripción específica de la forma cómo llevar a cabo o desarrollar una tarea de manera correcta desde el comienzo hasta el final, dividida en un conjunto de pasos consecutivos o sistemáticos. Resuelve la pregunta: ¿Cómo hacer el trabajo / tarea de manera correcta?

Relleno: se define como material que sustituye al mineral arrancado o explotado en los métodos de explotación.

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 técnica y económicamente viables.

Relleno detrítico: material que sirve para rellenar los espacios vacíos principalmente compuesto de material estéril o roca, generalmente procedente de labores subterráneas excavadas en estéril.

Roca: cualquier combinación natural de minerales, las rocas forman parte de la corteza terrestre.

Sobre perforación: es el exceso de longitud de un taladro, situado bajo el fondo teórico del banco.

Subterráneo: excavación natural o hechas por el hombre debajo de la superficie de la tierra.

Tanda: es el número de taladros de perforación efectuados en una tarea normal de 8 horas al día.

Techo: techo o bóveda de una galería subterránea.

Voladura: de acuerdo con los criterios de la mecánica de rotura, la voladura es un proceso tridimensional, en el cual las presiones generadas por explosivos confinados dentro del taladro perforados en roca originan una zona de alta concentración de energía que produce dos efectos dinámicos; fragmentación y desplazamiento.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Método y Alcances de la Investigación

3.1.1. Método de la Investigación

El método empleado en la investigación es un nivel explicativo, logrando la mejora de la productividad en el sistema de relleno hidráulico. El método que se desarrolla es inductivo - deductivo, ya que se inicia de casos particulares a generales para luego interpretarlos. Siendo el resultado la mejora de la productividad del sistema de relleno hidráulico.

A. Método general

El método empleado en la investigación es el método inductivo - deductivo. Este método está orientado a observar e investigar a fondo los parámetros técnicos económicos y aplicar criterios para ver los resultados que se producen en el relleno hidráulico. Las evaluaciones de los parámetros técnicos económicos servirán para llegar a determinar de qué manera mejorar la productividad del sistema de relleno hidráulico.

B. Métodos específicos

A continuación, se detalla el procedimiento de recolección y procesamiento de datos, donde determinamos el control de los KPI, haciendo uso del método

general. Se realizará el análisis de los datos que se obtendrán en la observación directa de las variables.

a. Recopilación de informes anteriores. Con la finalidad de poder entender el desarrollo de la actividad de relleno hidráulico en la unidad minera, se recopila toda la data del área de servicio de mina que se encarga del relleno hidráulico. Se interpretan los resultados de los informes de los meses anteriores.

b. Trabajo de campo: se realiza el trabajo de campo con las observaciones pertinentes del mapeo de la distribución de la línea de red de tubería.

c. Trabajo de gabinete: se realizarán los estudios de la distribución de la línea de red de tubería y costos.

3.1.2. Alcances de la Investigación

De acuerdo a los diversos criterios de investigación, es considerada de tipo aplicada. La investigación realiza la utilización y aplicación de los conocimientos, así como teorías que ya se han desarrollado en las investigaciones básicas, porque de su uso dependen los resultados y conclusiones que se van a obtener.

3.2. Diseño de la Investigación

El diseño de investigación es descriptivo porque se dedica a recolectar, ordenar, analizar y presentar un conjunto de datos, con el fin de describir apropiadamente las características de un estudio y las actividades del sistema de mejoramiento en el sistema de relleno hidráulico.

3.2.1. Tipo de Diseño de Investigación

La investigación es de diseño no experimental de corte descriptivo. Puesto que se indagan los valores de acuerdo a cómo se manifiesten las variables:

GNO: 01 (T1, T2, T3, T4)

02 (T1, T2, T3, T4)

GNO: 01 y 02

3.2.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación es descriptivo.

3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

La población pertenece a la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón, donde se tienen labores que ya fueron explotadas y en espera del relleno hidráulico.

3.3.2. Muestra

Se realizó un muestreo en el diagrama de flujo de relleno hidráulico de la unidad minera Chungar.

3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Actualmente, la investigación científica posee una variedad de técnicas de recolección de información que está relacionado al método y tipo de investigación a realizar.

3.4.1. Técnicas Utilizadas en la Recolección de Datos

- ✓ Observación
- ✓ Revisión bibliográfica
- ✓ Recopilación de datos en campo
- ✓ Manejo de *softwares*

3.4.2. Instrumentos Utilizados en la Recolección de Datos

- ✓ Software para cálculos Microsoft Excel 2010
- ✓ Libros
- ✓ Bibliografía de Internet
- ✓ PC
- ✓ Tablas estadísticas
- ✓ Otros

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del Tratamiento y Análisis de la Información

A continuación, se presentan los resultados de la presente tesis de investigación, mostrando el análisis del relleno hidráulico en la unidad minera Chungar.

4.1.1. Consideraciones Generales de la Unidad Minera Chungar

La E. E. INCIMMET S. A. se dedica a realizar trabajos de relleno hidráulico en la mina Chungar, estos trabajos son experimentales, en referencia, han sido orientados a evaluar el material de relleno hidráulico y, por ende, a la evaluación de este material desde el punto de vista de su calidad y comportamiento como relleno hidráulico. Este mismo material fue sometido a prueba a fin de apreciar su comportamiento durante su transporte por tuberías.

La planta concentradora tiene una capacidad de procesar 5500 tm, trata minerales como: plomo, zinc y cobre con contenido de plata. El proceso para la separación de los minerales es mediante la flotación y los productos que se obtienen son los concentrados de los metales en mención. Y el residuo del proceso (relave) es enviado a través de dos bombas HR 200 enseriadas a los nidos de hidrociclones de planta de relleno hidráulico, donde se realiza la clasificación de

partículas en una fracción fina llamada *over flow* y otra fracción gruesa denominada *under flow*.

La fracción fina u *over flow* es derivada hacia el tanque de transferencia “A”, donde se mezcla con el agua de mina proveniente del tanque “C”, y luego esta es enviada hacia el espesador Cono Profundo donde se realiza la separación sólido-líquido, obteniéndose en el rebose agua limpia y en la descarga un relave en pasta que cumple con los requerimientos de disposición superficial.

La fracción gruesa o *under flow* es almacenada en los silos 1 y 2, para luego ser descargados hacia 2 acondicionadores 8`x 8` donde se prepara la carga a la densidad apropiada (1800 gr/l), para luego ser bombeada mediante las tuberías denominada como líneas de bombeo 1, 2 y 3, hacia los silos 3 y 4 desde los cuales es enviada hacia interior de mina, como relleno hidráulico, mediante las líneas de bombeo 4, 5, 6 y 7 (bombas Denver 5`x 4`).

Las líneas de bombeo de relleno hidráulico, considera 5 líneas, de las cuales se transporta el material desde el silo 1 hacia el silo 3, considerando las líneas 1, 2 y 3 con relave y línea 4 y 5 con agua, con una distancia de recorrido de 1.7 kilómetros, para de allí transportar el relave hacia el interior de mina.



Figura 6. Layout de tubería de relleno hidráulico en superficie, unidad minera Chungar

LEYENDA		
TMSD	Densidad (gr/cm ³)	% Solidos
G.especifica	Solidos (m ³ /dia)	H ₂ O (m ³ /dia)
Pulpa (Gpm)	Solidos (Lt/seg)	H ₂ O (Lt/seg)

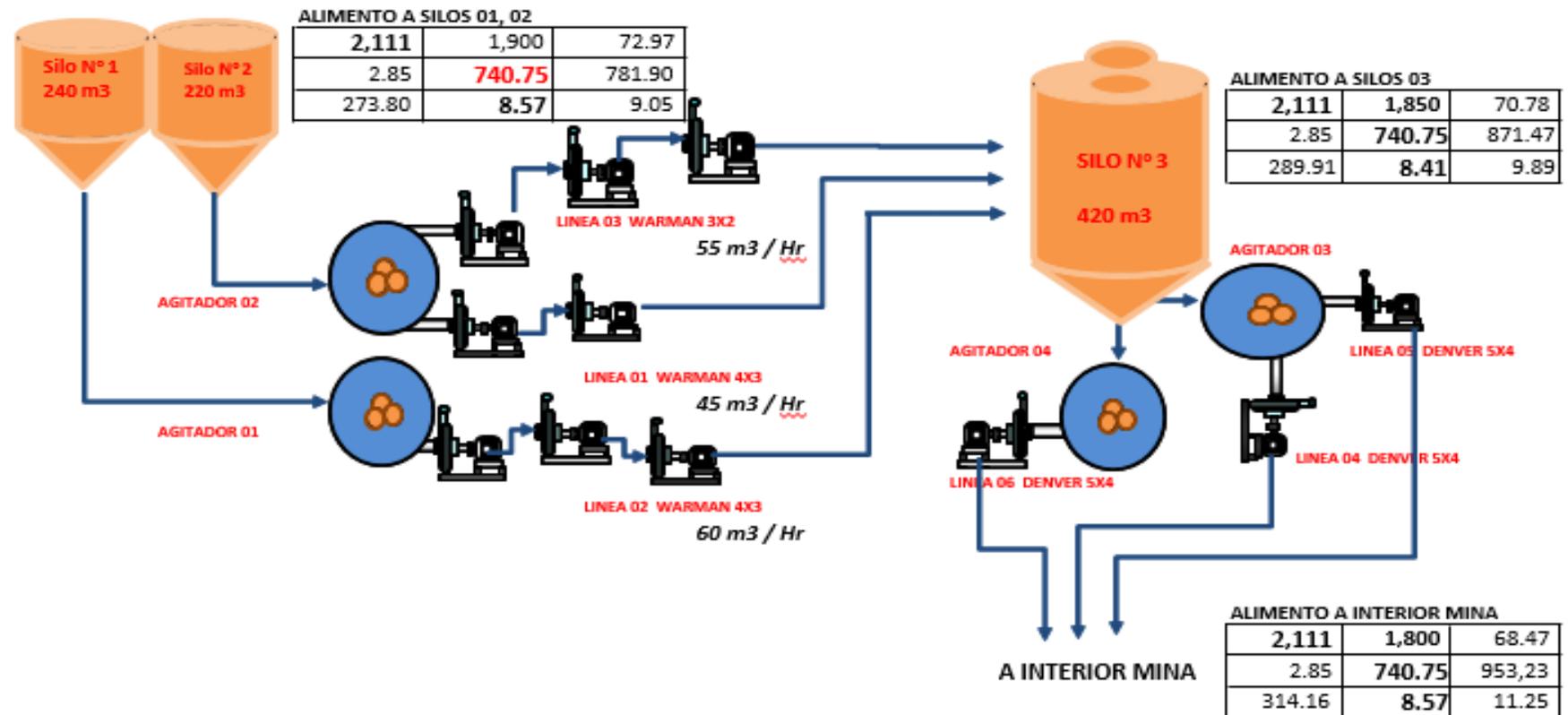


Figura 7. Esquema con solución para eliminar exceso de agua de los silos, unidad minera Chungar

a) Análisis e interpretación de resultados:

- ✓ La planta concentradora procesa entre 4,500 a 5,500 toneladas de mineral, generando productos de concentrado de Pb, Zn y Cu, el relave es enviado a la planta de relleno hidráulico Montenegro.
- ✓ La planta de relleno hidráulico Montenegro almacena en los silos 1 y 2, de donde se envía el material de relleno hacia la zona Esperanza almacenando el material en los silos 3 y 4, para luego ser enviado con características óptimas hacia los distintos tajos de mina.
- ✓ El recorrido total desde la planta de relleno hidráulico Montenegro hacia los silos 3 y 4 es de 1.7 kilómetros.

4.1.2. Consideraciones Numéricas para el Cálculo de Relleno Hidráulico

El cálculo de relleno hidráulico considera la alimentación de mineral en planta concentradora de 5,761.61 toneladas métricas secas por día, con un radio de concentración de 9.98 se obtendrán 577.48 toneladas de concentrado (Pb, Zn y Cu) y de 5,184.13 toneladas de relave, el cual se enviará a la planta de relleno hidráulico Montenegro para su clasificación en los ciclones considerando un total de 2,436.54 toneladas en el *under flow* y de 2,747.59 toneladas en el *ower flow*, con una eficiencia del 47%, con una densidad de 1800 kg/m³.

Tabla 14.
Variables obtenidas en planta concentradora y planta de relleno hidráulico Montenegro. U. M. Chungar

Tratamiento tmd	Radio concentración	Concentrados tmd	Relaves tmd
5,761.61	9.98	577.48	5,184.13
Ciclones planta RH	U	2,436.54	47.00%
	O	2,747.59	53.00%
	F	5,184.13	100.00%
	Eficiencia de clasificación		47.00%

- Para hallar la gravedad específica se aplica la fórmula:

$$G.e = \frac{\text{Densidad de material}}{\text{Densidad del agua}}$$

Pero no se puede utilizar ya que no se conoce con exactitud la densidad de los materiales existentes para poder ejecutarlo, ya que es una mezcla de varios minerales; entonces, para conocer la gravedad específica con exactitud se necesita hacer análisis de malla en laboratorio para determinarlo.

Para los cálculos siguientes se entiende que la gravedad específica es:

$$G.e = 2.93$$

- Para el cálculo en metros cúbicos de relave a tratar se utiliza la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Under Flow (T.M.S.D)}}{G.e} = \frac{2436.54}{2.93} = 831.58 \text{ m}^3/h$$

- Si se tuviese una pérdida en el proceso del 8%:

$$831.58 \times 0.08 = 66.53 \text{ m}^3/h$$

$$831.58 - 66.53 = 765.06 \text{ m}^3/h$$

- Para hallar el % de sólidos en volumen:

$$\% \text{ Sol. vol.} = \frac{\text{Densidad} - 1}{G.e. - 1} * 100$$

$$\% \text{ Sol. vol.} = \frac{1.8 - 1}{2.93 - 1} * 100 = 41.45$$

- Para hallar el % de sólidos en peso:

$$\% \text{ Sol. peso} = \frac{G.e \times (\text{Densidad} - 1)}{\text{Densidad} \times (G.e - 1)} \times 100$$

$$\% \text{ Sol. peso} = \frac{2.93 \times (1.8 - 1)}{1.8 \times (2.93 - 1)} \times 100 = 67.47$$

- Para hallar el % de agua en peso:

$$\% \text{ Agua. peso} = 100 - \% \text{ Sol. peso}$$

$$\% \text{ Agua. peso} = 100 - 67.47 = 32.53$$

- Para hallar **tm** de agua/día:

$$\text{TM de } \frac{\text{Agua}}{\text{Día}} = \frac{\text{Under Flow} \times \% \text{ Agua. peso}}{\% \text{ Sol. peso}}$$

$$\text{TM de } \frac{\text{Agua}}{\text{Día}} = \frac{2436.54 \times 32.53}{67.47} = 1174.75$$

- Para hallar **tm** de pulpa/día:

$$\text{TM de } \frac{\text{Pulpa}}{\text{Día}} = \text{Under Flow} + \text{TM de } \frac{\text{Agua}}{\text{Día}}$$

$$\text{TM de } \frac{\text{Pulpa}}{\text{Día}} = 2436.54 + 1174.75 = 3611.29$$

- Para hallar metros cúbicos de pulpa / día:

$$\text{Metros cúbicos de } \frac{\text{Pulpa}}{\text{Día}} = \frac{\text{TM de } \frac{\text{Pulpa}}{\text{Día}}}{\text{Densidad}}$$

$$\text{Metros cúbicos de } \frac{\text{Pulpa}}{\text{Día}} = \frac{3611.29}{1.8} = 2006.27$$

- Para hallar litros de pulpa / seg:

$$\text{Litros de } \frac{\text{Pulpa}}{\text{Seg}} = \frac{\text{Metros cúbicos de } \frac{\text{Pulpa}}{\text{Día}} * 1000}{24 * 3600}$$

$$\text{Litros de } \frac{\text{Pulpa}}{\text{Seg}} = \frac{2006.27 * 1000}{24 * 3600} = 23.22$$

El balance final sería:

Tabla 15.

Variables obtenidas en planta concentradora y planta de relleno hidráulico Montenegro, U. M. Chungar

Hidrociclones planta R. H. Montenegro	Actual				
		Alimentación	Over flow	Under flow	R/H
Relave disponible	tmd	5,184.13	2,747.59	2,436.54	2,436.54
Peso específ. sólido. secos	Gs	2.93	2.93	2.93	2.93
Densidad de pulpa	Gp - kg/lt	1.80	1.80	1.80	1.80
% sólidos en volumen	% Sv	41.45	41.45	41.45	41.45
% sólidos en peso	% Sp	67.47	67.47	67.47	67.47
% de agua en peso	%	32.53	32.53	32.53	32.53
tm agua/día	tm/día	2,499.18	1,324.56	1,174.61	1,174.61
tm pulpa/día	tm/día	7,683.31	4,072.15	3,611.15	3,611.15
m ³ agua/día	m ³ /día	2,499.18	1,324.56	1,174.61	1,174.61
m ³ pulpa/día	m ³ /día	4,268.50	2,262.31	2,006.20	2,006.20
m ³ sólidos/día	m ³ /día	1,769.33	937.74	831.58	831.58
m ³ agua/h	m ³ /h	104.13	55.19	48.94	48.94
m ³ pulpa/h	m ³ /h	177.85	94.26	83.59	83.59
m ³ sólidos/h	m ³ /h	73.72	39.07	34.65	34.65
G. P. M. agua	gal / min	458.49	243.00	215.49	215.49
G. P. M. pulpa	gal / min	783.09	415.04	368.05	368.05
Litros agua/seg	Litros/seg	28.93	15.33	13.60	13.60
Litros pulpa/seg	Litros/seg	49.40	26.18	23.22	23.22

Considerando una pérdida en el proceso del 8%, tendríamos:

765.06 m³/día

a) Análisis e interpretación de resultados:

- ✓ El total de relleno hidráulico obtenido es de 765.06 m³/día, considerando una alimentación de mineral a planta concentradora de 5,761.61 toneladas y de 5,184.13 toneladas de relave.
- ✓ El total de material en el *under flow* es de 2,436.54 toneladas considerando una densidad de pulpa de 1.8 kg/l y una eficiencia de clasificación del 47%.

- ✓ Es importante considerar que la cantidad de relave disponible para envío a la planta de relleno hidráulico Montenegro depende directamente del radio hidráulico calculado en planta concentradora, el cual es de 9.98.

4.1.3. Consideraciones del Análisis Granulométrico de la Planta de Relleno Hidráulico

En minería subterránea el objetivo principal es extraer del subsuelo los minerales para su posterior tratamiento en la Planta Concentradora. No todo el mineral que se extrae tiene contenido metálico, por esa razón, después del tratamiento en la Planta Concentradora, queda un remanente pobre sin contenido metálico llamado relave, el cual tiene que ser reubicado para mantener la continuidad del proceso. La relación entre el volumen del concentrado, relave y material pobre depende de varios aspectos, entre los cuales se pueden citar las leyes de mineral, el modo de extracción, entre otros.

Existen varios métodos de rellenado entre los cuales podemos citar: relleno detrítico, en pasta, cementado, hidráulico, entre otros.

En la minería generalmente se viene utilizando el relleno hidráulico, este método consiste en mezclar agua y relave en proporciones adecuadas a las necesidades. Esta mezcla con agua es denominada pulpa, la pulpa puede estar conformada con sólidos de diferentes tamaños.

En el relleno hidráulico generalmente se trabaja con pulpas de grano medio y fino, el porcentaje de estos determinará las propiedades de percolación y bombeo. Una de las desventajas de este método es la cantidad de agua que contiene ya que después de la percolación, esta debe ser extraída.

Con fecha 7 de marzo de 2019 se realizó el muestreo y el análisis granulométrico de la Planta Relleno Hidráulico para saber cuánto es la clasificación del relave disponible para relleno hidráulico y la eficiencia de los ciclones D-15 en el nido de hidrociclones.

El muestreo se realizó en intervalos de 30 minutos durante 6 horas, como se observa; la densidad del relave de la Planta Concentradora debe mantenerse en 1.37 kg/l para que la densidad en el *Under* (Relleno hidráulico) se mantenga en 2.10 kg/l y, por ende, se obtendrá un porcentaje en solido de 81.16%, con una gravedad específica de 2,82 y así se logra una baja porción en la malla -200 (finos).

Análisis granulométrico de nido de hidrociclones D - 15:

Tabla 16.

Análisis granulométrico de nido hidrociclones, planta de relleno hidráulico Montenegro, U. M. Chungar

MALLA	MICRON	1375			1318			2100		
		ALIMENTO			OVER FLOW			UNDER FLOW		
		Peso	% Peso	Passing	Peso	% Peso	Passing	Peso	% Peso	Passing
20	841	4.08	0.50	99.50	0.81	0.21	99.79	11.86	1.68	98.32
36	500	42.64	5.26	94.24	10.26	2.71	97.08	82.87	11.75	86.57
45	354	62.05	7.65	86.59	16.18	4.27	92.80	104.24	14.78	71.79
70	210	122.39	15.09	71.50	33.91	8.96	83.84	182.17	25.83	45.96
100	149	73.69	9.09	62.41	19.84	5.24	78.60	93.37	13.24	32.72
140	105	106.18	13.09	49.32	42.10	11.12	67.48	89.89	12.75	19.97
200	74	89.04	10.98	38.34	37.57	9.93	57.55	58.71	8.32	11.64
270	53	57.94	7.14	31.19	28.20	7.45	50.10	24.21	3.43	8.21
325	44	19.71	2.43	28.76	9.87	2.61	47.50	4.90	0.69	7.52
400	37	26.71	3.29	25.47	13.80	3.65	43.85	6.66	0.94	6.57
-400		206.56	25.47	0.00	165.98	43.85	0.00	46.35	6.57	0.00
		810.99	100.00		378.52	100.00		705.23	100.00	

El propósito de esta etapa de trabajo es someter el relave muestreado a un proceso de separación de partículas de acuerdo al tamaño y gravedad específica de las partículas a fin de obtener un producto ideal para los propósitos de Relleno Hidráulico. El equipo empleado para este propósito es un nido de 5 hidrociclones, el muestreo se realizó cuando trabajaban 4 hidrociclones en operación (Hidrociclón 1, 2, 3 y 5).

Tabla 17.
Curva tromp del nido de hidrociclones D - 15, planta de relleno hidráulico Montenegro, U. M. Chungar

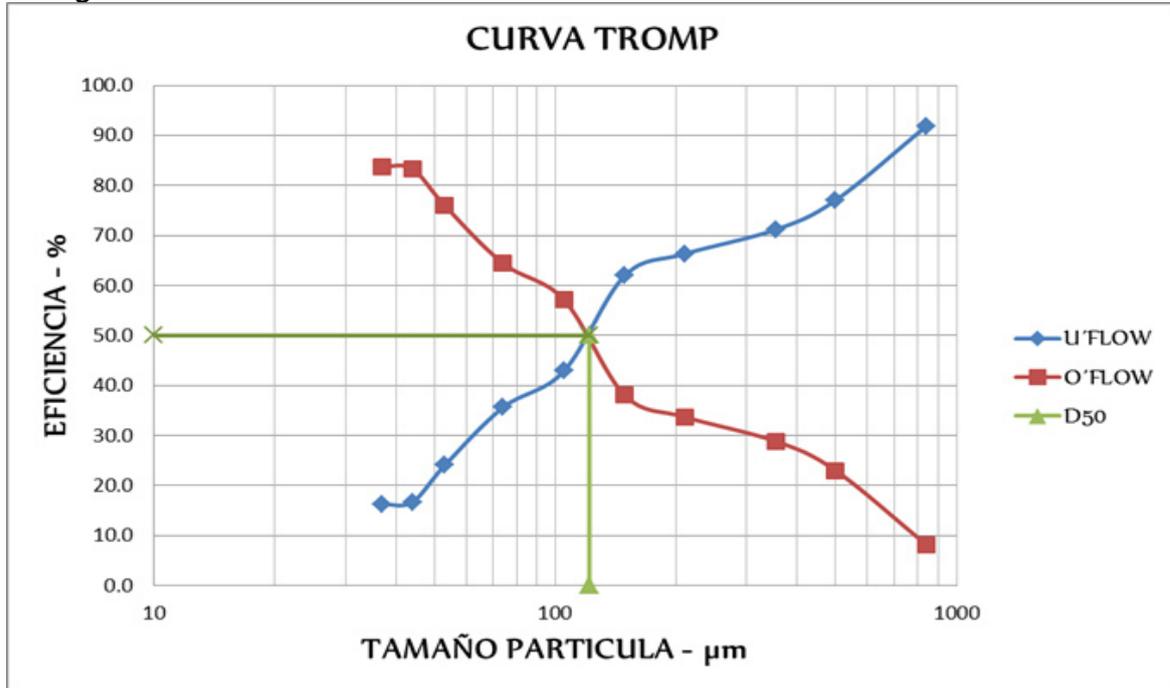
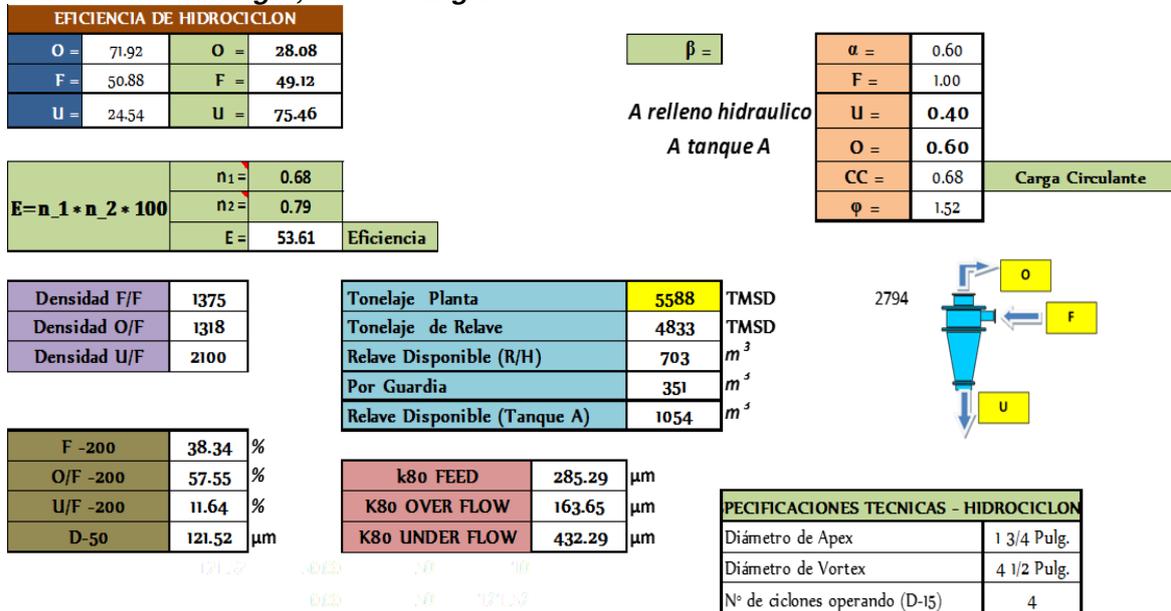


Tabla 18.
Análisis de la eficiencia y resultados del nido de hidrociclones D - 15, planta de relleno hidráulico Montenegro, U. M. Chungar



a) Análisis e interpretación de resultados:

- ✓ Se observa que los sólidos bajo la malla - 200 (finos) es de 11,64%, con una eficiencia de 53,61%. El porcentaje de carga hacia el *Under* (Relleno Hidráulico) es 40,0%.
- ✓ Con los cambios realizados se está relleno un aproximado de 703 m³ por día.
- ✓ La densidad de alimentación de relave de planta concentradora debe mantenerse en 1.37 kg/l, la densidad en este punto es primordial, porque cualquier variación indica que el tonelaje de tratamiento de la Planta Concentradora ha bajado, tal es el caso cuando se trata mineral de Islay.
- ✓ En el *Under Flow* de la planta de Relleno Hidráulico se deberá trabajar con una densidad de 2.10 kg/l para tener los siguientes resultados:

Gravedad específica	: 2.82
Porcentaje en sólido	: 81.16%
Porcentaje malla 200	: 11.64% (% fino)
Tonelaje de relave total	: 4833 TMSD
Relave disponible (R/H)	: 703 m ³ por día

Cualquier variación indicará que hay desgaste de *Apex* o *Vortex*.

- ✓ Realizar el control de parámetros en la Planta de Relleno Hidráulico, el muestreo y análisis granulométrico se realizará cada 15 días donde se detalle la eficiencia de los hidrociclones, gravedad específica, porcentaje en sólido, entre otros.

4.1.4. Consideraciones Operacionales del Relleno Hidráulico

A. Características operacionales:

Las consideraciones operacionales en la unidad minera Chungar considera una capacidad de planta concentradora de 5,500 toneladas métricas por día (tmd) el cuál es enviado de la mina mediante faja transportadora a la etapa de chancado y molienda, para luego ser procesado en los diferentes circuitos de la planta concentradora para obtener los concentrados de Pb, Zn y Cu y el material no valioso se envía como relave hacia la planta de relleno hidráulico y hacia la cancha de relave como relave filtrado.

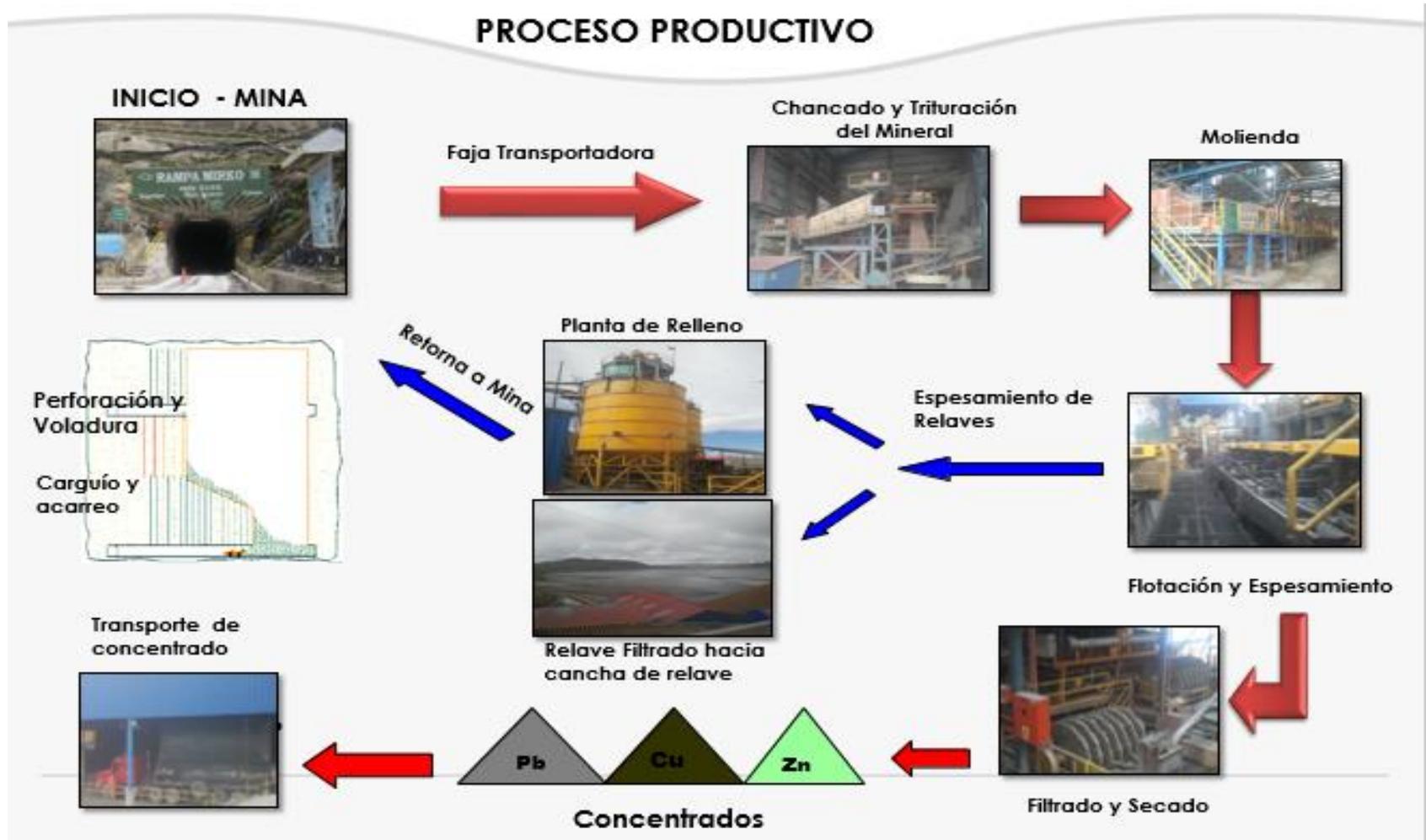


Figura 8. Esquema del proceso productivo, unidad minera Chungar

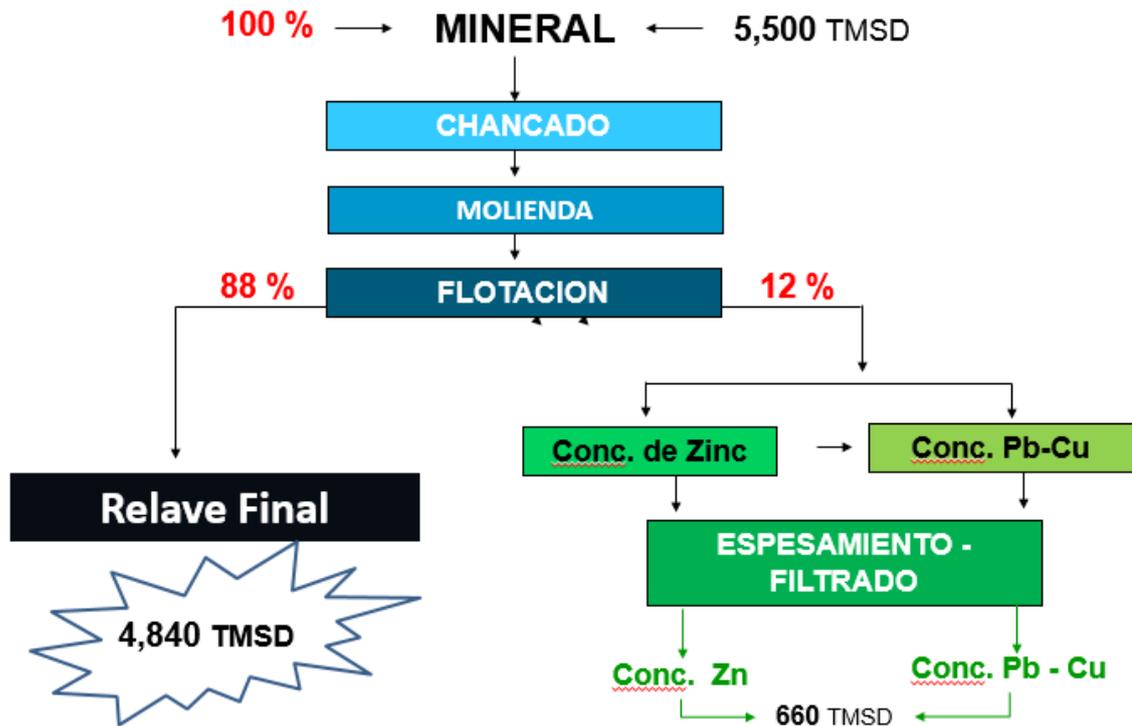
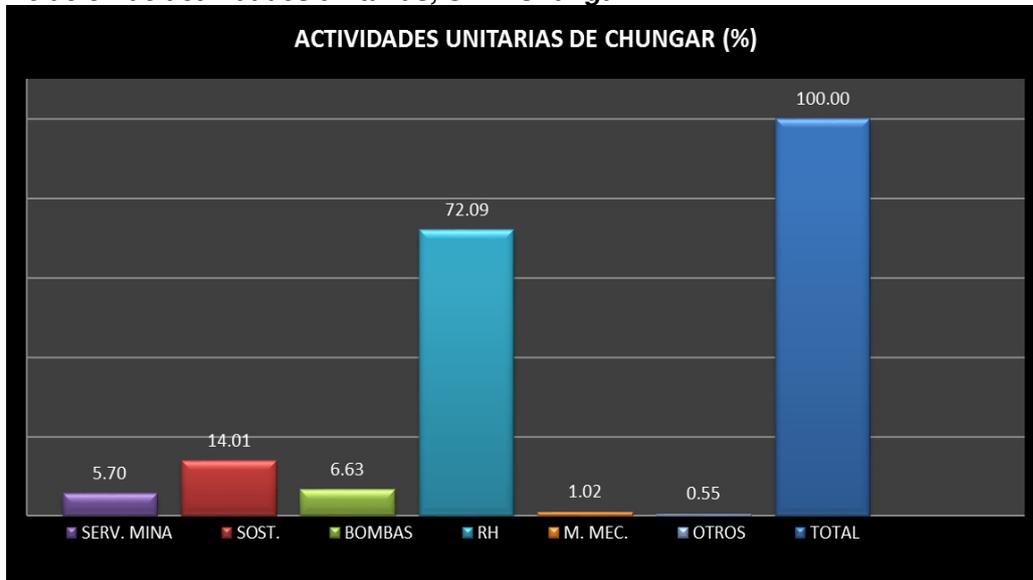


Figura 9. Relación promedio de mineral y relave en el flow sheet, U. M. Chungar

Tabla 19. Relación de actividades unitarias, U. M. Chungar



a) Análisis e interpretación de resultados:

- ✓ La capacidad de planta en la unidad minera Chungar es de 5,500 tmd provenientes de las minas de Animón e Islay, los cuales son procesados en la planta concentradora de Chungar, de los cuales un promedio del 12% es

concentrado y 88% de relave, con un total aproximado de relave de 4,840 tmd y de 660 tmd de concentrado.

- ✓ Del total de relave es enviado un porcentaje a la planta de relleno hidráulico Montenegro para ser tratado y otro porcentaje a la cancha de relave, como relave filtrado.
- ✓ Las actividades unitarias de mayor incidencia en la unidad minera Chungar, el relleno hidráulico representa el 79.02%.

B. Demanda requerida de relleno hidráulico:

Tabla 20.

Demanda requerida de relleno hidráulico, de acuerdo al método de minado, U. M. Chungar

	TOTAL	OCF 90%	SLS 10%
PRODUCCION DIARIA (TMS)	4200	3780	420
	TOTAL	Pe	VOLUMEN
ESPACIO ABIERTO A RELLENAR	3780	pe 3.15	1200 m ³

a) Análisis e interpretación de resultados:

- ✓ La producción en la mina Animón produce un aproximado de 4,200 toneladas métricas por día, de los cuales 420 toneladas es del método de minado *sublevel stoping* (10%) y 3,780 toneladas del método de minado *Over Cut and Fill* (90%).
- ✓ La producción aproximada de la mina de Islay es de 1,300 toneladas métricas por día, lo que genera un total de producción de la unidad minera Chungar de 5,500 t/d.
- ✓ La demanda total de relleno hidráulico necesario para cubrir el método de minado *Over Cut and Fill* es de 3,780 t/d, considerando un peso específico de 3.15, se necesitará 1200 m³ de relleno hidráulico.

C. Cobertura de relleno hidráulico:

Tabla 21. Cobertura de relleno hidráulico, de acuerdo al método de minado, U. M. Chungar

TRATAMIENTO TMSD	GRAVEDAD ESPECÍFICA	RADIO DE CONCENTRACIÓN	CONCENTRADOS TMSD	RELAVE TMSD.
5500	2.85	8.39	655.54	4844.46

HIDROCICLONES PLANTA R/H	O	2761	58 %
	U	2083	43 %
	F	4844	100 %

COBERTURA DE RELLENO HIDRÁULICO PARA LOS TAJOS DE MINA	1096 M ³
--	---------------------

a) Análisis e interpretación de resultados:

- ✓ La alimentación de mineral a planta concentradora es en promedio de 5,500 toneladas por día, provenientes de la mina Animón e Islay, considerando un radio de concentración de 8.39 generará 655.54 toneladas métricas secas de concentrado de plomo, zinc y cobre con contenidos importantes de plata.
- ✓ El total de relave generado es 4,844.46 toneladas, considerando una gravedad específica de 2.85 se enviará a planta de relleno hidráulico Montenegro.
- ✓ El tratamiento de relave en los hidrociclones de planta de relleno hidráulico seleccionará 2,761 toneladas en el *Over Flow* y de 2,083 toneladas en el *Under Flow*.
- ✓ El porcentaje de carga hacia el *Under Flow* representa el 43% (relleno hidráulico) y se está relleno un aproximado de 1,096 m³ para los tajeos en mina.
- ✓ La cobertura del relleno hidráulico generado en este periodo de evaluación genera un déficit de 104 m³, este déficit está relacionado directamente al porcentaje de granulometría, radio hidráulico, gravedad específica, entre otras variables.

D. Proceso de relleno hidráulico en tajeos:

Los tajeos explotados son rellenos en toda su longitud con desmante mediante los *Scooptram*, la altura de relleno detrítico es de 2.00 metros. Luego del relleno detrítico del tajo se procederá a realizar un dique con desmante al ingreso del tajo, para luego instalar las tuberías de PVC de 4" de diámetro, luego se procede

a realizar un tapón de madera cubierta con tela artillera o yute, una vez concluido todo este trabajo se procederá con el relleno hidráulico. La planta de Relleno Hidráulico produce relaves ciclónicos para ser utilizados como relleno solo y su rendimiento es de 30 m³/h, con una densidad de pulpa de 1700 gr/l a 1900 gr/l y es transportado a mina con una tubería de 4" de diámetro, los tajos se rellenan hasta una altura de 3.5 m dejando 0.5 m de luz como cara libre para un nuevo corte.

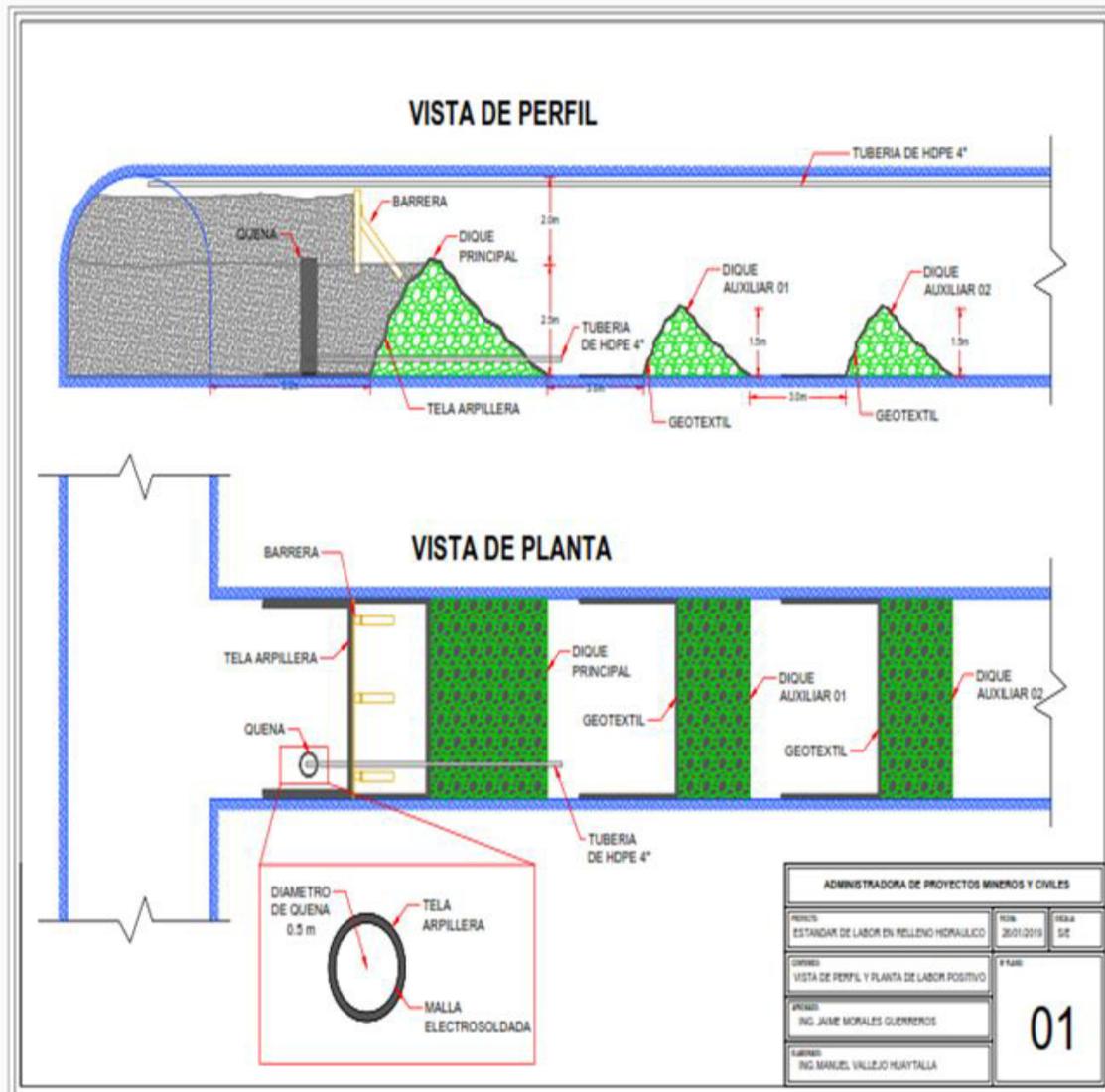


Figura 10. Procedimiento de llenado del relleno hidráulico en los tajos OCF, U. M. Chungar

a) Análisis e interpretación de resultados:

- ✓ El tajo que ingresa a relleno hidráulico debe tener la instalación de manga de ventilación de acuerdo a la norma para ventilar el tajo, para realizar la instalación de tubería PVC de 4" de diámetro.
- ✓ El relleno detrítico en los tajos que se realizan inicialmente será como máximo un 50% dejando una altura mínima de 1.80 metros, para realizar la instalación de tubería de PVC para realizar el relleno hidráulico.
- ✓ Se debe realizar la instalación de tubería de polietileno de 4" aseguradas con cadena en las chapas de los pernos hasta el acceso a 10 m del dique para luego empalmarlo a la tubería de PVC.
- ✓ Las tuberías troncales estarán estandarizadas con cadena en la parte superior de las labores, las tuberías ubicadas en el acceso se ubicarán a la altura de la gradiente aseguradas con cadena en los pernos para poder ser instaladas y desinstaladas con facilidad.
- ✓ Se instalará tubería de PVC de 4" de diámetro en todo el tajo a rellenar, dicha tubería estará amarrada con tela arpillera a los pernos cada 2 metros aproximadamente para evitar catenarias y desacoples, de no haber pernos donde asegurar la tubería se colocarán cachacos asegurando la menor cantidad de catenarias, asimismo, para esta instalación se usará pegamento para PVC.
- ✓ En labores con acceso de horizontal a positivas se debe realizar un dique principal de 2.5 m de altura que se realizara a 10 m de la intersección, se colocarán dos tuberías de polietileno de 4" que servirán como quena para el drenaje del agua producto de la actividad, dicho dique estará cubierto por tela arpillera, asimismo se realizarán dos diques auxiliares de 1.50 m de altura y espaciados a 3 m entre sí, que se cubrirán con geotextil de 290 gr/m² para poder captar la mayor cantidad de finos en suspensión.
- ✓ En labores con acceso negativo se realizará un dique principal de 2.5 m de altura que se realizara a 10 m de la intersección, se colocarán dos tuberías de polietileno de 4" que servirán como quena para el drenaje del agua producto de la actividad, dicho dique se cubrirá con tela arpillera.
- ✓ Las quenass se realizarán con malla electrosoldada en forma circular de 50 cm de diámetro forrado con geotextil dicha quena se empalmará a las tuberías

previamente instaladas en los diques, asimismo se le amarrarán con alambre a los hastiales que servirán como vientos para mantener su estabilidad.

- ✓ Una vez terminada la instalación se realizará la prueba con agua por espacio de 10 minutos a fin de asegurar que la línea de relleno se encuentra en óptimas condiciones.
- ✓ Una vez probado con agua se realiza el pedido de relleno hidráulico comunicándose por teléfono al operador de planta de relleno.
- ✓ Una vez relleno hasta el filo del dique principal se pasa al armado de barrera, para ello se utilizan puntales de 6" de diámetro como postes que estarán enterrados en el piso con patillas de 50 cm, asimismo se colocarán ángulos con patillas y tablas de 30 cm como chapas, luego se colocan las tablas horizontales espaciados a 10 cm entre sí, y luego se procede a enterrarlo con tela arpillera pasado 5 m a cada lado y tapado en la parte inferior.
- ✓ El agua producto del relleno hidráulico se bombeará a la poza de bombeo más cercana con una bomba de 30 Hp o 50 Hp según la distancia de la poza de bombeo más cercana.

4.1.5. Consideraciones de Producción de Relleno Hidráulico

La producción de relleno hidráulico realizada durante el periodo julio 2018 a agosto 2019 entre lo programado y ejecutado, genera un aporte superior de relleno hidráulico ejecutado versus el aporte de relleno hidráulico programado durante el periodo julio 2018 y abril 2019, generando mejor rendimiento de relleno hidráulico. A diferencia de lo anterior, no se llegó a cumplir el requerimiento de relleno entre mayo a agosto del 2019, por problemas de mantenimiento de las bombas y accesorios de relleno hidráulico.

Tabla 22.

Producción de relleno hidráulico y porcentaje de recepción 18 – 19, unidad minera Chungar

PRODUCCIÓN DE RELLENO HIDRÁULICO

PERIODO JULIO 18 - AGOSTO 19

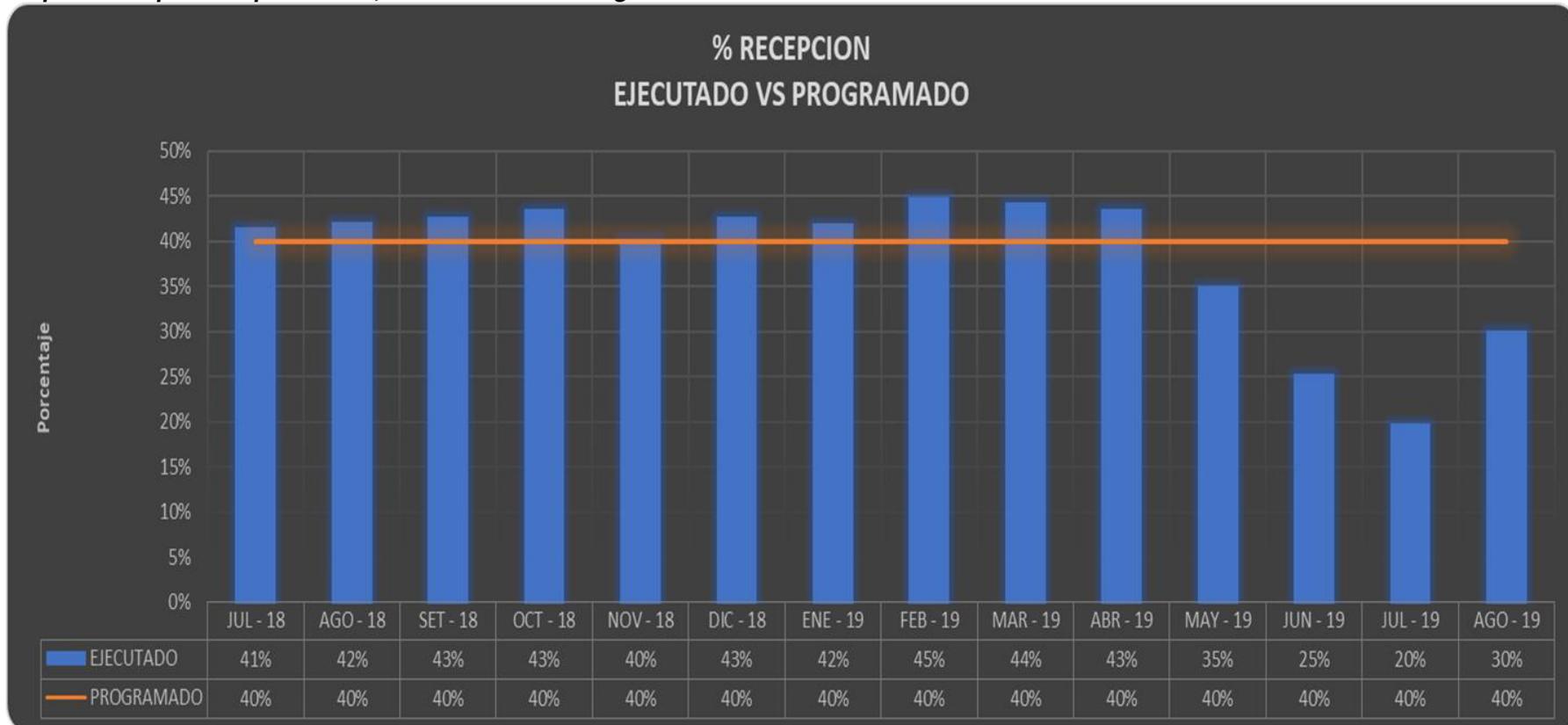
AÑO	MES	EJECUTADO (m3)	PROGRAMADO (m3)	DIFERENCIA (m3)	PROMEDIO (m3)	TOTAL RELAVE (Tn)
2018	JUL - 18	29,390	28,384	1,006	31,101	134825 Tn
	AGO - 18	31,198	29,701	1,497		141079 Tn
	SET - 18	30,563	28,712	1,851		136381 Tn
	OCT - 18	30,705	28,265	2,440		134258 Tn
	NOV - 18	29,804	29,777	27		141441 Tn
	DIC - 18	34,946	32,852	2,094		156046 Tn
2019	ENE - 19	27,537	26,324	1,213	17,137	125037 Tn
	FEB - 19	31,372	28,028	3,344		133132 Tn
	MAR - 19	32,383	29,324	3,059		139288 Tn
	ABR - 19	32,464	29,992	2,472		142130 Tn
	MAY - 19	28,849	33,050	-4,201	156989 Tn	
	JUN - 19	15,545	24,776	-9,231	117688 Tn	
	JUL - 19	8,626	17,623	-8,997	83710 Tn	
	AGO - 19	15,527	20,737	-5,210	98499 Tn	

PRODUCCIÓN DE RELLENO HIDRÁULICO - % RECEPCIÓN

PERIODO JULIO 18 - AGOSTO 19

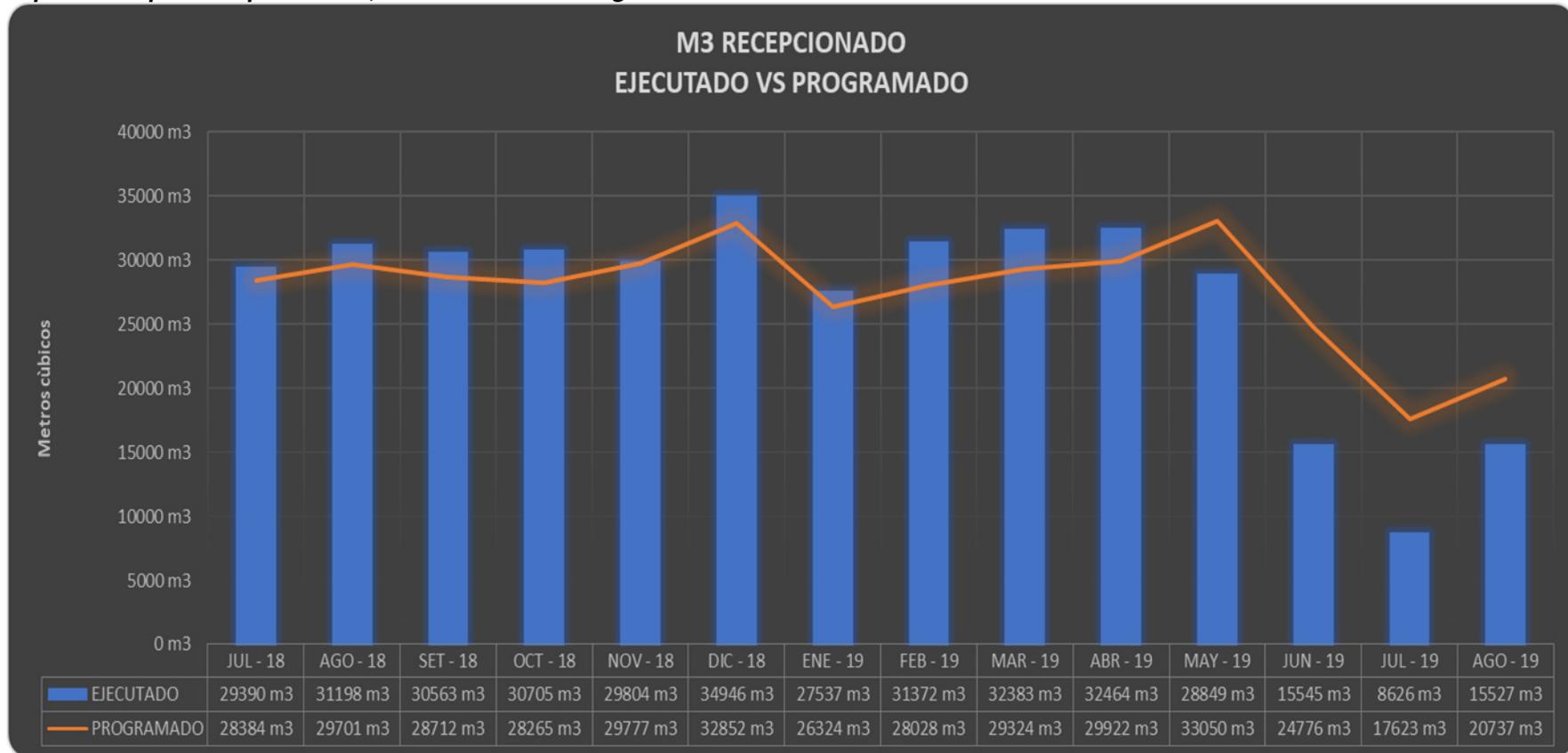
AÑO	MES	EJECUTADO (%)	PROGRAMADO (%)	DIFERENCIA (%)	PROMEDIO (%)
2018	JUL - 18	41	40	1	42
	AGO - 18	42	40	2	
	SET - 18	43	40	3	
	OCT - 18	43	40	3	
	NOV - 18	40	40	0	
	DIC - 18	43	40	3	
2019	ENE - 19	42	40	2	28
	FEB - 19	45	40	5	
	MAR - 19	44	40	4	
	ABR - 19	43	40	3	
	MAY - 19	35	40	-5	
	JUN - 19	25	40	-15	
	JUL - 19	20	40	-20	
	AGO - 19	30	40	-10	

Tabla 23.
Esquema del proceso productivo, unidad minera Chungar



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 24.
Esquema del proceso productivo, unidad minera Chungar



a) Análisis e interpretación de resultados:

- ✓ El rendimiento de aporte de relleno hidráulico durante el periodo julio 2018 a abril 2019 fue óptimo con un volumen de alimentación mensual promedio ejecutado de 31,101 m³, siendo el volumen de alimentación programado de 29,136 m³.
- ✓ Así mismo el aporte de relleno hidráulico durante el periodo mayo a agosto del 2019 fue negativo con un déficit de 6,910 m³.
- ✓ Las causas del déficit de relleno hidráulico, en planta de relleno fue de:
 - Se tiene solo dos líneas operativas por la falta de la bomba multitápica desde el mes de julio.
 - Constante arenamiento por falta de sensores de presión.
 - Falta de repuestos críticos para evitar la demora en los mantenimientos.
 - Falta de sensores de presión del silo 3 desde hace 4 meses, se viene operando a ciegas.
- ✓ Las causas del déficit de relleno hidráulico en mina fueron de:
 - Falta de área para relleno
 - Demora en la entrega de tajos por rellenar con detrítico
 - Falta de cambio de líneas troncales

4.1.6. Consideraciones de Plan de Producción de Relleno Hidráulico Tipo Largo Plazo

Luego del cambio de tubería y accesorios para mejoramiento del rendimiento del relleno hidráulico durante el periodo 2014, se incrementó sustancialmente el relleno hidráulico durante los periodos 2015 al presente. El plan de producción de relleno hidráulico en la planta Montenegro durante el periodo 2015 de 18,713 m³ al periodo 2019 con 24,037.92 m³ fue producto del incremento de producción en las minas Animón e Islay.

Durante el periodo de evaluación del presente estudio julio 2018 a agosto 2019 se consideraron dos etapas de mejora en el rendimiento y disminución del rendimiento de la producción de relleno hidráulico, generando un mejor análisis durante ambos periodos.

Tabla 25.
Producción de relleno hidráulico tipo largo plazo 2015 al 2019, U. M. Chungar

PRODUCCIÓN DE RELLENO HIDRÁULICO EJECUTADO

PERIODO 2015 - 2019

AÑO	MES	M3 RELLENADOS	PROMEDIO (m3)
2015	ABR - 15	18786 m3	18713 m3
	MAY - 15	19502 m3	
	JUN - 15	19119 m3	
	JUL - 15	15542 m3	
	AGO - 15	19577 m3	
	SET - 15	20093 m3	
	OCT - 15	21464 m3	
	NOV - 15	21681 m3	
	DIC - 15	12650 m3	
	2016	ENE - 16	
FEB - 16		21273 m3	
MAR - 16		19367 m3	
ABR - 16		19872 m3	
MAY - 16		19623 m3	
JUN - 16		23250 m3	
JUL - 16		18988 m3	
AGO - 16		20003 m3	
SET - 16		20757 m3	
OCT - 16		20169 m3	
NOV - 16		22267 m3	
DIC - 16		20194 m3	
2017	ENE - 17	21626 m3	21290 m3
	FEB - 17	22257 m3	
	MAR - 17	18798 m3	
	ABR - 17	21217 m3	
	MAY - 17	20392 m3	
	JUN - 17	24414 m3	
	JUL - 17	18905 m3	
	AGO - 17	21877 m3	
	SET - 17	20813 m3	
	OCT - 17	20758 m3	
	NOV - 17	22696 m3	
	DIC - 17	21723 m3	

AÑO	MES	M3 RELLENADOS	Promedio (m3)
2018	ENE - 18	23193 m3	25049 m3
	FEB - 18	24375 m3	
	MAR - 18	18910 m3	
	ABR - 18	21904 m3	
	MAY - 18	18581 m3	
	JUN - 18	7021 m3	
	JUL - 18	29390 m3	
	AGO - 18	31198 m3	
	SET - 18	30563 m3	
	OCT - 18	30705 m3	
	NOV - 18	29804 m3	
	DIC - 18	34946 m3	
2019	ENE - 19	27537 m3	24037.92
	FEB - 19	31372 m3	
	MAR - 19	32383 m3	
	ABR - 19	32464 m3	
	MAY - 19	28849 m3	
	JUN - 19	15545 m3	
	JUL - 19	8626 m3	
	AGO - 19	15527 m3	

Tabla 26.
Producción tipo largo plazo de relleno hidráulico, periodo 2015 al 2019, unidad minera Chungar

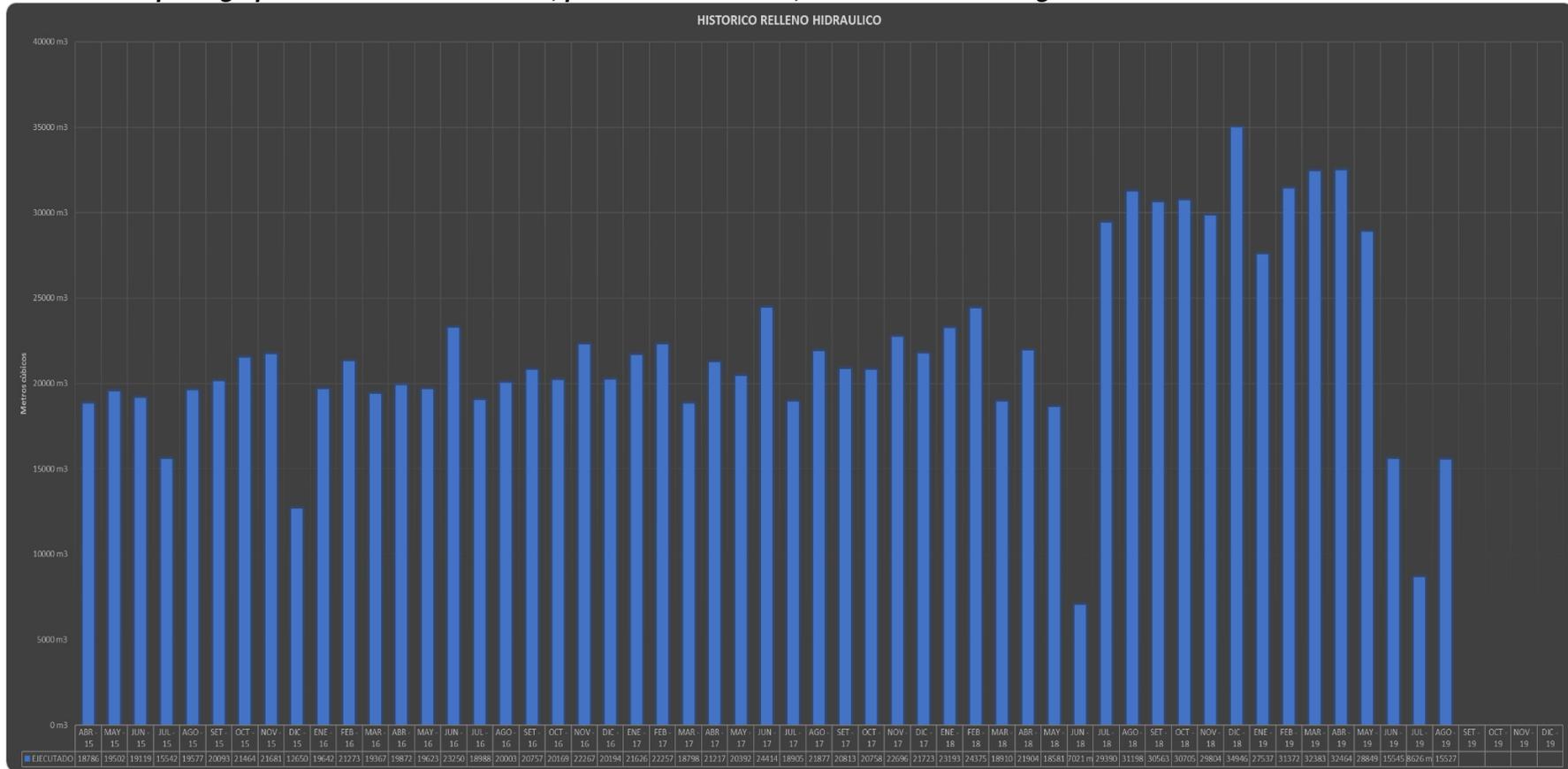
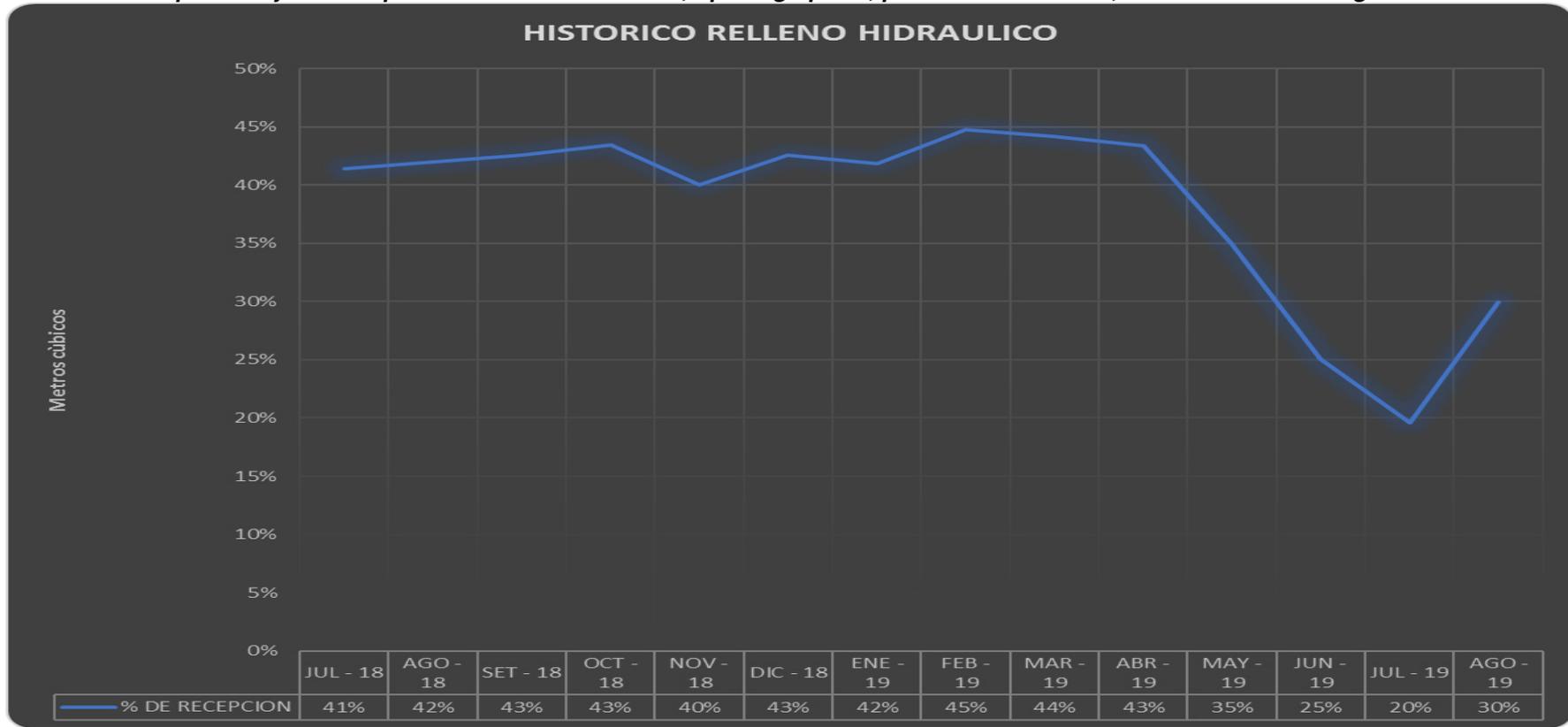


Tabla 27.

Producción de porcentaje de recepción de relleno hidráulico, tipo largo plazo, periodo 2015 al 2019, unidad minera Chungar



a) Análisis e interpretación de resultados:

- ✓ El tonelaje de relleno hidráulico producido durante el periodo abril 2015 a agosto del 2019 fue de 1'162,188 m³.
- ✓ El tonelaje producido durante el periodo abril a diciembre del 2015 fue de 168,414 m³ y un promedio mensual de 18,713 m³, durante el periodo 2016 fue de 245,405 m³ y un promedio mensual de 20,450 m³, durante el periodo 2017 fue de 255,476 m³ y un promedio mensual de 21,290 m³, durante el periodo 2018 fue de 300,590 m³ y un promedio mensual de 205,049 m³ y durante el periodo enero a agosto 2019 fue de 192,303 m³ y un promedio mensual de 24,037 m³.
- ✓ Este incremento de la producción de relleno hidráulico es debido a la necesidad de relleno en los diferentes tajeos programados.
- ✓ El rendimiento de aporte de relleno hidráulico durante el periodo 2015 al 2019 se incrementó de un promedio mensual de 18,713 m³ a 24,037 m³.
- ✓ Este mayor incremento de aporte de relleno hidráulico mejoró la optimización de producción de relleno considerando menores costos de relleno.

4.1.7. Consideraciones Económicas de Relleno Hidráulico

En la tabla siguiente se muestra el costo de energía eléctrica por cada una de las líneas. La fila rellena con color verde se relaciona con el régimen actual de trabajo de cada una de las líneas y la fila rellena con color gris muestra el régimen óptimo para la línea.

El costo actual de consumo de energía, por metro cúbico, de la línea 1 es 0.164 USD/m³, considerando que se está trabajando con una tubería PE100 PN20 de 4".

El régimen de bombeo que se considera óptimo para esta línea permite bombear 36 litros/segundo de relave con una concentración de sólidos de 60%, utilizando para ello dos bombas Warman AH 4x3 en serie y una tubería PE100 PN20 de 6". El costo de consumo de energía, por metro cúbico, con esta nueva línea sería de 0.075 USD/m³, es decir, se reduciría el costo al 45.7% del costo actual. Considera precio en energía eléctrica de 0.0057 US \$/kWh y una gravedad específica de 2.9.

Tabla 28.

Evaluación de las líneas de relleno hidráulico, unidad minera Chungar

Línea 1 - Warman 4/3 - 2 bombas (100 HP)

Línea	Caudal		Norma	Diám	Potencia	Potencia Corr	Presión Tr.	Presión Tub	RPM	Eficiencia	Vreal	Vcrp	Peso de rel	V Relave	Costo E E	Costo EE Año	Observaciones
	l/seg	m³/h															
1	18.0	64.8	12.5	4.0	30.69	61.37	135.1	185.6	2,100.0	49.9	8.55	7.77	64.1	22.1	0.116	40,286.26	
1	18.0	64.8	16.0	4.0	47.53	95.06	191.2	232.0	2,490.0	45.6	9.29	7.61	64.1	22.1	0.179	62,402.02	
1	15.0	54.0	20.0	4.0	35.00	70.00	160.0	290.0	2,200.0	40.8	10.32	7.41	51.6	17.8	0.164	57,036.38	Actual
1	18.0	64.8	20.0	5.0	20.32	40.63	97.2	290.0	1,790.0	54.2	8.00	7.90	64.1	22.1	0.077	26,671.51	
1	20.0	72.0	20.0	5.0	34.70	69.39	143.3	290.0	2,170.0	52.0	8.89	7.90	71.2	24.5	0.118	40,994.60	
1	34.0	122.4	20.0	6.0	29.91	59.82	91.9	290.0	1,800.0	65.8	9.22	8.94	121.0	41.7	0.060	20,788.01	
1	36.0	129.6	20.0	6.0	40.07	80.13	115.0	290.0	2,000.0	65.2	9.76	8.94	128.1	44.2	0.075	26,298.57	Optimizada

Línea 2 - Warman 4/3 - 3 bombas (50 HP)

Línea	Caudal		Norma	Diám	Potencia	Potencia Corr	Presión Tr.	Presión Tub	RPM	Eficiencia	Vreal	Vcrp	Peso de rel	V Relave	Costo E E	Costo EE Año	Observaciones
	l/seg	m³/h															
2	18.0	64.8	12.5	4.0	18.63	55.88	135.1	185.6	1,740.0	54.8	8.55	7.77	64.1	22.1	0.105	36,682.36	
2	18.0	64.8	16.0	4.0	28.50	85.50	191.2	232.0	2,030.0	50.7	9.29	7.61	64.1	22.1	0.161	56,126.37	
2	18.0	64.8	20.0	4.0	46.22	138.66	280.8	390.0	2,480.0	45.9	10.32	7.41	64.1	22.1	0.261	91,023.18	Actual
2	18.0	64.8	20.0	5.0	12.51	37.52	97.2	290.0	1,470.0	58.7	8.00	7.90	64.1	22.1	0.071	24,629.96	
2	20.0	72.0	20.0	5.0	21.18	63.53	143.3	290.0	1,790.0	56.8	8.89	7.90	71.2	24.5	0.108	37,532.60	
2	20.0	72.0	16.0	5.0	11.52	34.55	84.9	232.0	1,400.0	61.9	8.01	8.11	71.2	24.5	0.059	20,411.64	
2	22.0	79.2	16.0	5.0	19.03	57.10	123.9	232.0	1,680.0	60.1	8.81	8.11	78.3	27.0	0.088	30,666.35	Optimizada

Línea 3 - Warman 3/2 - 3 bombas (50 HP)

Línea	Caudal		Norma	Diám	Potencia	Potencia Corr	Presión Tr.	Presión Tub	RPM	Eficiencia	Vreal	Vcrp	Peso de rel	V Relave	Costo E E	Costo EE Año	Observaciones
	l/seg	m³/h															
3	18.0	64.8	12.5	4.0	16.73	50.20	135.1	185.6	1,980.0	61.0	8.55	7.67	64.1	22.1	0.095	32,953.73	
3	18.0	64.8	16.0	4.0	24.78	74.35	191.2	232.0	2,300.0	58.3	9.29	7.61	64.1	22.1	0.140	48,806.96	
3	18.0	64.8	20.0	4.0	32.79	98.37	280.8	290.0	2,770.0	64.7	10.32	7.41	64.06	22.1	0.185	64,574.86	Actual
3	18.0	64.8	SDR 13.5	4.0	12.10	36.31	128.0	128.0	1,720.0	62.7	8.05	7.89	64.06	22.1	0.068	23,835.65	
3	18.0	64.8	20.0	5.0	11.65	34.96	97.2	290.0	1,700.0	63.0	8.00	7.90	64.06	22.1	0.066	22,949.45	
3	20.0	72.0	20.0	5.0	19.33	58.00	143.3	290.0	2,000.0	62.1	8.89	7.90	71.18	24.5	0.098	34,265.55	
3	19.0	68.4	20.0	5.0	15.27	45.82	119.7	290.0	1,850.0	62.5	8.44	7.90	67.62	23.3	0.082	28,494.94	Optimizada

a) Análisis e interpretación de resultados:

- ✓ El costo actual de consumo de energía, por metro cúbico, de la línea 2 (conformada por tres bombas Warman AH 4x3 de 50 HP cada una) es 0.261 USD/m³, considerando que se está trabajando con una tubería PE100 PN20 de 4". Optimizándola con una tubería PE100 PN16 de 5" se logra un costo de consumo de energía, por metro cúbico, de 0.088 USD/m³. Se puede observar en el cuadro (sección correspondiente a la línea 2) que con una línea PE100 PN20 de 5" de diámetro se puede alcanzar un costo de 0.071 USD/m³, pero la velocidad real está muy cerca de la velocidad crítica.
- ✓ El costo actual de consumo de energía, por metro cúbico, de la línea 3 (conformada por tres bombas Warman AH 3x2 de 50 HP cada una) es 0.185 USD/m³, considerando que se está trabajando con una tubería PE100 PN20 de 4". Optimizándolo con una tubería PE100 PN20 de 5" se logra un costo de consumo de energía, por metro cúbico, de 0.082 USD/m³.
- ✓ De estos tres regímenes optimizados (uno por cada línea) el recomendable sería el régimen optimizado de la línea 1, que consiste en bombear 36 litros/segundo con una concentración de 60% de sólidos, lo cual equivale a 16.5 kg/l.
- ✓ Se recomienda este régimen de bombeo porque el caudal seleccionado (36 litros/segundo) cubre la producción total de relave por parte de la planta concentradora; esto se refleja en beneficios operacionales.

CONCLUSIONES

1. Durante junio del 2014 se determinó uniformizar la línea de red de tuberías de relleno hidráulico en la unidad minera Chungar estandarizando las tuberías de polietileno de HDPE de 4" \varnothing acompañado de la estandarización general de la red principal de transporte de pulpa de relave a lo largo de las rampas y accesos desde el nivel 610 (bocamina de rampa Mirko) hasta el nivel 310 (comedor de mina). El adecuado sistema de gestión de relleno hidráulico permite un adecuado piso de trabajo para efectuar la perforación, el disparo y el acarreo de mineral, y para servir de sostenimiento para que la mina no colapse debido al incremento de áreas abiertas, la mejora de la productividad está asociada a la uniformización de red de tuberías, a partir de esa fecha a la actualidad fue mejorando el incremento de relleno hidráulico desde 18,713 m³ durante el periodo 2015 a 24,037 m³ durante el periodo 2019, por lo que las medidas tomadas al uniformizar el diámetro de red de tuberías mejoró la productividad del sistema de gestión de relleno hidráulico.
2. En los últimos meses el mayor porcentaje de eventos con falla a los procesos operativos de relleno hidráulico que se ha tenido ha sido por rotura o desempalme de las tuberías de polietileno, por diversos motivos, donde el punto crítico es el desgaste de la tubería de polietileno por diversos factores como son:
 - Vida útil de las tuberías de polietileno (años de trabajo)
 - Volumen de material transportado por cada mes (m³)
 - Horas efectivas de bombeo de pulpa (h)
 - Presión de bombeo
 - Espesor de las paredes de la tubería (mm)
 - Tipo de material transportado (propiedades físicas del material)
 - Densidad de pulpa transportada (ρ)
 - Gradiente de la instalación de la tubería
 - Velocidad crítica de la pulpa

Otra de las fallas en el proceso de transporte de pulpa de relave para las operaciones de relleno hidráulico en interior de mina es reducir considerablemente las fallas en el proceso como es el arenamiento por causa de rotura de tubería o desempalmes en plena operación de bombeo, el cual afectaría a la productividad, por lo que un adecuado mantenimiento de la red de tuberías permite mejorar y controlar el volumen de relleno hidráulico programado, como se observa durante el incremento de relleno hidráulico entre los periodos 2015 al 2019.

3. Durante el año 2014 se generó el proyecto de instalación y estandarización de 7,300 metros de tubería de polietileno HDPE de 4" \varnothing en interior de mina, lo que permitió mejorar el incremento de relleno hidráulico hacia los tajeos explotados, el transporte de la pulpa de relave desde los silos 3 y 4 se realiza por medio de tuberías de polietileno de HDPE PE 80 PN 12.5 de 4" \varnothing .

Por lo que se reemplazó el tramo de 700 metros de tubería de polietileno de HDPE P80 PN12.5 de un diámetro de 4" (\varnothing) para las 3 líneas y 6 600.0 metros de tubería de polietileno de HDPE PE 100 PN20 de un diámetro de 4" (\varnothing) también para las 3 líneas que serán instaladas entre los niveles 610 (superficie) hasta el nivel 310 (comedor de mina), siendo el desplazamiento por las vías de la rampa Mirko y Terry. La nueva instalación de las tuberías de polietileno optimizó el proceso de transporte de pulpa de relave para las operaciones de relleno hidráulico en interior de mina, y de esta manera reducir considerablemente las fallas en el proceso como es el arenamiento por causa de rotura de tubería o desempalmes en plena operación de bombeo.

4. El cálculo de relleno hidráulico considera la alimentación de mineral en planta concentradora de 5,761.61 toneladas métricas secas por día, con un radio de concentración de 9.98, se obtendrá 577.48 toneladas de concentrado (Pb, Zn y Cu) y de 5,184.13 toneladas de relave, el cual se enviará a la planta de relleno hidráulico Montenegro para su clasificación en los ciclones considerando un total de 2,436.54 toneladas en el *under flow* y de 2,747.59 toneladas en el *ower flow*, con una eficiencia del 47%, con una densidad de 1800 kg/m³.

5. La producción en la mina Animón, produce un aproximado de 4,200 toneladas métricas por día, de los cuales 420 toneladas es del método de minado *sublevel stoping* (10%) y 3,780 toneladas del método de minado *Over Cut and Fill* (90%).
6. La demanda total de relleno hidráulico necesario para cubrir el método de minado *Over Cut and Fill* es de 3,780 t/d, considerando un peso específico de 3.15, se necesitará 1200 m³ de relleno hidráulico.
7. El rendimiento de aporte de relleno hidráulico durante el periodo julio 2018 a abril 2019 fue óptimo con un volumen de alimentación mensual promedio ejecutado de 31,101 m³, siendo el volumen de alimentación programado de 29,136 m³.
8. El rendimiento de aporte de relleno hidráulico durante el periodo 2015 al 2019 se incrementó de un promedio mensual de 18,713 m³ a 24,037 m³. Este mayor incremento de aporte de relleno hidráulico mejoró la optimización de producción de relleno considerando menores costos de relleno.
9. El costo de consumo de energía, por metro cúbico, con esta nueva línea sería de 0.075 USD/m³, es decir, se reduciría el costo al 45.7% del costo actual. Se considera el precio en energía eléctrica de 0.0057 US \$/kWh y una gravedad específica de 2.9.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que el área de servicios de mina deberá coordinar con una ECM (empresa contratista minera) para la perforación e instalación de alcayatas de acuerdo al estándar, debido a que durante el estudio se encontraron varios tramos donde no se cuenta con taladros ni las respectivas alcayatas en la red principal de relleno hidráulico.
2. Se recomienda que el área de servicios de mina apoye con el equipo utilitario para realizar la estandarización de las tuberías a lo largo del recorrido de la red principal de tuberías de relleno hidráulico
3. Se recomienda realizar el control de parámetros en la planta de relleno hidráulico, el muestreo y análisis granulométrico cada 10 días donde se detalle la eficiencia de los hidrociclones, gravedad específica, porcentaje de sólidos, entre otros.
4. Se recomienda que el régimen de bombeo de caudal seleccionado (36 litros/segundo) cubre la producción total de relave por parte de la planta concentradora, esto se reflejará en mayores beneficios operacionales.

LISTA DE REFERENCIAS

1. **CABEZAS ARMELLON, Percy Mauro.** *Aplicación de relleno hidráulico para acelerar el ciclo de minado en la veta Principal-nivel 310*; empresa administradora Chungar S. A. C. (EACH), unidad minera Animón. Undac. Pasco: s.n., pág. 36, Tesis. 2016.
2. **GOMEZ INADO, Jimny Alberto y SANCHEZ LLERENA, Henry Jhulyano.** *Evaluación técnica del relleno hidráulico para estabilizar las zonas explotadas en la compañía minera Poderosa S. A. U. N. H.* Huancavelica: s.n., pág. 92, Tesis. 2012.
3. **LÓPEZ, H. y ZUÑIGA, B.** *Optimización del cálculo en el volumen de relleno hidráulico para tajos mecanizados y convencionales de consorcio minero Horizonte S. A.* Tesis. 2012.
4. **VIVES, A.** *Evaluación técnica y económica de una mina subterránea utilizando relleno cementado.* Tesis. 2015
5. **RIVERA, D.** *Optimización del sistema de relleno RDC para el método de explotación cámaras y pilares corte y relleno (drift and fill) ascendente en la mina el Roble ubicada en el municipio el Carmen de Atrato del departamento de Choco, Colombia.* Tesis. 2017.
6. **RODRIGUEZ REYNA, Ninan Deyvi.** *Optimización del sistema de relleno hidráulico mediante la implementación de una tercera línea en la red de tubería de relleno hidráulico en la empresa consorcio minero Horizonte S. A. U. N. T.* Trujillo: s.n., pág. 17 y 40. Tesis. 2017.
7. **ARAUJO FERNÁNDEZ, Alithu Karen y PATRONI MÁRQUEZ, Andrea Patiño.** *Beneficios de la aplicación del relleno hidráulico en cámaras de minas subterráneas como un depósito de relaves. Caso: mina Condestable. Mala, Cañete USMP.* Lima: s.n., pág.45. Tesis. 2017.
8. **GOMEZ JIMÉNEZ, Alejandro Baldomero.** *Proyecto de ejecución de un relleno hidráulico y su tratamiento para cimentación.* UPM. Madrid, pág. 16, Trabajo fin de Master. 2016.

ANEXOS

Anexo A

Matriz de operacionalización de variables

Tabla 29. Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definiciones	Definición operacional		
		Dimensiones	Subdimensión	Indicadores
VI: Mejora de la productividad	<p>Crecimiento de la producción logrando una competitividad sostenida que garantice una operación eficaz de la mina.</p>	<p>Crecimiento de la producción</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Competitividad sostenida •Operación eficaz 	<ul style="list-style-type: none"> •% de cumplimiento de avance en los tajeos •Efectividad de la operación •Rentabilidad en la producción
VD: Sistema de relleno hidráulico	<p>Material que es transportado en forma de pulpa por tuberías con la finalidad de disminuir problemas de inestabilidad el cual busca el nivel de sostenimiento en forma natural en la explotación. En su mayoría el material es el relave de planta concentradora.</p>	<p>Material transportado en forma de pulpa por tuberías.</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Inestabilidad de explotación •Busca su nivel en forma natural 	<ul style="list-style-type: none"> •Índice de permeabilidad •Velocidad de percolación

Tabla 30. Matriz de consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables
<p>Problema general ¿Cómo mejorar la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar-Animón 2019?</p> <p>Problemas específicos ¿De qué manera influye el desgaste de la tubería en la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019?</p> <p>¿De qué manera influye la mala distribución de la línea de red de tubería en la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019?</p>	<p>Objetivo general Mejorar la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019.</p> <p>Objetivos específicos Determinar la influencia del desgaste de la tubería en la mejora de la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar-Animón 2019.</p> <p>Determinar la influencia de la mala distribución de la línea de red de tubería en la mejora de la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019.</p>	<p>Hipótesis general Mejora de la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar-Animón 2019.</p> <p>Hipótesis Específicas La mejora de la vida útil de la tubería influirá positivamente en la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019.</p> <p>La mejora de la distribución de la línea de red de tubería influirá positivamente en la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la zona Mirko Este - Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019.</p>	<p>VI: mejora de la productividad VD: sistema de relleno hidráulico</p> <p>VI: vida útil de la tubería VD: sistema de relleno hidráulico</p> <p>VI: distribución de la línea red de tubería VD: sistema de relleno hidráulico</p>

Anexo B

Planos en sección planta y transversal

UNIFILAR DE RED DE TUBERIAS DE RELLENO HIDRAULICO DEL NIVEL 610 AL NIVEL 310

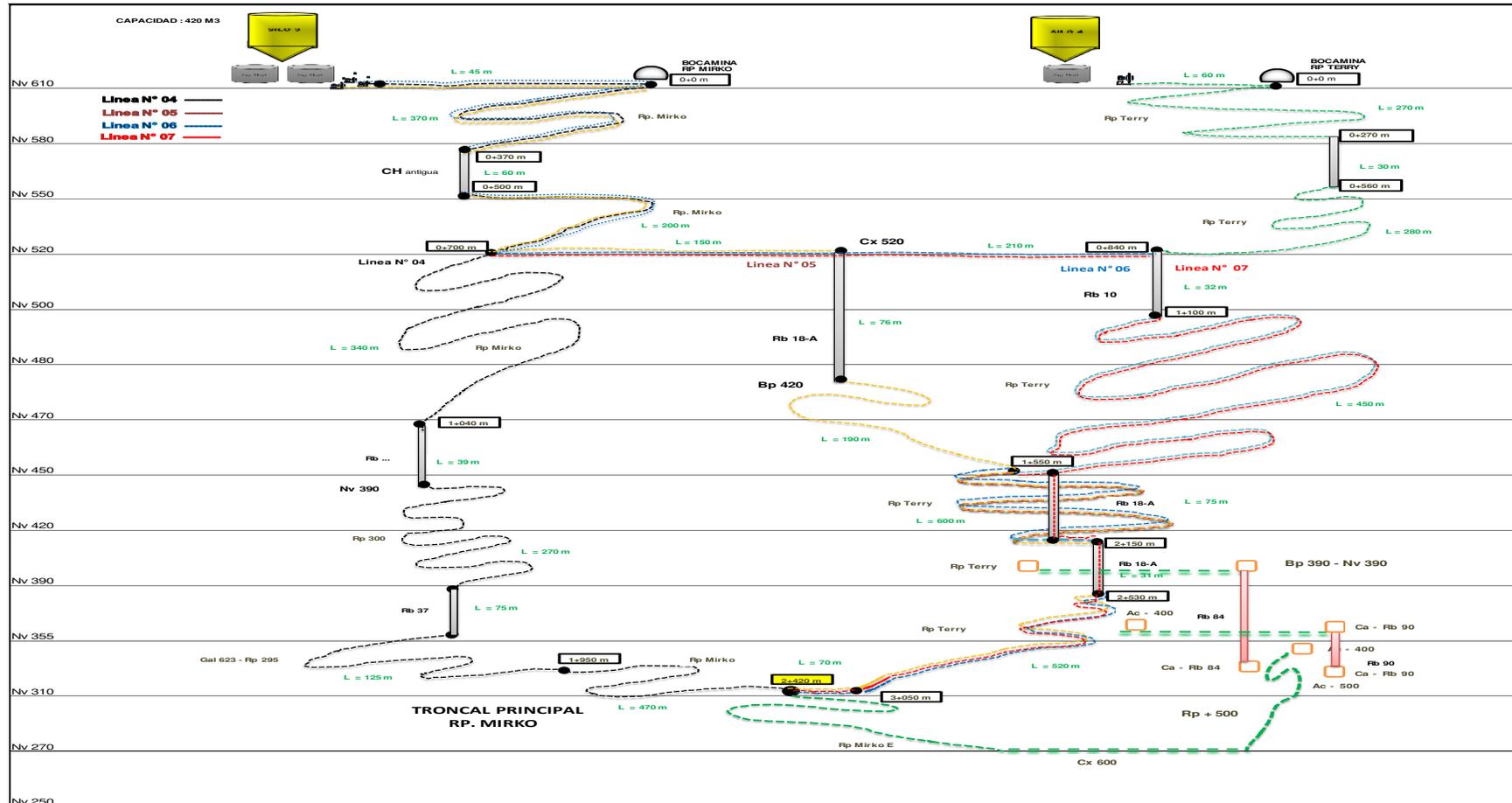


Figura 11. Unifamiliar de red de tuberías de relleno hidráulico, unidad minera Chungar



Figura 12. Diagrama de flujo del proceso de relleno hidráulico, planta Montenegro, unidad minera Chungar

PLANTA RH ESPERANZA

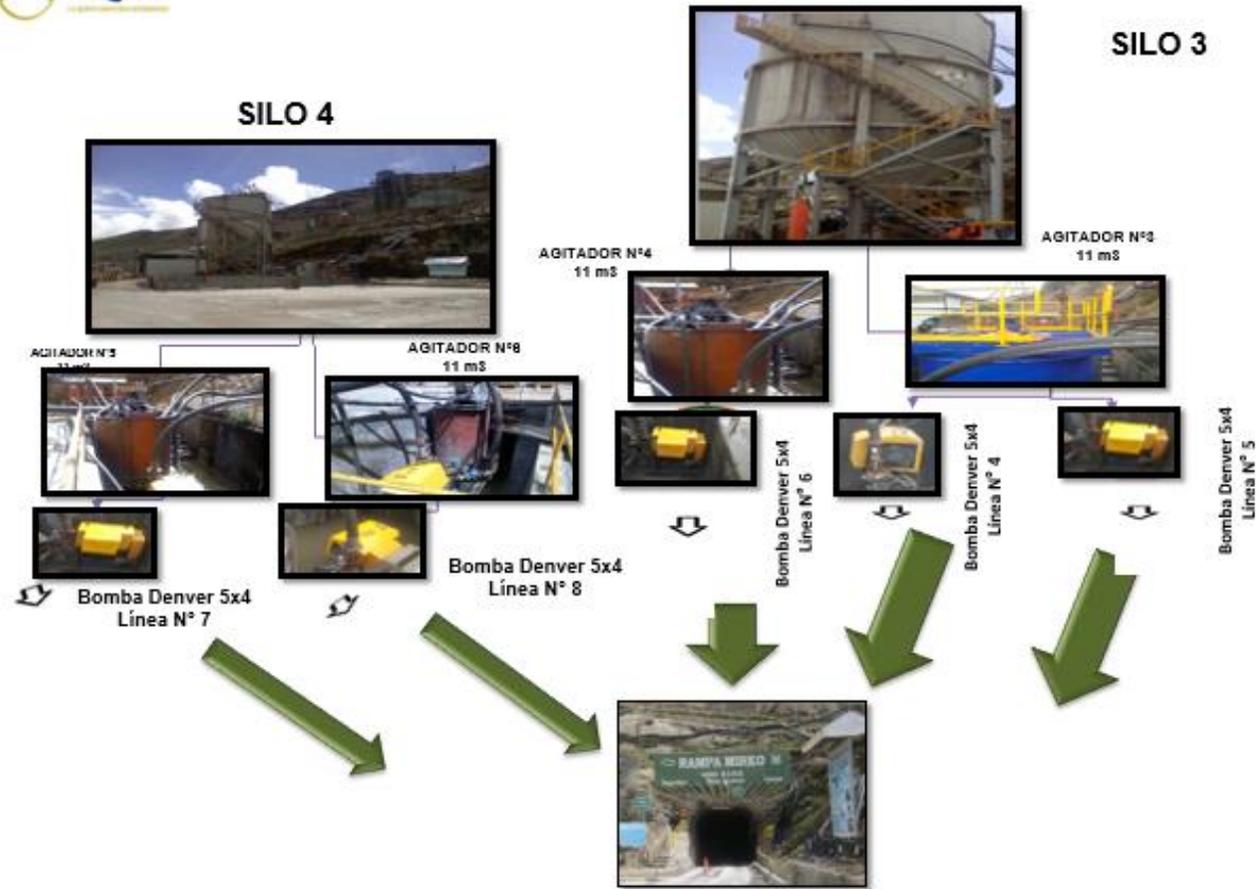


Figura 13. Diagrama de flujo del proceso de relleno hidráulico, planta Montenegro, unidad minera Chungar

Anexo C

Informe estudio granulometría



**Administradora de Proyectos Mineros
y Civiles S.R.Ltda.
"APROMINC S.R.L"**

Inscrito en el Registro de Empresas Especializadas de Contratistas Mineros
Nº de Resolución Directoral: 170- 2006-MEM/DOM, Nº Registro: 0401027804

ANIMON, 08 DE MARZO DE 2019

A : Ing. Juan **MORALES TOLEDO** - GERENTE DE OPERACIONES APROMINC
Cc : Ing. Jaime **MORALES GUERREROS** - RESIDENTE APROMINC
DE : Ing. Anderson **HIDALGO SOLIS** - SUPERVISOR DE CONTROL DE CALIDAD
ASUNTO : **INFORME SOBRE EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA PLANTA RELLENO HIDRÁULICO CON EL MINERAL DE CHUNGAR.**

Por medio del presente reciba mis saludos cordiales y a la vez paso a informarle los trabajos realizados en mejora del control y clasificación en relleno hidráulico:

Que, el día 07 de Marzo del presente año, se realizó el muestreo y el Análisis granulométrico de la Planta Relleno Hidráulico para saber, cuánto es la clasificación del relave disponible para relleno hidráulico y la eficiencia de los ciclones D-15 en el nido de hidrociclones

INTRODUCCIÓN:

En la minería subterránea el objetivo principal es extraer del subsuelo los minerales para su posterior tratamiento en Planta Concentradora. No todo el mineral que se extrae tienen contenido metálico, por esa razón después del tratamiento en Planta Concentradora queda un remanente pobre sin contenido metálico llamado relave, el cual tiene que ser reubicado para mantener la continuidad del proceso. La relación entre el volumen del concentrado y relave, material pobre depende de varios aspectos, entre los cuales podemos citar las leyes de mineral, el modo de extracción entre otros,

Existe varios métodos de rellenado entre los cuales podemos citar: relleno détrico, relleno en pasta, relleno cementado, relleno hidráulico entre otros:

En la minería generalmente se viene utilizando el relleno hidráulico, este método consiste en mezclar agua y relave en proporciones adecuadas a las necesidades. Esta mezcla con agua es denominada pulpa, la pulpa puede estar conformada con sólidos de diferentes tamaños

En el relleno hidráulico generalmente se trabaja con pulpas de grano medio y fino, el porcentaje de éstos determinará las propiedades de percolación y bombea. Una de las desventajas de este método es la cantidad de agua que contiene ya que después de la percolación, esta debe ser extraída.

ACTIVIDADES REALIZADAS:

1. Se cambió los ápex de los hidrociclones N° 01, 03 y 05 en el nido de Hidrociclones por presentar desgaste de un octavo de pulgada (1/8"). Se realizó la calibración de Balanzas Marcy para la medición de la densidad y el porcentaje en solido de las muestras tomadas para el análisis granulométrico.



2. Se realizó el muestreo del nido de hidrociclones D-15. (Densidad de Pulpa, Gravedad Específica y % en Solido del Alimento, Over y Under.)



El muestreo se realizó en intervalos de 30 minutos durante 6 horas, como se observa; la densidad del relave de la Planta Concentradora debe mantenerse en 1.37 Kg/Lt. Para que la densidad en el Under (Relleno hidráulico); se mantenga en 2.10 Kg/Lt y por ende se obtendrá un porcentaje en solido de 81.16%, con una gravedad específica de 2,82 y así logra una baja porción en la malla -200 (finos).

HORAS DE MUESTREO			5 HORAS
DENSIDAD DE PULPA			
HORA	FEED	OVER	UNDER
12:00	1350	1350	2100
12:30	1380	1400	2150
13:00	1380	1350	2150
13:30	1350	1300	2100
14:00	1380	1300	2150
14:30	1400	1350	2150
15:00	1400	1300	2100
15:30	1380	1300	2150
16:00	1400	1350	2100
16:30	1380	1250	2050
17:00	1380	1340	2080
17:30	1350	1280	2030
18:00	1350	1280	2000
PROM.	1375	1318	2100

G.E	FEED	OVER	UNDER
	2.75	2.74	2.82

% sólido	Alimento	Tanque A	Mina
	FEED	OVER	UNDER
	42.83	37.97	81.16

3. Se realizó el análisis granulométrico de los hidrociclones D-15. El propósito de esta etapa de trabajo es someter el relave muestreado a un proceso de separación de partículas de acuerdo al tamaño y gravedad específica de las partículas a fin de obtener un producto ideal para los propósitos de Relleno Hidráulico. El equipo emplea para este propósito es un nido de 5 hidrociclones el muestreo se realizó cuando trabajan 4 hidrociclones en operación (Hidrociclón N° 01, 02, 03 Y 05).



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE NIDO HIDROCIKLONES D-15

MALLA	MICRON	Densidad 1375			1318			2100		
		ALIMENTO			OVER FLOW			UNDER FLOW		
		Peso	% Peso	Passing	Peso	% Peso	Passing	Peso	% Peso	Passing
20	841	4.08	0.50	99.50	0.81	0.21	99.79	1.86	1.68	98.32
36	500	42.64	5.26	94.34	10.26	2.71	97.08	83.87	8.75	88.57
45	354	62.05	7.66	86.59	16.18	4.27	92.80	104.24	14.78	71.79
75	200	122.39	15.09	71.50	33.91	8.96	83.84	182.17	25.83	45.96
100	149	73.69	9.09	62.41	19.84	5.24	78.60	98.37	13.24	32.72
140	105	106.18	13.09	49.32	42.10	11.12	67.48	89.89	12.75	19.97
200	74	89.04	10.98	38.34	37.57	9.93	57.58	58.71	8.32	11.64
270	53	57.94	7.14	31.19	28.20	7.45	50.10	24.21	3.43	8.21
325	44	19.71	2.43	28.76	9.87	2.61	47.50	4.90	0.69	7.52
400	37	26.71	3.29	25.47	13.80	3.65	43.85	6.66	0.94	6.57
-400		206.56	25.47	0.00	165.98	43.85	0.00	46.35	6.57	0.00
		810.99	100.00		378.52	100.00		705.13	100.00	

PARA CALCULO DE EFICIENCIA			ALIMENTO		EFICIENCIA		D50	F 80	O/F 80	U/F 80
O'FLOW	U'FLOW	TOTAL	% Peso	Passing	O'FLOW	U'FLOW				
5.07	64.02	69.09	0.70	99.3	8.1	91.9	0.00	0.00	0.00	0.00
135.49	438.79	574.28	5.95	94.1	23.0	77.0	0.00	0.00	0.00	433.29
235.89	581.91	817.80	8.18	91.8	28.8	71.2	0.00	285.29	0.00	0.00
521.7	1025.84	1547.54	15.47	84.5	33.7	66.3	0.00	0.00	163.65	0.00
328.80	535.07	864.87	8.65	91.4	38.0	62.0	121.52	0.00	0.00	0.00
648.13	523.85	1171.98	11.72	87.8	37.1	62.9	0.00	0.00	0.00	0.00
535.56	351.4	886.96	9.87	90.1	64.4	35.6	0.00	0.00	0.00	0.00
478.06	151.39	629.45	6.29	93.7	75.9	24.1	0.00	0.00	0.00	0.00
770.49	34.16	804.65	3.05	98.0	83.3	16.7	0.00	0.00	0.00	0.00
335.18	45.67	380.85	3.82	97.2	83.8	16.2	0.00	0.00	0.00	0.00
2552.45	227.76	2780.21	27.81	72.2	91.8	8.2	0.00	0.00	0.00	0.00
		10000.00	100.00				121.52	285.29	163.65	433.29

GRAFICO Nº 1: CURVA TROMP DEL NIDO DE HIDROCICLONES D-15

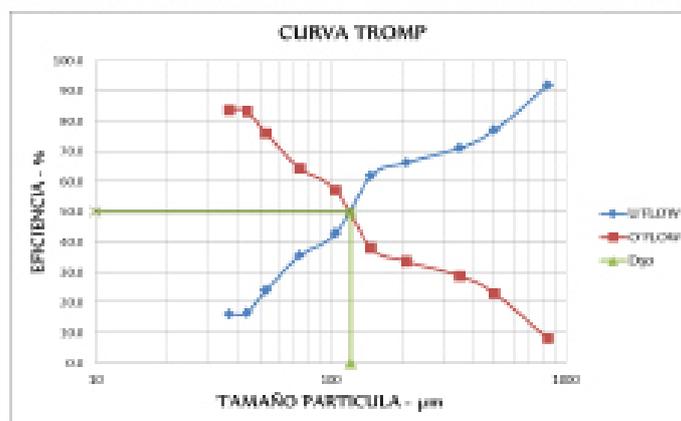
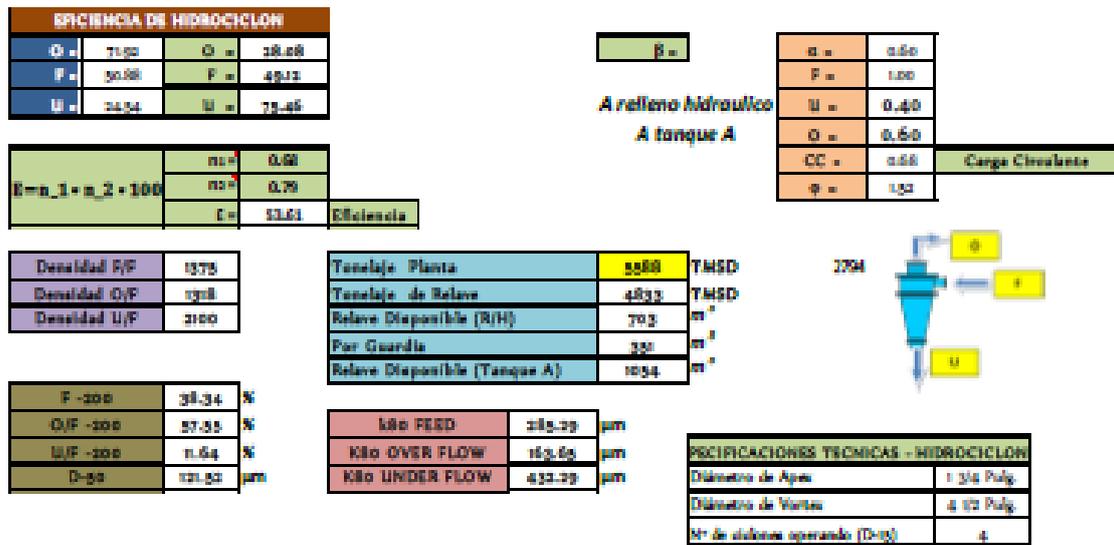


GRAFICO Nº 2: CURVAS DE G.S. DEL ALIMENTO, U' FLOW, O' FLOW DEL HIDROCICLON D-15



ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA Y RESULTADOS DEL NIDO HIDROCICLONES D-15.



Se observa que los sólidos bajo en la malla - 200 (finos) es 11,64 %, con una eficiencia de 53,61%. El porcentaje de carga hacia el Under (Relleno Hidráulico) es 40,0 % Con las cambio realizados se está relleno un aproximado de 703 m³ por día,

CONCLUSIONES.

Instruir al personal a trabajar con densidades de:

- ✓ La densidad de Alimentación de relave de Planta Concentradora debe mantenerse en 1.37 Kg/Lt. La densidad en este punto es primordial, porque cualquier variación indica que el tonelaje de tratamiento de Planta Concentradora ha bajado, tal es el caso cuando se trata mineral de Islay.
- ✓ En el Under Flow de la Planta Relleno Hidráulico, se deberá de trabajar con una densidad de 2.10 Kg/Lt, para tener los siguientes resultados:

Gravedad Específica : 2,82
Porcentaje en Solido : 81,16 %
Porcentaje malla N° -200 : 11,64 % (% fino)
Tonelaje de relave total : 4833 TMSD
Relave disponible (R/H) : 703 m³ por Día

Cualquier variación indicara que hay desgaste de Apex o Vortex.

- ✓ Realización del control de parámetros en la Planta Relleno Hidráulico, el muestreo y análisis granulométrico se realizará cada 15 días donde se detalle; la eficiencia de los hidrociclones, Gravedad Específica, Porcentaje en Solido entre otros.

Es cuanto informo a su despacho. Sin otro en particular me despido de Ud. en espera de su pronta respuesta.

Atte.

Ing. Anderson HIDALGO SOLIS
SUPERVISOR CONTROL DE CALIDAD – APROMINC