

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Análisis del sistema de relleno hidráulico para el método
de Explotación Sublevel Stopping en la compañía minera
Argentum S. A. - Unidad Minera Manuelita, 2020**

Diego Raúl Robles Arapa

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

ASESOR

Ing. Javier Córdova Blancas

AGRADECIMIENTO

Debo agradecer de manera especial y sincera al Ing. Javier Córdova por aceptar ser mi asesor para realizar esta tesis bajo su dirección. Su apoyo y confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas ha sido un importante aporte.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Ing. Peter Lucero y Gustavo Huanis por su apoyo incondicional en mi formación académica y sus consejos de reflexión cuando más lo necesitaba en mi vida personal.

Por último, agradecer a mi novia por su apoyo y empuje para culminar cerrar el círculo de mi formación académica y a mis hijas por ser la razón y motivo de mi superación del día a día.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi madre Vicentina Arapa por ser mi apoyo emocional en todo momento, a mi tío Héctor Robles, aunque no está físicamente presente fue mi mayor ejemplo de perseverancia.

No ha sido fácil el proceso de mi formación, pero gracias a las personas de mi alrededor por trasmitirme sus conocimientos y dedicación he logrado importantes objetivos como culminar el desarrollo de mi tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	I
ASESOR	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS	V
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN	XIV
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	16
1.1. Planteamiento y formulación del problema	16
1.1.1. Planteamiento del problema	16
1.1.2. Formulación del problema	17
1.2. Objetivos	17
1.2.1. Objetivo general	17
1.2.2. Objetivos específicos	17
1.3. Justificación e importancia	18
1.3.1. Justificación social - práctica	18
1.3.2. Justificación académica	18
1.3.3. Justificación económica	18
1.4. Hipótesis de la investigación	19
1.4.1. Hipótesis general	19
1.4.2. Hipótesis específicas	19
1.5. Identificación de las variables	19
1.5.1. Variable independiente	19
1.5.2. Variables dependientes	19
1.5.3. Matriz de operacionalización de variables	19
2. úmeración oculta – Estilo Titulo 2	21
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	21

2.1. Antecedentes del problema-----	21
2.1.1. Antecedentes nacionales -----	21
2.2. Generalidades de la unidad minera Manuelita -----	23
2.2.1. Ubicación accesibilidad y generalidades -----	23
2.3. Geología general -----	24
2.3.1. Geología regional -----	25
2.3.2. Estratigrafía -----	25
2.3.3. Geología local-----	31
2.4. Características del relleno hidráulico – zona manuelita-----	34
2.4.1. Condiciones granulométricas -----	34
2.4.2. Propiedades físicas-----	34
2.4.3. Propiedades químicas -----	34
2.4.4. Condiciones de mezcla-----	34
2.4.5. Comportamiento geomecánico-----	35
2.5. Procedimientos de colocación -----	38
2.6. Tapones de relleno hidráulico -----	39
2.6.1. Análisis de esfuerzos horizontales del tapón permanente tipo 1-----	40
2.6.2. Análisis de esfuerzos horizontales del tapón permanente tipo 2-----	43
2.7. Método de minado <i>sublevel stoping</i> U.M. Manuelita -----	48
2.8. Resumen general de avances en la U.M. Manuelita-----	50
2.9. Resumen general de producción en la U.M. Manuelita -----	50
2.10. Bases teóricas del estudio-----	51
2.10.1. Generalidades-----	51
2.10.2. Conceptos teóricos -----	51
2.10.3. Disposición de residuos sólidos y líquidos de relave de planta concentradora “amistad” hacia la planta de relleno hidráulico de Manuelita-----	53
2.10.4. Traslado de relave con volquete -----	53
2.10.5. Entelado de volquete para traslado de relave -----	54
2.10.6. Carguío de relave a los volquetes -----	54
2.10.7. Descarga de relave en la planta de relleno hidráulico de Manuelita -----	54
2.10.8. Especificaciones del material de relave en planta-----	54

2.10.9. Envío de relave hacia interior mina (rellenado de tajo) -----	55
2.10.10. Clasificación para relleno hidráulico (pulpa de relave) -----	55
2.10.11. Producción de relleno hidráulico -----	56
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN -----	60
3.1. Método y alcances de la investigación -----	60
3.1.1. Método de la investigación -----	60
3.2. Diseño de la investigación -----	61
3.2.1. Diseño 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 -----	62
3.4.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos -----	62
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	63
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información -----	63
4.1.1. Estudios de mecánica de suelos del relleno hidráulico -----	63
4.1.2. Características para la clasificación del relleno hidráulico -----	65
4.1.3. Análisis de la producción de relleno hidráulico -----	67
4.1.4. Análisis de la producción de mineral y el relleno hidráulico -----	73
4.1.5. Análisis económico -----	75
CONCLUSIONES -----	78
RECOMENDACIONES -----	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	82
ANEXOS -----	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de variables	19
Tabla 2. Ruta geográfica	24
Tabla 3. Resumen general de avances en la U.M. Manuelita	50
Tabla 4. Resumen general de producción periodo 2019 de la veta 11 de la U.M. Manuelita.....	51
Tabla 5. Balance de flujo y masa	54
Tabla 6. Análisis granulométrico	55
Tabla 7. Producción de relleno hidráulico periodo 2013 – 2014 en la unidad minera Manuelita	57
Tabla 8. Producción de relleno hidráulico periodo 2015 – 2016 en la unidad minera Manuelita.....	58
Tabla 9. Análisis granulométrico	64
Tabla 10. Características para la clasificación del relleno hidráulico en la unidad minera Manuelita.....	66
Tabla 11. Producción de relleno hidráulico periodo 2013 y 2014 en la unidad minera Manuelita	68
Tabla 12. Producción de relleno hidráulico periodo 2015 y 2016 en la unidad minera Manuelita	69
Tabla 13. Producción de relleno hidráulico periodo 2017 y 2018 en la unidad minera Manuelita	70
Tabla 14. Producción de relleno hidráulico y relleno detrítico periodo 2019 en la unidad minera Manuelita	72
Tabla 15. Producción de mineral, relleno hidráulico y relleno detrítico periodo 2019 en la unidad minera Manuelita.....	74
Tabla 16. Análisis económico, considerando el margen operativo de los ingresos y costos de minado periodo 2019 en la unidad minera Manuelita.....	76
Tabla 17. Matriz de operacionalización de variables de la unidad minera Manuelita	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación y acceso al área del Distrito de Morococha.....	24
Figura 2. Plano geológico regional del Distrito de Morococha.....	25
Figura 3. Columna estratigráfica generalizada de la región.	27
Figura 4. Columna estratigráfica distrito minero de Morococha	29
Figura 5. Geología general de la unidad minera Manuelita.....	30
Figura 6. Perfil geológico de la unidad minera Manuelita.....	33
Figura 7. Diagrama de flujo de la pulpa.....	39
Figura 8. Esquema del tapón de concreto.....	40
Figura 9. Características del tapón de concreto.....	41
Figura 10. Resolución del cálculo matemático	42
Figura 11. Características geomecánicas en la U.M. Manuelita.....	48
Figura 12. Secuencia del método de minado sublevel stoping con taladros largos en la U.M. Manuelita.....	49
Figura 13. Diagrama de flujo clasificación para planta de relleno hidráulico Manuelita.....	56
Figura 14. Layout anterior del sistema de relleno hidráulico en la unidad minera Manuelita.....	85
Figura 15. Layout actual del sistema de relleno hidráulico en la unidad minera Manuelita.....	86
Figura 16. Perfil de labores en la veta 10 en la unidad minera Manuelita	87
Figura 17. Perfil de labores en la veta 11 en la unidad minera Manuelita	88
Figura 18. Estratigrafía de la unidad minera Manuelita	89

RESUMEN

La presente tesis cuyo objetivo será el análisis del sistema de relleno hidráulico aplicado en el método de minado sublevel stoping, para la reducción de costos en el ciclo de minado en la compañía minera Argentum S. A. – unidad minera Manuelita.

Durante el desarrollo de la presente tesis se aplicó el método analítico, donde la investigación es de carácter descriptivo - explicativo. El diseño de investigación es de carácter preexperimental, de tal forma que se observó los diferentes resultados del relleno hidráulico histórico y durante el periodo 2019, teniendo un énfasis en el periodo de incremento de relleno hidráulico periodo abril a julio del 2019. Se generó la obtención de información mediante la revisión documentaria y el acopio de información correspondiente a la unidad minera Manuelita.

Se concluye con el análisis del *layout* de relleno hidráulico desde la planta de relleno hidráulico, considerando el análisis del material presente en el *under flow* y *el over flow*, para la selección y transporte de material de relleno como pulpa y su transporte por tuberías HDPE de 4" de diámetro hacia los diferentes tajeos explotados por el método de explotación sublevel stoping a ser rellenos.

La producción de mineral en la UM Manuelita durante el periodo 2019 fue de 160,175 toneladas de mineral, con un total de producción de 47, 588 TMS de relleno hidráulico y de 45,534 TMS de relleno detrítico.

La ratio de relleno hidráulico versus el relleno detrítico anual es de 1.05 y durante el periodo abril a julio del mismo periodo es de 1.46. Este mayor incremento de razón relleno hidráulico versus relleno detrítico en 0.41 es producto de una mayor aplicación del método de minado *sublevel stoping* comparado con el método de minado *cut and fill*, en niveles más profundos de la operación.

Finalmente, el menor costo de relleno durante el periodo abril a julio del 2019 se observa una reducción en 24.62 \$ mensuales, esto fue por el incremento de producción de mineral.

Palabras clave: método de minado, relleno hidráulico, relleno detrítico, producción, optimización, costos, margen operativo, under flow, over flow.

ABSTRACT

This thesis whose objective will be the analysis of the hydraulic filling system applied in the sublevel stopong mining method, for the reduction of costs in the mining cycle at Compañía Minera Argentum S.A. - Manuelita Mining Unit.

During the development of this thesis, the analytical method was applied, where the research is descriptive - explanatory. The research design is of a pre-experimental nature, in such a way that the different results of the historical hydraulic fill were observed and during the 2019 period, with an emphasis on the period of increase of the hydraulic fill from April to July 2019. Obtaining information through documentary review and information gathering corresponding to the Manuelita mining unit.

It concludes with the analysis of the hydraulic filling layout from the hydraulic filling plant, considering the analysis of the material present in the under flow and over flow, for the selection and transport of filling material such as pulp and its transport through HDPE pipes of 4 "in diameter towards the different pits exploited by the sublevel stoping method of exploitation has to be filled.

Mineral production in the Manuelita MU during the 2019 period was 160,175 tons of ore, with a total production of 47,588 MT of hydraulic fill and 45,534 MT of detrital fill.

The ratio of hydraulic fill versus annual debris fill is 1.05 and during the April to July period of the same period it is 1.46. This greater increase in the ratio of hydraulic fill versus debris fill in 0.41 is the result of a greater application of the sublevel stoping mining method compared to the cut and fill mining method, at deeper levels of the operation.

Finally, the lower filling cost during the period April to July 2019 shows a reduction of 24.62 US \$ per month, this was due to the increase in mineral production.

Keywords: mining method, hydraulic fill, debris fill, production, optimization, costs, operating margin, under flow, over flow.

INTRODUCCIÓN

La unidad minera Manuelita representa una diversidad de estructuras mineralizadas desde vetas, cuerpos y diseminados. Estas estructuras están emplazadas en el contacto de intrusivos y ambientes sedimentarios asociados a un yacimiento tipo *skarn*.

Durante los últimos años, se vienen aplicando métodos de explotación semi masivos como el *sublevel stoping* con taladros largos. La aplicación del método de minado *sublevel stoping* permite un mejor rendimiento de los procesos unitarios que involucra el ciclo de minado desde costos de perforación, costos de voladura, costos de limpieza y costos de relleno.

Es justamente los costos de relleno que juegan un papel importante en programas de optimización y reducción de costos en niveles de explotación profundas. Por lo que es importante ir realizando diferentes análisis de sensibilidad en el relleno hidráulico.

Frente a esto, el resultado del análisis del sistema de gestión de relleno hidráulico permitió mejorar la productividad durante el periodo abril a julio del 2019 por el mayor tonelaje transportado de relleno hidráulico a los diferentes tajeos minados por el método de minado *sublevel stoping*.

Para el desarrollo se considera los siguientes capítulos: en el Capítulo I se considera el planteamiento del problema general y específicos, el objetivo general y específicos, la hipótesis de investigación general y específicos, así como la identificación de variables independientes y dependientes.

Para el Capítulo II, se describirá los antecedentes del problema, las generalidades de la empresa, asimismo se describe las bases teóricas del sistema de relleno hidráulico aplicado en el método de minado *sublevel stoping*.

Para el Capítulo III, se describirá la metodología de investigación, donde se detalla el método y alcance de la investigación, así mismo se explica el diseño a desarrollar, su nivel de investigación, la población y muestra utilizada para el análisis de la investigación y finalmente explica la técnica de recolección y tratamiento de información.

Para el Capítulo IV, se describe los diferentes resultados obtenidos mediante el análisis de las variables operacionales que influyen el relleno hidráulico en la unidad minera Manuelita para obtener la mejora de la productividad y reducción de costos operacionales, los cuales se describen producto del análisis e interpretación de los resultados.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

La unidad minera Manuelita, perteneciente a la compañía minera Argentum S. A., está ubicada en el distrito minero de Morococha, departamento de Junín. Opera los sectores de Manuelita, Codiciada, Sulfurosa y Yacumina, con una producción total promedio de 2000 toneladas por día, con leyes de Pb@1.01 %, Ag@134 ppm, Zn@3.35 % y Cu@0.99 %, con un ancho de veta promedio de 1.9 metros y un valor de mineral de 145 \$/t.

El método de minado que se aplica en la operación minera es el *sublevel stoping* con taladros largos y en menor proporción el corte y relleno ascendente. La unidad minera Manuelita, acorde a su programa de desarrollos y explotación, viene profundizando sus labores de exploración, desarrollo y explotación en niveles más profundos, para lo cual debe atender a la necesidad de relleno hidráulico.

El incremento de costos de relleno hidráulico en la unidad minera Manuelita es producto del incremento de la distancia de los tajeos y de los costos de transporte, debido a la explotación de tajeos en niveles inferiores, lo que permite generar programas de optimización y reducción de costos en el sistema de relleno hidráulico.

1.1.2. Formulación del problema

Problema general

¿Cuál es la influencia en el análisis del relleno hidráulico en la reducción de costos en el método de explotación *sublevel stoping* de la compañía minera Argentum S. A. – unidad minera Manuelita, 2020?

Problemas específicos

- a) ¿Cuál es la relación de ratios de relleno hidráulico y relleno detrítico en el método de explotación *sublevel stoping* de la compañía minera Argentum S. A. – unidad minera Manuelita, 2020?

- b) ¿Cuál es la influencia de los costos de relleno hidráulico en el margen operacional del método de explotación *sublevel stoping* de la compañía minera Argentum S. A. – unidad minera Manuelita, 2020?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la influencia en el análisis del relleno hidráulico en la reducción de costos en el método de explotación *sublevel stoping* de la compañía minera Argentum S. A. – unidad minera Manuelita, 2020.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Determinar la relación de las ratios de relleno hidráulico y relleno detrítico en el método de explotación *sublevel stoping* de la compañía minera Argentum S. A. – unidad minera Manuelita, 2020.

- b) Determinar la influencia de los costos de relleno hidráulico en el margen operacional del método de explotación *sublevel stoping* de la compañía minera Argentum S. A. – unidad minera Manuelita, 2020.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación social - práctica

El presente estudio permitirá identificar variables operacionales mediante la evaluación técnica económica del relleno hidráulico en la unidad minera Manuelita, esto permitirá reducir los tiempos de relleno hidráulico en diferentes tajeos de producción, por lo tanto, bajar los costos operacionales, tener mayor productividad y optar por estándares óptimos de seguridad.

Al mejorar la rentabilidad económica de la operación minera, permitirá tener mejores ingresos y por lo tanto generar mayores impuestos al estado, el que se traducirá en un mejor beneficio social.

1.3.2. Justificación académica

El presente estudio realizará la evaluación técnica económica del sistema de relleno hidráulico en la operación minera, para lo cual analizará e interpretará las variables operacionales para generar programas de optimización y reducción de costos en las distintas áreas unitarias.

Por tal motivo, el presente estudio permitirá llegar a los estudiantes y egresados de la carrera de Ingeniería de Minas, otorgando una referencia de evaluación técnica económica en relleno hidráulico y su análisis correspondiente de diferentes variables operacionales y generar la mejora de la productividad en la operación minera.

1.3.3. Justificación económica

El presente trabajo de investigación permitirá el análisis de las variables operacionales en el relleno hidráulico, por lo que el análisis técnico económico posibilitará analizar las diferentes variables operacionales inherentes al ciclo de minado y así mejorar los diferentes tiempos unitarios del ciclo de relleno hidráulico, y la productividad en el plan de minado programado, generando la mejor rentabilidad de las inversiones operativas.

1.4. Hipótesis de la investigación

1.4.1. Hipótesis general

El análisis del relleno hidráulico influye positivamente en la reducción de costos del método de explotación *sublevel stoping* de la compañía minera Argentum S. A. – unidad minera Manuelita, 2020.

1.4.2. Hipótesis específicas

- a) La relación de las ratios de relleno hidráulico y relleno detrítico influyen positivamente en el análisis del método de explotación *sublevel stoping* de la compañía minera Argentum S. A. – unidad minera Manuelita, 2020.
- b) Los costos de relleno hidráulico influyen positivamente en el margen operacional del método de explotación *sublevel stoping* de la compañía minera Argentum S. A. – unidad minera Manuelita, 2020.

1.5. Identificación de las variables

1.5.1. Variable independiente

- Método de explotación *sublevel stoping*

1.5.2. Variables dependientes

- Análisis del sistema de relleno hidráulico

1.5.3. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1. *Tabla de variables*

Variables	Definición Conceptual	Definición operacional		
		Dimensiones	Subdimensiones	Indicadores
VI: Método de explotación sublevel stoping.	El método de minado que se aplica en la extracción de mineral, permitirá cumplir la producción programada analizando e integrando las diferentes variables del ciclo de minado.	<ul style="list-style-type: none"> • Variables geológicas • Variables geomecánicas 	Variable geológica Variable geomecánica	Leyes, NSR, etc. Propiedades del macizo rocoso

VD: Análisis del sistema de relleno hidráulico.	La gestión de relleno hidráulico para cumplimiento del programa de avances y plan de producción en el método de minado sublevel stoping.	<ul style="list-style-type: none"> • Variables técnicas y económicas 	Valoración de costos operativos Valoración económica	Opex Costos directos Costos indirectos
--	--	---	---	--

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes nacionales

- Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa titulada “*Esquema de diseño del sistema de relleno hidráulico como elemento básico de sostenimiento para la reducción de los costos en el transporte de pulpa mina Arcata*”. El objetivo principal de la investigación fue definir el diseño de relleno hidráulico, para generación de reducción de costos en el ciclo de minado. El resultado permitió definir el esquema de diseño del relleno hidráulico, analizando los costos de relleno por tonelada en el ciclo de minado, considerando que si la velocidad de relleno hidráulico generará el desgaste prematuro de las tuberías. Asimismo, relaciona el desgaste de tubería con el ángulo de inclinación. Considera que con un bajo ángulo inclinación de la tubería, el desgaste de la tubería puede llegar de 90 a 95 % de la vida útil. (1)

- Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas en la Universidad Nacional de Trujillo titulada “*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., 2016*”. El investigador planteó como objetivo evaluar la optimización del sistema de relleno hidráulico de la empresa Consorcio Minero Horizonte S. A, ante lo cual se implementó una tercera línea en la red de tubería de relleno hidráulico, el perfil de relleno generará un mayor alcance de labores a rellenar, analizando las menores distancias con el objetivo de incrementar los volúmenes de relleno hidráulico enviado a interior de mina. Como resultado se definió la implementación de la

tercera línea en el *layout* de relleno hidráulico para el incremento del volumen de relleno hidráulico. (2)

- Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas en la Universidad Nacional del Altiplano titulada “*Relleno hidráulico en minera Arirahua S.A. Arequipa - 2012*”. En la investigación, el objetivo principal fue analizar el sistema de relleno hidráulico en la mina Arirahua 2012. Se observó la aplicación de relleno hidráulico en los diferentes tajeos de explotación encima del relleno detrítico, considerando una densidad de 1.76 t/m^3 , con un porcentaje de sólidos del 69.85 %, asumiendo una velocidad crítica de 2.59 m/s, con un caudal de relleno hidráulico es de 3.33 l/s y tubería de polietileno de 3” de diámetro. Se realizó un análisis de granulometría con un contenido bajo de lamas, el que genera un buen drenaje del relleno hacia interior mina, con un bajo contenido de sólidos en suspensión. Se concluye con el análisis del relleno, previo acondicionamiento del tajo a rellenar, el cual forma un nuevo piso en un nivel superior que permita continuar con el ciclo de minado. (3)
- Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos titulada “*Aplicación de relleno hidráulico en la Mina Jimena de Compañía Minera Poderosa S.A.*”. La investigación tuvo como objetivo analizar la evaluación técnica y económica en la aplicación de relleno hidráulico. Este análisis determina la distribución de tamaños de partículas para el transporte de la pulpa por gravedad. La pulpa cuenta con un 76 % de sólidos, una granulometría máxima de 3/8 de pulgada; el transporte se realiza con tuberías de SCH-80 Ø4” y polietileno PN 12.5 Ø4”. El investigador concluye que la alternativa es ubicar la planta de relleno hidráulico en el NV-2375, con una diferencia de cota de 586 m. Se considera una densidad de pulpa de 1.90 kg/L, gravedad específica de 2.65 kg/L y considera una tubería de Ø4”, considera un incremento de caudal de 45 a 55 m³/hora. La inversión inicial fue de \$ 273 692, con un de costo de operación mensual de \$ 27 690 y considera un ahorro anual de \$ 450 000. (4)

- Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas en la Universidad Nacional de Ingeniería titulada “*Sistema de relleno hidráulico - U.E.A. Cerro de Pasco*”. La investigación tuvo como objetivo principal analizar el *layout* de relleno hidráulico, desde la planta concentradora, hacia la clasificación de relleno hidráulico, transporte y relleno en los diferentes tajeos explotados. Asimismo, el presente trabajo servirá como guía o manual, considerando parámetros operacionales, técnicos, ambientales, de seguridad y económicas. (5)
- Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas en la Universidad Nacional de Huancavelica titulada “*Evaluación técnica del relleno hidráulico para estabilizar las zonas explotadas en la compañía minera Poderosa S.A.*”. La investigación tuvo como objetivo analizar el transporte de pulpa mediante la distribución de tamaños de partículas el cual debe aproximarse a la curva de Talvot. Las características consideran un 76 % de sólidos, 3/8 de pulgada máxima de granulometría, con tuberías de transporte tipo SCH-80 04" y polietileno PN 12.5 04". Luego de analizar las tres alternativas para ubicar la planta se tuvo como resultados poder determinar la mejor alternativa de ubicación de la planta de relleno hidráulico teniendo en cuenta la diferencia de cotas respecto al nivel más bajo de explotación es de 586 m. Además de esta ventaja, se cuenta con una tolva de gruesos, la cual se puede acondicionar como tolva de los agregados para el relleno hidráulico. Considerando una densidad de pulpa de 1.90 kg/L, gravedad específica de 2.65 kg/L y tubería de conducción de 04", el rango de caudal será de 45 a 55 m³/hora. (6)

2.2. Generalidades de la unidad minera Manuelita

2.2.1. Ubicación accesibilidad y generalidades

El distrito minero de Morococha conforma un conjunto de minas en un área de 60 Km². La unidad de Morococha, pertenece a Pan-American Silver Perú S. A. Ubicada en el centro del distrito minero con un área aproximada de 10 km². Aledaña a la unidad minera se asocian los proyectos mineros: Toromocho, Volcán, Austria Duvaz, entre otros.

La unidad minera pertenece al flanco este de la cordillera occidental de los Andes del Centro del Perú, a 142 Kilómetros al este de Lima y a 8 kilómetros al este de Ticlio. Pertenece al distrito de Morococha, provincia de Yauli y departamento de Junín.

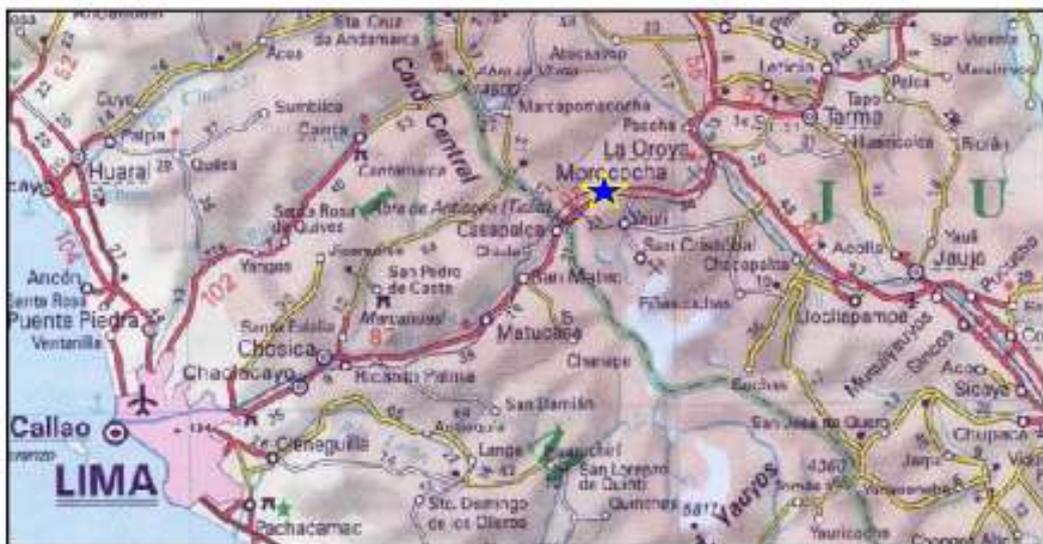
Con coordenadas geográficas:

Longitud Oeste: 76° 08'

Latitud sur: 11° 36'

Tabla 2. Ruta geográfica

Ruta	Kilómetros
Carretera central-Ticlio-Morococha	142 km
Ramal de Ferrocarril Central: Oroya - Morococha	32 km



**Figura 1. Ubicación y acceso al área del Distrito de Morococha.
Tomado del Departamento de Geología**

2.3. Geología general

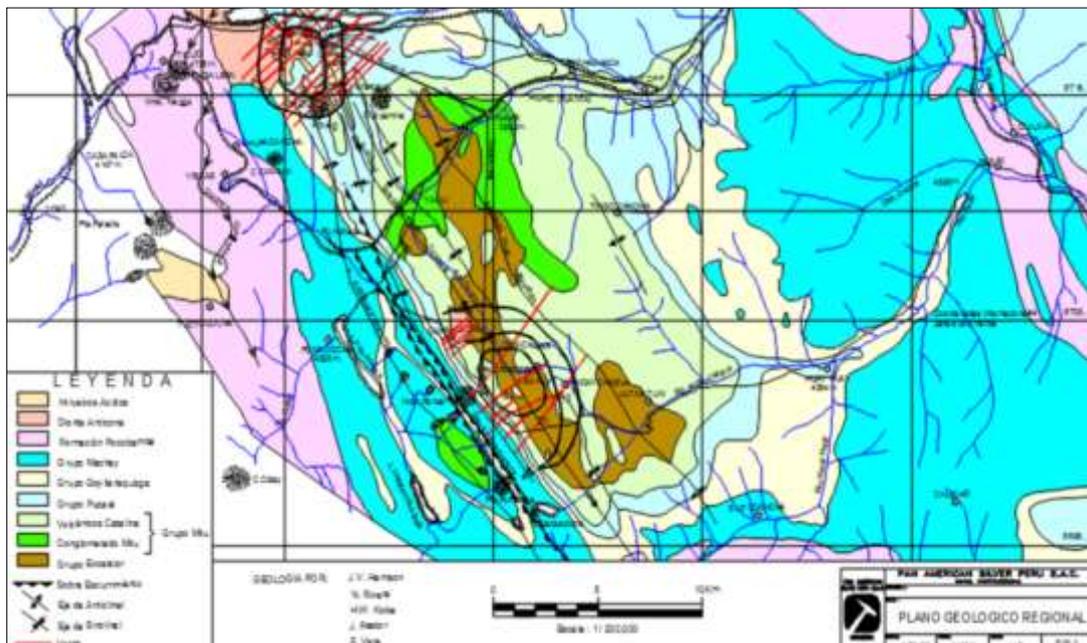
El distrito minero de Morococha presenta un área de relieve topográfico abrupto, tipo alpino, con elevaciones entre los 4,400 y 5,200 m s. n. m. La cumbre más alta es el de *Yanashinga* con una altura de 5,480 m s. n. m. Los valles son en "U", con lagunas presentes como la de *Huacracochoa* y *Huascacochoa*; se observa una fuerte

evidencia de glaciación. La topografía es abrupta producto de la intrusión del domo de Yauli.

2.3.1. Geología regional

La característica principal en el área de Morococha es el anticlinal de Morococha de rumbo NW-SE y con una inclinación de 10°-15° al NW, el cual forma parte la parte norte del domo de Yauli.

El domo de Yauli se ubica desde San Cristóbal hasta Morococha. Regionalmente afloran rocas volcánicas, sedimentarias e igneas de edad Paleozoica y Mesozoica.



**Figura 2. Plano geológico regional del Distrito de Morococha.
Tomado del Departamento de Geología**

2.3.2. Estratigrafía

A. Grupo Excélsior (Devónico)

Está constituido por lutitas y filitas negras a verde olivo con algunos horizontes de calizas y derrames lávicos, están fuertemente plegadas, foliadas y cortadas por lentes irregulares de cuarzo lechoso, como resultado de un metamorfismo regional y forman el núcleo del domo de Yauli. Los estudios de fósiles encontrados en las

calizas, J. V. Harrinson le asigna edad Devónica, la cual es confirmada por F. Megard (1979).

B. Grupo Mitu (Permico)

El grupo Mitu está representado por los volcánicos Catalina (Formación Yauli), forman el núcleo del anticlinal Morococha desde superficie hasta el Nivel 1700 (túnel Kingsmill) yacen en discordancia angular sobre las filitas Excélsior. Su litología está asociado a dacitas y andesitas de color gris a verde que son intemperizados a color chocolate marrón, se ubican en el nivel inferior y en el nivel superior están asociadas a brechas volcánicas, aglomerados y tufos. Se asocian a estructuras mineralizadas definidas de rumbo N50° - 70°E, con minerales de cobre, plata, plomo y zinc.

C. Grupo Pucara (Triásico-Jurásico)

El grupo Pucará se divide en tres formaciones:

- Formación Chambara. Asociado a interestratificación de calizas, tufos, lutitas bituminosas y cherts; con una potencia máxima regional de 1500 metros.
- Formación Aramachay. Formada por intercalaciones de lutitas, areniscas, tufos, cherts y rocas fosfáticas con una potencia máxima de 600 metros.
- Formación Condorsinga. Asociada en el nivel superior del grupo, constituida por calizas, lutitas y areniscas con una potencia de 2,900 metros.

D. Grupo Goyllarisquizga (Cretáceo Inferior)

El grupo Goyllarisquizga está constituida por un conglomerado rojo basal en aparente concordancia sobre la caliza Pucará, luego le suceden areniscas y lutitas rojas, capas de cuarcita de 6 a 15 metros de espesor y capas de caliza gris interestratificada con derrames lávicos o diques-capas de diabasa y basalto.

E. Grupo Machay (Cretácico Medio – Superior)

El grupo Machay yace en concordancia sobre el grupo Goyllarisquizga, asociado a caliza gris azulada masiva, con restos de fósiles en la parte inferior, luego viene una caliza gris clara que contiene horizontes de caliza carbonosa, lutácea, margosa y caliza fosfatada. Los últimos 12 metros de la secuencia son de lutita negra que contiene ammonites y pelecípodos. Se asocia un espesor de 445 metros del grupo Machay, J. M. Boutwell (1920). La edad del grupo corresponde al Cretáceo Medio (Albiano) (J.J.Wilson 1963).

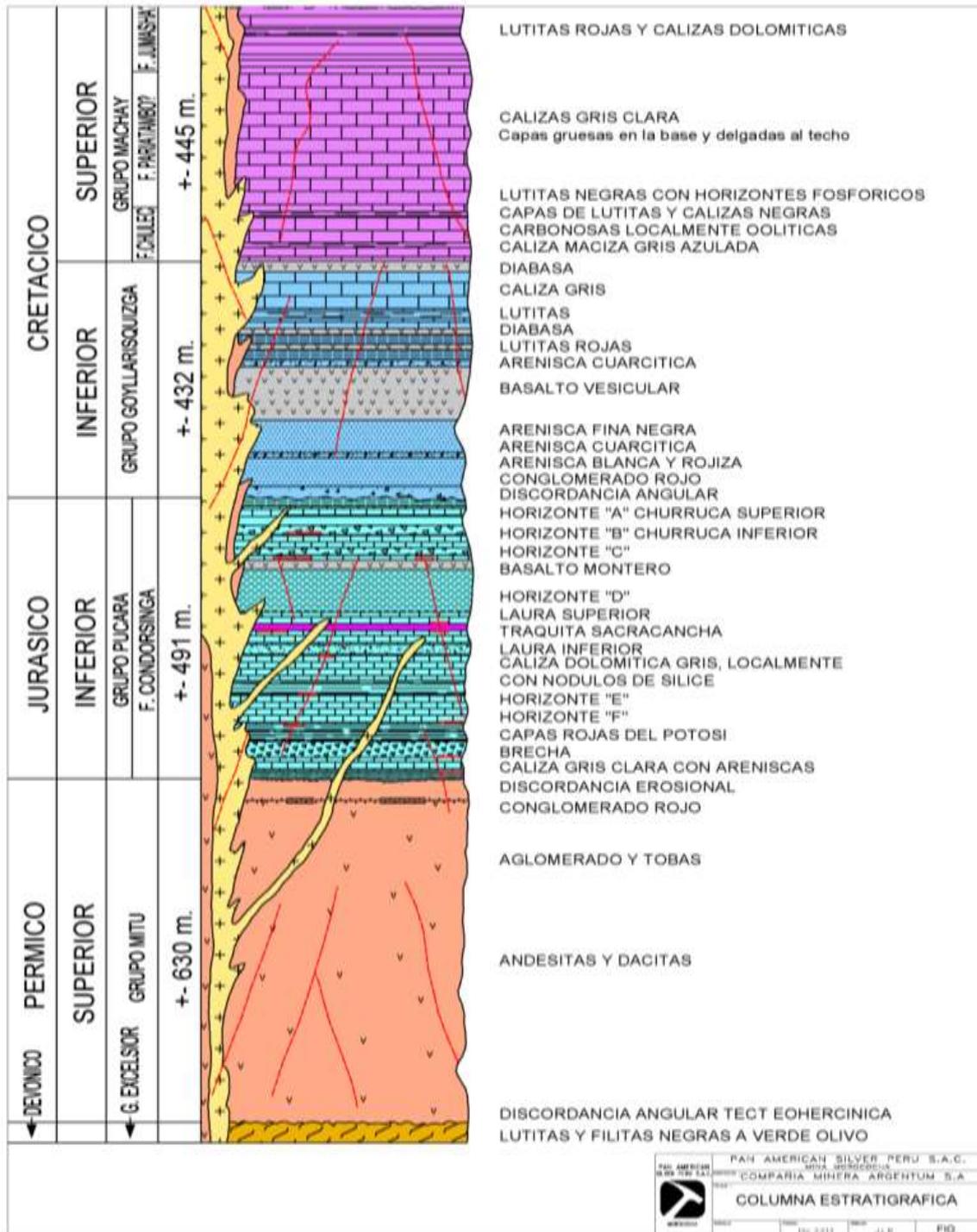
ERA	SISTEMA	UNIDADES ESTRATIGRÁFICA	ROCAS INTRUSIVAS	SIMBOLOGÍA
Cenozoico	Cuaternario	Dep. aluviales		[Simbología de depósitos aluviales, glaciares, fluvio-glaciares y coluviales]
		Dep. Glaciares		
		Dep. fluvio-glaciares		
		Dep coluviales		
	Terciario		Mz/granod.	
Mesozoico	Cretáceo	Fm Jumasha	Diorita	[Simbología de Formaciones Jumasha, Pariatambo, Chulec y Grupo Goyllarisquizga]
		Fm Pariatambo		
		Fm Chulec		
		Grupo Goyllarisquizga		
	Triásico-Jurásico	Grupo Pucará		[Simbología de Grupo Pucará]
Paleozoico	Pérmico-Triásico	Grupo Mitú		[Simbología de Grupo Mitú]
	Devoniano	Grupo Excelsior		[Simbología de Grupo Excelsior]

Figura 3. Columna estratigráfica generalizada de la región. Tomado del Departamento de Geología

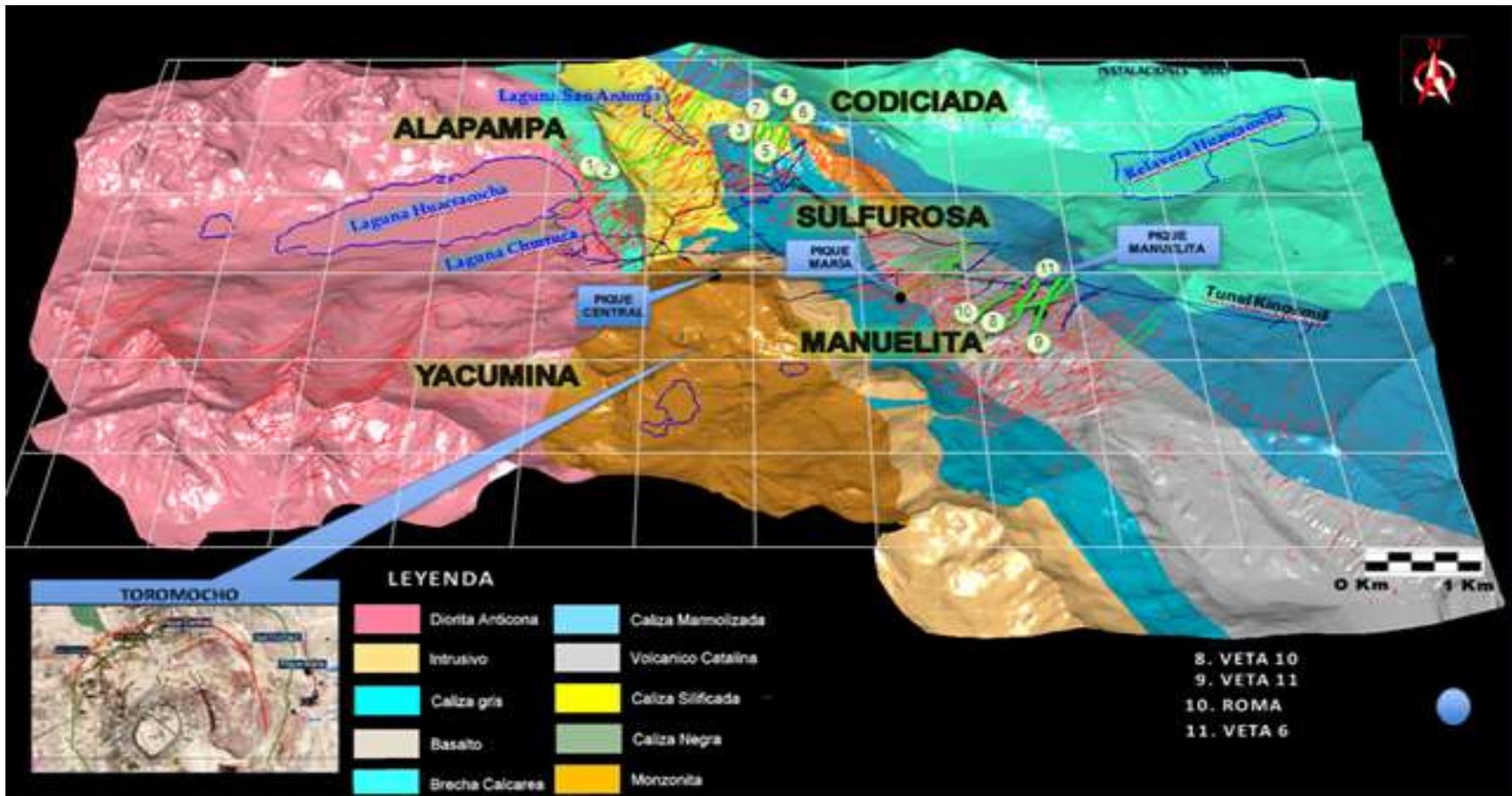
F. Rocas Intrusivos (terciario)

La mayor actividad ígnea ocurrió a fines del Terciario con las intrusiones de la diorita Anticoná, la monzonita cuarcífera y el pórfido cuarcífero, asociada al Pérmico.

- Diorita Anticona. Es la roca intrusiva más antigua del Terciario y se extiende ampliamente al Oeste y Noroeste del distrito de Morococha hasta Ticlio; es una roca de color verde oscuro a gris, de textura porfirítica. Diques de monzonita cuarcífera atraviesan la diorita, lo que indica que la intrusión de la monzonita cuarcífera fue posterior a la intrusión de la diorita Anticona. El contacto de la diorita con la caliza Pucará al Norte del distrito, buza al oeste por lo que en algunos lugares la diorita sobreyace a la caliza Pucará. Hacia el oeste, fuera del distrito, la diorita está en contacto con las capas rojas. La diorita Anticona contiene vetas de zinc, plomo y plata, con algo de cobre.
- Monzonita Cuarcífera. La monzonita cuarcífera está localizada en la parte central del distrito. Cuatro *stocks* principales han sido reconocidos, los cuales son: el *stock* San Francisco en la zona central, el *stock* Gertrudis ligeramente al norte del *stock* San Francisco; el *stock* Potosí al noreste del distrito y el *stock* Yantac al sur del distrito. Todos estos tienen forma irregular y presentan gran cantidad de proyecciones como diques y apófisis diversas. El intrusivo atraviesa a los volcánicos Catalina, las calizas Pucará (a las que ha alterado intensamente) y a la diorita Anticona.
- Pórfido Cuarcífero. Es la roca intrusiva más reciente conocida en el distrito. Un pequeño *stock* y algunos diques han sido reconocidos en la parte central, en íntima relación con el *stock* San Francisco de monzonita cuarcífera, al cual atraviesa. Posteriormente, E. Barrantes (1968) hizo un estudio más detallado de este pórfido cuarcífero. El *stock* de pórfido cuarcífero es particularmente importante por estar genéticamente más relacionado con la mineralización de cobre que los otros intrusivos.



**Figura 4. Columna estratigráfica distrito minero de Morococha
Tomado del Departamento de Geología**



*Figura 5. Geología general de la unidad minera Manuelita
Tomado del Departamento de Geología*

2.3.3. Geología local

El área de la mina Manuelita se encuentra emplazada en macizos rocosos pertenecientes al grupo Mitu – miembro volcánico Catalina, infrayaciendo en concordancia erosional al grupo Pucará. (ver figura N°1)

Consiste en rocas volcánicas de composición predominantemente riolítica a riodacítica de textura porfirítica con pseudos-estratificación moderada a gruesa que ha sido afectada por procesos hidrotermales cuarzo-sericíticos débil a moderado.

La composición promedio de sus principales minerales primarios y secundarios se muestra en la siguiente tabla:

Composición Mineralógica		
Minerales Primarios	%Máx.	%Min.
Matriz Felsica	23	12
Cuarzo	25	15
Ortosa	20	13
Biotita	12	04
Plagioclasa	16	05
Minerales Secundarios	%Máx.	%Min.
Sericita	25	04
Biotita	12	03
Cuarzo	25	03

Las rocas volcánicas se encuentran intruidas en el nivel 385 por un *stock* de composición cuarzo-tonalítico de textura fanerítica en el cruce 325. El miembro volcánico Catalina se ubica en la parte central del anticlinal de Morococha y forma parte del domo de Yauli.

Se encuentra moderadamente plegado formando un anticlinal de rumbo N20°W con buzamientos de 20° a 30° en el flanco Oeste y de 30° a 40° en el flanco este.

Se encuentra afectado por fallas de tipo tensional de rumbo N70°-80°E y fallas conjugadas por efecto de cizallamiento de rumbo NW-SE y NE-SW, subverticales

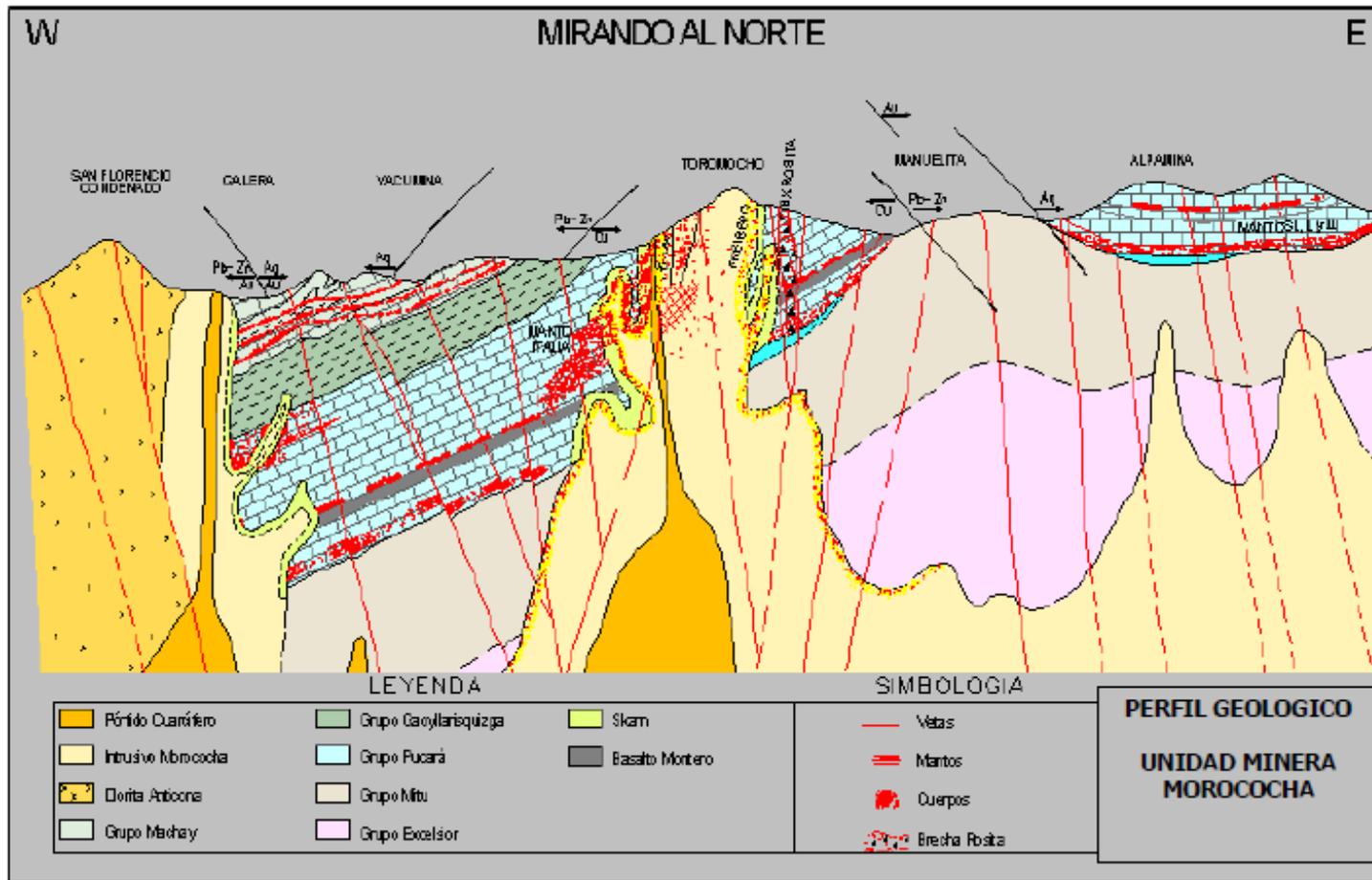
en las cuales se han emplazado la mayor parte de las vetas de los niveles 450 y 510. Los sistemas de fracturamiento asociados al enfriamiento inicial de las rocas volcánicas y los posteriores efectos tectónicos son los siguientes:

Nivel 510: N50°-60°E/75°-85°SE
EW/15°-25°N
N75°-85°W/60°-70°NE

Nivel 450: N55°-65°E/75°-85°SE
NS/75°-85°W
N75°-85°E/25°-35°NW

La mayoría de las labores de los niveles 385 y 450 se presentan secas a ligeramente húmedas, localizándose goteos y pequeños flujos en las vetas Milagro-Gal. 230 y veta Minero de ambos niveles, asociados fallas que han intersecado y desplazado estas vetas y probablemente a filtraciones del agua provenientes del relleno hidráulico en tajeos superiores rellenos.

Se observa un zoneamiento vertical muy definido, desde valores zinc, plomo, plata en el nivel superior, con valores mayores de zinc y menores de plomo en el nivel 490 de la parte central y en los niveles profundos (nivel 380) se incrementa los valores de cobre.



**Figura 6. Perfil geológico de la unidad minera Manuelita
Tomado del Departamento de Geología**

2.4. Características del relleno hidráulico – zona manuelita

2.4.1. Condiciones granulométricas

El material sólido del relleno hidráulico utilizado en la mina Manuelita se clasifica como una arena fina limosa (SM) con 65 % a 75 % de arenas entre la malla N°10 a malla N°200 y con un 25 % a 35 % de material fino poco cohesivo y no plástico. Se evita la presencia de lamas para que no dificulten la evacuación del contenido de agua en la pasta.

2.4.2. Propiedades físicas

El peso específico de sólidos varía entre 3.04 a 3.06 debido al contenido metálico que retiene, su contenido de humedad inicial en el hidrociclón varía de 8.0 a 8.5 % y en los tajeos retiene entre 25 % a 28 %. Presenta consistencia dura a media y una permeabilidad de 1×10^{-3} a 5×10^{-3} cm/s. Su densidad natural húmeda varía entre 1.99 a 2.20 en condiciones húmedas y de 1.75 a 1.85 en condiciones secas. Su ángulo de fricción interna varía de 31.5° a 33.2° y su cohesión de 0.07 a 0.11 Kg/cm².

2.4.3. Propiedades químicas

De acuerdo a los análisis realizados para determinar las condiciones químicas se obtuvo que: el porcentaje de azufre total fue de 14.4 distribuido entre 2.46 como sulfatos y 11.40 como iones S⁻². El potencial de neutralización (t CaCO₃/1000 t) dio un contenido ácido (AP) de 373.125 con una neutralización (NP) de 115 y un neto de neutralización (NNP) de -258.13. La relación de NP/AP es de 0.31 y el pH de la pasta de 6.9, concluyéndose que la pasta es generadora de agua ácida.

El contenido de metales fue de 21.41 g/Tm Ag, 0.24 g/Tm Au, 0.11% Cu, 0.19% Pb, 0.40% Zn, 11.11%Fe, 0.12%As, 0.03%Sb, 0.02%Bi y 1.60%Mn.

2.4.4. Condiciones de mezcla

Para transportar el relleno hidráulico a través de las tuberías hasta el tajeo, a los sólidos se les agrega agua en una relación entre 1.5 a 2.5 m³ por 1.0 m³ de sólido

con el objeto de que tenga una mayor fluidez y evitar el atoro y desgaste de las tuberías.

Sin embargo, esta mezcla origina un mayor tiempo en el proceso de consolidación en el tajeo, por pérdidas de agua y afecta parcialmente las condiciones geomecánicas de las vetas generando el uso de mayor sostenimiento inmediato, esta agua se elimina posteriormente en un 80 % por decantación y un 20 % por filtración.

2.4.5. Comportamiento geomecánico

El reforzamiento a las condiciones del comportamiento integral de las cajas por el relleno hidráulico evitará que en el futuro se controle los desplazamientos de las cajas cuando los tajeos se encuentren totalmente explotados en los diferentes niveles, ya que el proceso de consolidación del relleno se va haciendo cada vez mayor con el tiempo por acción de las cargas dinámicas generadas por la voladura, su propio peso y el confinamiento que ejercen las cajas.

Los mapeos geomecánicos se elaboraron tomando en cuenta los índices RMR (Bieniaswki, 89) y GSI modificado (Vallejo, 2000) correlacionándolos mediante la relación $GSI = RMR (seco) - 5$.

De acuerdo a esta relación el GSI y el RMR son similares en condiciones de humedad en las paredes y el GSI es menor para condiciones de goteo o flujos de agua.

Asimismo, se corrigió los valores obtenidos con parámetros de abertura, especialmente en las intersecciones de las labores de desarrollo con las labores de explotación y labores de explotación de vetas principales con labores de ramales.

Por último, los resultados de los mapeos geomecánicos se correlacionaron con los resultados obtenidos de los estudios petrográficos y de los ensayos de mecánica de rocas.

Para el mapeo se tuvo en cuenta cuatro tipos de calidad del macizo rocoso, cuya descripción se menciona a continuación:

- ✓ Roca Tipo I: Índice RMR>65, Índice GSI>70 (LF/B, LF/R y F/B), RQD>60 (menos de 5f/ml). Se astilla o se rompe con varios golpes de picota. Fracturas cerradas a ligeramente abiertas, onduladas y rugosas, frescas a levemente alteradas. Resistencia > 130 MPa. Alteración hidrotermal débil sericitización y moderada silicificación.
- ✓ Roca Tipo II: Índice 55<RMR<65, Índice 60<GSI<70 (LF/P, F/R y MF/B), 50<RQD<60 (6 – 10 f/ml). Se rompe con dos o más golpes de picota. Fracturas ligeramente abiertas, onduladas y rugosas, levemente alteradas con oxidación en paredes. Resistencia entre 80-130 MPa. Alteración hidrotermal moderada sericitización y moderada silicificación. Se considera a la Roca Tipo I con presencia de goteos o flujos de agua.
- ✓ Roca Tipo III: Índice 45<RMR<55, Índice 50<GSI<60 (F/P y MF/R), 40<RQD<50 (11 – 15 f/ml). Se rompe con uno o dos golpes de picota. Fracturas abiertas, onduladas y rugosas, alteradas con recubrimiento de sericita, epidota y oxidación en paredes. Resistencia 40-80 MPa. Alteración hidrotermal moderada sericitización y moderada silicificación. Se considera a la Roca Tipo II con presencia de goteos o flujos de agua.
- ✓ Roca Tipo IV: Índice RMR<45, Índice GSI<50 (MF/P y MF/MP), RQD<40 (>16 f/ml). Se indenta superficialmente con la picota. Fracturas muy abiertas, planas y lisas, alteradas con recubrimiento y relleno de sericita, epidota y oxidación en paredes. Resistencia <40 MPa. Alteración hidrotermal moderada sericitización y débil silicificación. Se considera a la Roca Tipo III con presencia de goteos o flujos de agua. En el caso de presentarse roca Tipo IV con presencia de agua o zonas de falla se le considerara como roca Tipo V.

En el nivel 510, en los cruceros 950 y 880 se localizó roca Tipo I, débilmente afectado por alteración hidrotermal con tramos muy pequeños de roca Tipo II y III en las intersecciones de estos cruceros con vetas.

En las cajas techo y piso de las vetas principales (10, 11, Manuelita, Roma y otras) y sus ramales (ramal Manuelita, veta 6, veta 5 y otros) se determinó rocas tipo II y III por presencia de falsas cajas. En las vetas se determinó rocas de Tipo III y Tipo IV en las intersecciones de estas vetas y sus ramales.

En el nivel 450, en la galería principal (túnel Kingsmill) se localizó roca Tipo I, débilmente afectada por alteración hidrotermal con tramos muy pequeños de roca Tipo II en las intersecciones de esta galería con vetas.

En las cajas techo y piso de las vetas principales (10, 11, Manuelita, Roma y otras) y sus ramales se determinó rocas Tipo II y III por presencia de falsas cajas. En las vetas se determinó rocas de Tipo III y Tipo IV en las intersecciones de estas vetas y sus ramales.

En la actualidad, tomando en cuenta el modelamiento geomecánico, los análisis estereográficos, los factores influyentes, tales como la presencia de agua, ancho de tajeos (2.0 a 3.0 m), el método de minado y sobretodo las políticas de prevención de riesgos de la empresa, se determinó la siguiente distribución del sostenimiento:

- ✓ Sostenimiento Tipo "A": Empernado ocasional (1p/2ml). Se aplicará para rocas Tipo I en las paredes.
- ✓ Sostenimiento Tipo "B": Empernado sistemático (2p/ml) y uso de cintas metálicas en forma ocasional. Se aplicará para rocas Tipo I en las bóvedas y para roca Tipo II en las paredes, así mismo en las intersecciones de labores con rocas Tipo I o II.

- ✓ Sostenimiento Tipo “C”: Empernado sistemático (3p/ml) con malla metálica como refuerzo y uso de cintas metálicas en forma ocasional. Se aplicará para rocas Tipo II en las bóvedas y vetas y para roca Tipo III en las paredes, así mismo en las intersecciones de labores con rocas Tipo II o III.

- ✓ Sostenimiento Tipo “D”: Empernado sistemático (4p/ml) con malla metálica y shotcrete de 5 cm. de espesor. Se aplicará para rocas Tipo III en las bóvedas y vetas y para roca Tipo IV en las paredes, así mismo en las intersecciones de labores con rocas Tipo III o IV.

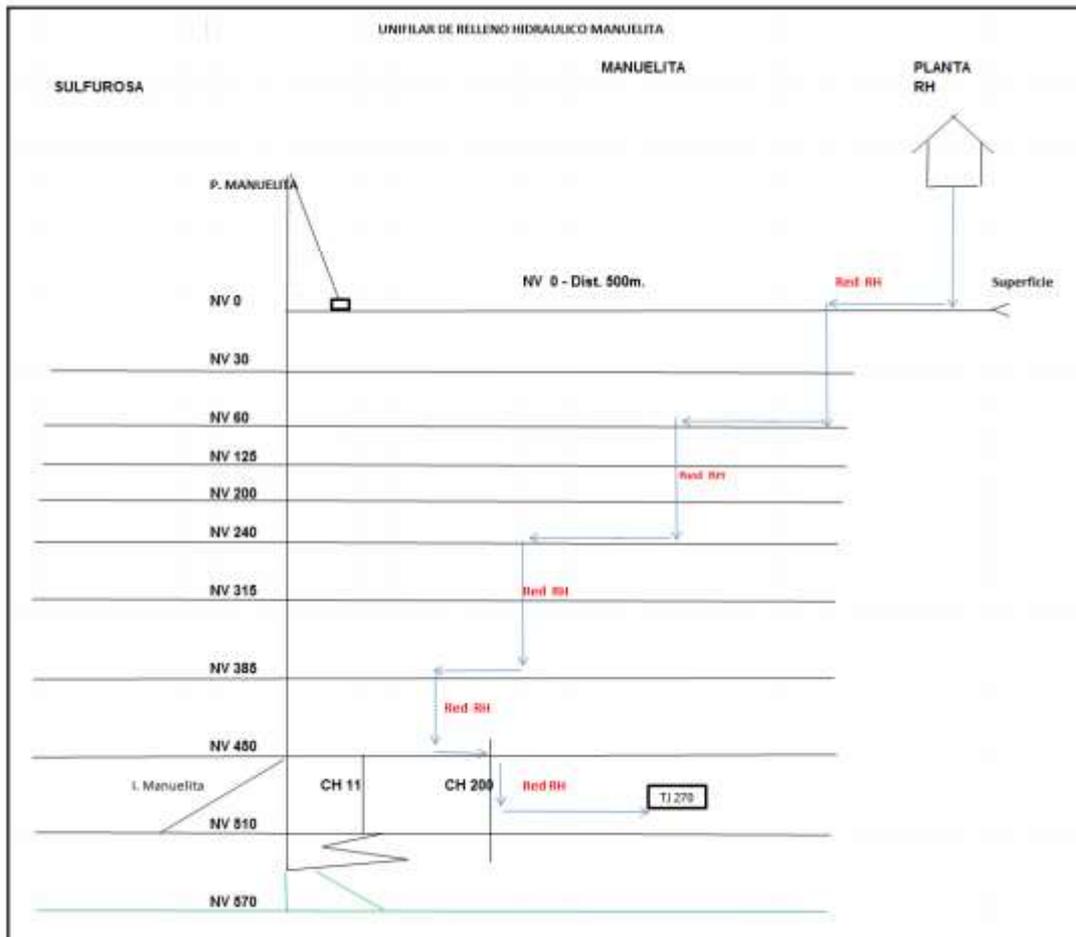
- ✓ Sostenimiento Tipo “E”: Cimbras metálicas o cuadros de madera. Su uso será ocasional en la mina Sulfurosa Manuelita, ya que durante el reconocimiento geomecánico no se ha encontrado rocas intensamente fracturadas o zonas de fallas de gran espesor.

2.5. Procedimientos de colocación

Se inicia el proceso de colocación del relleno hidráulico con la preparación de la pulpa en el hidrociclón mezclando el agua procedente de los reservorios con el material de relaves colocado en la tolva en una proporción promedio de 2 m³ por 1 m³ de relave.

Esta mezcla permite una mayor fluidez del relleno en las tuberías y evita su atoro.

La pulpa es enviada a los tajeos a rellenar por intermedio de dos bombas (bomba N°1 – Sulfurosa y bomba N°2 – Manuelita). Asimismo, el vaciado de la pulpa se realiza tratando de mantener la superficie con una inclinación hacia las chimeneas del relleno, de manera que el mayor porcentaje del agua se elimine por decantación. La dirección del flujo de la pulpa se explica en el diagrama unifilar mostrado a continuación:



**Figura 7. Diagrama de flujo de la pulpa
Tomado del Departamento de Planeamiento**

Las diferentes actividades para la colocación del material hidráulico comprenden:

- ✓ Traslado del relave a la planta de preparación del relleno hidráulico.
- ✓ Preparación y bombeo del relleno hidráulico.
- ✓ Instalación de tuberías para el relleno hidráulico.
- ✓ Preparación del tajeo a ser rellenado.
- ✓ Vaciado del relleno hidráulico en el tajeo.

2.6. Tapones de relleno hidráulico

Diseño de los tapones permanentes los cuales se construirán para la implementación del relleno hidráulico en la mina de Manuelita.

2.6.1. Análisis de esfuerzos horizontales del tapón permanente tipo 1

Para realizar el relleno hidráulico en las vetas ya explotadas de la mina Manuelita se ha considerado realizar la construcción de tapones en cada extremo y en cada cámara de acceso de las vetas existentes. Para el siguiente análisis de esfuerzos se ha considerado la sección más amplia existente en la zona, esta es de 3.0 x 3.2 m. Los tipos de tapones a instalar son:

- a) **Tapón permanente tipo 1.** Será de concreto armado para accesos y galerías principales. Consta de una zapata, para su fijación en el piso, y de barras corrugadas de 1" ancladas en el hastial y la corona, en ellas se sujeta la malla de acero refuerzo del tapón. El concreto será de $F'c$ 210 kg/cm² como mínimo.

Ubicación del tapón de concreto: primero se ubica el tajo a rellenar, para marcar el punto donde se va a realizar el tapón de concreto antes de iniciar el relleno hidráulico del tajo.

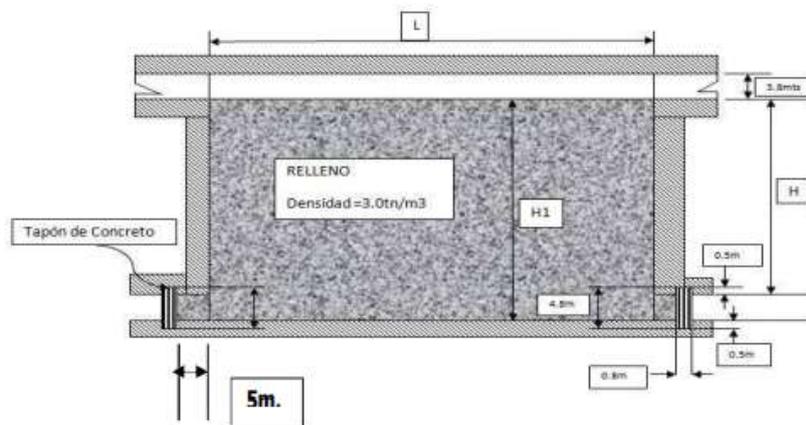


Figura 8. Esquema del tapón de concreto
Tomado del Departamento de Planeamiento

Características del tapón de concreto:

- ✓ El muro tapón de concreto armado, el cual tiene que cubrir toda la sección de la labor formada en los extremos de las vetas, se considera la sección más grande existente que es de 3.0 x 3.2m, también se considera un ancho de 0.4 m de tapón.

- ✓ El acero refuerzo de 1" de diámetro estará anclado a los hastiales y corona en 0.7 m y la separación entre fierros sería de una distancia de 0.25 m en filas y columnas, formando la doble malla que dará la consistencia al muro tapón.
- ✓ En la base se deberá construir una zapata de 1.0 x 0.6 m.
- ✓ Al final se lanza *shocrete* por todas las juntas de los hastiales y la corona y evitar que se derrame relave fino.
- ✓ El muro de contención tiene en la roca firme (roca volcánica RMR >70).
- ✓ Cada tapón contara con dos ductos de drenaje de 4" de diámetro.

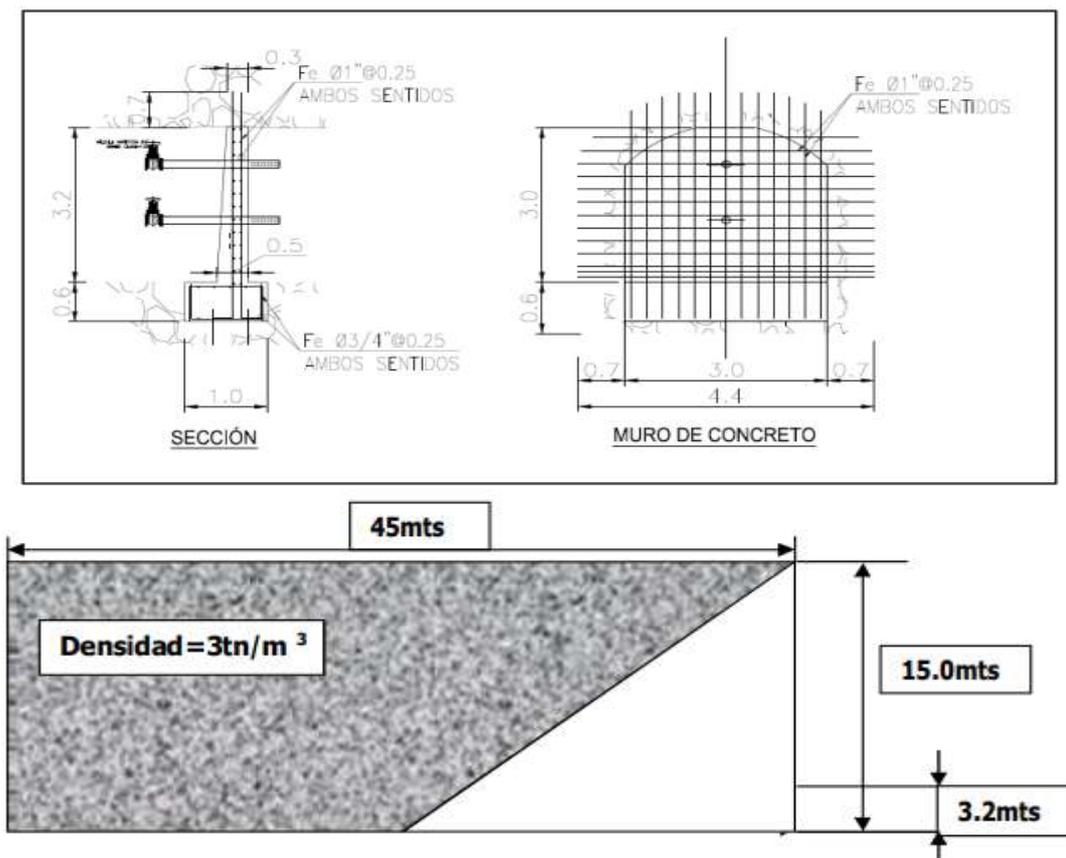


Figura 9. Características del tapón de concreto Tomado del Departamento de Planeamiento

Cálculo matemático:

Presión = densidad x altura

$P1 = 3\text{TN/m}^3 \times 15.0\text{m}$

$P1 = 45.0\text{TN/m}^2$

Factor de Seguridad = 30%

$PT = 45.0\text{TN/m}^3 + 30\%P1 \quad PT = 58.5 \text{ TN/m}^2$

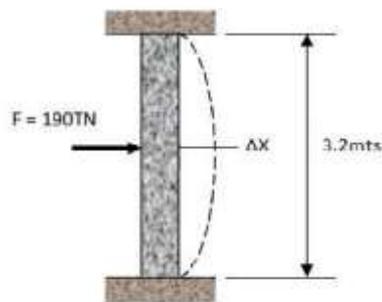
Presión = fuerza / área \longrightarrow Fuerza = presión x área

$F = 58.5\text{TN/m}^2 \times 3.2\text{m} \times 1.0\text{m}$

$F = 187.2\text{TN}$

$F = 187,200\text{KG/m}^3$

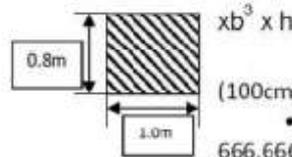
Tomando Deflexión Máxima:



$\Delta_{max} = \frac{F \times l^3}{84 \times E \times I}$ (Carga puntual)

● Momento de Inercia

$I = 1/12$



$(100\text{cm})^3 \times (380\text{cm})$

• $I = 666,666.67 \text{ cm}^4$
Elasticidad del Concreto (E)

Según Tabla = Concreto

$300\text{kg/cm}^2 =$

$340,000\text{kg/cm}^2 = E$

POR TANTO:

$\Delta_{m\acute{a}x.} = \frac{278,620\text{kg} \times (380\text{cm})^3}{666,666.67}$

• $\Delta_{MAX} = \frac{F \times L^3}{84 \times E \times I}$

$\Delta_{MAX} = 0.012\text{cm}$

$\Delta_{MAX} = 1.2\text{mm.}$

RESULTADO:

$\Delta_{max} = 1.2\text{mm.}$

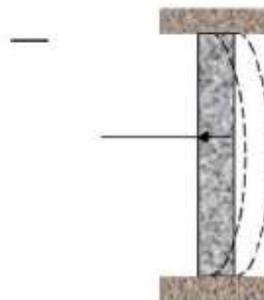


Figura 10. Resolución del cálculo matemático

2.6.2. Análisis de esfuerzos horizontales del tapón permanente tipo 2

a) Tapón permanente tipo 2:

De vigas de acero y madera para accesos y galerías secundarias. Las vigas de acero serán de 25 lb/ft. Las tablas serán de madera aserrada de eucalipto de 2" x 8" x 10FT.

Características del tapón de concreto:

Para el análisis de esfuerzos del tapón permanente tipo 2, se consideró el uso de fuerzas distribuidas en toda el área de la sección para tratar de representar mejor el fenómeno ya que las maderas aserradas puestas distribuyen de forma equitativa y uniforme las fuerzas sobre las vigas de acero, por lo cual se asignó cada fuerza por metro de viga, por lo tanto:

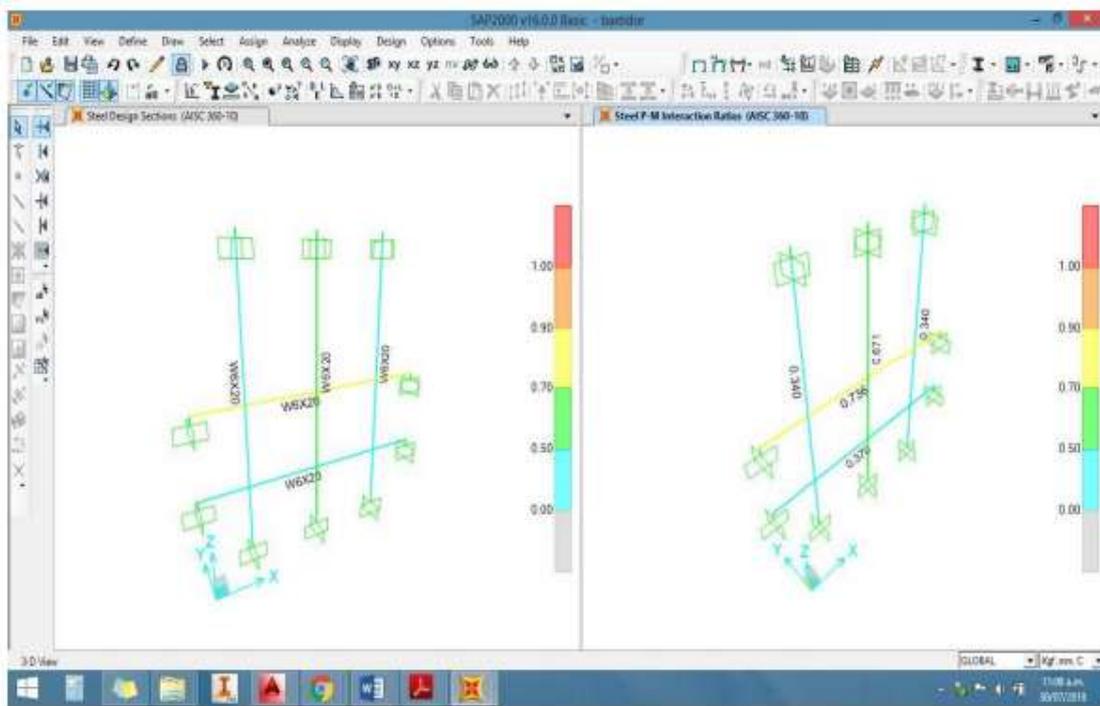
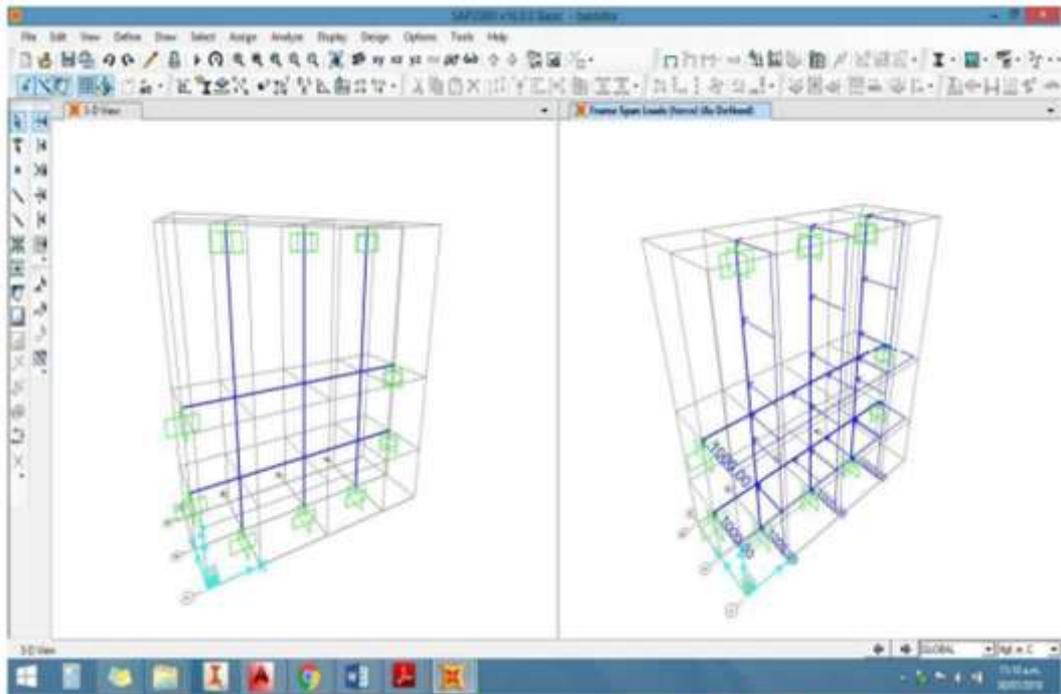
En una sección de 3.0m x 3.2 m, la suma longitudinal total de las vigas 15.6 m este valor se le va a multiplicar por la carga para hallar la fuerza total Se consideró la siguiente combinación de esfuerzos según AISC 1.2D+1.6L (factor de seguridad 1.6).

Siendo L la carga horizontal ejercida y del peso de las vigas.

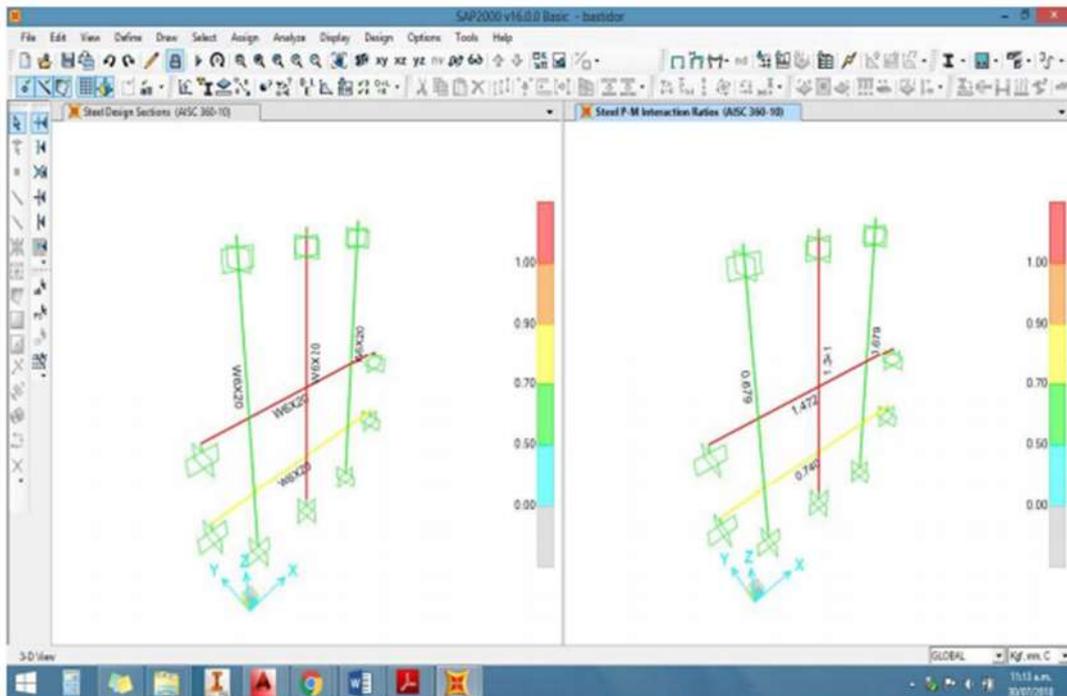
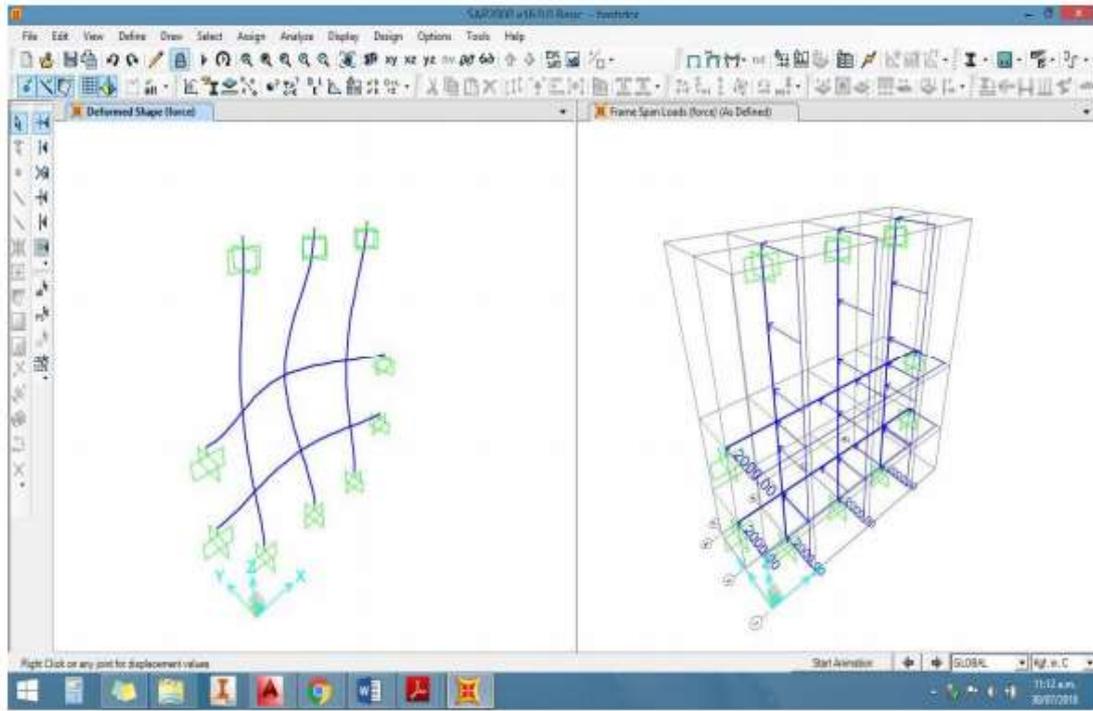
Además, en el programa de simulación se va a tomar en cuenta la aplicación de fuerzas sobre vigas de acero de 6 x 20 lb/ft, con esto el factor de seguridad se incrementa a 1.8

Desarrollo:

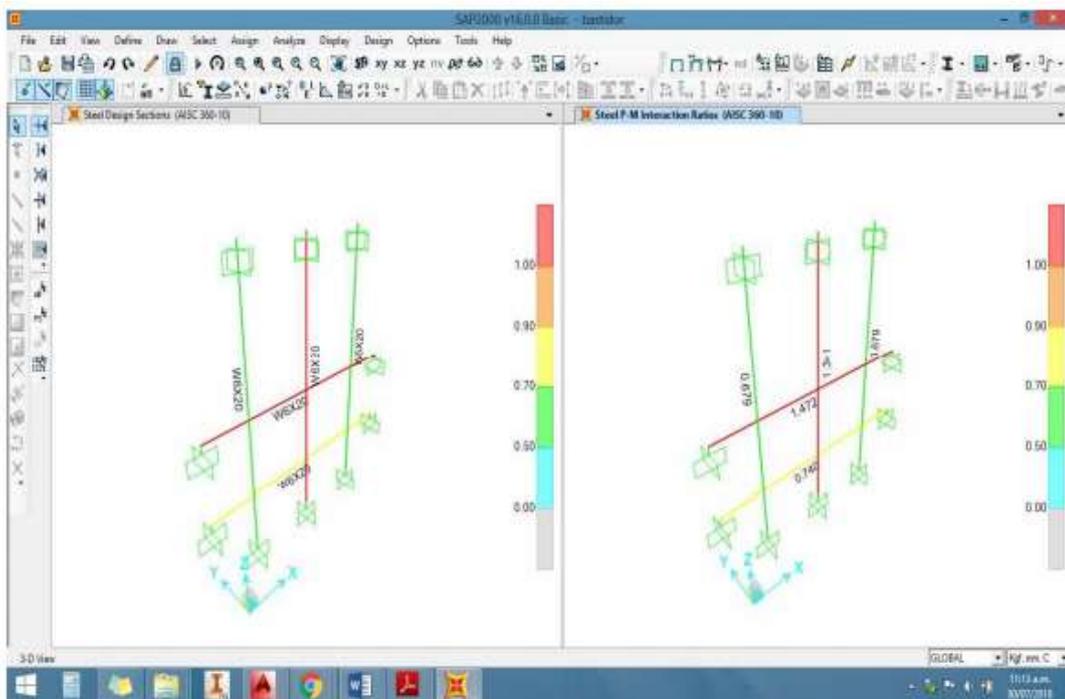
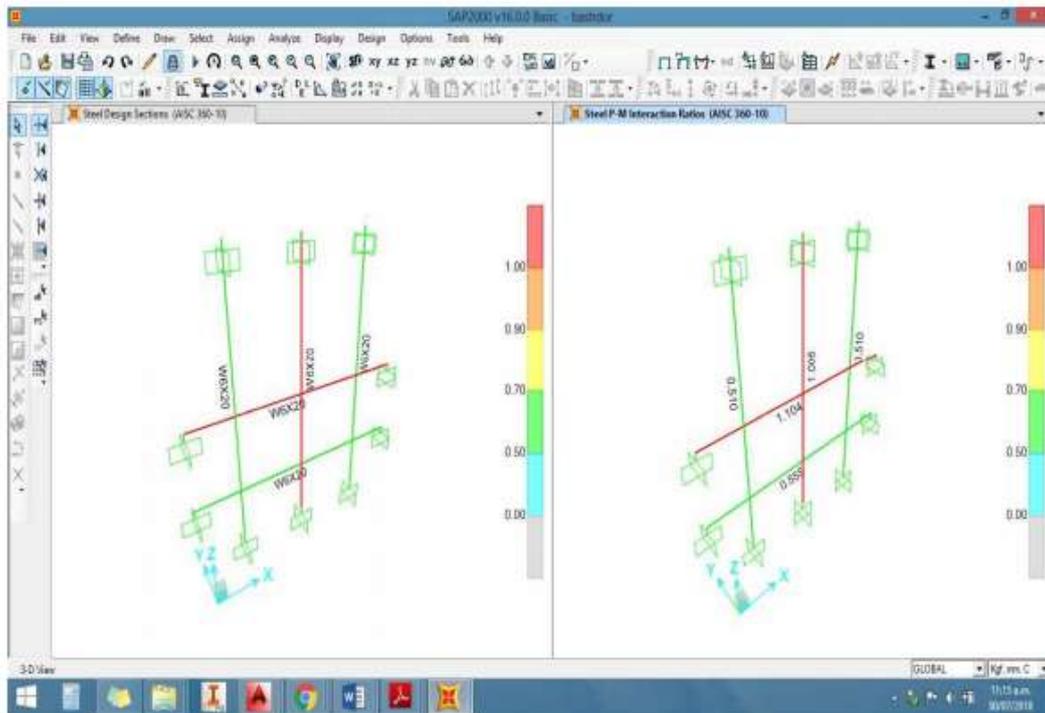
- a) Con una fuerza de 1000 kg por cada metro
- ✓ Carga total $1000 \times 15.6 = 15600 \text{KG}$



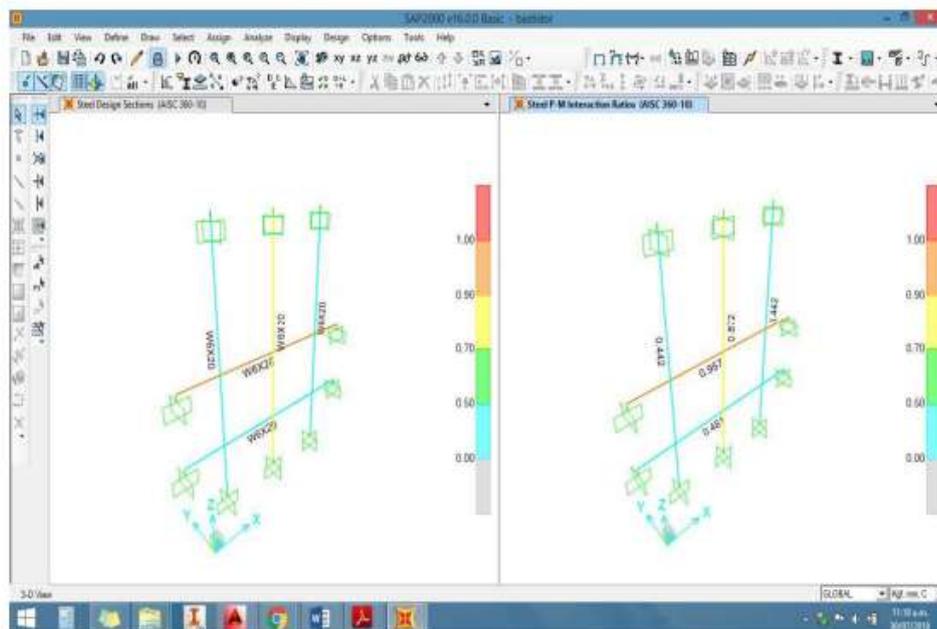
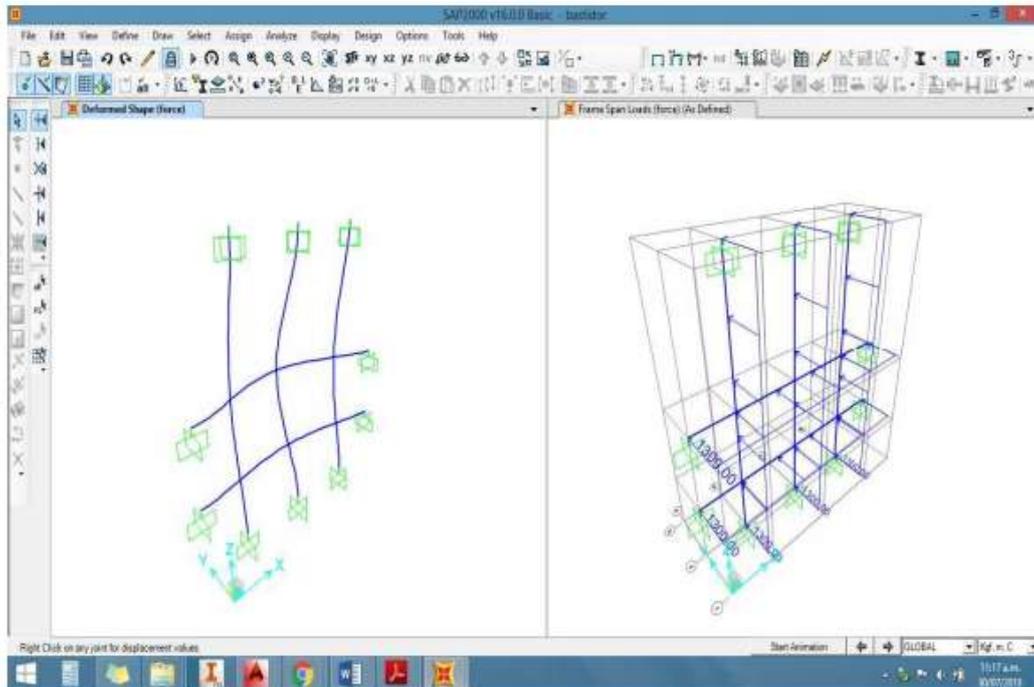
- b) Con una fuerza de 2000kgf por cada metro
- ✓ Carga total $2000 \times 15.6 = 31200 \text{ KG}$



- c) Con una fuerza de 1500 KGF por cada metro
- ✓ Carga total $1500 \times 15.6 = 23400 \text{ KG}$



- d) Con una fuerza de 1300 KGF por cada metro
- ✓ Carga total $1300 \times 15.6 = 20280 \text{ KG}$



2.7. Método de minado *sublevel stoping* U.M. Manuelita

Las estructuras mineralizadas presentes en la unidad minera Manuelita está conformada por la veta 6, veta 11, veta Carolina, veta Roma y ramal Manuelita, los cuales son minados por el método de explotación *sublevel stoping* con taladros largos.

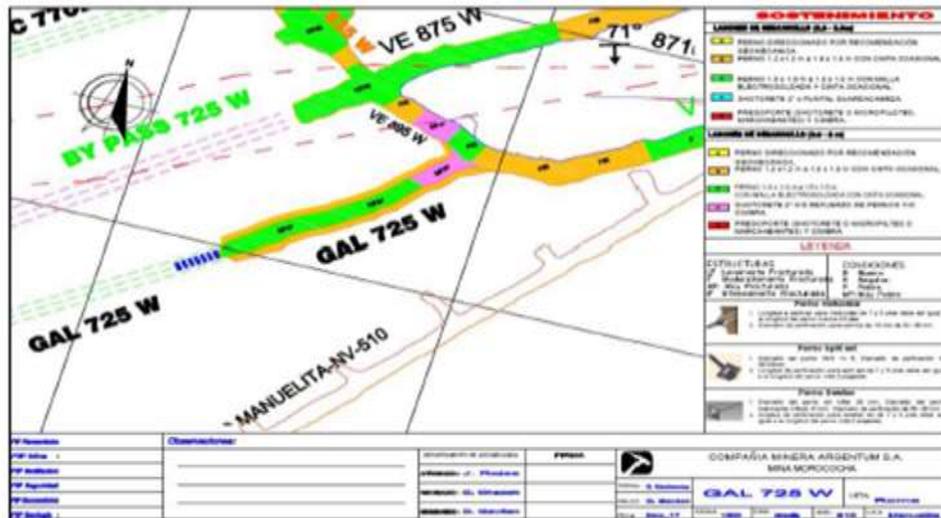


Figura 11. Características geomecánicas en la U.M. Manuelita Tomado del Departamento de Planeamiento

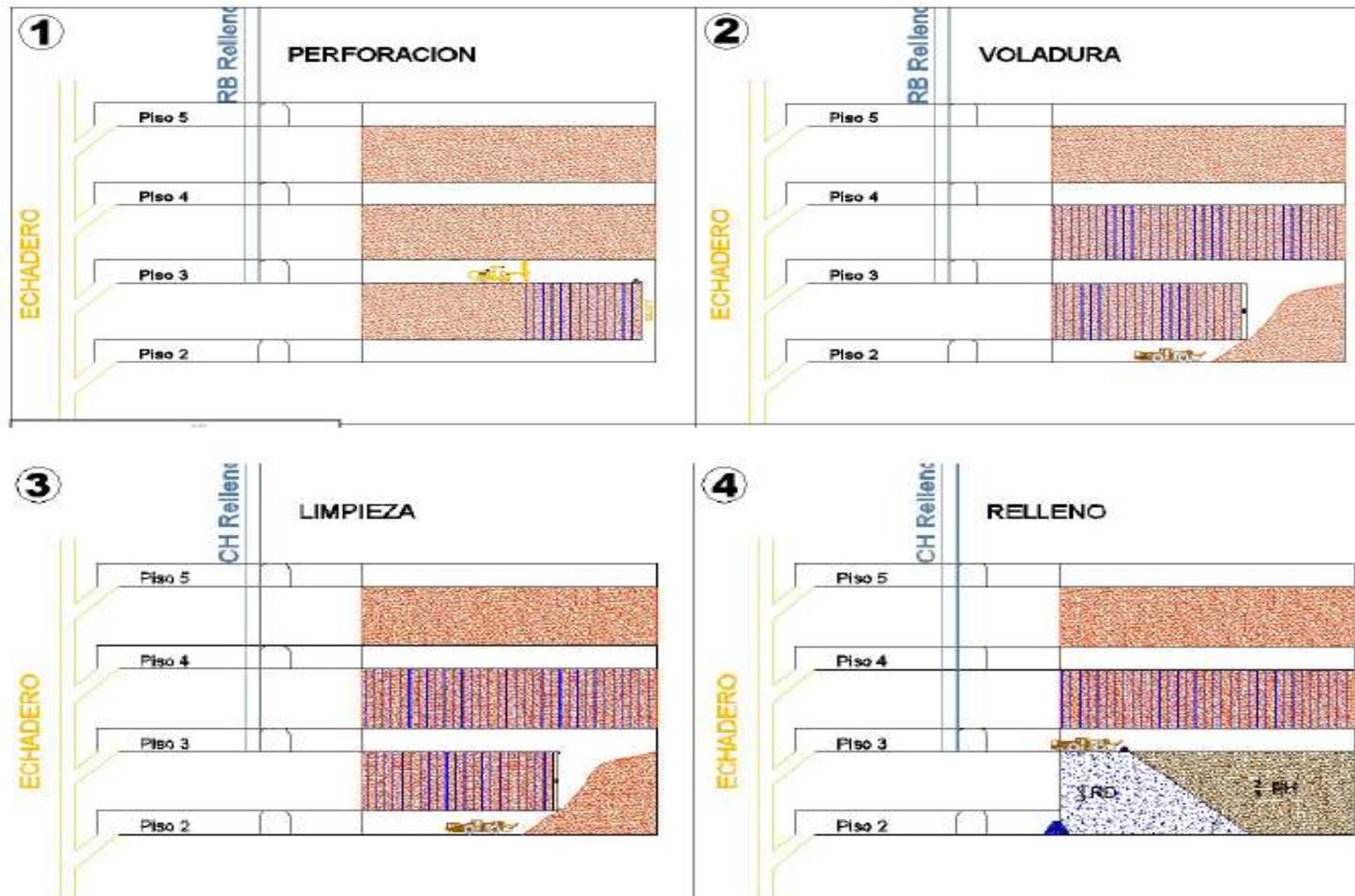


Figura 12. Secuencia del método de minado sublevel stoping con taladros largos en la U.M. Manuelita Tomado del Departamento de Planeamiento

2.8. Resumen general de avances en la U.M. Manuelita

El programa de desarrollo en la UEA Manuelita consideró un total de 3540 metros, y de preparaciones en 5840 metros con un total de 9380 metros para el periodo 2019.

Tabla 3. Resumen general de avances en la U.M. Manuelita

COMPAÑÍA MINERA ARGENTUM S.A.																		
RESUMEN GENERAL DE AVANCES 2019																		
UEA MANUELITA																		
Fase	Zona	Veta	Labor	Valores												Total 19		
				Ene-19	Feb-19	Mar-19	Abr-19	May-19	Jun-19	Jul-19	Ago-19	Set-19	Oct-19	Nov-19	Dic-19			
Desarrollo	Manuelita	Veta 10	BP	20	20	30	30	30	30	20							180	
		Veta 11	RA							50	50	50	50	50	50		300	
			GAL	40	40		30	30									140	
		Roma	ACC	30	30	30	30	30	30								180	
			BP	30	30	30	30										120	
			GAL	40	40	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	380
		Don Pedro	XC	60	60	60	30	30									240	
			GAL				30	30	70	70	100	60	60	70	70	70	70	630
		Eneida	GAL				30	30	30	30								120
		Rosalvina	BP				30	30	30	30								120
			RA				40	40	40	40	50	50	50	50	50	30	30	400
			GAL				20	20	60	50	60	50	60	60	70	70	70	520
			Ramal Manuelita	GAL					20	20	20	20	20	20	30	20	40	210
		Total Desarrollo				220	220	290	350	400	330	330	260	270	290	290	290	3,540
		Preparación	Manuelita	Veta 10	ACC			30	30		40	30	40					10
	VE							30				40	10	10			80	
Veta 11	SN			30	20				40	60	60	60	60	60	60	50	440	
Roma	ACC			20	20		20	20									100	
	SN			130	140	180	140	140	160	140	120	110	100	100	100	100	1,560	
	CH								10	10	10	10					40	
	OP			10	10	10	20	10	10	10							80	
Don Pedro	SN			30	30	80	70	80	80	80	110	110	130	130	130	130	1,080	
Rosalvina	SN			30	30	100	70	70	100	100	180	190	190	190	190	190	1,440	
	CH								10	10	20	20	10	10			80	
Ramal Manuelita	SN			60	60	60	30										210	
	OP			10	10	10	10										40	
Manuelita	SN			30	30	60	60	60	30	30	30	20	20	20	20	30	420	
	CH								10	10	10	10					40	
	VE								30								80	
Total Preparación				350	350	530	490	510	520	570	550	520	510	510	5,840			
Total general				570	570	820	840	830	840	850	830	820	810	800	800	9,380		

Tomado del Departamento de Planeamiento

2.9. Resumen general de producción en la U.M. Manuelita

La producción realizada en la U.M. Manuelita en la veta 11 de los diferentes tajeos durante el periodo 2019 fue de 160,175 toneladas. El Budget de producción en la UM Manuelita de todas las estructuras explotadas fue de 229,000 toneladas, con una producción diaria promedio de 19,000 toneladas y leyes de Ag@161 ppm, Cu@0.29 %, Pb@1.47 %, Zn@4.09 %, con un ancho de veta promedio de 1.4 metros, un ancho de minado promedio de 2.4 metros y un VPT (valor presente total) de 158 \$/t.

Tabla 4. Resumen general de producción periodo 2019 de la veta 11 de la U.M. Manuelita

CUADRO DE PRODUCCIÓN POR TAJEOS-AÑO 2019 UEA MANUELITA																
U.E.A.		MANUELITA														
Zona	Procedencia	Labor	Ene-19	Feb-19	Mar-19	Abr-19	May-19	Jun 19	Jul-19	Ago-19	Set-19	Oct-19	Nov-19	Dic-19	Total 2019	
MANUELITA	Tajeo	TJ_130 (Veta 11)	3,000	2,650	3,100	3,300	3,150	3,200	3,700	4,300	4,250	4,000	3,850	3,950	42,450	
		TJ_150	2,740	1,400	1,260	2,010	2,000								9,410	
		TJ_270	2,800	2,800	2,800											8,400
		TJ_725			800	2,250	2,350	2,450	2,900	2,900	4,300	4,100	4,250	3,150	29,450	
		TJ_820						1,500	1,950	2,125	1,975	2,325	2,500	2,500	14,875	
		TJ_854	2,800	2,800	2,800	2,800	2,800	2,800	3,000	3,000	3,100	3,100	3,100	3,100	35,200	
		TJ_890				1,500	1,500	1,500	1,400	1,400					900	8,200
		TJ_891				1,690	1,350	1,500	750							5,290
		TJ_915	2,200	2,500	2,200											6,900
		Total MANUELITA			13,540	12,150	12,960	13,550	13,150	12,950	13,700	13,725	13,625	13,525	13,700	13,600
Total general			13,540	12,150	12,960	13,550	13,150	12,950	13,700	13,725	13,625	13,525	13,700	13,600	160,175	

Tomado del Departamento de Planeamiento

2.10. Bases teóricas del estudio

2.10.1. Generalidades

Las operaciones de la producción de relave para relleno hidráulico en la planta concentradora “Amistad” está dedicada básicamente al abastecimiento de relave a la planta de relleno hidráulico de Manuelita, la pulpa de relave es traslado mediante volquetes desde la planta concentradora “Amistad” hacia la planta de relleno hidráulico de Manuelita.

Desde la planta de relleno hidráulico de la zona de Manuelita es enviada por red de tuberías a interior mina de acuerdo con el requerimiento de las diferentes zonas.

2.10.2. Conceptos teóricos

A. Definición, ventajas y desventajas del relleno hidráulico

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

El relleno hidráulico tiene las siguientes aplicaciones:

- Proveer una plataforma de trabajo.
- Optimizar las operaciones de extracción en los tajeos.
- Evitar o minimizar deformaciones de cajas.
- Minimizar la deposición de relaves en superficie.

Las ventajas del relleno hidráulico son:

- El uso del relave de una planta concentradora tiene costo cero, producto de la reducción de tamaño.
- El medio de transporte de relleno hidráulico es más económico, eficiente y rápido en tuberías.
- El uso de relleno en pulpa en el tajo tiende a buscar su nivel en forma natural.
- El relleno hidráulico permite una alta resistencia al movimiento de las cajas.
- El relleno hidráulico aumenta la eficiencia y productividad debido a un menor consumo de madera y a la reducción del costo de minado.

Las desventajas del relleno hidráulico son:

- El incremento de agua producto del uso del relleno en la mina es un problema por un mayor uso de bombeo.
- La presencia de alto contenido de pirita o pirrotita, genera una reacción exotérmica lo que eleva la temperatura y produce anhídrido sulfuroso al oxidarse.
- Se depositan finos en los niveles inferiores a las labores rellenas producto del arrastre de con agua.
- Disminuye el comportamiento geomecánico en el puente sobre las galerías por el lavado de los rellenos en las fracturas, requiriéndose un mayor soporte en los puentes en veta.

B. Características de la pulpa

Se define la mezcla de una fase sólida y una líquida conocida como pulpa. Este material es el producto de la clasificación del relave conocido como el *overflow*, la cual mezclada con agua y transportada en suspensión.

C. Características del relleno hidráulico

Las características que influyen en el transporte de sólidos son:

- Gravedad específica de los sólidos
- Tamaño máximo de las partículas
- Dureza de los sólidos

D. Propiedades físicas y mecánicas del relleno hidráulico

- Porosidad
- Permeabilidad
- Relación de vacíos
- Relación de vacíos máximo
- Relación de vacíos mínimo
- Contenido de humedad
- Grado de saturación
- Cohesión
- Fricción interna

E. Comportamiento mecánico del relleno

Los parámetros a considerar son:

- Densidad Relativa
- Efecto del Agua en el relleno hidráulico
- Consolidación
- Compactación
- Cementación
- Compresibilidad

2.10.3. Disposición de residuos sólidos y líquidos de relave de planta concentradora “amistad” hacia la planta de relleno hidráulico de Manuelita

La alimentación a clasificación de relave es abastecida con un 41.15 % en promedio del total de relave de la planta concentradora “Amistad”, donde el 20.82 % es destinado para la planta de relleno hidráulico y la diferencia que es el 79.18 % es direccionado hacia la relavera Huascacocha.

2.10.4. Traslado de relave con volquete

El traslado de relave para la planta de relleno hidráulico de Manuelita se realiza con el apoyo de volquetes de una capacidad promedio de 15 toneladas, cuyos operadores se encuentran capacitados en el traslado de relave.

2.10.5. Entelado de volquete para traslado de relave

La compuerta de la tolva de los volquetes que trasladan relave hacia la planta de relleno hidráulico de Manuelita son entelados con tela arpillera por el personal entelador, previamente capacitado en la actividad, con la finalidad de evitar derrame en el trayecto del traslado de relave y prevenir la contaminación ambiental.

2.10.6. Carguío de relave a los volquetes

El carguío de relave se realiza con un cargador frontal CAT 966, el volquete deberá estacionarse después de la parrilla de lavado, cuando una vez sea cargado de relave el volquete deberá avanzar hacia la parrilla de lavado para luego ser lavado con chorro de agua, hasta dejar libre de relave los lados y llantas para luego dar inicio del traslado hacia la planta de relleno hidráulico de Manuelita.

2.10.7. Descarga de relave en la planta de relleno hidráulico de Manuelita

Cuando llega el volquete a la planta con relave para relleno hidráulico, cualquiera sea la zona, se tiene un personal quien indica la descarga y libera el seguro de la compuerta de la tolva en coordinación con el operador del mismo y procede a la descarga luego de la descarga deberán realizar el lavado de la compuerta del volquete.

2.10.8. Especificaciones del material de relave en planta

Tabla 5. Balance de flujo y masa

DESCRIPCIÓN	BALANCE DE FLUJO Y MASA - CLASIFICACIÓN PARA RELLENO HIDRAULICO								
	TMSPH	Densidad Pulpa	Grav. Esp.	% Sólidos	GPM Pulpa	t ³ /min Pulpa	(m ³ /Hr)Pulpa	(m ³ /Hr)Sólidos	(m ³ /Hr) Agua
U/F DEL NIDO DE HIDROCLONES PARA RH	17.45	2.00	2.99	75.11	51.26	6.84	11.62	5.84	5.78
RELAVE GENERAL DE PLANTA	83.79	1.19	2.99	24.20	1280.53	170.94	290.42	27.99	262.43

Tomado del Departamento de Servicios Auxiliares

2.10.9. Envío de relave hacia interior mina (rellenado de tajo)

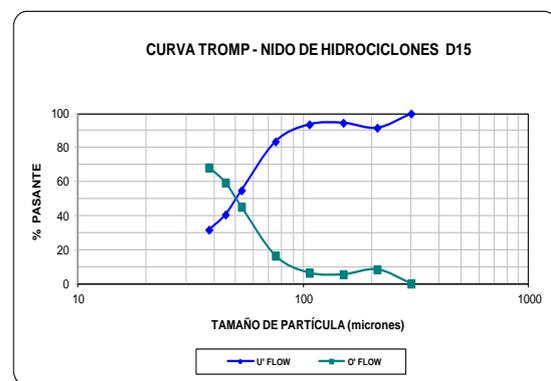
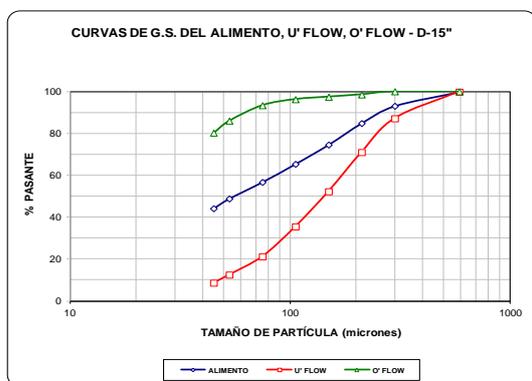
El envío de relave a interior mina es por una red de tubería de HDPE con SDR 10.5 cuando se realiza el relleno del tajo, la comunicación se realiza mediante una radio portátil y/o por anexos telefónicos.

2.10.10. Clasificación para relleno hidráulico (pulpa de relave)

La clasificación de partículas sólidas desde la planta concentradora “Amistad”, se realiza con el envío de la pulpa de relave con una bomba centrífuga de 8”X6” hacia el nido de 2 hidrociclones D-15, el objeto de esta clasificación es suministrar material con tamaños que obedecen a la siguiente restricción de clasificación %peso M -200 (U/F del D-15) = 20 – 25 % y %peso M -325 (U/F del D-15)= 8 – 12 %, y con ello garantizar la velocidad de percolación de lonas para relleno hidráulico en interior mina. Un 20.82 % (*under flow*) del total de material alimentado es enviado cómo relave para relleno hidráulico.

Tabla 6. Análisis granulométrico

MALLA	MICRONES	NIDO DE HIDROCICLONES D-15					
		ALIMENTO		U' FLOW		O' FLOW	
		% PESO	ACUM (-)	% PESO	ACUM (-)	% PESO	ACUM (-)
28	589	0.23	99.77	0.20	99.80	0.00	100.00
50	300	6.70	93.07	12.70	87.10	0.00	100.00
65	212	8.23	84.83	16.10	71.00	1.50	98.50
100	150	10.27	74.57	18.70	52.30	1.10	97.40
150	106	9.20	65.37	16.80	35.50	1.17	96.23
200	75	8.63	56.73	14.27	21.23	2.87	93.37
270	53	7.90	48.83	8.72	12.52	7.35	86.02
325	45	4.67	44.17	3.85	8.67	5.77	80.25
-325	0	44.17	0.00	8.67	0.00	80.25	0.00
TOTAL		100.0		100.0		100.0	



El % peso en malla -200, se encuentra en el óptimo (21.23 %). El % peso malla -325, es bueno (8.67 %), no dificultará la percolación en interior mina. La eficiencia de clasificación se encuentra en un valor aceptable 74.99 %.

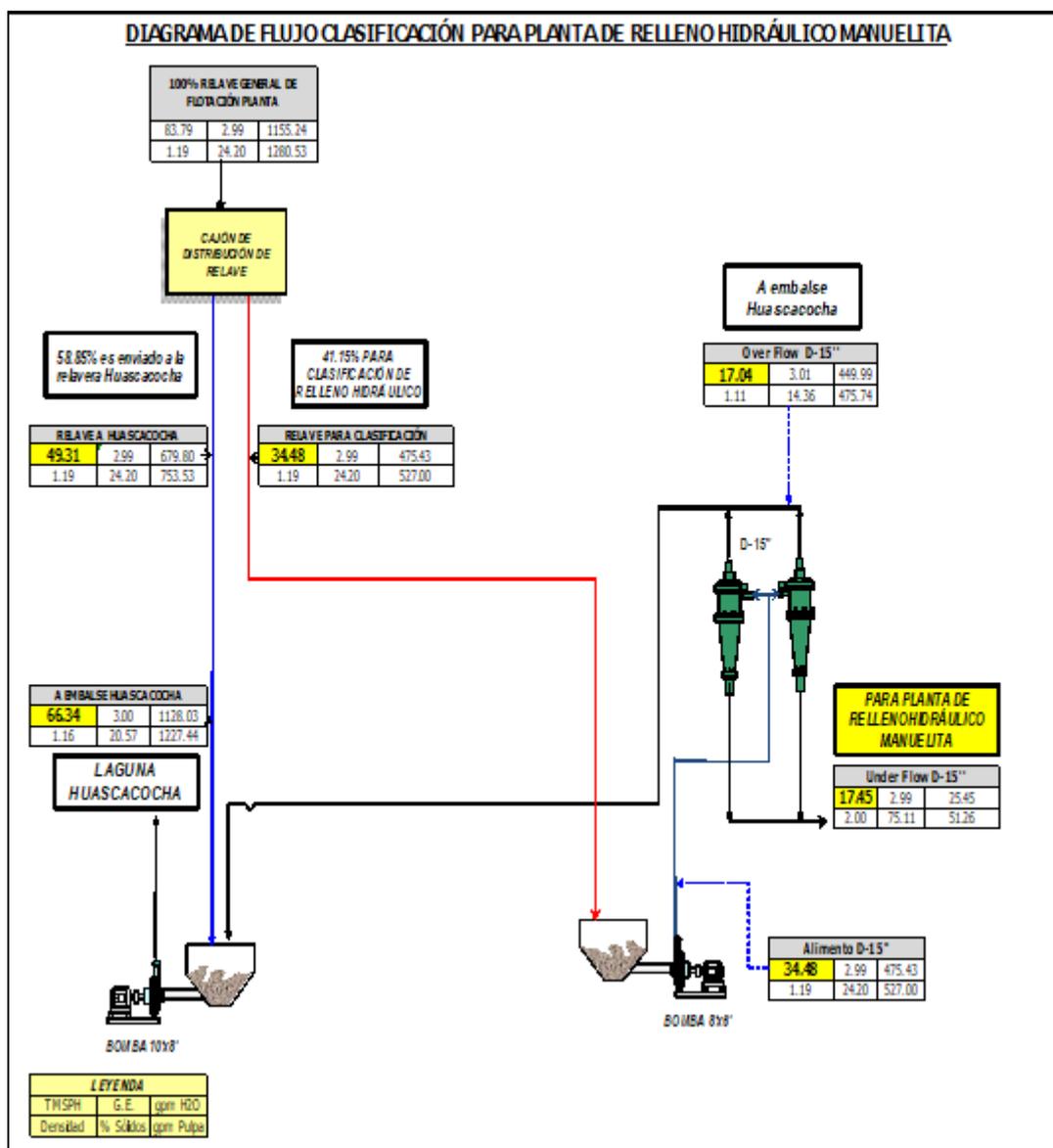


Figura 13. Diagrama de flujo clasificación para planta de relleno hidráulico Manuelita

2.10.11. Producción de relleno hidráulico

Durante el periodo de producción de relleno hidráulico se realizó a partir del periodo 2013, producto del relave clasificado en el *underflow* y destinado a los distintos tajeos explotados.

Tabla 7. Producción de releno hidráulico periodo 2013 – 2014 en la unidad minera Manuelita

PRODUCCION DE RELAVE - RH - AÑO 2013														
INDICADORES	Unidad	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
Relave Generado en planta	TMS	47,126.91	42,959.04	51,020.56	46,226.72	49,732.76	50,718.41	48,172.80	46,511.94	46,186.71	46,466.59	46,173.13	46,470.79	567,766.36
Relave Clasif. Para RH	TMS	12,790.30	11,119.93	20,187.68	19,993.57	23,986.67	21,046.73	23,240.00	21,700.00	21,046.67	21,513.33	20,906.67	20,300.00	216,924.88
Relave enviado a RH	TMS	1,662.74	1,445.59	2,624.40	2,599.16	3,118.27	2,736.07	3,021.20	2,821.00	2,736.07	2,796.73	2,717.87	2,639.00	30,918.10
Relave a Huascacocha	TMS	11,127.56	9,674.33	17,563.28	17,394.40	20,868.40	18,310.65	20,218.80	18,879.00	18,310.60	18,716.60	18,188.80	17,661.00	206,913.42
Relave a Huascacocha	m3/mes	45,464.17	41,513.45	48,396.16	43,627.56	46,614.49	47,982.34	45,151.60	43,690.94	43,450.64	43,669.86	43,455.26	43,831.79	536,848.26

PRODUCCION DE RELAVE - RH - AÑO 2014														
INDICADORES	Unidad	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
Tratamiento Planta /mes	TMS	53,057.00	46,410.00	51,557.00	43,096.00	52,785.00	48,089.00	51,708.00	54,060.00	51,598.00	53,053.75	52,217.00	56,150.00	613,780.75
Relave general /mes	TMS	47,848.27	41,997.67	46,554.88	39,115.24	47,240.10	43,193.23	46,423.53	47,257.27	46,093.20	47,512.91	46,606.19	49,973.08	549,815.55
Relave a RH	TMS	10,178.00	12,621.00	8,790.00	5,325.00	8,486.00	9,779.00	9,882.00	9,701.00	11,751.00	7,961.00	7,294.92	10,022.54	111,791.46
Relave a Huascacocha	TMS	37,670.27	29,376.67	37,764.88	33,790.24	38,754.10	33,414.23	36,541.53	37,556.27	34,342.20	39,551.91	39,311.27	39,950.54	438,024.11
Relave a Huascacocha	m3/mes	12,282.45	9,476.91	12,379.33	10,927.76	12,578.96	10,868.00	11,400.96	11,792.67	10,646.08	12,102.88	12,422.36	12,144.66	139,023.02

Tabla 8. Producción de relleno hidráulico periodo 2015 – 2016 en la unidad minera Manuelita

PRODUCCION DE RELAVE - RH - AÑO 2015														
INDICADORES	Unidad	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
Tratamiento Planta /mes	TMS	53,830.00	51,043.00	52,100.00	57,255.00	60,060.00	60,010.00	60,023.00	60,392.00	56,307.00	57,721.00	59,644.00	62,144.00	690,529.00
Relave general /mes	TMS	48,557.12	45,553.00	46,061.55	49,668.41	53,459.35	53,303.37	52,450.55	53,802.24	49,653.56	51,764.54	52,555.92	55,084.79	611,914.38
Relave a RH	TMS	8,077.48	15,383.13	12,283.61	7,078.13	8,007.69	10,476.91	5,148.88	2,490.77	8,513.09	4,358.85	11,665.20	5,625.44	99,109.19
Relave a Huascacocha	TMS	40,479.64	30,169.87	33,777.94	42,590.28	45,451.66	42,826.47	47,301.67	51,311.47	41,140.47	47,405.69	40,890.71	49,459.35	512,805.20
Relave a Huascacocha	m3/mes	13,675.55	10,192.52	11,411.47	14,388.61	15,355.29	14,468.40	15,767.22	17,103.82	13,713.49	15,749.40	13,584.95	16,431.68	171,842.40

PRODUCCION DE RELAVE - RH - AÑO 2016														
INDICADORES	Unidad	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
Tratamiento Planta /mes	TMS	62,405.00	60,289.00	59,368.00	60,517.00	60,033.00	61,877.00	66,441.00	60,034.00	60,217.00	58,832.00	57,404.00	61,744.00	729,161.00
Relave general planta/mes	TMS	55,808.95	53,995.19	50,682.17	52,543.36	51,828.77	54,303.10	59,358.83	54,155.15	53,739.17	52,636.44	51,610.06	55,953.73	646,614.92
Relave a RH	TMS	1,857.86	4,024.01	4,378.58	1,203.20	219.76	6,210.93	3,379.53	355.74	0.00	0.00	0.00	0.00	21,629.61
Relave a embalse Huascacocha	TMS	53,951.09	49,971.19	46,303.59	51,340.16	51,609.01	48,092.17	55,979.30	53,799.41	53,739.17	52,636.44	51,610.06	55,953.73	624,985.31
Relave a embalse Huascacocha	m3/mes	17,688.88	16,882.16	16,022.00	17,703.50	17,435.48	16,247.35	16,963.42	17,933.14	18,033.28	16,448.89	16,205.56	17,569.47	205,133.13

La producción de relleno hidráulico durante el periodo 2013 fue de 30,918.10 TMS, siendo el total de relave generado en la planta de 567,766.36 toneladas tratadas, la producción de relleno hidráulico durante el periodo 2014 fue de 11,791.46 TMS, con un total de relave generado en planta de 613,780.75 toneladas, la producción de relleno hidráulico durante el periodo 2015 fue de 99,109.19 TMS, con un total de relave generado en planta de 690,529.00 toneladas y durante el periodo 2016 el total de relleno hidráulico fue de 21,629.61 TMS, con un total de relave generado en planta de 729,161.00 toneladas.

A partir del periodo setiembre 2018 se produjo un total de relleno hidráulico en 9,334 TMS y durante el periodo 2019 se produjo 47,588 TMS de relleno hidráulico. Este mayor incremento de producción de relave es producto de la aplicación del método de explotación *sublevel stoping* con taladros largos en niveles más profundos.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Método y alcances de la investigación

3.1.1. Método de la investigación

La presente tesis aplicará el método de investigación científico, el cual permitirá reunir, procesar y fijar información en forma ordenada, sistemática y siguiendo procedimientos para solucionar un problema.

A. Método general

Aplica el método inductivo - deductivo, el cual se orientó a observar e investigar en detalle el análisis del sistema de relleno hidráulico aplicado en el método de explotación *sublevel stoping*.

B. Métodos específicos

El procedimiento de recolectar y procesar información permitirá realizar el análisis del sistema de relleno hidráulico aplicado en el método de explotación *sublevel stoping*.

- ✓ Recopilación de informes anteriores. Se recopilará información de las áreas de geología, mina, planta, geomecánica y planeamiento.

- ✓ Trabajo de campo. Se realizó el análisis de las variables operacionales del relleno hidráulico mediante las observaciones pertinentes de mapeo, monitoreo

de convergencia/divergencia y variables de producción de relleno en el método de explotación *sublevel stoping*.

- ✓ Trabajo de gabinete: Se analizó las variables de del sistema de relleno hidráulico, con la información procesada.
- ✓ Resultados. Se realizó el análisis e interpretación de variables que influyen en el relleno hidráulico aplicado en el método de minado *sublevel stoping*.

3.2. Diseño de la investigación

3.2.1. Diseño de investigación

El diseño de investigación es descriptivo longitudinal el cual permitirá la evaluación y la descripción del comportamiento de una variable en este caso, el análisis del sistema de relleno hidráulico, esta descripción implica la observación sistemática del diseño de estudio en la Compañía Minera Argentum S.A. – Unidad Minera Manuelita, 2020.

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

02 (T1, T2, T3, T4)

GNO: 01 y 02

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

Está conformado por el circuito de relleno desde la planta de relleno hacia las distintas tajeos explotados en la compañía minera Argentum S. A.

3.3.2. Muestra

Está conformada por los componentes del relleno hidráulico.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La investigación científica permite el uso de una diversidad de técnicas e instrumentos de recolección de información en función al método y tipo de investigación a aplicar.

3.4.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos

- ✓ Observación
- ✓ Recopilación de información de campo.
- ✓ Revisión de la bibliografía.

3.4.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos

- ✓ Libros y revistas.
- ✓ Plantillas de Microsoft Excel.
- ✓ Citas y referencias de internet
- ✓ Laptop.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

Se describe los resultados de la presente tesis detallando el análisis del sistema de relleno hidráulico para el método de explotación *sublevel stoping* en la unidad minera Manuelita.

4.1.1. Estudios de mecánica de suelos del relleno hidráulico

Durante los estudios realizados en la unidad minera Manuelita se caracterizó las propiedades físicas del relleno hidráulico en muestras ubicadas del hidrociclón y comparadas con muestras del tajo manuelita del nivel 450.

Se obtuvo muestras del relleno hidráulico en el hidrociclón y del tajo Manuelita del nivel 450 para ensayos granulométricos, índices de *attemberg*, propiedades físicas y de corte. Este último ensayo permitió obtener el ángulo de fricción interna (ϕ) y cohesión (c) del relleno.

Tabla 9. Análisis granulométrico

Tipos de Ensayos	M-1 (Hidrociclón)	M-2 (Tajo Manuelita)
% de grava	0.00	0.00
% de arena	73.59	75.78
% de finos	26.41	24.22
Límite Líquido	18.34	18.72
Límite Plástico	N.P	N.P
Índice de plasticidad	N.P	N.P
Clasificación SUCS	SM	SM
Contenido de Humedad Natural (%)	8.11	26.53
Peso específico de sólidos (P.e)	3.056	3.042
Densidad Natural Húmeda (gr/cm ³)	1.994	2.162
Densidad Natural Seca (gr/cm ³)	1.832	1.746
Angulo de fricción interna (ϕ)	33.18	31.54
Cohesión (c) Kg/cm ²	0.11	0.07

a) Análisis e interpretación de resultados:

- ✓ Por las características obtenidas de los ensayos de mecánica de suelos, este material se clasifica como una arena limosa de consistencia media a dura (1.55 a 1.80 gr/cm³), índice de huecos (e) de 0.5 a 1.0 y una permeabilidad de 1x10⁻³ a 5x10⁻³ cm/s.
- ✓ Su consolidación se realiza en forma natural por pérdida del contenido de agua que se incluye en la pasta para ser transportada y aumenta por efecto de las cargas dinámicas ocasionadas por las voladuras cercanas; lo cual, permite después de un periodo de tiempo (entre 2 a 6 horas) su uso como piso de tajeo para continuar con la explotación del mismo.
- ✓ En la mina Sulfurosa, el relleno hidráulico es utilizado fundamentalmente como parte del ciclo de minado, ya que las cajas de las vetas presentan regulares a buenas condiciones geomecánicas y no requieren un soporte adicional al soporte temporal que se les coloca según su clasificación geomecánica y a los tipos de soporte mencionados en el ítem anterior.

- ✓ Sin embargo, con el transcurso del tiempo, el relleno hidráulico evitara posibles desplazamientos de las cajas cuando estas hayan sido explotadas íntegramente entre dos niveles consecutivos, ya que todo el espacio de la veta excavada se encuentra con este relleno.

4.1.2. Características para la clasificación del relleno hidráulico

Las características del relleno hidráulico, aplicado en los diferentes tajeos explotados por el método de minado mediante *sublevel stoping* con taladros largos de la unidad minera Manuelita, es producto de la clasificación del relave del mineral producido en la unidad minera, lo cuales son enviados a los hidrociclones para ser clasificados en el *under flow* y el *over flow*. El material clasificado en el primero se enviará a la relavera, mientras que el material clasificado en el segundo se mezclará con agua y formará una pasta, el cual se enviará a los diferentes tajos explotados para su relleno respectivo.

El material sólido del relleno hidráulico utilizado en la mina Manuelita se clasifica como una arena fina limosa (SM) con 65 % a 75 % de arenas entre la malla N°10 a malla N°200 y con un 25 % a 35 % de material fino poco cohesivo y no plástico. Se evita la presencia de lamas para que no dificulten la evacuación del contenido de agua en la pasta.

Tabla 10. Características para la clasificación del relleno hidráulico en la unidad minera Manuelita

DESCRIPCIÓN	BALANCE DE FLUJO Y MASA - CLASIFICACIÓN PARA RELLENO HIDRÁULICO								
	TMS/Hr	Dens. Pulpa	Grav. Espec.	% Sólidos	GPM Pulpa	Pulpa (ft3 / min)	Pulpa (m3/hr)	Sólidos (m3/hr)	Agua (m3/hr)
U/F DEL NIDO DE HIDROCICLONES PARA RH	17.45	2.00	2.99	75.11	51.26	6.84	11.62	5.84	5.78
RELAVE GENERAL DE PLANTA	83.79	1.19	2.99	24.20	1280.53	170.94	290.42	27.99	262.43



a) Análisis e interpretación de resultados:

- ✓ La clasificación para relleno hidráulico considera una alimentación de relave general de planta de 83.79 t/h, para ser clasificado en los hidrociclones material en el *under flow* en 17.45 t/h como relleno hidráulico. Este tonelaje de relleno hidráulico es mezclado con agua y es transportado como pulpa a los distintos tajeos explotados para ser rellenos.

- ✓ El tonelaje procesado para relleno hidráulico por hora, tendrá una densidad de pulpa de 2 kg/m³ y el relave general con una densidad de 1.19 kg/m³ y una gravedad específica de 1.19 gr/cm³.

- ✓ La cantidad de pulpa de relleno hidráulico será de 11.62 m³/h generado por 290.42 de relave general de planta.

- ✓ Finalmente, la cantidad de sólidos en el relleno hidráulico será de 5.84 m³/h de 27.99 m³/h de sólidos presente en el relave general de planta.

4.1.3. Análisis de la producción de relleno hidráulico

La producción de relleno hidráulico durante el periodo 2013 fue de 30,918.10 TMS, siendo el total de relave generado en la planta de 567,766.36 toneladas tratadas. La producción de relleno hidráulico durante el periodo 2014 fue de 11,791.46 TMS, con un total de relave generado en planta de 613,780.75 toneladas, la producción de relleno hidráulico durante el periodo 2015 fue de 99,109.19 TMS, con un total de relave generado en planta de 690,529.00 toneladas y durante el periodo 2016 el total de relleno hidráulico fue de 21,629.61 TMS, con un total de relave generado en planta de 729,161.00 toneladas.

A partir del periodo setiembre 2018, se produjo un total de relleno hidráulico en 9,334 TMS y durante el periodo 2019 se produjo 47,588 TMS de relleno hidráulico. Este mayor incremento de producción de relave es producto de la aplicación del método de explotación *sublevel stoping* con taladros largos en niveles más profundos.

Tabla 11. Producción de relleno hidráulico periodo 2013 y 2014 en la unidad minera Manuelita

Disposición Relave SECO (Ton) - 2013		
Mes	Relave Seco Huascacocha	Relave Seco Relleno Hidráulico
Enero	1,663	11,128
Febrero	1,446	9,674
Marzo	2,624	17,563
Abril	2,599	17,394
Mayo	3,118	20,868
Junio	2,736	18,311
Julio	3,021	20,219
Agosto	2,821	18,879
Setiembre	2,736	18,311
Octubre	2,797	18,717
Noviembre	2,718	18,189
Diciembre	2,639	17,661
TOTAL	30,918	206,913
PROMEDIO	2,577	17,243

Disposición Relave SECO (Ton) - 2014		
Mes	Relave Seco Huascacocha	Relave Seco Relleno Hidráulico
Enero	10,178	37,670
Febrero	12,621	29,377
Marzo	8,790	37,765
Abril	5,325	33,790
Mayo	8,486	38,754
Junio	9,779	33,414
Julio	9,882	36,542
Agosto	9,701	37,556
Setiembre	11,751	34,342
Octubre	7,961	39,552
Noviembre	7,295	39,311
Diciembre	10,023	39,951
TOTAL	111,791	438,024
PROMEDIO	9,316	36,502

Tabla 12. Producción de relleno hidráulico periodo 2015 y 2016 en la unidad minera Manuelita

Disposición Relave SECO (Ton) - 2015		
Mes	Relave Seco Huascacocha	Relave Seco Relleno Hidráulico
Enero	40,480	8,077
Febrero	30,170	15,383
Marzo	33,778	12,284
Abril	42,590	7,078
Mayo	45,452	8,008
Junio	42,826	10,477
Julio	47,302	5,149
Agosto	51,311	2,491
Setiembre	41,140	8,513
Octubre	47,406	4,359
Noviembre	40,891	11,665
Diciembre	49,459	5,625
TOTAL	512,805	99,109
PROMEDIO	42,734	8,259

Disposición Relave SECO (Ton) - 2016		
Mes	Relave Seco Huascacocha	Relave Seco Relleno Hidráulico
Enero	53,951	1,858
Febrero	49,971	4,024
Marzo	46,304	4,379
Abril	51,340	1,203
Mayo	51,585	244
Junio	48,093	6,210
Julio	55,981	3,378
Agosto	53,800	355
Setiembre	53,739	0
Octubre	52,595	0
Noviembre	51,610	0
Diciembre	55,954	0
TOTAL	624,923	21,629
PROMEDIO	52,077	1,804

Tabla 13. Producción de relleno hidráulico periodo 2017 y 2018 en la unidad minera Manuelita

Disposición Relave SECO (Ton) - 2017		
Mes	Relave Seco Huascacocha	Relave Seco Relleno Hidráulico
Enero	55,075	0
Febrero	50,454	0
Marzo	53,695	0
Abril	54,587	0
Mayo	57,013	0
Junio	53,975	0
Julio	56,407	0
Agosto	54,446	0
Setiembre	55,025	0
Octubre	55,193	0
Noviembre	53,476	0
Diciembre	56,747	0
TOTAL	656,094	0
PROMEDIO	54,675	0

Disposición Relave SECO (Ton) - 2018		
Mes	Relave Seco Huascacocha	Relave Seco Relleno Hidráulico
Enero	55,724	0
Febrero	52,907	0
Marzo	54,001	0
Abril	56,301	0
Mayo	56,025	0
Junio	55,748	0
Julio	56,768	0
Agosto	54,395	0
Setiembre	48,067	6,020
Octubre	48,644	1,288
Noviembre	52,835	1,124
Diciembre	54,510	901
TOTAL	645,927	9,334
PROMEDIO	53,827	2,333

a) Análisis e interpretación de resultados:

- ✓ La producción promedio mensual de relleno hidráulico durante el periodo 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018 fueron de 17243 TMS, 36502 TMS, 8259 TMS, 1804 TMS y 2333 TMS respectivamente.
- ✓ La producción anual total de relleno hidráulico para los periodos 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018 fueron de 206,913 TMS, 438,034 TMS, 99,109 TMS, 21,629 TMS y 9,334 TMS respectivamente.
- ✓ El total de relave producido durante los periodos 2013, 2014, 2015 y 2016 fueron de 567,766.36 TMS, 613,780.75 TMS, 690,529.00 TMS y 729,161 TMS respectivamente.
- ✓ Esta menor producción de relleno hidráulico en los distintos periodos es producto del uso de relleno detrítico en los métodos de minado corte y relleno ascendente, los cuales se implementaron en proporciones iguales con el método de minado sublevel stoping a partir del periodo 2019.

A. Producción de relleno hidráulico periodo 2019

Para el presente estudio se analizará la producción de relleno hidráulico y relleno detrítico del periodo 2019. Se analizó la producción mensual durante este periodo, donde se observa una producción total de 93,122 TMS el cual es utilizado en los métodos de minado corte y relleno ascendente (relleno detrítico) y *sublevel stoping* (relleno detrítico y relleno hidráulico).

La incidencia que tiene el relleno hidráulico y relleno detrítico se incrementa durante los periodos abril a julio del 2019. Se analizará la incidencia en función del plan de producción producido, de acuerdo a su ratio relleno hidráulico versus el relleno detrítico.

Tabla 14. Producción de relleno hidráulico y relleno detrítico periodo 2019 en la unidad minera Manuelita

PERIODO	ene-19	feb-19	mar-19	abr-19	may-19	jun-19	jul-19	ago-19	sep-19	oct-19	nov-19	dic-19	TOTAL
Relleno Hidráulico	3,170	2,670	1,500	5,400	6,115	6,419	4,610	2,750	4,880	3,374	3,200	3,500	47,588
Relleno Detrítico	3,500	3,974	3,546	3,082	2,838	4,207	5,358	2,894	6,200	3,585	3,150	3,200	45,534
Total	6,670	6,644	5,046	8,482	8,953	10,626	9,968	5,644	11,080	6,959	6,350	6,700	93,122



a) Análisis e interpretación de resultados:

- ✓ La producción de relleno hidráulico durante el periodo 2019 fue de 47,588 TMS, con un promedio mensual de 3,966 TMS.

- ✓ Las mayores producciones se realizaron durante los periodos de abril, mayo, junio y julio con un total producido de relleno hidráulico de 22,544 TMS, con un promedio mensual de 5,636 TMS.

- ✓ Esta mayor producción se debe al incremento de producción de mineral producido en esos periodos al menor aporte de relleno detrítico.

- ✓ La producción de relleno detrítico durante el periodo 2019 fue de 45,534 TMS, con un promedio mensual de 3,795 TMS.

- ✓ Las producciones de relleno detrítico durante los periodos de abril, mayo, junio y julio fueron de 15,485 TMS, con un promedio mensual de 3,871 toneladas.

- ✓ La ratio de relleno hidráulico versus el relleno detrítico anual es de 1.05 y durante el periodo abril a julio del mismo periodo es de 1.46.

- ✓ Este mayor incremento de razón relleno hidráulico versus relleno detrítico en 0.41 es producto de una mayor aplicación del método de minado *sublevel stoping* comparado con el método de minado *cut and fill*, en niveles más profundos de la operación.

4.1.4. Análisis de la producción de mineral y el relleno hidráulico

Durante el periodo 2019 en la U.M. Manuelita se produjo un total de 160,175 toneladas con una producción promedio mensual de 13,348 toneladas con leyes promedio de Ag@ 223.91ppm, Cu@ 0.39 %, Pb@ 1.32 y Zn@ 2.58 %, con un ancho de veta promedio 1.70 metros y un valor presente total (VPT) de 157.41 \$/t.

Tabla 15. Producción de mineral, relleno hidráulico y relleno detrítico periodo 2019 en la unidad minera Manuelita

Zona	Procedencia	Labor	Ene-19	Feb-19	Mar-19	Abr-19	May-19	Jun 19	Jul-19	Ago-19	Set-19	Oct-19	Nov-19	Dic-19	Total 2019	
MANUELITA	Tajeo	TJ_130 (Veta 11)	3,000	2,650	3,100	3,300	3,150	3,200	3,700	4,300	4,250	4,000	3,850	3,950	42,450	
		TJ_150	2,740	1,400	1,260	2,010	2,000								9,410	
		TJ_270	2,800	2,800	2,800										8,400	
		TJ_725			800	2,250	2,350	2,450	2,900	2,900	4,300	4,100	4,250	3,150	29,450	
		TJ_820						1,500	1,950	2,125	1,975	2,325	2,500	2,500	14,875	
		TJ_854	2,800	2,800	2,800	2,800	2,800	2,800	3,000	3,000	3,100	3,100	3,100	3,100	35,200	
		TJ_890				1,500	1,500	1,500	1,400	1,400					900	8,200
		TJ_891				1,690	1,350	1,500	750							5,290
		TJ_915	2,200	2,500	2,200											6,900
Total MANUELITA			13,540	12,150	12,960	13,550	13,150	12,950	13,700	13,725	13,625	13,525	13,700	13,600	160,175	
Total Relleno Hidráulico (TMS)			3,170	2,670	1,500	5,400	6,115	6,419	4,610	2,750	4,880	3,374	3,200	3,500	47,588	
Total Relleno Detrítico (TMS)			3,500	3,974	3,546	3,082	2,838	4,207	5,358	2,894	6,200	3,585	3,150	3,200	45,534	



a) Análisis e interpretación de resultados:

- ✓ La producción de mineral en la U.M. Manuelita fue de 160,175 toneladas, con un total de 47, 588 TMS de relleno hidráulico y de 45,534 TMS de relleno detrítico.

- ✓ Los promedios mensuales, de producción de mineral fue de 13,348 toneladas, de producción de relleno hidráulico de 3,966 TMS y de relleno detrítico fue de 3,795 TMS.

- ✓ La producción total en los periodos abril a julio fueron de 53,350 toneladas de mineral, 22,544 TMS de relleno hidráulico y de 15,485 TMS de relleno detrítico.

- ✓ La producción promedio mensual en los periodos abril a julio fueron de 13,338 toneladas de mineral, 5,636 TMS de relleno hidráulico y de 3,871 TMS de relleno detrítico.

- ✓ Estos mayores incrementos de tonelaje en el periodo abril a julio fueron producto del mayor tonelaje de mineral producido por el método de minado *sublevel stoping* con taladros largos.

4.1.5. Análisis económico

Para realizar el análisis económico del presente trabajo de investigación, se considera los ingresos de mineral considerando un valor de mineral promedio de 157.41 US \$/t, con leyes de Ag@ 223.91 ppm, Cu@ 0.39 %, Pb@ 1.32 % y Zn@ 2.58 %, asimismo se considera los costos operacionales en 32 \$/t el que considera los costos unitarios de perforación en 22.19 \$/t, costos unitarios voladura de 2.54 \$/t, costos unitarios limpieza en 4.50 \$/t y costos unitarios de relleno en 2.36 \$/t, asimismo considera la producción anual de 160,175 toneladas de mineral.

El análisis económico estará asociado al margen operativo relacionado al tonelaje producido en el periodo 2019, los costos operacionales y los ingresos.

Tabla 16. Análisis económico, considerando el margen operativo de los ingresos y costos de minado periodo 2019 en la unidad minera Manuelita

OPERACIÓN		VALORES	ene-19	feb-19	mar-19	abr-19	may-19	jun-19	jul-19	ago-19	sep-19	oct-19	nov-19	dic-19	TOTAL 2019
UM MANUELITA	TONELAJE (Veta 11)	TMS	13,540	12,150	12,960	13,550	13,150	12,950	13,700	13,725	13,625	13,525	13,700	13,600	160,175
	INGRESOS	US \$	2,301,800	2,004,750	2,242,080	2,560,950	2,445,900	2,007,250	2,603,000	2,745,000	1,975,625	1,555,375	1,438,500	1,332,800	25,213,030
	COSTOS	US \$	427,811	383,893	409,486	428,127	415,489	409,170	432,867	433,657	430,497	427,337	432,867	429,707	5,060,908
	MARGEN OPERATIVO	US \$	1,873,989	1,620,857	1,832,594	2,132,823	2,030,411	1,598,080	2,170,133	2,311,343	1,545,128	1,128,038	1,005,633	903,093	20,152,122
		Ag g/t	253	248	241	281	284	203	261	296	212	160	135	117	223.91
		%Cu	0.38	0.37	0.39	0.46	0.47	0.32	0.47	0.58	0.43	0.34	0.29	0.21	0.39
		%Pb	1.37	1.33	1.52	1.64	1.58	1.31	1.67	1.82	1.19	0.86	0.72	0.86	1.32
		%Zn	2.62	2.53	2.95	2.81	2.61	3.01	3.26	2.79	2.17	2.01	2.12	2.14	2.58
	VPT \$/t	170	165	173	189	186	155	190	200	145	115	105	98	157.41	
	A. de Veta	1.86	1.83	1.75	1.91	1.93	1.83	2.15	2.13	1.73	1.36	1.07	0.91	1.70	



a) Análisis e interpretación de resultados:

- ✓ La producción de mineral durante el periodo 2019 fue de 160,175 toneladas en la U.M. Manuelita, considerando ingresos totales de \$ 25' 213,030, considerando costos totales de \$5' 060,908 y un margen operativo de \$20' 152,122.

- ✓ La producción promedio mensual fue de 13,348 toneladas, los ingresos promedio mensual fueron de \$ 2' 101,086, los costos promedio mensual fueron de \$421,742 y el margen operativo promedio mensual de \$1' 679,344.

- ✓ La producción total durante el periodo abril a julio del 2019 fueron de 53,350 toneladas, los ingresos totales en el periodo abril a julio del 2019 fueron de \$9' 617,100, los costos totales en el periodo abril a julio del 2019 fueron de \$1' 685,653 y el margen operativo en el mismo periodo fue de \$7' 931,447.

- ✓ Los promedios de producción mensual durante el periodo abril a julio fueron de 13,338 toneladas mensuales, los ingresos promedio mensual durante el mismo periodo fueron de \$2' 404, 275, con costos promedio mensual en el mismo periodo fueron de \$421,413 y el margen operativo promedio mensual en el periodo de abril a julio fueron de \$ 1' 982,862.

- ✓ Los costos de relleno hidráulico durante el periodo abril a julio fueron de \$126,102.73 y el costo total durante el periodo 2019 fue de \$378,597.64.

- ✓ El costo de relleno promedio mensual del periodo 2019 fue de \$ 31,549.80 y el promedio mensual durante el periodo abril a julio del 2019 fue de \$31,525.18.

- ✓ Finalmente, el menor costo de relleno durante el periodo abril a julio del 2019 se observa una reducción en \$24.62 mensuales, fue debido al mayor consumo de relleno hidráulico en el periodo abril a julio por el incremento de producción de mineral.

CONCLUSIONES

1. La producción de mineral en la U.M. Manuelita fue de 160,175 toneladas de mineral, con un total de producción de 47, 588 TMS de relleno hidráulico y de 45,534 TMS de relleno detrítico.
2. Los promedios mensuales, de producción de mineral fue de 13,348 toneladas, de producción de relleno hidráulico de 3,966 TMS y de relleno detrítico fue de 3,795 TMS.
3. Durante el periodo abril a julio se produjeron 53,350 toneladas de mineral, 22,544 TMS de relleno hidráulico y de 15,485 TMS de relleno detrítico.
4. Los promedios mensuales de abril a julio fueron de 13,338 toneladas de mineral, 5,636 TMS de relleno hidráulico y de 3,871 TMS de relleno detrítico.
5. La ratio de relleno hidráulico versus el relleno detrítico anual es de 1.05 y durante el periodo abril a julio del mismo periodo es de 1.46.
6. Este mayor incremento de razón relleno hidráulico versus relleno detrítico en 0.41 es producto de una mayor aplicación del método de minado *sublevel stoping* comparado con el método de minado *cut and fill*, en niveles más profundos de la operación.
7. Los ingresos promedio mensual durante el periodo abril a julio fueron de \$2' 404, 275, los costos promedio mensual fueron de \$421,413 y el margen operativo promedio mensual en el mismo periodo fueron de \$ 1' 982,862.
8. Los costos de relleno hidráulico durante el periodo de abril a julio fueron de \$ 126,102.73 y el costo total durante el periodo anual del 2019 fue de \$378,597.64.

9. El costo de relleno promedio mensual del periodo 2019 fue de \$31,549.80 y el promedio mensual durante el periodo abril a julio del 2019 fue de \$31,525.18 US.
10. Finalmente, el menor costo de relleno durante el periodo abril a julio del 2019 se observa una reducción en \$24.62 mensuales, fue debido al mayor consumo de relleno hidráulico en el periodo abril a julio por el incremento de producción de mineral.
11. El uso del relleno hidráulico en la mina Manuelita ha permitido optimizar el ciclo de minado que se realiza mediante el método de explotación *sublevel stoping* (taladros largos) mediante la preparación de subniveles sobre veta y manteniendo un puente de un espesor mínimo de 10.0 m.
12. El relleno hidráulico colocado se utiliza principalmente como piso y no cumple una labor de sostenimiento inmediato, debido fundamentalmente al buen comportamiento geomecánico de las cajas y la colocación de soporte temporal consistente en empernado sistemático.
13. El trabajo de sostenimiento futuro lo proporciona el relleno hidráulico al aumentar su consolidación y compactación, tanto por posibles desplazamientos de las cajas hacia el interior del tajo relleno como las cargas dinámicas producidas por vibración debido a los disparos. Este trabajo evita colapsos futuros de las cajas en los blocks rellenos.
14. De acuerdo a la composición granulométrica el material de relleno utilizado es clasificado como una arena limosa (SM) con una consistencia de moderada a dura y aumenta por la consolidación por evacuación del agua y cargas dinámicas. Su permeabilidad varía de 1×10^{-3} a 5×10^{-3} , el ángulo de fricción entre 31.5° a 33.2° y su cohesión de 0.07 a 0.11 Kg/cm².
15. Por su composición química, la pulpa es generadora de agua ácida, encontrándose en su composición metales en porcentajes mínimos. La

mezcla de la pulpa consiste en 1.0 m³ de sólidos y 2.0 m³ de agua, lo cual permite una mayor fluidez y evita el atoro en las tuberías. El agua se elimina en un 80 % por decantación y un 20 % por filtración.

16. El tiempo de reinicio de labores en un tajo rellenado es por lo menos de 2 horas. Una vez que se haya eliminado el agua por decantación, la pulpa se encuentra más compacta.
17. La estructura diseñada según el plano SRH-02-TP2-001 REV. 1, en una sección de 3.0 m x 3.2 m, soportará una carga horizontal de 20,280 kg-F con un factor de seguridad de 1.8.
18. Para el análisis de esfuerzos del tapón permanente tipo 2, se consideró el uso de fuerzas distribuidas en toda el área de la sección para tratar de representar mejor el fenómeno ya que las maderas aserradas puestas distribuyen de forma equitativa y uniforme las fuerzas sobre las vigas de acero
19. Muro tapón de concreto armado el cual tiene que cubrir toda la sección de la labor formada en los extremos de las vetas, se considera la sección más grande existente que es de 3.0 x 3.2 m , también se considera un ancho de 0.4 m de tapón.
20. El acero refuerzo, de 1" de diámetro, estará anclado a los hastiales y corona en 0.7m y la separación entre fierros sería de una distancia de 0.25 m en filas y columnas, formando la doble malla que dará la consistencia al muro tapón.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda seguir realizando estudios de mayor detalle en el relave enviado a los hidrociclones para clasificar el *under flow* y el *over flow*.
2. Se recomienda analizar el *layout* de relleno hidráulico desde la planta de relleno hidráulico hasta los diferentes puntos de relleno en los tajeos minados.
3. Asimismo, se recomienda analizar el diámetro de tubería en los distintos tramos que genera el *layout* de relleno hidráulico.
4. Se recomienda evaluar económicamente los diferentes diques tapón y su incidencia en los costos de relleno hidráulico.
5. Se recomienda realizar el análisis granulométrico del material clasificado en el *under flow* y su velocidad de sedimentación asociado al ciclo de minado en el método de explotación *sublevel stoping*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ORTIZ, R. *Esquema de diseño del sistema de relleno hidráulico como elemento básico de sostenimiento para la reducción de los costos en el transporte de pulpa mina Arcata*. (Título de Ingeniero de Minas). Arequipa-Perú : UNSA, 2015,158 pp.
2. RODRIGUEZ , N. *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, 2016*. . (Título de Ingeniero de Minas). Trujillo- Perú: Universidad Nacional de Trujillo, 2017, 85 pp .
3. MAMANI, A. *Relleno hidráulico en minera Arirahua S.A. Arequipa - 2012*. (Título de Ingeniero de Minas). Puno- Perú : Universidad Nacional del Altiplano, 2019, 25 pp.
4. HUAMÁN, L. *Aplicación de relleno hidráulico en la mina Jimena de compañía minera Poderosa S.A*. (Título de Ingeniero de Minas). Lima- Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2007, 129 pp.
5. SANTIVANEZ, M. *Sistema de relleno hidraulico - U.E.A. Cerro de Pasco*. . (Título de Ingeniero de Minas). Lima- Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 2009.
6. GOMEZ, J. y SANCHEZ, H. *Evaluación técnica del relleno hidráulico para estabilizar las zonas explotadas en la compañía minera Poderosa S.A*. Huancavelica-Perú. Universidad Nacional de Huancavelica, 2012, 118 pp.

ANEXOS

Anexos A

Matriz de operacionalización de variables

Tabla 17. Matriz de operacionalización de variables de la unidad minera Manuelita

Variables	Definición Conceptual	Definición operacional		
		Dimensiones	Subdimensiones	Indicadores
VI: Método de explotación sublevel stoping.	El método de minado que se aplica en la extracción de mineral, permitirá cumplir la producción programada analizando e integrando las diferentes variables del ciclo de minado.	<ul style="list-style-type: none"> • Variables geológicas • Variables geomecánicas 	Variable geológica Variable geomecánica	Leyes, NSR, etc. Propiedades del macizo rocoso
VD: Análisis del sistema de relleno hidráulico.	La gestión de relleno hidráulico para cumplimiento del programa de avances y plan de producción en el método de minado sublevel stoping.	<ul style="list-style-type: none"> • Variables técnicas y económicas 	Valoración de costos operativos Valoración económica	Opex Costos directos Costos indirectos

Anexos B

Planos en sección planta y transversal

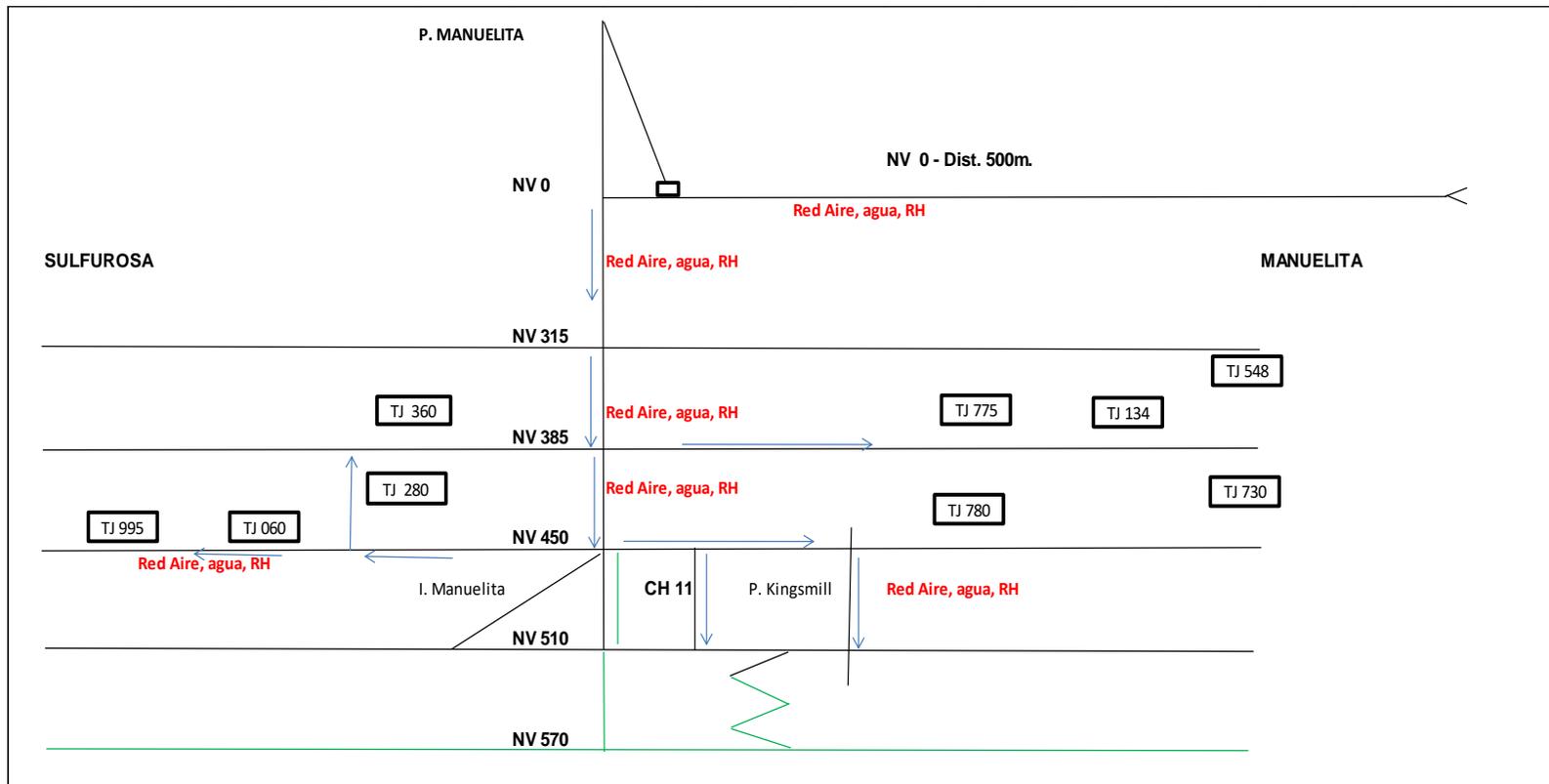


Figura 14. Layout anterior del sistema de relleno hidráulico en la unidad minera Manuelita

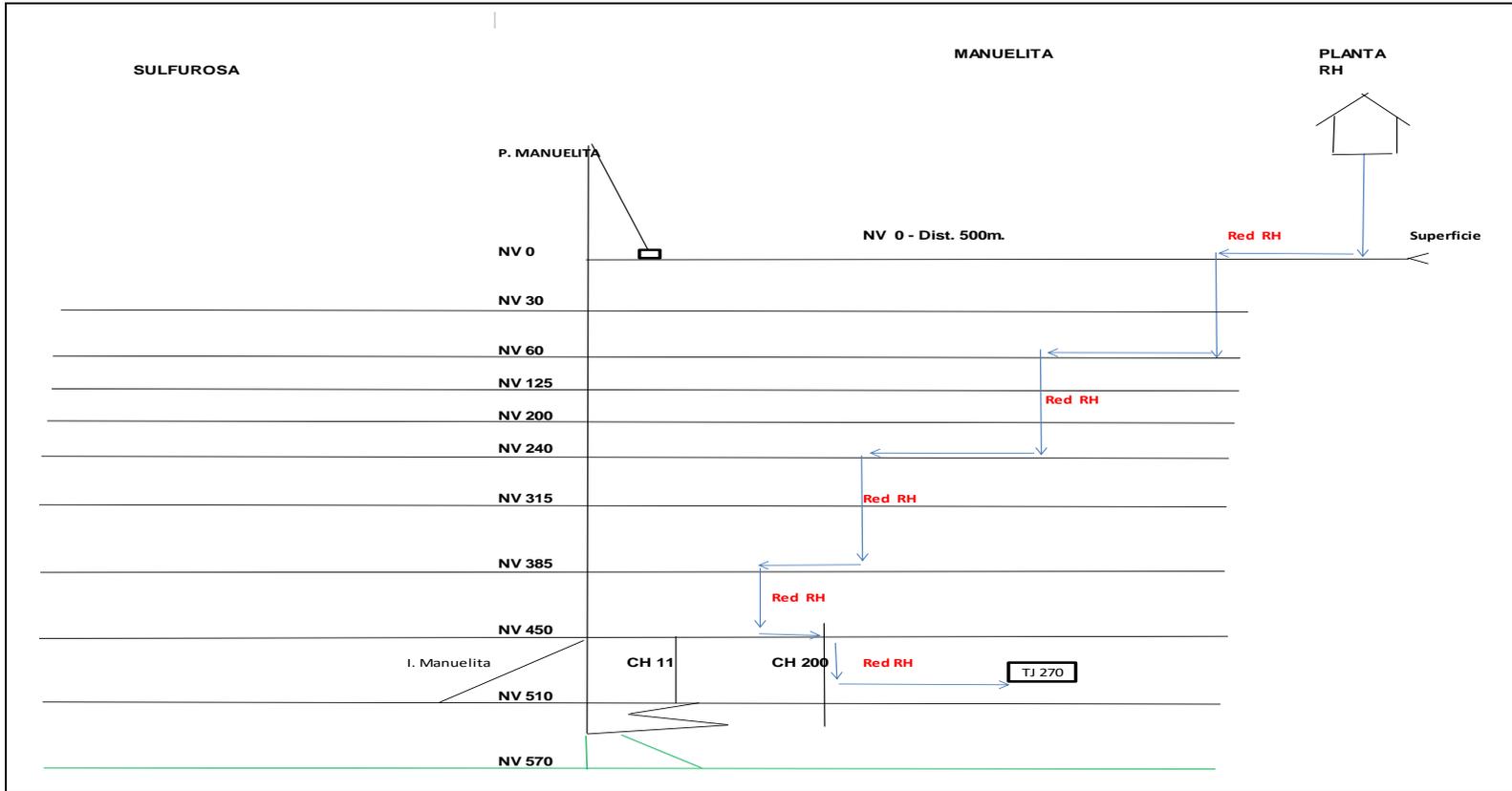


Figura 15. Layout actual del sistema de relleno hidráulico en la unidad minera Manuelita

MANUELITA VETA 10

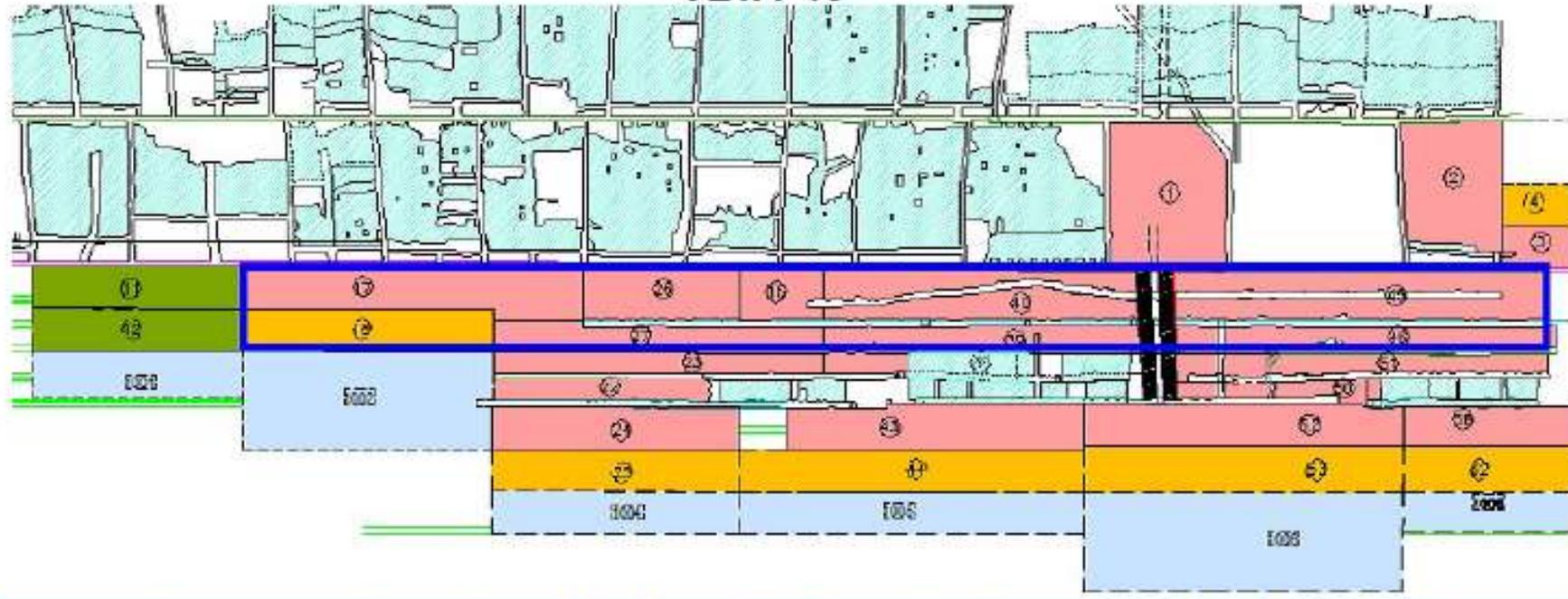


Figura 16. Perfil de labores en la veta 10 en la unidad minera Manuelita

MANUELITA VETA 11

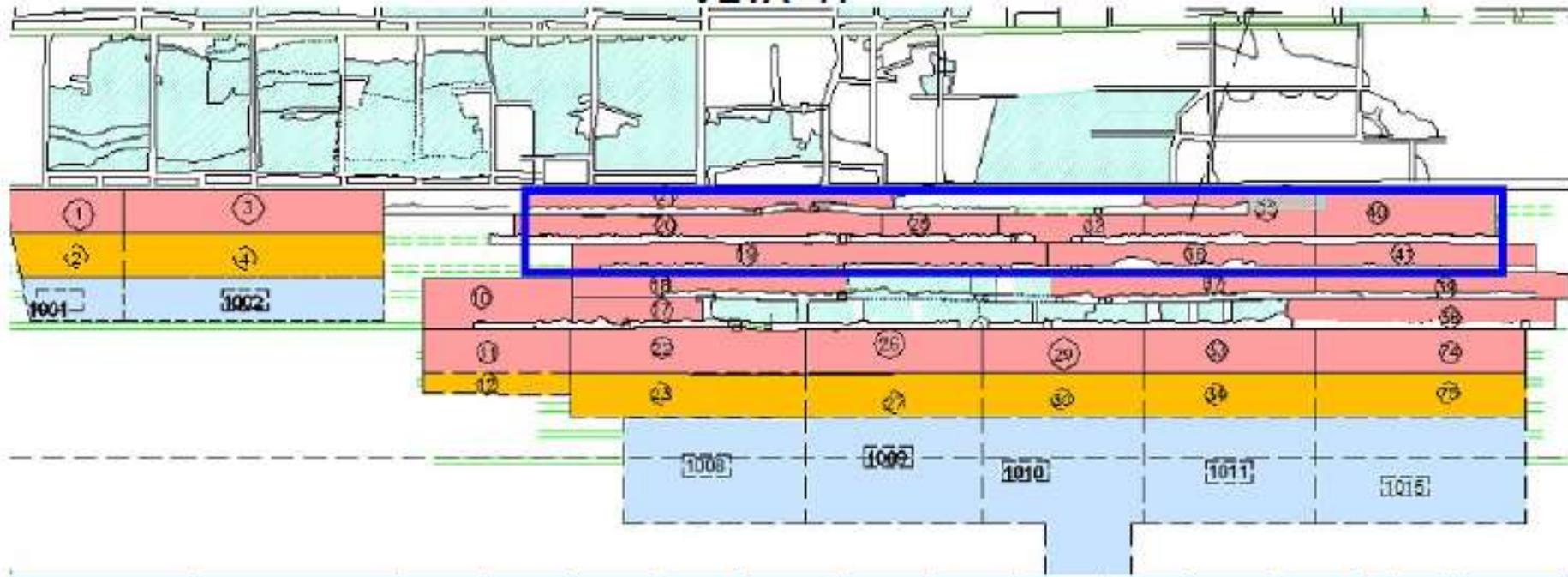


Figura 17. Perfil de labores en la veta 11 en la unidad minera Manuelita

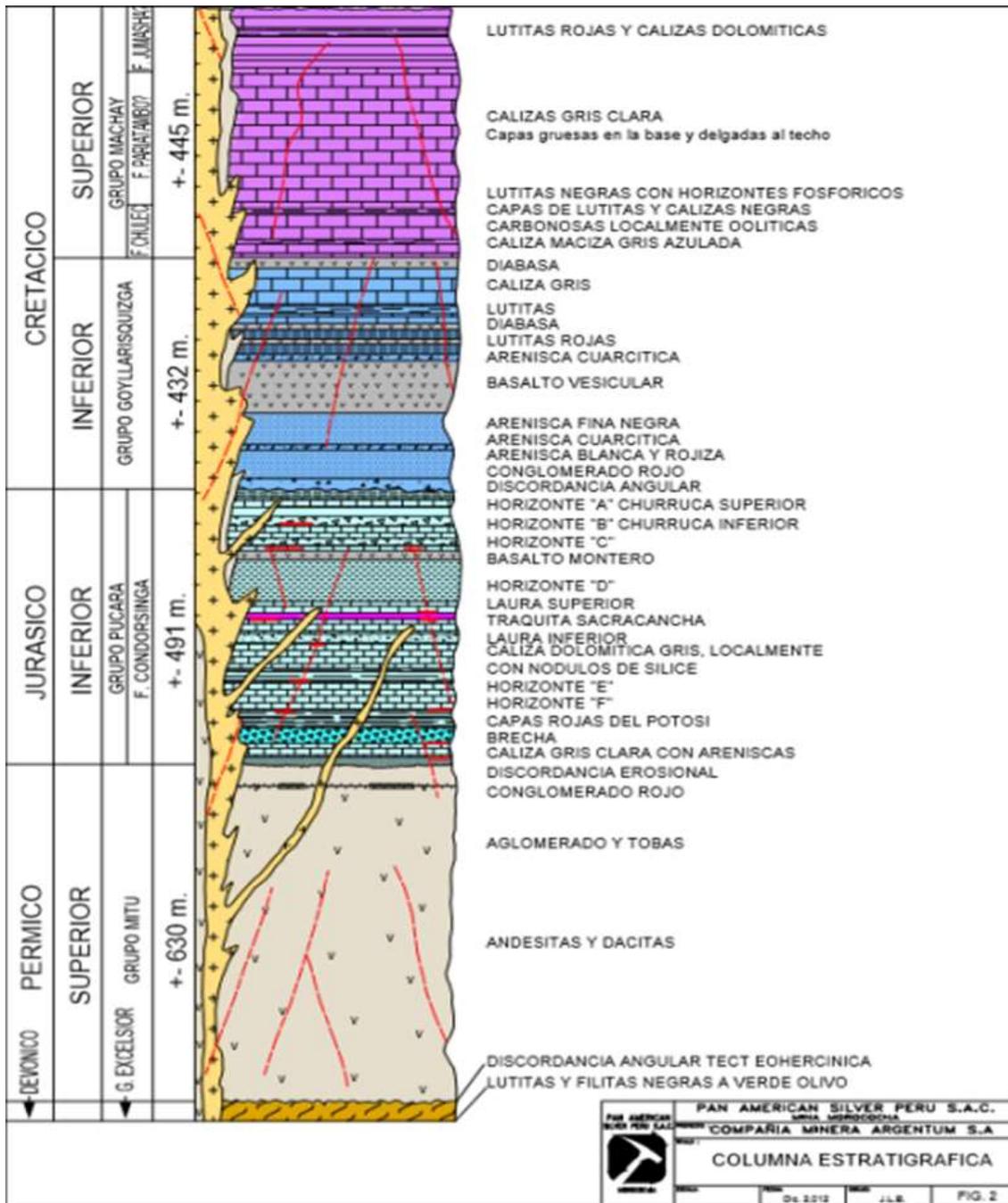


Figura 18. Estratigrafía de la unidad minera Manuelita

Anexos C

Análisis granulométrico de relleno hidráulico

MEMORANDUM N°001 - 15 / LM

A : Superintendente de Planta Concentradora
De : Laboratorio Metalúrgico
Asunto : Análisis Granulométrico de Clasificación para Relleno Hidráulico.
Fecha : 07 de enero de 2020

OBJETIVO :

Determinar la performance de clasificación, para garantizar la velocidad de percolación de lonas para relleno hidráulico en interior mina.

Restricciones en la clasificación:

%peso # -200 (U/F del D-15)= 20 – 30%

%peso # -325 (U/F del D-15)= 10 – 12%

RESULTADOS :

Fecha de Muestreo : 06 de enero de 2020, Turno "B".

OBSERVACIONES :

- Para el balance de masa, el muestreo se realizó por espacio de 4 Horas,

CONCLUSIONES :

- El % Peso en malla -200, del U/F D-15 se encuentra en el óptimo (29.94%). (Ver ANEXO N° 1)
- El % Peso malla -325, es aceptable (11.82%), no dificultará la percolación de los yutes en interior mina. (Ver ANEXO N°1).
- La eficiencia de clasificación se encuentra en un valor aceptable 82.23%. (ver Anexo N° 2)

RECOMENDACIONES:

- Realizar un análisis granulométrico periódico para mantener y/o garantizar la eficiencia de clasificación y producto para relleno hidráulico.

Atentamente.

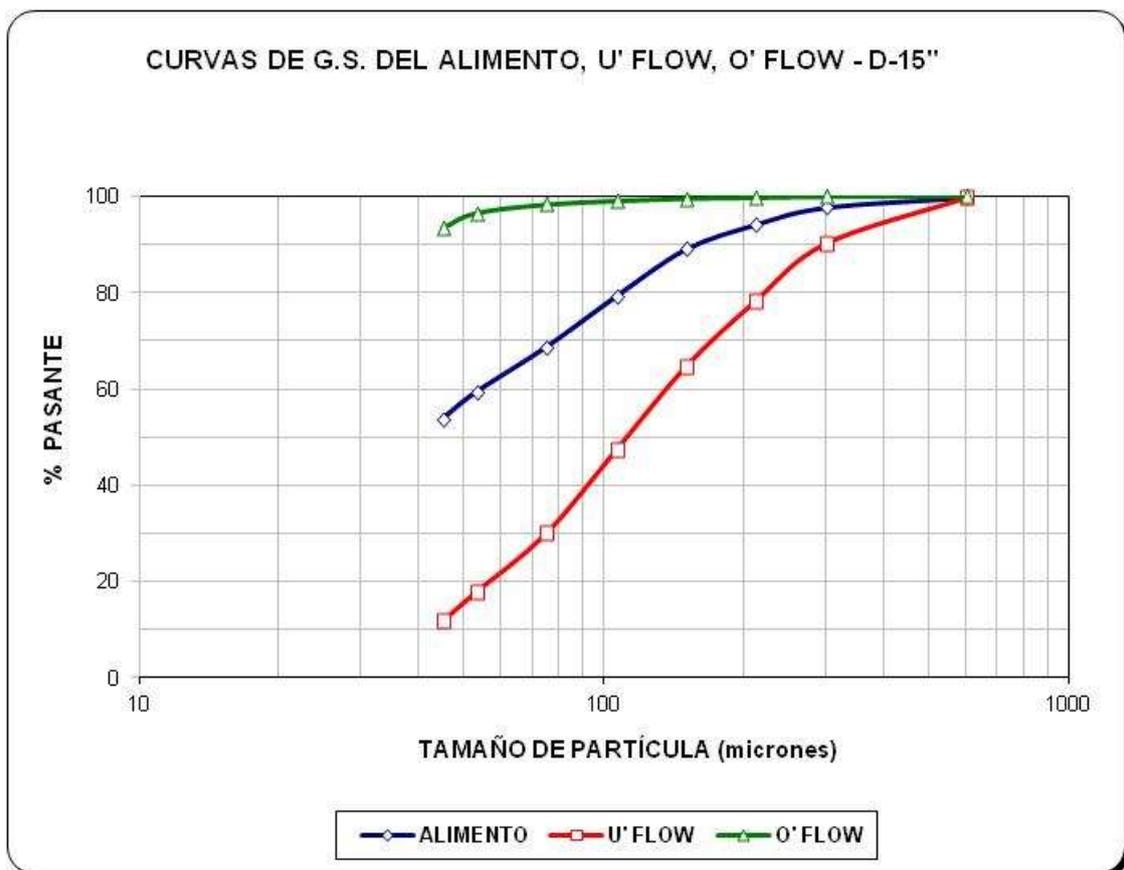
Juan Arturo PUCUHUARANGA SALCEDO

Laboratorio Metalúrgico.

Anexo C-1

Análisis granulométrico hidrociclones - relleno hidráulico

		NIDO DE HIDROCICLONES D-15					
MALLA	MICRONES	ALIMENTO		U' FLOW		O' FLOW	
		% PESO	ACUM (-)	% PESO	ACUM (-)	% PESO	ACUM (-)
28	600	0.24	99.76	0.40	99.60	0.00	100.00
48	300	2.07	97.69	9.48	90.12	0.08	99.92
65	212	3.57	94.12	11.86	78.26	0.20	99.72
100	150	5.13	88.99	13.64	64.62	0.20	99.53
150	106	9.86	79.13	17.42	47.20	0.51	99.02
200	75	10.55	68.58	17.26	29.94	0.75	98.27
270	53	9.36	59.23	12.14	17.80	1.81	96.46
325	45	5.48	53.74	5.98	11.82	3.11	93.35
-325	0	53.74	0.00	11.82	0.00	93.35	0.00
TOTAL		100.0		100.0		100.0	
		100.0		100.0		100.0	



Anexo C-2

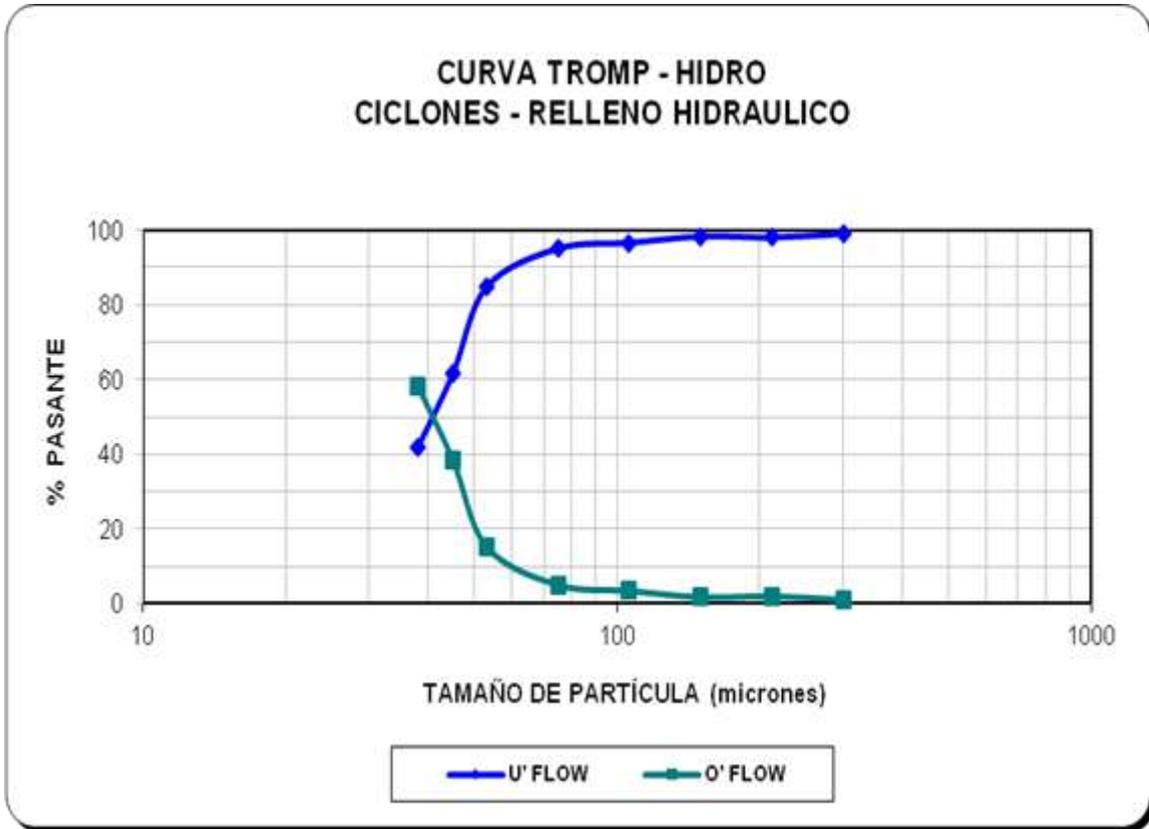
CONTROL DE MALLAS RH		
U/F DE HIDROCICLONES		
Acum (+)	Acum. (-)	Acum. (-)
+m 65	-m 200	-m 325
21. 74	29. 94	11. 82

	Densidad Pulpa (gr/lt)	Grav. Esp.
FEED AL NIDO DE HIDROCICLONES (Rel).	1200.00	3.04
U/F DEL NIDO DE HIDROCICLONES	2120.00	3.21
O/F DEL NIDO DE HIDROCICLONES	1100.00	3.02

DATOS DE OPERACIÓN			
TRATAMIENTO RMN°1 9 x12 Ft TMSPH	HIDROCICLONES D-15		
	PSI Prom. ALIMENTO	Vortex Pulg.	Apex Pulg.
101.64	28.00	3"x15"	1"

PERFORMANCE DE HIDROCICLONES	
Eficiencia de Finos	0.90
Eficiencia de Gruesos	0.92
Eficiencia Total (%)	82.23
d ₅₀ (Micrómetros)	41.09

Anexo C-3



Anexos D

Estándar para construcción de tapones de relleno hidráulico

1. OBJETIVO:

Establecer los lineamientos técnicos para poder realizar la construcción de los tapones para el relleno hidráulico de los tajos de taladros largos en la mina de Manuelita.

2. ALCANCE:

El presente estándar abarca a las áreas que participan, directa o indirectamente, en la construcción de los tapones para el relleno hidráulico en la mina de Manuelita.

3. REFERENCIAS LEGALES:

- D.S.024-2016-EM (28.07.16) Aprueban Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería modificado por el D.S.023-17-EM (18.08.17).
- Ley 29783 (20.08.11) Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo
- D.S.005-12-TR (25.04.12) Reglamento de la Ley 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.

4. ESPECIFICACIONES DEL ESTANDAR:

4.1 GENERALIDADES:

Para realizar el relleno hidráulico en los tajos de taladros largos en la mina Manuelita, se ha considerado realizar la construcción de tapones en cada extremo y en cada cámara de acceso a los tajos existentes.

El análisis de esfuerzos de los tapones se ha realizado en base a la sección más amplia existente en la zona, esta es de 3.0 x 3.2 m.

Los tipos de tapones a instalar, de acuerdo al diseño, son:

a) TAPÓN PERMANENTE TIPO 1:

Material: Concreto Armado.

Zonas: Accesos, by pase, rampas y galerías principales.

b) TAPÓN PERMANENTE TIPO 2:

Material: Vigas de acero y tablas de eucalipto.

Zonas: Accesos, by pase, rampas y galerías secundarias.

4.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN

A) PARA TAPONES PERMANENTES DEL TIPO 1

- Ubicación: La ubicación de los tapones permanentes del tipo 1 será dispuesta por el área de planeamiento previa evaluación de las operaciones en interior mina.

La secuencia para la numeración será por el número de tajo, iniciando en uno de los extremos, continuando hacia el otro extremo y hacia los subniveles o pisos superiores.

- Trazo y Replanteo: El área de proyectos realizará la marcación en la zona definida para la zapata del tapón en el piso y el anclaje del acero refuerzo en los hastiales y la corona de acuerdo a las características de la zona considerando la longitud desde la intersección hacia el tapón de 0.35 a 1.50m
- Perforación para las barras de acero: El área de mina realizará las perforaciones en los trazos realizados, la profundidad mínima de la perforación en los hastiales y coronas será de 3.0 FT.
- Excavación para la zapata: En Manuelita el mayor porcentaje de la roca es volcánica con un RMR mayor a 70 por lo que las medidas de las zapatas se mantendrán en 1.0m de ancho X 0.60 m de profundidad en toda la longitud de la sección.
- Acero Refuerzo: El acero refuerzo a usar serán las barras corrugadas de Grado 60 los cuales estarán distribuidos de la siguiente manera:
 - o Barras de 3/4", como mínimo para la conformación del emparrillado de doble malla en la zapata con una separación de 0.25m tanto horizontal y verticalmente.
 - o Barras de 1" para la conformación de las 02 mallas de refuerzo, la separación entre barras será de 0.25 m tanto horizontal como verticalmente en ambas mallas. La separación entre mallas será de 0.20 cm como mínimo. Estas barras estarán ancladas en los hastiales y en la corona en una profundidad mínima de 0.6 m.
 - o Las juntas o conexiones entre las barras corrugadas se realizarán con alambre de amarre # 16.
- Encofrado para el muro: De acuerdo a la sección para el tapón, se realizará la habilitación de la madera, de preferencia paneles conformados, para luego ser instalados en la parte anterior y posterior del acero refuerzo ya instalado dejando un espacio mínimo, entre el acero y la madera de 0.05m. El encofrado deberá estar asegurado externamente a los muertos o estructuras fijas existentes e internamente al acero refuerzo previamente instalado.
- Habilitación e instalación del conjunto del drenaje: El conjunto del drenaje constará de 02 tuberías de acero ASTM A-53 de 1.60 m de longitud de los cuales pasará hacia el interior del tajo una longitud mínima de 0.80m La válvula será del tipo mariposa de conexión tipo waffer de diámetro 4" instalada con bridas ANSI de 150 lb y pernos espárragos de conexión de Ø 3/4" x 3.1/2" de longitud.
Cada tapón contara con 02 válvulas dispuestas verticalmente y separadas a 0.80 m como mínimo entre sí.
- Vaciado de Concreto: El vaciado de concreto en el muro tapón se realizará en 2 o 3 etapas, dependiendo de la altura de la sección.
 - o La primera etapa consistirá en el vaciado de la zapata, antes de realizar el encofrado.

- La segunda etapa será hasta una altura máxima de 1.60m
- La tercera etapa será en alturas de 1.60m hasta los 3.20 m como máximo.

La dosificación del concreto será para poder obtener una resistencia mínima de 210 kg/cm² en 28 días para lo cual, por cada bolsa de cemento se dosificará de la siguiente manera:

- 01 bolsa de cemento andino tipo 1
 - 02 ft³ de arena gruesa preparada
 - 3.5 ft³ de piedra chancada de 3/4"
 - 26 l de agua limpia
- Desencofrado: El desencofrado de los tapones se realizará a las 24 horas de haberse realizado el vaciado de concreto.
- Shocreteado: Luego del desencofrado, se procederá con la aplicación de shocrete en todo el contorno (junta) del concreto con la roca (hastiales y corona)

B) PARA TAPONES PERMANENTES DEL TIPO 2

- Ubicación: La ubicación de los tapones permanentes del tipo 2 será dispuesta por el área de planeamiento previa evaluación de las operaciones en interior mina.
La secuencia para la numeración será por el número de tajo, iniciando en uno de los extremos, continuando hacia el otro extremo, indistintamente del tipo del tapón, y hacia los subniveles o pisos superiores.
- Trazo y Replanteo: El área de proyectos realizará la marcación en la zona definida para los cimientos de las vigas en el piso y el anclaje de las mismas en los hastiales y la corona de acuerdo a las características de la zona considerando la longitud mínima de la intersección hacia el tapón de 1.2m.
- Patillado y perforación para las vigas y barras de acero: El área de mina realizará el patillado en los hastiales para el alojamiento de las vigas cuya profundidad mínima será de 0.35 m y las perforaciones en la corona para las barras de sujeción cuya profundidad mínima será de 3.0 ft.
- Excavación para los cimientos: Se realizará la excavación de 1 cimiento por cada viga de acero vertical (columna), la medida del cimiento será de 0.60m x 0.60m x 0.60m.
- Acero de anclaje: El acero de anclaje será instalado en la corona y serán 04 unidades como mínimo para cada viga de acero vertical (columna), estos serán instalados con la aplicación de resina y sembolt para su fijación en la roca. La profundidad mínima del anclaje será de 3.5 ft.
- Vigas de acero: Se usarán las vigas de acero ASTM A-36 de 6" x 25 lb/ft. estas estarán distribuidas de la siguiente manera_
- 02 vigas de acero dispuestas verticalmente cuya separación entre ambas (ejes) será de 0.80 a 1.10, dependiendo del ancho de la sección. La instalación de las vigas horizontales será fijándolos en el cimiento por la parte bajas y en las barras en la parte alta.

- 02 o 03 vigas dispuestas horizontalmente, la separación del piso al eje de la primera viga será de 0.50m a 0.60m, la separación entre los ejes de la primera y la segunda viga será de 0.80m a 1.00m. La tercera viga se instalará en los tapones cuya altura de la sección sea mayor a 2.10m. La instalación de las vigas horizontales será en las patillas elaboradas en los hastiales.
- Vaciado de Concreto: El vaciado de concreto se realizará en los cimientos de cada viga de acero horizontal.
La dosificación del concreto será para poder obtener una resistencia mínima de 210 kg/cm² en 28 días para lo cual, por cada bolsa de cemento se dosificará de la siguiente manera:
 - 01 bolsa de cemento andino tipo 1
 - 02 ft³ de arena gruesa preparada
 - 3.5 ft³ de piedra chancada de 3/4"
 - 26 l de agua limpia.
- Instalación de la madera: El cerramiento del tapón se realizará con madera aserrada (tablas) de eucalipto de 2" de espesor x 8" de ancho x 10ft de longitud. La sujeción será mediante clavos de alambre de 3" y abrazaderas.
- Instalación de patas de gallo: Como un mayor refuerzo para los tapones permanentes del tipo 2, se realizará la instalación de refuerzos tipo pata de galla en la zona posterior del tajo, estas serán instaladas a una altura de 0.80 a 1.10m en cada columna, formando un ángulo promedio de 45° con respecto a esta. La parte inferior será anclada a un cimiento de 0.5m de profundidad como mínimo y con soldadura eléctrica a la columna en la parte superior.
- Habilitación e instalación del conjunto del drenaje: El conjunto del drenaje constará de 02 tuberías de acero ASTM A-53 de 1.60 m de longitud de los cuales pasará hacia el interior del tajo una longitud mínima de 0.80m
La válvula será del tipo mariposa de conexión tipo waffer de diámetro 4" instalada con bridas ANSI de 150 lb y pernos espárragos de conexión de Ø 3/4" x 3.1/2" de longitud.
Cada tapón contara con 02 válvulas dispuestas verticalmente y separadas a 0.80 m como mínimo entre sí.
- Manteado interior: Una vez construido el tapón, el área de servicio procederá con la colocación de la tela arpillera de doble capa en toda la cara al interior del tapón fijándolos en el piso, hastiales y corona a 1.0 m como mínimo de distancia.
- Shocreteado: Para finalizar la construcción del tapón se procederá con la aplicación de shocrete en todo el contorno (junta) del concreto con la roca (hastiales y corona) y en las juntas de los tubos de drenaje con la madera.

4.3 MEDIDAS DE SEGURIDAD DE LA ZONA DE TRABAJO:

- a) Toda zona de trabajo deberá estar limpia y ordenada en todo momento, incluyendo la zona de tránsito y los accesos. La limpieza, el retiro de desmonte o material ajeno a la naturaleza de la zona, corresponden al inicio del proyecto.
- b) Se deberá realizar la inspección del estado de la roca y del sostenimiento en la corona y hastiales realizando el desate de rocas o descarga de las mallas cuando sea necesario.
- c) Para realizar trabajos, será necesario contar con iluminación, Los niveles de iluminación serán aceptables según la norma (Anexo 37 del D.S.024-2016-EM).
- d) Para realizar trabajos, en zonas poco transitadas o alejadas de la vía principal, el supervisor o el líder del equipo de trabajo contará con el equipo de monitoreo de gases verificando la calidad del aire, en ningún caso se permitirá trabajar en zonas que superen en LMP.
- e) Toda área en donde se realiza la construcción de los tapones, deberá estar señalizada con el cartel de advertencia de hombres trabajando o barras luminosas en las labores comunes.
- f) Además, se usarán las cintas de señalización de color amarillo, para la delimitación del área de trabajo.
- g) Contar con un lavaojos portátil y con un botiquín de primeros auxilios.
- h) Asimismo, se deberá contar con 01 extintor en zonas en los que se realizarán trabajos en caliente especialmente para los tapones del tipo 2.

5. RESPONSABILIDADES:

- 5.1 Superintendencia de Planeamiento: Deberá planificar a tiempo la construcción de los tapones para el relleno hidráulico de acuerdo a las necesidades operacionales de mina. Deberá definir el tipo de tapón a construir en una zona específica.
- 5.2 Jefatura de Proyectos: realizar la gestión integral para garantizar la construcción de los tapones de manera oportuna y de acuerdo a las disposiciones del área de planeamiento.
- 5.3 Supervisores: Verificar periódicamente, el cumplimiento del presente estándar tanto en el tema operacional como en el de seguridad.

6. REGISTRO, CONTROLES, DOCUMENTACION:

- 6.1 Orden de trabajo, IPERC, PETAR
- 6.2 Registro de capacitación diaria.
- 6.3 Check list de equipos y/o herramientas
- 6.4 PETS TRANSPORTE DE EQUIPOS Y MATERIALES
- 6.5 PETS EXCAVACIÓN MANUAL Y CON EQUIPOS
- 6.6 PETS HABILITACIÓN Y ARMADO DE ACERO REFUERZO

- 6.7 PETS ENCOFRADO Y DESENCOFRADO
- 6.8 PETS PREPARACIÓN TRANSPORTE Y VACIADO DE CONCRETO
- 6.9 PETS MONTAJE Y DESMONTAJE DE ANDAMIOS
- 6.10 PETS USO DE EQUIPO DE OXICORTE
- 6.11 PETS USO DE MAQUINA DE SOLDAR
- 6.12 PETS HABILITACIÓN Y FABRICACIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS
- 6.13 PETS MONTAJE DE ESTRUCTURAS METÁLICAS
- 6.14 PETS TRASLADO DE EQUIPOS CON EL WINCHE EN EL PIQUE MANUELITA

7. FRECUENCIA DE INSPECCIONES:

- 7.1 Mensualmente se hará inspecciones para ver el cumplimiento del Estándar.

8. EQUIPO DE TRABAJO

- 8.1 Supervisor de Obras civiles
- 8.2 Maestro de obras civiles
- 8.3 Operario de obras civiles
- 8.4 Auxiliar de montaje
- 8.5 Técnico de montaje
- 8.6 Soldador

9. REVISION Y MEJORAMIENTO CONTINUO

- 9.1 Cuando se incrementen las secciones de 3.0 x 3.2m a más.

10. ANEXOS

- 10.1 Plano de tapón permanente tipo 1 **SRH-02-TP1-001 REV 01**
- 10.2 Plano de tapón permanente tipo 2 **SRH-02-TP2-001 REV 01**