

**Universidad Nacional de Ingeniería**  
**Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica**



TESIS

**Reducción de costos en la fase de relleno de tajos, mediante la  
implementación de tapones con estructura metálica**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

Elaborado por

Gianfranco Lopez Requelme

 [0009-0002-1623-8884](https://orcid.org/0009-0002-1623-8884)

Asesor

M.Sc. Adolfo Jesús Chavez Valdivia

 [0000-0003-0625-1495](https://orcid.org/0000-0003-0625-1495)

LIMA – PERÚ

2025

|                              |                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Citar/How to cite            | Lopez Requelme [1]                                                                                                                                                                                                     |
| Referencia/Reference         | [1] G. Lopez Requelme, “Reducción de costos en la fase de relleno de tajos, mediante la implementación de tapones con estructura metálica” [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025. |
| Estilo/Style:<br>IEEE (2020) |                                                                                                                                                                                                                        |

|                                |                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Citar/How to cite              | (Lopez, 2025)                                                                                                                                                                                                                                   |
| Referencia/Reference           | Lopez, G. (2025). <i>Reducción de costos en la fase de relleno de tajos, mediante la implementación de tapones con estructura metálica</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI. |
| Estilo/Style:<br>APA (7ma ed.) |                                                                                                                                                                                                                                                 |

### ***Dedicatoria***

*Dedico este trabajo a mis Padres, por ser mis modelos a seguir,  
por todo el esfuerzo y apoyo orientado a mi persona, a mis  
compañeros de estudio de la universidad y trabajo que han sido  
y son la fuente de soporte en mi desarrollo, llevándome a alcanzar  
mi objetivo de ser un buen profesional y una buena persona.*

### **Agradecimientos**

Por medio de la presente tesis, expreso mi sincero agradecimiento a toda el área de Planeamiento de la Compañía Minera Minsur - Unidad San Rafael por su apoyo, soporte y confianza en mi persona.

Mi agradecimiento a la Universidad Nacional de Ingeniería, a los excelentes profesionales que tuve el agrado de tener como docentes, a mis compañeros de estudio por todas las experiencias compartidas con mi persona.

## **Resumen**

La presente tesis presenta una alternativa para barreras convencionales de relleno en pasta utilizadas en la Unidad San Rafael de la Compañía Minera Minsur; las barreras propuestas están conformadas por una estructura metálica con un entablado de madera, estas barreras cumplen con realizar la función de las barreras convencionales que se emplean actualmente a un menor costo y menor tiempo de preparación.

Los resultados de las pruebas realizadas considerando todas las actividades desde el traslado de componentes de la barrera hasta el retiro de la barrera para continuar con el ciclo de minado muestran una reducción de costo por barrera del 39% y una reducción del tiempo de preparación del 50%.

Palabras clave — Incremento, productividad, seguridad primero, barreras metálicas, ahorros, costos.

## **Abstract**

This thesis presents an alternative for conventional paste fill barriers used in the San Rafael Unit of The Minsur Mining Company; the proposed barriers are made up of a metal structure with a wooden board, these barriers fulfill the function of conventional barriers that are currently used at lower cost and less preparation time.

The results of the tests carried out considering all the activities from the transfer of the barrier to continue with the mining cycle show a cost reduction per barrier of 39% and a preparation time reduction of 50%.

Keywords — Increase, productivity, safety first, metal barriers, savings, costs.

## Tabla de Contenido

|                                                                | Pág. |
|----------------------------------------------------------------|------|
| Resumen .....                                                  | v    |
| Abstract .....                                                 | vi   |
| Introducción .....                                             | xiv  |
| Capítulo I. Parte introductoria del trabajo .....              | 1    |
| 1.1    Generalidades.....                                      | 1    |
| 1.1.1    Descripción .....                                     | 1    |
| 1.2    Objetivos.....                                          | 4    |
| 1.2.1    Objetivo general .....                                | 4    |
| 1.2.2    Objetivos específicos .....                           | 4    |
| 1.3    Hipótesis .....                                         | 4    |
| 1.3.1    Hipótesis general .....                               | 4    |
| 1.3.2    Hipótesis específicas.....                            | 4    |
| 1.4    Antecedentes .....                                      | 4    |
| 1.5    Metodología .....                                       | 5    |
| 1.5.1    Tipo de metodología .....                             | 5    |
| 1.5.2    Diseño de investigación .....                         | 5    |
| 1.5.3    Población .....                                       | 5    |
| 1.5.4    Operacionalización de variables.....                  | 6    |
| 1.5.5    Matriz de Consistencia.....                           | 7    |
| Capítulo II. Marcos teórico y conceptual.....                  | 8    |
| 2.1    Marco teórico .....                                     | 8    |
| 2.2    Clasificaciones geomecánicas .....                      | 10   |
| 2.2.1    Clasificación de Deere – RQD (1967) .....             | 10   |
| 2.2.2    Clasificación de Barton, Lien y Lunde – Q (1974)..... | 11   |
| 2.2.3    Clasificación de Bieniawski – RMR (1979) .....        | 14   |
| 2.3    Relleno en pasta .....                                  | 15   |

|        |                                                                |    |
|--------|----------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.1  | Relleno en pasta .....                                         | 15 |
| 2.3.2  | Espesado .....                                                 | 17 |
| 2.3.3  | Filtrado .....                                                 | 18 |
| 2.3.4  | Preparación del Tailing.....                                   | 20 |
| 2.3.5  | Abastecimiento de cemento y escoria .....                      | 22 |
| 2.3.6  | Mezclado.....                                                  | 23 |
| 2.3.7  | Bombeo .....                                                   | 25 |
| 2.3.8  | Distribución subterránea .....                                 | 26 |
| 2.3.9  | Recepción en el tajeo.....                                     | 28 |
| 2.3.10 | Aplicación de relleno en pasta.....                            | 30 |
| 2.3.11 | Resistencia a la compresión.....                               | 31 |
| 2.3.12 | Diseño de Mezcla por m3.....                                   | 34 |
| 2.4    | Ubicación y accesos .....                                      | 38 |
| 2.4.1  | Ubicación .....                                                | 38 |
| 2.4.2  | Accesibilidad .....                                            | 38 |
| 2.5    | Clima y vegetación.....                                        | 39 |
| 2.5.1  | Clima.....                                                     | 39 |
| 2.5.2  | Vegetación .....                                               | 39 |
| 2.6    | Geología .....                                                 | 39 |
| 2.6.1  | Geología regional.....                                         | 39 |
| 2.6.2  | Geología local .....                                           | 41 |
| 2.6.3  | Mineralogía .....                                              | 42 |
| 2.6.4  | Mineralización y paragénesis .....                             | 42 |
| 2.6.5  | Inventario de Recursos .....                                   | 43 |
| 2.6.6  | Inventario de Reservas .....                                   | 44 |
| 2.7    | Métodos de explotación .....                                   | 45 |
| 2.7.1  | Minado de banqueo y relleno longitudinal (Bench and Fill)..... | 45 |
| 2.7.2  | Sublevel Stopping con relleno cementado longitudinal.....      | 46 |



|       |                                                                         |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.7.3 | Sublevel Stopping con relleno cementado transversal .....               | 47 |
|       | Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación .....             | 49 |
| 3.1   | Diseño de barrera para relleno en pasta (diseño antiguo) .....          | 49 |
| 3.2   | Diseño de barrera para relleno en pasta (diseño nuevo) .....            | 51 |
| 3.2.1 | Resistencia del nuevo diseño de barrera para relleno en pasta .....     | 54 |
| 3.3   | Limpieza de relleno en pasta.....                                       | 60 |
| 3.4   | Recolección de información – Pruebas de campo.....                      | 61 |
| 3.4.1 | Peligros y riesgos identificados - Instalación de la nueva barrera..... | 61 |
| 3.4.2 | Proceso de construcción de las barreras .....                           | 61 |
| 3.4.3 | Evidencias.....                                                         | 62 |
|       | Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados .....              | 66 |
| 4.1   | Evaluación económica .....                                              | 66 |
| 4.2   | Comparación de la propuesta vs la existente .....                       | 72 |
| 4.3   | Contrastación de hipótesis .....                                        | 72 |
| 4.3.1 | Contrastando hipótesis general.....                                     | 72 |
| 4.3.2 | Contrastando hipótesis específicas .....                                | 73 |
|       | Conclusiones .....                                                      | 75 |
|       | Recomendaciones .....                                                   | 76 |
|       | Referencias bibliográficas.....                                         | 77 |
|       | Anexos .....                                                            | 78 |

## Lista de Tablas

|                                                                       | Pág. |
|-----------------------------------------------------------------------|------|
| Tabla 1 : Operacionalización de variables.....                        | 6    |
| Tabla 2 : Matriz de Consistencia.....                                 | 7    |
| Tabla 3 : Clasificación R.Q.D .....                                   | 10   |
| Tabla 4 : Clasificación R.Q.D .....                                   | 11   |
| Tabla 5 : Parámetro de Diaclasas – Jn .....                           | 11   |
| Tabla 6 : Parámetro de Rugosidad – Jr .....                           | 12   |
| Tabla 7 : Parámetro de Aguas - Jw.....                                | 12   |
| Tabla 8 : Parámetro de Alteración - Ja.....                           | 12   |
| Tabla 9 : Parámetro de Alteración - Ja.....                           | 13   |
| Tabla 10: Parámetro Reductor de Esfuerzo – SRF .....                  | 13   |
| Tabla 11: Clasificación según el Índice Q .....                       | 14   |
| Tabla 12: Clasificación RMR.....                                      | 14   |
| Tabla 13: Cuadro de resistencias a la compresión Uni Axial .....      | 31   |
| Tabla 14: Ensayo de rotura a la compresión .....                      | 34   |
| Tabla 15: %Binder para pruebas compresión .....                       | 34   |
| Tabla 16: Costos relleno en cuerpo .....                              | 36   |
| Tabla 17: Costos relleno en veta .....                                | 36   |
| Tabla 18: Distancias y tiempo de viaje.....                           | 39   |
| Tabla 19: Recursos Mina .....                                         | 44   |
| Tabla 20: Reservas Mina .....                                         | 44   |
| Tabla 21: Cronograma de ejecución de barreras – Diseño antiguo.....   | 50   |
| Tabla 22: Detalle de costos por barrera – Diseño antiguo.....         | 50   |
| Tabla 23: Resumen de costos por barrera – Diseño antiguo.....         | 51   |
| Tabla 24: Cronograma de ejecución de barreras – Diseño propuesto..... | 52   |
| Tabla 25: Detalle de costos por barrera – Diseño propuesto.....       | 53   |
| Tabla 26: Resumen de costos por barrera – Diseño propuesto .....      | 53   |

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 27: Resumen - Resistencia de materiales .....                             | 54 |
| Tabla 28: Resumen – Resultante de momentos .....                                | 55 |
| Tabla 29: Fuerzas actuantes sobre la estructura .....                           | 56 |
| Tabla 30: : Detalle – Pesos de los componentes de la barrera .....              | 59 |
| Tabla 31: Factor de seguridad al desplazamiento .....                           | 60 |
| Tabla 32: Detalle costo unitario (Barrera – Diseño antiguo) .....               | 67 |
| Tabla 33: Detalle costo unitario (Barrera – Diseño nuevo) .....                 | 68 |
| Tabla 34: Detalle flujo de caja anual – Diseño antiguo.....                     | 69 |
| Tabla 35: Detalle flujo de caja anual – Diseño propuesto.....                   | 70 |
| Tabla 36 : Detalle – Evaluación económica proyectada (Proyecto propuesto) ..... | 71 |
| Tabla 37: Detalle – Costo por barrera actual.....                               | 72 |
| Tabla 38: Detalle – Costo por barrera propuesta .....                           | 72 |
| Tabla 39: Costo por barrera – diseño antiguo .....                              | 74 |
| Tabla 40: Costo por barrera – diseño propuesto .....                            | 74 |

## Lista de Figuras

|                                                                              | Pág. |
|------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 1 : Diseño de barrera actual para relleno .....                       | 3    |
| Figura 2 : Nuevo diseño de barrera para relleno .....                        | 3    |
| Figura 3 : Barrera para relleno .....                                        | 9    |
| Figura 4 : Descarga relleno en pasta Tj 4185-1700 Kimberly .....             | 15   |
| Figura 5 : Planta relleno en pasta .....                                     | 16   |
| Figura 6 : Flujograma de relleno en pasta.....                               | 16   |
| Figura 7 : Tanque de espesado .....                                          | 17   |
| Figura 8 : Filtros de relave .....                                           | 18   |
| Figura 9 : Keke se descarga por faja transportadora.....                     | 19   |
| Figura 10: Preparación de materiales .....                                   | 19   |
| Figura 11: Transporte por faja.....                                          | 20   |
| Figura 12: Tolvas de almacenaje .....                                        | 21   |
| Figura 13: Pasta de relaves con contenido solidos 75% .....                  | 21   |
| Figura 14: Silos de cemento y escoria .....                                  | 22   |
| Figura 15: Mezclado y bombeo de pasta .....                                  | 23   |
| Figura 16: Mezclador .....                                                   | 23   |
| Figura 17: Mezcladora de paletas.....                                        | 24   |
| Figura 18: Tolva de mezclado.....                                            | 24   |
| Figura 19: La pasta se descarga a una tolva .....                            | 25   |
| Figura 20: Tablero control bomba .....                                       | 26   |
| Figura 21: Línea tronca horizontal tubería HDPE.....                         | 27   |
| Figura 22: Derivación tubería HDPE en nivel de descarga relleno .....        | 27   |
| Figura 23: Tendido tubería HDPE por labor horizontal.....                    | 28   |
| Figura 24: Barrera metálica en nivel inferior del tajo .....                 | 29   |
| Figura 25: Acumulación de carga sobre barrera para asegurar estabilidad..... | 29   |
| Figura 26: Tendido tubería HDPE para rellenar tajo vacío .....               | 30   |

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 27: Método Explotación Sub Level Stopping .....                           | 31 |
| Figura 28: Probeta cilíndrica .....                                              | 33 |
| Figura 29: Prensa rotura a la comprensión .....                                  | 33 |
| Figura 30: Muestra Tailing .....                                                 | 35 |
| Figura 31: Relleno en pasta en tajo .....                                        | 35 |
| Figura 32: Ubicación San Rafael.....                                             | 38 |
| Figura 33: Sección longitudinal formaciones.....                                 | 41 |
| Figura 34: Sección Esquema de minado – Bench & Fill.....                         | 46 |
| Figura 35: Sub Level Stopping con relleno en pasta .....                         | 47 |
| Figura 36: Secuencia de minado transversal de cuerpos con relleno en pasta ..... | 48 |
| Figura 37: Vista en perfil Diseño antiguo de barrera para relleno.....           | 49 |
| Figura 38: Vista en perfil diseño propuesto de barrera para relleno .....        | 51 |
| Figura 39: Vista frontal diseño propuesto de barrera para relleno .....          | 52 |
| Figura 40: Resistencia a la flexión de una viga .....                            | 54 |
| Figura 41: Momentos actuantes sobre la estructura .....                          | 55 |
| Figura 42: Fuerzas actuantes sobre la barrera.....                               | 58 |
| Figura 43: Esquema de momentos ejercidos por el relleno en pasta .....           | 60 |
| Figura 44: Instalación de barrera con estructura metálica.....                   | 62 |
| Figura 45: Instalación de barrera con estructura metálica.....                   | 63 |
| Figura 46: Traslado e instalación de barrera.....                                | 63 |
| Figura 47: Instalación de barrera .....                                          | 64 |
| Figura 48: Instalación de barrera .....                                          | 64 |
| Figura 49: Instalación de barrera .....                                          | 65 |

## Introducción

La actividad minera en el Perú como en resto del mundo, enfocada en la extracción de minerales con un valor económico; nos llevan a buscar los procesos de minado que generen mayores volúmenes de producción, esto en ocasiones se ve limitado por la falta de espacios o área donde liberar los relaves producto del procesamiento del mineral, por esta razón, siempre se enfocan los esfuerzos a reducir estos residuos tanto en el evitar llevar mineral de baja ley a planta, como la mejora de los procesos metalúrgicos.

La alternativa vista desde el punto de reutilización de estos residuos o relaves es emplearlos como parte del relleno a usarse para reemplazar los espacios dejados producto del minado; estos relaves mediante estudios y pruebas de resistencia se pueden mezclar parcialmente con cemento y escoria metalúrgica molida para formar lo que se denomina relleno pasta, siendo una alternativa que brinda gran estabilidad estructural y de larga duración.

Por esta razón el presente trabajo de investigación plantea la alternativa de implementar Tapones con Estructura Metálica para sellar los puntos por donde habitualmente se construyen muros de concreto o simplemente se colocan desmonte mezclado con otros materiales a fin de hermetizar zonas donde se lanzara el relleno en pasta en la Unidad de Producción San Rafael, esto con el fin de reducir los tiempos de construcción de barreras o muros y agilizar los procesos de relleno, dando pie a la continuidad del minado y sostenibilidad de la misma

## **Capítulo I. Parte introductoria del trabajo**

### **1.1 Generalidades**

La actividad minera en el Perú como en resto del mundo, enfocada en la extracción de minerales con un valor económico; nos llevan a buscar los procesos de minado que generen mayores volúmenes de producción, esto en ocasiones se ve limitado por la falta de espacios o área donde liberar los relaves producto del procesamiento del mineral, por esta razón, siempre se enfocan los esfuerzos a reducir estos residuos tanto en el evitar llevar mineral de baja ley a planta, como la mejora de los procesos metalúrgicos.

La alternativa vista desde el punto de reutilización de estos residuos o relaves es emplearlos como parte del relleno a usarse para reemplazar los espacios dejados producto del minado; estos relaves mediante estudios y pruebas de resistencia se pueden mezclar parcialmente con cemento y escoria metalúrgica molida para formar lo que se denomina relleno pasta, siendo una alternativa que brinda gran estabilidad estructural y de larga duración.

Por esta razón el presente trabajo de investigación plantea la alternativa de implementar Tapones con Estructura Metálica para sellar los puntos por donde habitualmente se construyen muros de concreto o simplemente se colocan desmante mezclado con otros materiales a fin de hermetizar zonas donde se lanzara el relleno en pasta en la Unidad de Producción San Rafael, esto con el fin de reducir los tiempos de construcción de barreras o muros y agilizar los procesos de relleno, dando pie a la continuidad del minado y sostenibilidad de la misma.

#### **1.1.1 Descripción**

En mundo de la minería actual, la capacidad y ritmo de producción se ven influenciados por diversos factores como el precio de los metales, mayores costos de producción, limitaciones socio-ambientales entre otros; es en esta coyuntura que la búsqueda de métodos de producción más productivos y eficientes se vuelve imperativo.

En este contexto que en la Unidad Minera San Rafael del Grupo Minsur, que actualmente mantiene un ritmo de producción de 3600 tpd, se establece mantener el ritmo de producción alineados al LOM y la proporción de paneles 60% Vetas y 40% cuerpos , por ello se requiere incrementar el minado de vetas respecto al minado en cuerpos en la misma proporción 18 paneles y 12 paneles respectivamente al mes .

Lo cual supone generar ciclos de minado menores a los llevados actualmente y mayor número de áreas que requerirán relleno, lo cual genera la necesidad de lograr una reducción de costos en la fase de relleno de tajos, así como la reducción de tiempos en los armados de barreras para relleno y limpieza de las mismas, de esta manera no tener limitaciones para e de producción.

El método actual de construcción de barreras para relleno consiste en la instalación de un dique (desmonte) sobre el que se coloca un pircado de piedra consolidado con una mezcla de yeso y cemento, lo cual significa en su mayoría una construcción manual, alta utilización de equipos para el traslado y disposición de materiales y largo tiempo de construcción; por lo cual se establece como aporte la implementación de tapones para relleno en pasta, los cuales tendrán una estructura metaliza y barrera de madera; soportados por carga (desmonte) para asegurar la estabilidad de la barrera, cuya implementación podrá reducir los costos y tiempos de construcción de barreras respecto al método actual que se está ejecutando en la unidad.

Debido a los retrasos en la habilitación de tajos por la ubicación de la barrera, tiempo de armado de barreras, tiempo en limpieza de barrera y aumento de numero de barreras por transición de cuerpos a vetas. Se da la necesidad de incrementar el rendimiento de la habilitación de áreas de perforación de acuerdo a la transición de cuerpos a vetas.

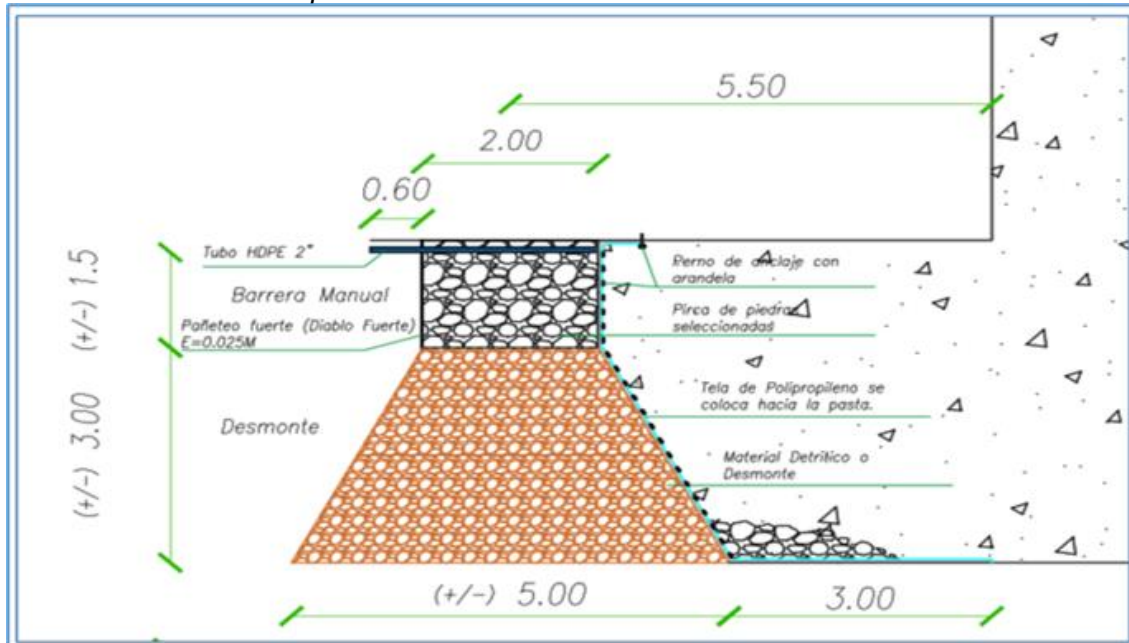
Teniendo como oportunidad de mejora optimizar los procesos constructivos y la rentabilidad de los trabajos que ejecutamos, se optó por realizar un nuevo diseño de tapón de ventana para el relleno en pasta.



Así es como, a priori, se ejecutó una barrera de madera con marco metálico para estudiar y comparar la rentabilidad de esta frente al diseño del antiguo tapón (pircado de barrera).

**Figura 1**

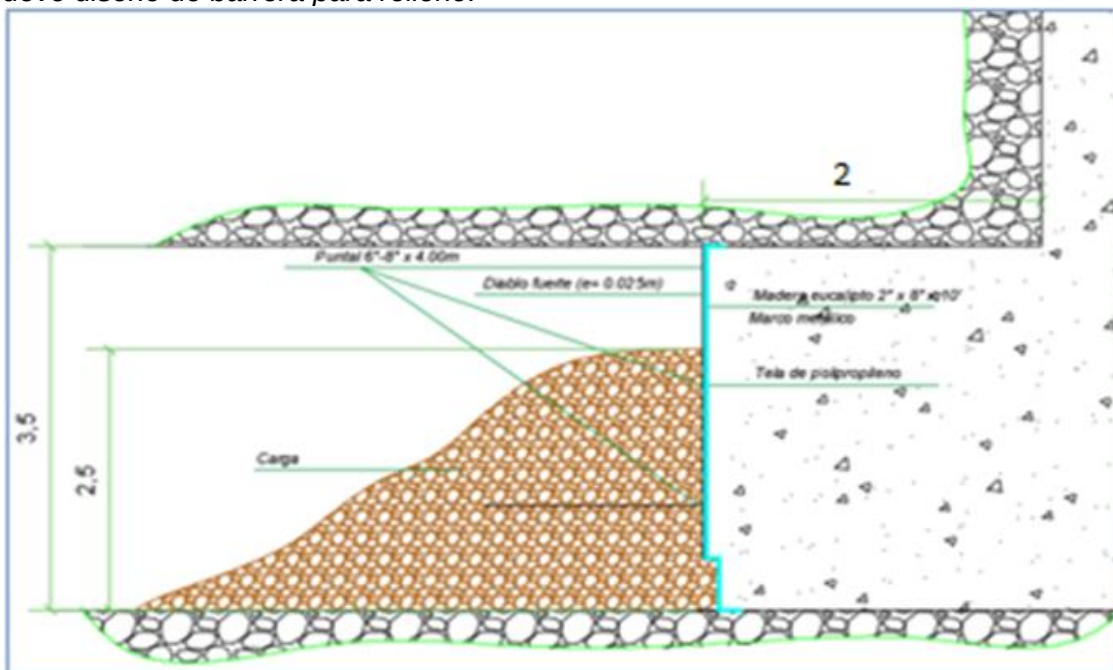
*Diseño de barrera actual para relleno*



Fuente: Estudio de Diseño de Barrera (2022)

**Figura 2**

*Nuevo diseño de barrera para relleno.*



Fuente: Estudio de Diseño de Barrera (2022)

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 *Objetivo general***

Reducir los costos asociados a la preparación de tajos para relleno en pasta, mediante la implementación de una nueva barrera para relleno en pasta.

### **1.2.2 *Objetivos específicos***

- Comprobar la funcionalidad de la nueva barrera para relleno en pasta.
- Reducir el tiempo de preparación de barreras para relleno en pasta.
- Reducir la utilización de equipos en la preparación de barreras para relleno en pasta.

## **1.3 Hipótesis**

### **1.3.1 *Hipótesis general***

La implementación de una nueva barrera para relleno impactara en el costo de preparación de tajos para relleno en pasta.

### **1.3.2 *Hipótesis específicas***

- La implementación de una nueva barrera para relleno reemplazara de manera efectiva la actual barrera para relleno en pasta.
- La implementación de una nueva barrera para relleno permitirá reducir el tiempo de preparación asignado para barreras de relleno en pasta.
- La implementación de una nueva barrera para relleno permitirá reducir la utilización de equipos en la preparación de barreras para relleno en pasta.

## **1.4 Antecedentes**

- En el año 2017, Venegas Olivares Karol en su trabajo de investigación titulado “Aplicación del relleno en pasta para reducir los costos operativos en la Unidad Minera Cerro Lindo”, concluyo que, la aplicación de relleno en pasta cumple una función estructural, restablece la estabilidad del macizo rocoso y por consiguiente permite la continuidad del minado.

- En el año 2019, Lara Jiménez Widmer Víctor en su trabajo de investigación titulado “Diseño de muros de concreto armado en ventanas para optimizar relleno de tajos vacíos en U.M. Cerro Lindo.”, concluyo que el diseño de muros de concreto armado en las ventanas permite optimizar significativamente el relleno de los tajos vacíos.
- En el año 2020, Vidal Salinas Rubén Darío en su trabajo de investigación titulado “Diseño de dique tapón de desmonte para los tajos sublevel stoping con relleno en pasta en la U.M. Cerro Lindo.”, concluyo que se obtienen buenos resultados y altos factores de seguridad al usar desmonte sobre el que se le adiciona un muro de piedra cementado en la parte superior como sello del tapón.

## **1.5 Metodología**

### **1.5.1 Tipo de metodología**

En el presente trabajo de investigación, se emplea la metodología experimental, lo cual se logró mediante la aplicación de la barrera para relleno en pasta propuesta.

### **1.5.2 Diseño de investigación**

Se realizó una investigación aplicada-comparativa, esto debido a que se presentan 2 escenarios con datos cuantitativos: 1) el escenario actual con el método de construcción de muros como barreras que contempla el pircado de piedra y pañeteo, y el 2) escenario donde se encuentran los resultados obtenidos con la aplicación de la barrera propuesta que contempla la instalación de una estructura metálica como barrera.

### **1.5.3 Población**

Para el presente trabajo de investigación se tomó como muestras las ventanas (áreas) disponibles y habilitadas para la instalación de barreras para relleno en pasta.

### 1.5.4 Operacionalización de variables

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

| VARIABLES          | TIPO DE VARIABLE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL                                                                        | INDICADOR                                | UNIDADES           |
|--------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------|
| Costo por barrera  | Dependiente      | Costo asignado a la ejecución de una barrera a instalarse en ventanas para relleno en pasta. | \$ dólares por Unidad de barrera         | \$/und             |
| Tiempo por barrera | Dependiente      | Cantidad de horas totales asignadas en la construcción de una barrera para relleno en pasta. | Horas totales por Unidad de barrera      | Hrs/und            |
| Horas Maquina      | Dependiente      | Cantidad de horas maquina asignadas en la construcción de una barrera para relleno en pasta. | Horas Maquina por Unidad de barrera      | Hrs Maquina /und   |
| Horas Hombre       | Dependiente      | Cantidad de horas hombre asignadas en la construcción de una barrera para relleno en pasta.  | Horas Mano de obra por Unidad de barrera | Hrs M. de obra/und |
| Barreras metálicas | Independiente    | Cantidad de barreras metálicas con entablado de madera                                       | Cantidad barreras por mes                | #Barreras/mes      |

Fuente: Elaboración propia

### 1.5.5 Matriz de Consistencia

**Tabla 2**

*Matriz de Consistencia*

| PROBLEMAS                                                                                                                                                             | OBJETIVOS                                                                                                                                            | HIPOTESIS                                                                                                                                                     | VARIABLES                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| PROBLEMA GENERAL                                                                                                                                                      | OBJETIVO GENERAL                                                                                                                                     | HIPÓTESIS GENERAL                                                                                                                                             | VARIABLE DEPENDIENTE          |
| ¿Cómo impactara la implementación de una nueva barrera par relleno en pasta en los costos asociados a la preparación de tajos para relleno?                           | Reducir los costos asociados a la preparación de tajos para relleno en pasta, mediante la implementación de una nueva barrera para relleno en pasta. | La implementación de una nueva barrera para relleno impactara en el costo de preparación de áreas para relleno en pasta.                                      | Costo/barrera (\$/und)        |
| PROBLEMAS ESPECÍFICOS                                                                                                                                                 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS                                                                                                                                | HIPÓTESIS ESPECIFICAS                                                                                                                                         | VARIABLE DEPENDIENTE          |
| ¿Cómo responderá una nueva barrera para relleno en pasta en tajos?                                                                                                    | Comprobar la funcionalidad de la nueva barrera para relleno en pasta.                                                                                | La implementación de una nueva barrera para relleno reemplazara de manera efectiva la actual barrera para relleno en pasta.                                   | -                             |
| ¿Cómo impactara la implementación de una nueva barrera para relleno en pasta en el tiempo de preparación de barreras de relleno?                                      | Reducir el tiempo de preparación de barreras para relleno en pasta.                                                                                  | La implementación de una nueva barrera para relleno permitirá reducir el tiempo de preparación asignado para barreras de relleno en pasta.                    | Hrs preparación/und (Hrs/und) |
| ¿Cómo impactara la implementación de una nueva barrera para relleno en pasta en la utilización de equipos asignados a la preparación de barreras de relleno en pasta? | Reducir la utilización de equipos en la preparación de barreras para relleno en pasta.                                                               | La implementación de una nueva barrera para relleno permitirá reducir la utilización de equipos asignados a la preparación de barreras para relleno en pasta. | Hrs maquina/und (Hrs /und)    |

Fuente: Elaboración propia

## **Capítulo II. Marcos teórico y conceptual**

### **2.1 Marco teórico**

#### **Desmonte:**

Material cuya ley mineral se encuentra por debajo de la ley de corte, usado principalmente como fuente principal par relleno de tajos o áreas donde se requiera para garantizar la estabilidad del macizo rocoso.

#### **Relleno hidráulico:**

Material producto de realizar el filtrado del relave, donde cierto porcentaje es asignado para retornar al interior de mina y funcionar como estabilizador del macizo rocoso rellenado los vacíos producto del minado.

#### **Relleno en pasta:**

Fluido no neotoniano con alta concentración de sólidos, mezcla de relleno con cemento para la generación de un componente cuyo fraguado presenta valores de resistencia de compresión uniaxial requerido de dureza y estabilidad para garantizar la estabilidad del macizo rocoso, estas características varían según las necesidades de la operación, en ocasiones estas características se orientan a garantizar el minado en las áreas circundantes o cercanas al minado previo (recuperación de pilares o puentes).

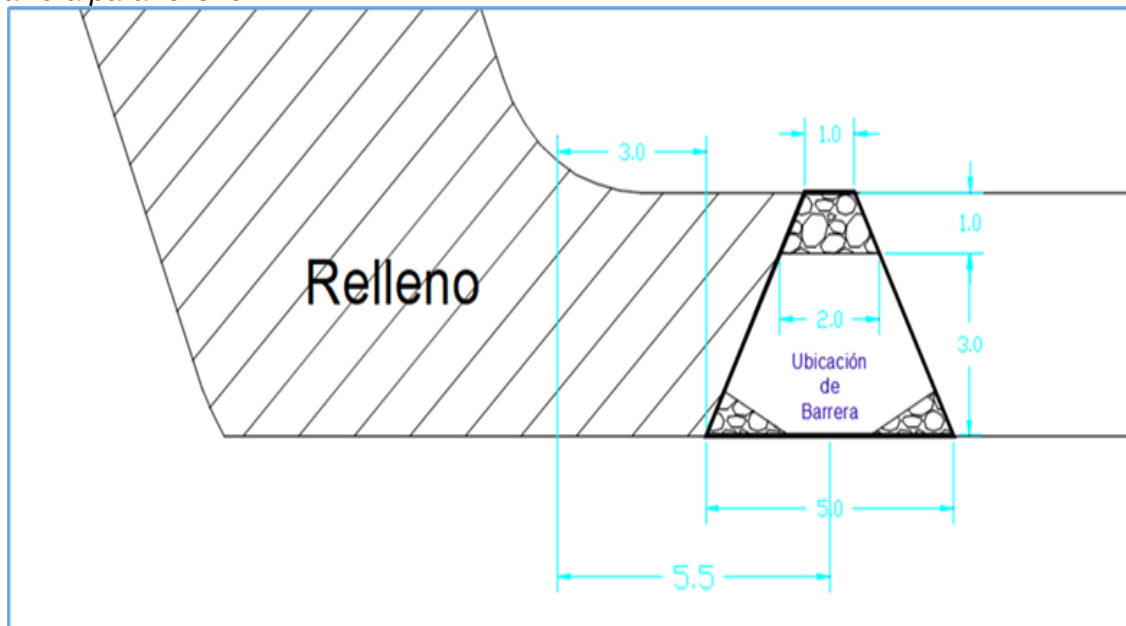
#### **Trasporte de pulpa:**

Sistemas donde se bombea la mezcla de relave, cemento y agua a través de tuberías de relleno instaladas en interior mina hacia tajos vacíos a fin de estabilizar el macizo rocoso.

**Tapones de relleno:** Conjunto de infraestructuras diseñadas para controlar el la hermetización de los puntos de salida de los posibles rellenos ingresado a los tajos vacíos, constituidos en su mayoría por material inerte o desmonte cubiertos por tela o yute con la finalidad de solo dejar pasar líquidos y no finos. Los materiales a usarse como relleno deben cumplir los parámetros determinados por el área de geomecánica para garantizar la estabilidad de las áreas a rellenar.

**Figura 3**

*Barrera para relleno*



Fuente: Manual para la elaboración de barrera de relleno – Minsur (2022)

### **Tipos de descarga de relleno**

- **Descarga directa:**

Se define como la descarga directa de relleno sobre el tajo.

- **Descarga por pulpo:**

Se define como la descarga de relleno a través de sondajes o perforaciones.

- **Descarga por VCR:**

Se define como la descarga de relleno a través de VCR's o chimeneas de corta longitud.

### **Ciclo de minado:**

El ciclo de minado en una actividad minera contempla las siguientes operaciones unitarias de sostenimiento, perforación, voladura, ventilación, desatado, limpieza y transporte.

### **Perforación:**

Proceso de generar taladros en el macizo rocoso a través de máquinas perforadoras tipo top hammer o down the hole.

### **Ventilación:**

Sistema que provee en caudal mínimo de aire requerido según sea la interacción de personas, maquinaria y gases generados por el minado. El sistema se fundamenta en el uso de ventiladores y extractores distribuidos en la mina a finde garantizar el requerimiento de las operaciones.

### **Desate mecanizado:**

El desate mecanizado se realiza con los equipos scaler, cuya función principal es la misma que la barretilla, sin embargo, según el DS-024-2016 para labores que superan los 4 metros de altura se emplean estos equipos, reduciendo el tiempo de desate de una labor, de esta manera reduciendo el ciclo de minado.

### **Limpieza y transporte:**

Parte fundamental del ciclo de minado, donde se consideran infraestructuras (cámaras de acumulación y carguío) para poder reducir al mínimo los tiempos muertos de la interacción de los scoops y los volquetes a ser cargados.

## **2.2 Clasificaciones geomecánicas**

### **2.2.1 Clasificación de Deere – RQD (1967)**

El RQD o Índice de calidad de la roca:

$$R.Q.D. = \frac{[\sum(Secciones > 10 \text{ cm.})]}{(Longitud \text{ Testigo})} \times 100\%$$

$$R.Q.D. = 115 - 3.3 \times Jv \dots\dots\dots(1)$$

**Tabla 3**

*Clasificación R.Q.D.*

| Índice de Calidad R.Q.D. (%) | Calidad   |
|------------------------------|-----------|
| 0-25                         | Muy Mala  |
| 25-50                        | Mala      |
| 50-75                        | Regular   |
| 75-90                        | Buena     |
| 90-100                       | Excelente |

Fuente: Elaboración propia



### 2.2.2 Clasificación de Barton, Lien y Lunde – Q (1974)

Conocida como el “Q” de Barton, usa 6 parámetros geomecánicos o geotécnicos para clasificar el macizo rocoso.

$$Q = \frac{R.Q.D.}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

R.Q.D.: Representa el Índice de Calidad de la roca

Jn : Índice de diaclasas, grado de fracturación del macizo rocoso.

Jr : Índice de rugosidad de las discontinuidades o juntas.

Ja : Índice de alteración de las discontinuidades.

Jw : Coeficiente reductor por la presencia de agua.

SRF : Stress Reduction Factor, factor reductor del esfuerzo.

**Tabla 4**

*Clasificación R.Q.D.*

| Descripción de la calidad del macizo rocoso | R. Q. D. % | OBSERVACIONES                                                   |
|---------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------|
| Muy mala                                    | 0 – 25     | Para R.Q.D < 10 se puede tomar R.Q.D. = 10 en la ecuación de Q. |
| Mala                                        | 25 – 50    |                                                                 |
| Median                                      | 50 – 75    |                                                                 |
| Buena                                       | 75 – 90    |                                                                 |
| Excelente                                   | 90 - 100   |                                                                 |

Fuente: Clasificaciones de los macizos rocosos - Francisco Bongiorno (2015)

**Tabla 5**

*Parámetro de Diaclasas – Jn*

| Descripción                                                | Jn      |
|------------------------------------------------------------|---------|
| Roca masiva                                                | 0.5 - 1 |
| Una familia de diaclasas                                   | 2       |
| Una familia de diaclasas y algunas diaclasas ocasionales   | 3       |
| Dos familias de diaclasas                                  | 4       |
| Dos familias de diaclasas y algunas diaclasas ocasionales  | 6       |
| Tres familias                                              | 9       |
| Tres familias de diaclasas y algunas diaclasas ocasionales | 12      |
| Cuatro o más familias de diaclasas, Roca muy fracturada    | 15      |
| Roca triturada terrosa                                     | 20      |
| En boquillas se utiliza 2 Jun y en túneles 3 Jun           |         |

Fuente: Clasificaciones de los macizos rocosos - Francisco Bongiorno (2015)

**Tabla 6***Parámetro de Rugosidad – Jr*

| <b>Contacto entre las dos caras de las diaclasas con poco desplazamiento lateral de menos de 10 cm.</b> | <b>Jn</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Juntas discontinuas                                                                                     | 4         |
| Junta rugosa o irregular ondulada                                                                       | 3         |
| Suave ondulada                                                                                          | 2         |
| Espejo de falla, ondulada,                                                                              | 1.5       |
| Rugosa o irregular, plana                                                                               | 1.5       |
| Suave plana                                                                                             | 1         |
| Espejo de falla, plano.                                                                                 | 0.5       |

Fuente: Clasificaciones de los macizos rocosos - Francisco Bongiorno( 2015)

**Tabla 7***Parámetro de Aguas - Jw*

|                                                                                                                            | <b>Jw</b>   | <b>Presión del agua Kg/cm2</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------|
| Excavaciones secas o de influencia poco importante                                                                         | 1           | < 1                            |
| Fluencia o presión medias. Ocasional lavado de los rellenos de las Diaclasas                                               | 0.66        | 1 – 2.5                        |
| Fluencia grande o presión alta, considerable lavado de los rellenos de las diaclasas                                       | 0.33*       | 2.5 – 10                       |
| Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas, decayendo con el tiempo                                                 | 0.1 – 0.2*  | > 10                           |
| Fluencia o presión de aguas excepcionalmente altas y continuas, sin disminución                                            | 0.05 – 0.1* | > 10                           |
| Los valores presentados con el signo * son solo valores estimados. Si se instalan elementos de drenaje hay que aumentar Jw |             |                                |

Fuente: Clasificaciones de los macizos rocosos - Francisco Bongiorno(2015)

**Tabla 8***Parámetro de Alteración - Ja*

| <b>Descripción</b>                                                                                                                                                                                                                 | <b>Ja</b> | <b>Ø°</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|
| Contacto entre las 2 caras de las Diaclasas                                                                                                                                                                                        | 0.75      | 25 - 30   |
| Junta sellada, dura, sin reblandecimiento impermeable como por ejemplo cuarzo en paredes sanas                                                                                                                                     | 1         | 25 - 30   |
| Caras de la junta únicamente manchadas                                                                                                                                                                                             | 2         | 25 - 30   |
| Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no blandos partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla                                                                                         | 3         | 20 - 25   |
| Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fricción arcillosa no reblandecible                                                                                                                                               | 3         | 20 - 25   |
| Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción como caolinita, clorita, talco yeso, grafito y pequeñas cantidades de arcillas expansivas. Los recubrimientos son discontinuos con espesores máximos de 1 o 2 mm. | 4         | 8 - 16    |

Fuente: Clasificaciones de los macizos rocosos - Francisco Bongiorno(2015)

**Tabla 9**

*Parámetro de Alteración - Ja*

| <b>Contactos entre dos caras de Diaclasa con &lt; de 10 cm desplazamiento lateral.</b>                                                            |            |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|
| Partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla                                                                                           | 4          | 25 – 30 |
| Fuertemente sobre consolidados rellenos de minerales arcillosos no blandos. Los recubrimientos son continuos de menos de 5 mm. De esp.            | 6          | 16 – 24 |
| Sobre consolidación media a baja, blandos, rellenos de minerales arcillosos, Los recubrimientos son continuos de < de 5 mm de espesor.            | 8          | 12 – 16 |
| Rellenos de arcilla expansiva, de espesor continuo de 5 mm. El valor Ja dependerá del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva | 8 – 12     | 6 – 12  |
| <b>No existe contacto entre las dos caras de la diaclasa cuando esta cizallada</b>                                                                |            |         |
| Zonas o bandas de roca desintegrada o manchada y arcilla                                                                                          | 6 – 8 – 12 | 6 – 24  |
| Zonas blandas de arcilla limosa o arenosa con pequeña fricción de arcilla no blandas.                                                             | 5          | 6 – 24  |
| Granos arcillosos gruesos.                                                                                                                        | 13 – 20    | 6 – 24  |

Fuente: Clasificaciones de los macizos rocosos - Francisco Bongiorno(2015)

**Tabla 10**

*Parámetro Reductor de Esfuerzo – SRF*

| 1.- Zona débil que interceptan la excavación y pueden causar caídas de bloques.                                                                                                                              |                                                                                                                                      |                     |                     | S.R.F.    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|-----------|
| A.                                                                                                                                                                                                           | Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor.                                |                     |                     | 10        |
| B.                                                                                                                                                                                                           | Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50 m).                         |                     |                     | 5         |
| C.                                                                                                                                                                                                           | Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación >50 m).                          |                     |                     | 2.5       |
| D.                                                                                                                                                                                                           | Varias zonas de fractura en roca competente libre de arcilla. Roca suelta alrededor. (Cualquier profundidad).                        |                     |                     | 7.5       |
| E.                                                                                                                                                                                                           | Solo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla (Profundidad de excavación < 50 m.)                                    |                     |                     | 5         |
| F.                                                                                                                                                                                                           | Solo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla (Profundidad de excavación > 50 m.)                                    |                     |                     | 2.5       |
| G.                                                                                                                                                                                                           | Diaclasas abiertas sueltas, muy fracturadas. Cualquier profundidad.                                                                  |                     |                     | 5         |
| 2.- Rocas competentes con problemas tensionales en las rocas                                                                                                                                                 |                                                                                                                                      |                     |                     | S.R.F     |
|                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                      | $\sigma_c/\sigma_1$ | $\sigma_t/\sigma_1$ |           |
| H.                                                                                                                                                                                                           | Tensiones pequeñas cerca de la superficie.                                                                                           | > 200               | > 13                | 2.5       |
| I.                                                                                                                                                                                                           | Tensiones medias.                                                                                                                    | 200 – 10            | 13 – 0.33           | 1.0       |
| J.                                                                                                                                                                                                           | Tensiones altas estructura muy compacta, favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales. | 10 – 5              | 0.66–0.33           | 0.5 - 2.0 |
| K.                                                                                                                                                                                                           | Explosión de roca suave (roca Masiva)                                                                                                | 5 – 2.5             | 0.33–0.16           | 5 – 10    |
| L.                                                                                                                                                                                                           | Explosión de roca fuerte (roca masiva).                                                                                              | < 2.5               | < 0.16              | 10 - 20   |
| <b><math>\sigma_c</math> y <math>\sigma_t</math> son las resistencias a la compresión y tracción respectivamente de la roca, <math>\sigma_1</math> es el esfuerzo principal máximo que actúa en la roca.</b> |                                                                                                                                      |                     |                     |           |
| 3.- Roca fluyente, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostatica                                                                                                     |                                                                                                                                      |                     |                     | S.R.F.    |
| M.                                                                                                                                                                                                           | Presión de flujo suave                                                                                                               |                     |                     | 5 – 10    |
| N.                                                                                                                                                                                                           | Presión de flujo intensa                                                                                                             |                     |                     | 10 - 20   |

Fuente: Clasificaciones de los macizos rocosos - Francisco Bongiorno (2015)

El Índice Q, se clasifica a la roca de la siguiente manera:

**Tabla 11**

*Clasificación según el Índice Q*

| TIPO DE ROCA           | VALOR DE Q          |
|------------------------|---------------------|
| Excepcionalmente mala  | $10^{-3} - 10^{-2}$ |
| Extremadamente mala    | $10^{-2} - 10^{-1}$ |
| Muy mala               | $10^{-1} - 1$       |
| Mala                   | $1 - 4$             |
| Media                  | $4 - 10$            |
| Buena                  | $10 - 40$           |
| Muy buena              | $40 - 100$          |
| Extremadamente buena   | $100 - 400$         |
| Excepcionalmente buena | $400 - 1000$        |

Fuente: Clasificaciones de los macizos rocosos - Francisco Bongiorno (2015)

### **2.2.3 Clasificación de Bieniawski – RMR (1979)**

Parámetros:

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

**Tabla 12**

*Clasificación RMR*

| Índice RMR - Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR |           |                |                       |                      |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|----------------|-----------------------|----------------------|
| Clase                                                             | Calidad   | Valoración RMR | Cohesión              | Ángulo de rozamiento |
| I                                                                 | Muy buena | 100-81         | $> 4 \text{ kg/cm}^2$ | $>45^\circ$          |
| II                                                                | Buena     | 80-61          | $3-4 \text{ kg/cm}^2$ | $35^\circ-45^\circ$  |
| III                                                               | Media     | 60-41          | $2-3 \text{ kg/cm}^2$ | $25^\circ-35^\circ$  |
| IV                                                                | Mala      | 40-21          | $1-2 \text{ kg/cm}^2$ | $15^\circ-25^\circ$  |
| V                                                                 | Muy mala  | $<20$          | $1 \text{ kg/cm}^2$   | $<15^\circ$          |

Fuente: Clasificaciones de los macizos rocosos - Francisco Bongiorno(2015)

## **2.3 Relleno en pasta**

### **2.3.1 *Relleno en pasta***

La pasta es un fluido con alta concentración de sólidos, que contiene relaves totales generados en la planta concentradora.

La pulpa de relaves pasa por 2 procesos de separación solido-líquido para incrementar su contenido de sólidos.

Se mezcla cemento y escoria metalúrgica molida, para obtener una mezcla con valore de resistencia a la compresión uniaxial, a un determinado tiempo de curado.

#### **Figura 4**

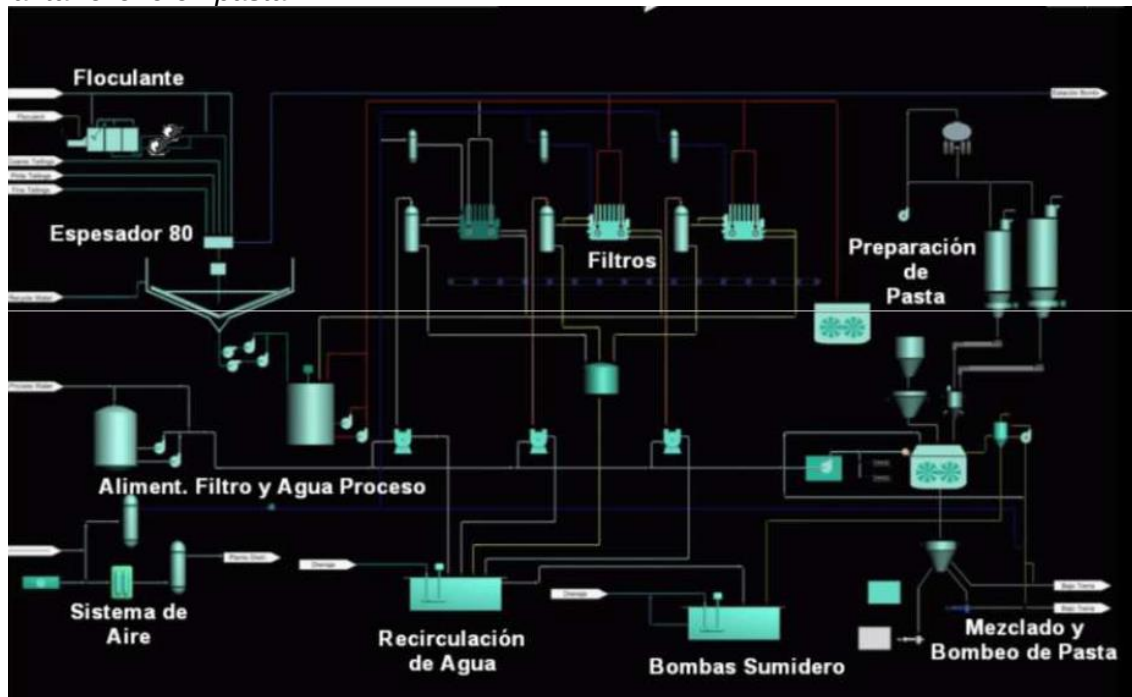
*Descarga relleno en pasta Tj 4185-1700 Kimberly*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2024)

**Figura 5**

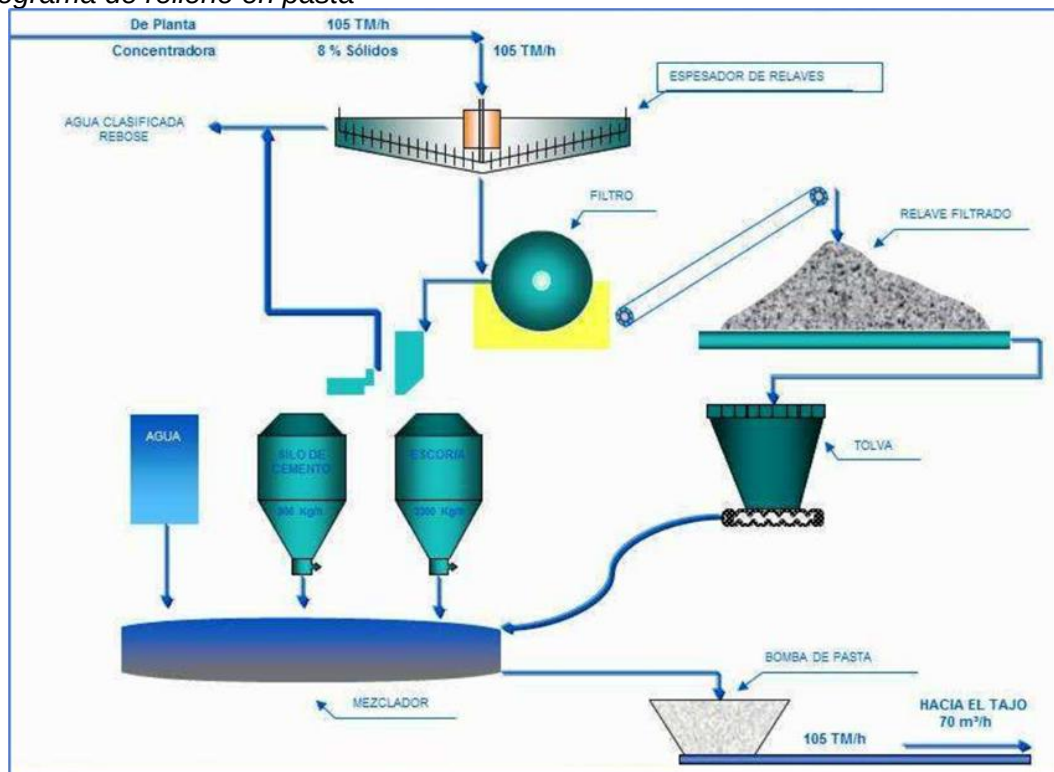
*Planta relleno en pasta*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2013)

**Figura 6**

*Flujograma de relleno en pasta*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2013)

### **2.3.2 Espesado**

Es la primera etapa para la separación del sólido-liquido por medio de una sedimentación continua con floculante en un tanque cilíndrico de 80 pies de diámetro.

Se alimenta de manera continua (110 TMS por hora) de una pulpa con contenido de 8% de sólidos.

Se obtiene el Underflow (pulpa con 60% de sólidos) y el Overflow (agua clarificada que rebosa y recircula al proceso de la plata concentradora).

Los tipos de relave empleados en el proceso son:

- Gruesos de estaño
- Gruesos de pirita
- Finos (lamas)

El floculante se dosifica en la relación de 19 gramos por tonelada métrica seca de sólidos.

### **Figura 7**

*Tanque de espesado*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2013)

### **2.3.3 Filtrado**

En esta segunda etapa de separación de sólidos y líquidos por medio de filtros, se utilizan filtros de discos donde actúan con bombas de vacío que funcionan alternadamente.

Cada filtro cuenta con 10 discos filtrantes donde 10.5 pies de diámetro dividido en 10 sectores (constituidos con telas de polietileno no filamento).

El vacío generado con bomba de vacío asociado al filtro con presión de 6 psi negativo.

El relave filtrado se le conoce como keke con un 78% de sólidos. La producción que se alcanza es de unas 110 ton-secas /hr.

Al culminar el proceso mostrado de filtrado el keke es descargado en una faja transportadora.

**Figura 8**

*Filtros de relave*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2013)



**Figura 9**

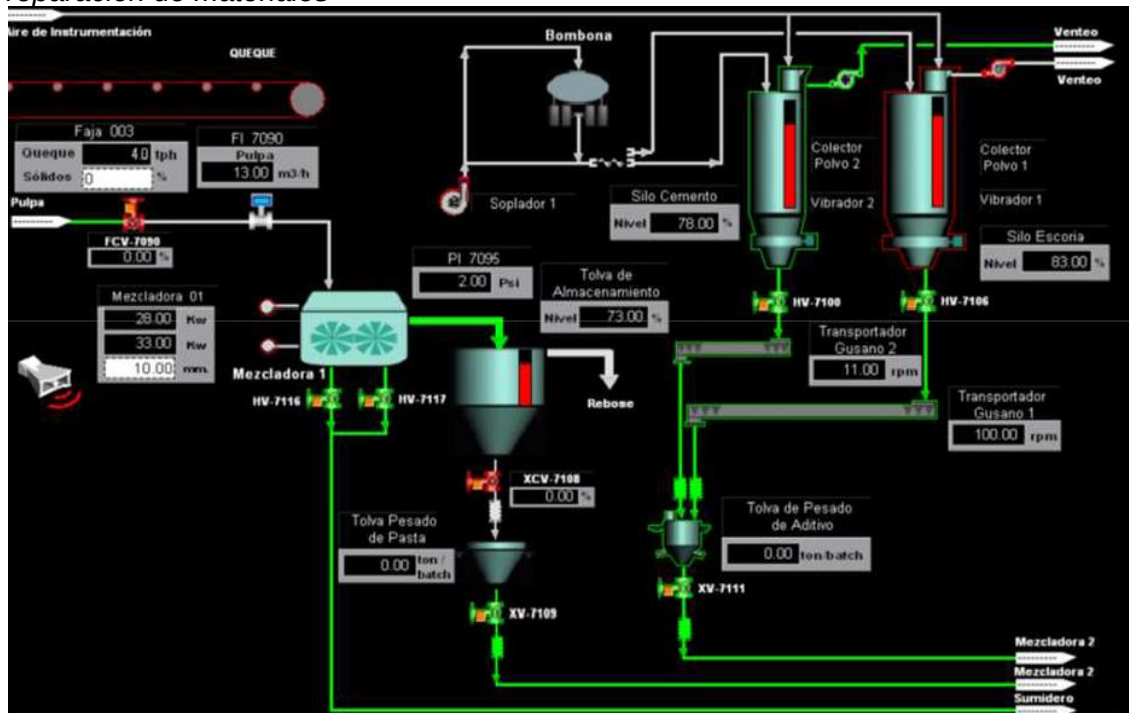
*Keke se descarga por faja transportadora*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2013)

**Figura 10**

*Preparación de materiales*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2013)

#### **2.3.4 Preparación del Tailing**

Se genera de alimentar a un mezclador continuo de 5m<sup>3</sup>, el Keke transportado por faja, más un flujo controlado de pulpa espesada, obteniéndose de esa mezcla una Pasta de relaves con un contenido de solidos de 75%.

Es ingresada a una tolva intermedia en donde se almacena para luego ser descargado por tandas programadas.

#### **Figura 11**

*Transporte por faja*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2013)

**Figura 12**

*Tolvas de almacenaje*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2013)

**Figura 13**

*Pasta de relaves con contenido solidos 75%*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2013)



### ***2.3.5 Abastecimiento de cemento y escoria***

El cemento y la escoria reducida se ingresan a min mediante un sistema de descarga con aire comprimido hacia un silo de 25 ton de capacidad.

**Figura 14**

*Silos de cemento y escoria*



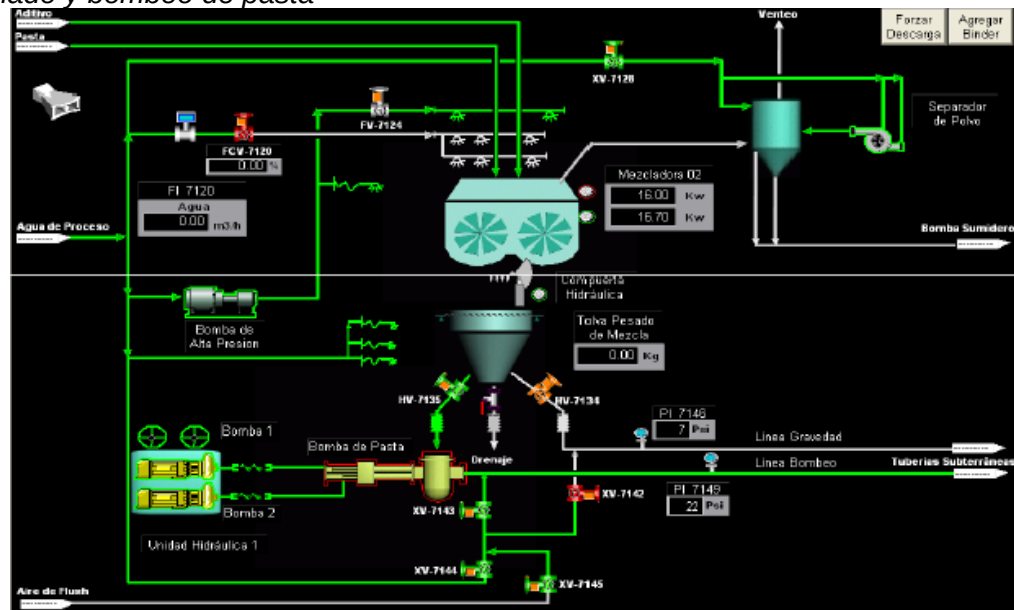
Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2013)

### 2.3.6 Mezclado

El mezclado se realiza en un sistema Batch, donde el cemento y la escoria son transportados mediante fajas a una mezcladora de paletas de 3.5 m<sup>3</sup> de capacidad. El relave se pesa en una tolva y se descarga en el mezclador. El agua ingresa a la tolva de mezclado para darle la consistencia de fluido capaz de ser bombeado.

**Figura 15**

*Mezclado y bombeo de pasta*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2013)

**Figura 16**

*Mezclador*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2013)

**Figura 17**

*Mezcladora de paletas*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2013)

**Figura 18**

*Tolva de mezclado*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2013)

### **2.3.7 Bombeo**

La pasta del mezclador se descarga a una tolva y de ésta a la bomba.

El equipo usado es una bomba de desplazamiento positivo, modelo válvulas de asiento, con dos pistones y unidad hidráulica. Datos técnicos: Presiones de trabajo: 1500 psi, número de emboladas: 13 e/min, rendimiento: 77 m<sup>3</sup>/hr y bombea una pasta con las siguientes características Densidad: 1860 Gr/lit , Contenido de solidos : 73.5 % , Slump : 8 pulgadas.

La medida del slump se realiza utilizando un cono de Abrahams, de una muestra tomada de la tolva y Las presiones de trabajo de la bomba, pueden variar por la distancia para llegar al tajo vacío y el slump de la pasta.

#### **Figura 19**

*La pasta se descarga a una tolva*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2013)



**Figura 20**

*Tablero control bomba*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2013)

### ***2.3.8 Distribución subterránea***

La Pasta se transporta a través de tuberías de acero al carbono y tuberías de HDPE. El diámetro interno de la tubería en toda la extensión, desde la Planta hasta el Tajo, es de 8 pulgadas. Las tuberías Sch 80, en material API 5L Grs 52, soportan hasta 1500 psi y se instalan a la salida de la Bomba.

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

Las tuberías SDR11 en material de HDPE soportan hasta 160 psi y se instalan en los últimos 100 m de tubería antes de llegar al Tajo a rellenar son unidas con acoples de empaquetadura externa, ajustado con pernos para llegar a niveles inferiores se realizan taladros de 12 pulgadas de diámetro, en los cuales se instalan tuberías Sch 80 de 8 pulgadas de diámetro interno, con roscas especiales en sus extremos, unidos y sellados con soldadura.



**Figura 21**

*Línea tronca horizontal tubería HDPE*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2024)

**Figura 22**

*Derivación tubería HDPE en nivel de descarga relleno*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2024)

**Figura 23**

*Tendido tubería HDPE por labor horizontal*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2024)

### ***2.3.9 Recepción en el tajeo***

Se realizan barreras en el nivel inferior del tajo, en las labores de acceso que sirvieron para extraer mineral y en los niveles intermedios, en las labores de acceso que sirvieron para perforación de taladros largos.

Las barreras son de desmonte proveniente de las labores de preparación. Se acarrea con Scoop y se acumula en la labor hasta cubrir el 80% de la abertura. Se completa pircando con piedras de mayor tamaño hasta cerrar completamente la abertura. Se coloca tela de polipropileno por la parte interna.

Las tuberías parten de la Planta de Relleno, recorriendo por la línea troncal permanente hasta llegar al nivel superior del Tajo a Rellenar. En este nivel se instala una tubería temporal hasta llegar a una labor comunicada al Tajo.

Esta labor puede ser una ventana, una chimenea corta VCR o un taladro piloto. Dependiendo de la longitud del tajo, el relleno puede ingresar por uno, dos o tres puntos, para distribuir adecuadamente la Pasta hasta cubrir todo el espacio vacío.

**Figura 24**

*Barrera metálica en nivel inferior del tajo*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2024)

**Figura 25**

*Acumulación de carga sobre barrera para asegurar estabilidad*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2024)

## Figura 26

*Tendido tubería HDPE para rellenar tajo vacío*



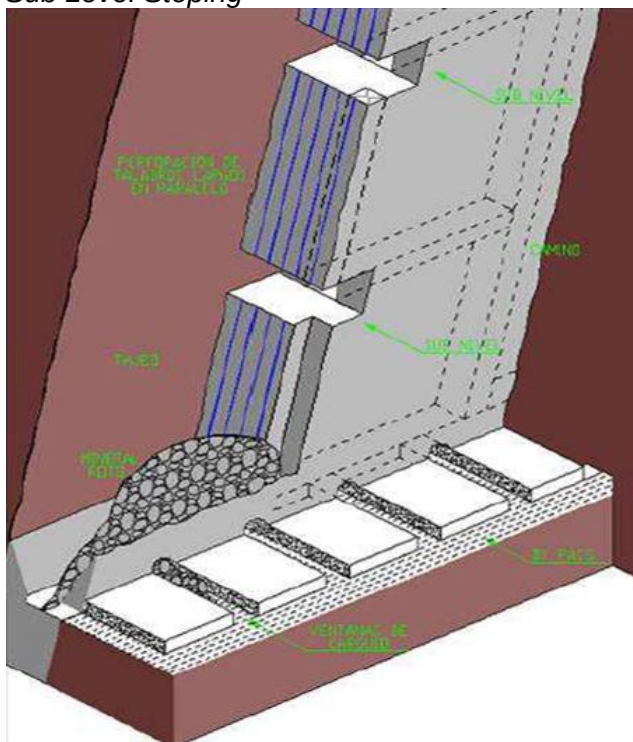
Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2024)

### ***2.3.10 Aplicación de relleno en pasta***

- Métodos Explotación: Sub Level Stopping con taladros largos en cuerpos y vetas angostas.
- Función del Relleno: Pilar o Pared auto estable
- Dimensiones de los Tajos en Cuerpos: Longitud: 100 m /Ancho: 10 a 15 m /
- Altura : 50 m
- Sección expuesta: 50x10 a 50x15
- Resistencia a la Compresión: 300 a 410 Kpa
- Tiempo de curado : 28 días
- Dimensiones de los Tajos en Vetas :Longitud: 60 m/ Ancho : 2.0 a 3.5 m /
- Altura : 25 m
- Sección expuesta: 25x2 a 25x3.5
- Resistencia a la Compresión: 70 a 110 Kpa
- Tiempo de curado : 28 días



### Método Explotación Sub Level Stopping



### **2.3.11 Resistencia a la compresión**

## función a las dimensiones de los Tajos

Expresado en Kilo Pascales

*Cuadro de resistencias a la compresión Uni Axial*

| POTENCIA DEL CUERPO (m) |     |     |     |     |     |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Altura (m)              | 5   | 10  | 15  | 20  | 25  |
| 25                      | 150 | 250 | 330 | 400 | 450 |
| 50                      | 160 | 300 | 410 | 510 | 600 |
| 75                      | 170 | 320 | 450 | 570 | 670 |
| 100                     | 170 | 330 | 470 | 600 | 720 |

Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2013)

#### **2.3.11.2 Ensayo a los relaves.**

##### **El tamaño de partícula:**

Mayor a 75 micrones, es considerado grueso, en este caso representa solo el 25%.

Menor a 20 micrones es considerado ultra fino, en este caso representa el 40 %.

Menor a 11 micrones es considerado lama, en este caso representa casi el 20 %.

El requisito mínimo de contenido de ultra finos para formar una pasta es de 15%.

##### **La curva característica de los relaves nos indica lo siguiente:**

Es favorable para lograr una mezcla bombeable.

La mezcla necesitara mayor dosificación de cemento para lograr un valor de Resistencia a la compresión.

**2.3.11.3 Ensayos de resistencia.** La Prensa de rotura a la compresión es digital, con capacidad de registrar resistencias de valores bajos.

Las probetas cilíndricas, según la norma ASTM, de tecnología de concreto son de medidas:

- 6 pulgadas de diámetro y
- 12 pulgadas de altura.

Los Ensayos de Resistencia a la Compresión tienen la siguiente secuencia:

- Se preparan 3 probetas para cada fecha de ensayo, promediando los resultados.
- En total se preparan 12 probetas para cada receta.
- Las probetas se ensayan a los 7, 14, 28 y 56 días de curado
- Con los valores obtenidos se realiza una curva de Resistencias de la Pasta.

**Figura 28**

*Probeta cilíndrica*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2013)

**Figura 29**

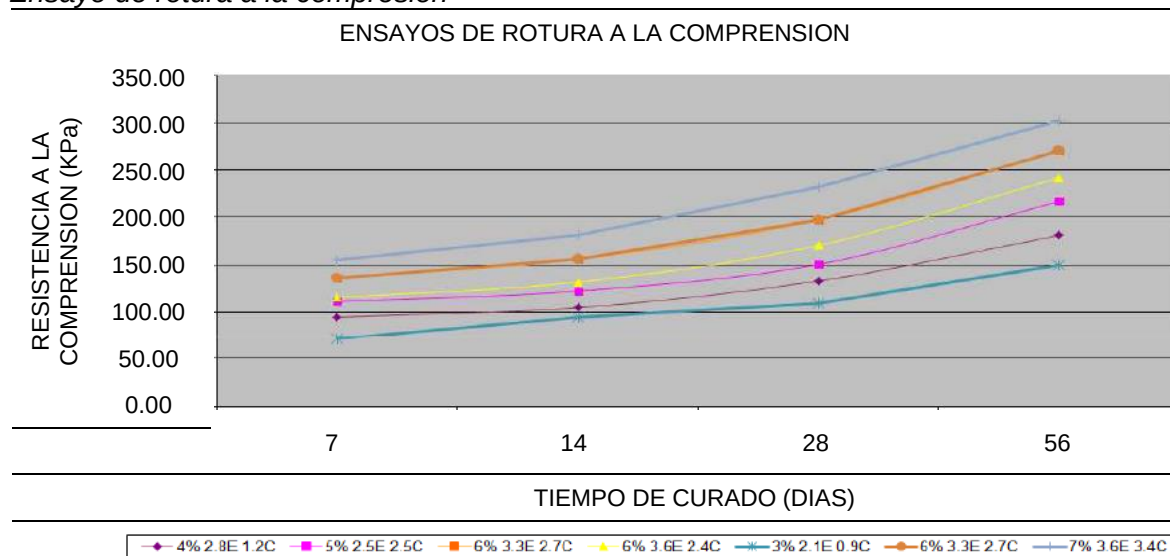
*Prensa rotura a la compresión*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2013)

**Tabla 14**

*Ensayo de rotura a la compresión*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2013)

**Tabla 15**

*%Binder para pruebas compresión*

| % BINDER (% Escoria + % Cemento) | 3%                              | 4%        | 5%        | 6%        | 6%        | 6%        | 7%        |
|----------------------------------|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Porcentajes (Escoria/Cemento)    | 2.1E 0.9C                       | 2.8E 1.2C | 2.5E 2.5C | 3.6E 2.4C | 3.3E 2.7C | 3.0E 3.0C | 3.6E 3.4C |
| Proporciones (Escoria/Cemento)   | 70E 30C                         | 70E 30C   | 50E 50C   | 60E 40C   | 55E 45C   | 50E 50C   | 52E 48C   |
| Slump                            | 8"                              | 8"        | 8"        | 8"        | 8"        | 7.5"      | 8"        |
| Días de curado                   | Resistencia a la Compresion Kpa |           |           |           |           |           |           |
| 7                                | 71.68                           | 94.83     | 111.10    | 115.58    | 136.19    | 146.19    | 154.69    |
| 14                               | 94.98                           | 104.83    | 122.32    | 131.71    | 155.41    | 168.74    | 181.57    |
| 28                               | 109.31                          | 132.84    | 150.41    | 170.46    | 197.41    | 213.82    | 232.58    |
| 56                               | 150.06                          | 181.00    | 216.83    | 241.92    | 270.18    | 288.80    | 302.38    |

Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2013)

**2.3.12 Diseño de Mezcla por m3**

Tailing: Peso Húmedo: 1714 Kg / % Sólidos: 75 / Peso Seco: 1290 Kg

Peso Binder (7%): Peso Cemento (2.9%): 37 Kg/ Peso Escoria (3.1%): 41 Kg

Peso de Agua: 50 Lt . Con esta receta se obtiene una pasta con las siguientes características: % Sólidos: 73.5 / Densidad: 1860gr/lit / Slump: 8 pulg.

Luego de los ensayos de rotura a la compresión se tiene como

resultado: Resistencia a la compresión: 350 Kpa /Tiempo de curado: 28 días



**Figura 30**

*Muestra Tailing*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2024)

**Figura 31**

*Relleno en pasta en tajo*



Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2024)

**Tabla 16***Costos relleno en cuerpo*

|                                             | US\$ / M3 RELLENO | Porcentaje |
|---------------------------------------------|-------------------|------------|
| Mano de obra                                | 0.80              | 6.7%       |
| Consumo de cemento                          | 6.09              | 51.1%      |
| Consumo de escoria                          | 4.10              | 34.4%      |
| Consumo de energía eléctrica                | 0.41              | 3.4%       |
| Opearacion planta de relleno                | 0.20              | 1.7%       |
| Preparacion de barreras                     | 0.07              | 0.6%       |
| Instalación de tuberías                     | 0.12              | 1.0%       |
| Mantenimiento                               | 0.13              | 1.1%       |
| <b>COSTO UNITARIO / M3 DE RELLENO</b>       | <b>11.92</b>      |            |
| <b>COSTO UNITARIO/ TON DE MIN. EXTRAIDO</b> | <b>4.59</b>       |            |

Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2013)

**Tabla 17***Costos relleno en veta*

|                                             | US\$ / M3 RELLENO | Porcentaje |
|---------------------------------------------|-------------------|------------|
| Mano de obra                                | 1.14              | 13.9%      |
| Consumo de cemento                          | 2.64              | 32.2%      |
| Consumo de escoria                          | 2.80              | 34.2%      |
| Consumo de energía eléctrica                | 0.46              | 5.6%       |
| Operación planta de relleno                 | 0.24              | 2.9%       |
| Preparación de barreras                     | 0.32              | 3.9%       |
| Instalación de tuberías                     | 0.39              | 4.8%       |
| Mantenimiento                               | 0.19              | 2.4%       |
| <b>COSTO UNITARIO / M3 DE RELLENO</b>       | <b>8.18</b>       |            |
| <b>COSTO UNITARIO/ TON DE MIN. EXTRAIDO</b> | <b>3.03</b>       |            |

Fuente: Método de relleno en pasta - San Rafael (2013)

Nos encontramos en una etapa de pasar de cuerpos a vetas angostas, por lo tanto, se rellena más tajos con menos volumen.

**Este hecho influye en lo siguiente:**

- La reducción de consumo de cemento puesto que la resistencia a la compresión requerida es menor.
- Lo que aumenta es el costo en preparación de los tajos, que incluye la mano de obra, barreras y tuberías

El costo de mantenimiento se incrementa por el tiempo de uso de los equipos de la Planta de Relleno

El consumo de escoria disminuye en menor proporción que el cemento.

**La aplicación de relleno en pasta cumple una función estructural, restablece la estabilidad del macizo rocoso y por consiguiente permite lo siguiente:**

- La recuperación total y segura de pilares de mineral existentes en lámina.
- La continuidad del minado a niveles inferiores.

**Los beneficios ambientales son los siguientes:**

- El uso en relleno del 82% de los relaves totales generados en la recuperación metalúrgica de la Planta Concentradora, sin clasificar, incluido finos.
- El uso de escoria molida metalúrgica de la Planta de Fundición de Pisco que se incorpora a la Pasta. Luego de estudios y ensayos que confirman que su inclusión en la Pasta contribuye a la obtención de resistencia a la compresión.
- El agua residual, resultante de los procesos de separación solido/liquido, se recupera y se vuelve a utilizar en la Planta de Relleno y en la Planta Concentradora.
- Con una adecuada tecnología de separación solido-liquido, que requiere inversión en maquinaria, se puede utilizar los finos existentes en los relaves y obtener un relleno cementado.
- Es recomendable realizar un estudio analítico previo que permita conocer las propiedades de los relaves cuando participan en una mezcla con cemento y luego proyectar los costos operativos.

## 2.4 Ubicación y accesos

### 2.4.1 Ubicación

La Compañía Minera Minsur – San Rafael está localizado a una altitud de 4350 m.s.n.m. distrito de Antauta, provincia de Melgar, departamento de Puno.

**Figura 32**

*Ubicación San Rafael*



Fuente: Plan de Minado San Rafael (2022)

### 2.4.2 Accesibilidad

El acceso vía terrestre se realiza por carretera considerando el tramo desde Juliaca siguiendo las siguientes rutas:

- Juliaca-Pucara-Asillo-San Rafael
- Juliaca-Azángaro-San Rafael

El acceso vía área se realiza a través del aeropuerto (Inca Manco Cápac - Juliaca) hacia el campo de aterrizaje para aviones corto en las instalaciones de San Rafael (4350 m.s.n.m.) con una duración de vuelo de 25 minutos y considerando un tiempo de 1:20 horas desde Lima Juliaca.

**Tabla 18***Distancias y tiempo de viaje*

| <b>VÍA TERRESTRE</b> |         |           |            |
|----------------------|---------|-----------|------------|
| Origen               | Destino | Distancia | Tiempo     |
| Arequipa             | Juliaca | 270 Km    | 4:30 hrs   |
| Juliaca              | Mina    | 150 Km    | 2:00 hrs   |
| <b>VÍA AÉREA</b>     |         |           |            |
| Lima                 | Mina    | 1359 Km   | 1:50 hrs   |
| Lima                 | Juliaca | 1273 Km   | 1:20 horas |

Fuente: Elaboración propia

## **2.5 Clima y vegetación**

### **2.5.1 Clima**

El clima presenta bajas temperaturas durante todo el año, con alteraciones muy pronunciadas entre el día (18°C) y la noche (-15°).

Respecto a las estaciones, se divide en dos:

- La primera, una estación seca y fría que abarca los meses entre mayo y setiembre;
- La segunda, una estación húmeda con alta concentración de lluvias entre los meses de octubre y setiembre.

### **2.5.2 Vegetación**

La presencia de vegetación en la zona es muy escasa, basada principalmente en Ichu, que sirve esencialmente como alimento de ganado y auquénidos presentes en la zona.

La poca presencia de condiciones óptimas para la agricultura ha limitado esta actividad donde la fuente principal de alimento para los animales presentes en la zona se encuentra en los bofedales naturales donde la vegetación se limita al Ichu y pasto silvestre.

## **2.6 Geología**

### **2.6.1 Geología regional**

Estudiada por Laubacher (1978) y Kontak (1984).

En la región abunda una gruesa secuencia marina del Paleozoico Inferior, como las lutitas de la formación San José, de edad Ordoviciano Medio; las lutitas, areniscas y cuarcitas de la formación Sandía, de Devónico-Silúrico, que han sufrido los efectos de la tectónica compresiva herciniana temprana. Rocas del Paleozoico Superior han sufrido los efectos de la tectónica compresiva herciniana final, representada por areniscas y lutitas del grupo Ambo, de edad Missisipiana; lutitas y calizas del grupo Tarma, de edad Pensilvaniana, y calizas del grupo Copacabana, de edad Pérmico Inferior.

El tectonismo anterior fue seguido por un levantamiento continental que dio origen a los sedimentos continentales y volcanismo del grupo Mitu, de edad Pérmico Medio a Superior, sobre los cuales se depositaron secuencias calcáreas, arenosas y lutíticas del Cretáceo. Las rocas paleozoicas de la Cordillera de Carabaya fueron instruidas por rocas peraluminosas de los plutones Limacpampa, Limbani, Aricoma y Coasa, agrupados en el batolito de Coasa, de edad Triásica. Hacia el noreste se encuentra un plutón de sienita nefelínica peraluminoso y volcánicos peralcalinos, ambos del Jurásico; así mismo, el complejo San Gabán (Kontak 1991).

En la depresión de la zona Crucero y en las estribaciones de la Cordillera o precordillera de Carabaya existen rocas ígneas extrusivas e hipabisales del terciario.

Las rocas extrusivas comprenden lavas y piroclásticos, basaltos, shoshonitas, riocacitas y riolitas del tipo S, además, intrusitos hipabisales peraluminosos emplazados entre los 22 Ma y 26 Ma, del Oligoceno Superior-Mioceno Inferior.

Otro tipo de rocas comprende piroclásticos e hipabisales riolíticos fuertemente peraluminosos, con biotita, sillimanita, moscovita, andalucita, turmalina, que fueron emplazados entre 6,5 Ma y 17 Ma del mioceno inferior (Sandeman, 1997).

Los intrusitos triásicos y terciarios forma parte del dominio magmático del arco interior de la Cordillera oriental, la que ha tenido una evolución diferente al dominio magmático del arco principal de la Cordillera occidental (Clark, 1984)

## 2.6.2 Geología local

En el área de la mina afloran las filitas, pizarras y cuarcitas de la formación Sandia (Ordovícico superior) estas formaciones están frecuentemente fallados y plegados, siendo frecuentes las pizarras.

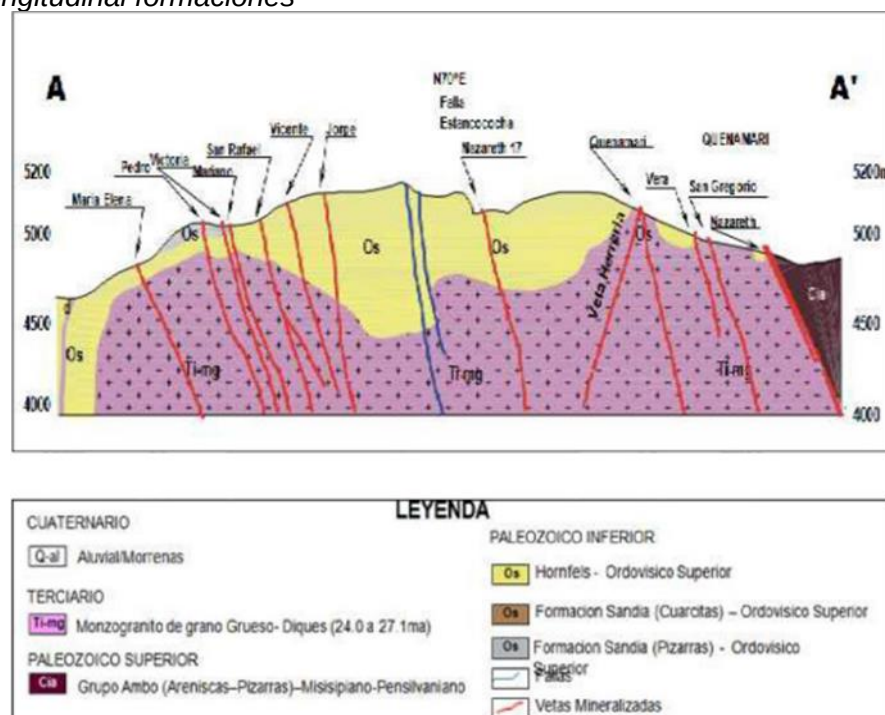
Estos sedimentos son intruidos por cuerpos botolíticos de edad triásica y por stock terciarios de composición granítica principalmente, habiendo dos stocks, uno en la mina San Rafael, denominado San Bartolomé de Quenamari y otro en la mina Carabaya, en el nevado San Francisco de Quenamari.

La mineralización que se ubica en el distrito minero San Rafael, es el origen hidrotermal y está en vetas del tipo relleno de fracturas, tanto en pizarras como en intrusivo y de reemplazamiento formando bolsones mineralizados en el intrusivo principalmente. Los afloramientos de las vetas estructurales corresponden a fallas pre-minerales, que tienen rumbos promedio N 10° - 60° W y buzamientos entre 40° - 75° NE.

Las filitas y cuarcitas de la formación Sandia han sido instruidas por dos stocks graníticos terciarios, en los alrededores se encuentran rocas del Paleozoico Superior.

**Figura 33**

*Sección longitudinal formaciones*



Fuente: Tesis Chistian Gutiérrez (2022)

### **2.6.3 Mineralogía**

Los principales grupos de mineralización hipogénicos de mena son: casiterita, estannita y chalcopirita, en menor proporción bismutina y plata.

Otras formaciones minerales son: valmorfita, esfalerita, galena enargita, estibina, chelita, wolframita. Los minerales con poco a nada de valor económico para su explotación son: cuarzo clorita, sílice, piritita, arsenopirita, Turmalina, calcita, fluorita, marcasita, pirrotita, rodocrosita, siderita y adularia. Minerales secundarios por oxidación o por enriquecimientos supergénicos son: bornita, calcocina, covelita, cuprita, malaquita, cobre nativo, acantita en una ganga goética, limonita, pirolusita, piromelano.

Estas formaciones fueron abundantes en la parte superior de las vetas San Rafael y Quenamari.

### **2.6.4 Mineralización y paragénesis**

La secuencia de mineralización de la veta San Rafael es compleja porque existen varias etapas en las que el cuarzo, clorita, casiterita y chalcopirita fueron repetidamente precipitados.

Esta mineralización es similar a las vetas de Sn-Cu de Cornwall-Devon, Inglaterra. (Clark 1983), Palma (1981) distinguió 4 etapas de mineralización:

#### **Primera etapa:**

##### **Vetas de cuarzo-turmalina.**

Esta etapa no tiene valores económicos, las temperaturas de homogenización de las inclusiones fluidas varían entre 385°C y las salinidades entre 38 y 60 % de NaCl equivalente en peso.

#### **Segunda etapa:**

##### **Casiterita botroidal-cuarzo-clorita.**

Esta es la más importante etapa de la mineralización de San Rafael. La casiterita botroidal está formada por agregados formados por la precipitación de una o más capas de casiterita y es llamada estaño mader (Woodtin), siendo de color marrón claro a marrón,



en esta etapa hay también abundante clorita cuarzo, y cantidades menores de chalcopirita, wolframita, shelita y arsenopirita.

A menudo se encuentra clorita finamente intercalada con casiterita botroidal. En algunos casos, la casiterita botroidal está recubierta por una fina capa de un mineral de color amarillo claro llamado valamorfita, las temperaturas de homogenización de las inclusiones fluidas varían entre 220°C a 400°C y las salinidades entre 5 a 18 % de NaCl equivalente en peso.

#### **Tercera etapa:**

##### **Chalcopirita-estaño aguja-cuarzo-clorita.**

Es la etapa principal de los sulfuros, con chalcopirita asociada con esfalerita, galena, pirita, arsenopirita, pirrotita, estannita, fluorita, bismuto nativo, clorita, cuarzo, adularia y poca casiterita. La casiterita acicular (neddletin) está en agregados radiales, clorita y cuarzo son los minerales de ganga más abundantes, (Kontak 1984) sostiene que en una etapa final de esta mineralización la homogenización de las inclusiones fluidas varía entre 210°C- 420°C y la salinidad entre 18 % de NaCl equivalente en eso.

#### **Cuarta etapa:**

##### **Vetas de cuarzo-calcita.**

Vetas de cuarzo o de cuarzo y calcita, las ultimas con trazas de chalcopirita y alteración cloritica. Estas vetas son de pocos cm. a 12 cm. o más de potencia, las temperaturas de homogenización varían entre 190°C a 290°C y las salinidades entre 1 y 5 % de NaCl equivalente en peso.

#### **2.6.5 Inventario de Recursos**

Se cuenta con un total de 7,742,435 TMS (Medidas e Indicadas), cubicadas y una ley promedio de Sn: 2.54% de Sn. Recursos Inferidos 3,253,023 TMS con leyes de Sn: 2.37% de Sn.

**Tabla 19***Recursos Mina*

| Cut Off – 0.46 %Sn (Sn=24,417 \$/TMF)                         |                   |             |                |
|---------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|----------------|
| <b>Recursos Mina Subterránea</b>                              | <b>t</b>          | <b>% Sn</b> | <b>TMF</b>     |
| Recurso Medico Mina Subterránea San Rafael                    | 4,016,379         | 2.77        | 111,338        |
| Recurso Medico Mina Subterránea San Rafael                    | 3,327,464         | 2.05        | 68,362         |
| Recurso Medido Mina Subterránea San German                    | 183,011           | 3.48        | 6,378          |
| Recurso Medido Mina Subterránea Puente y Pilares (AMEC)       | 183,859           | 5.33        | 9,800          |
| Recurso Medido Mina Subterránea Puente y Pilares (AMEC)       | 31,722            | 2.46        | 780            |
| <b>Recursos Medidos + Indicados Mina Subterránea</b>          | <b>7,742,435</b>  | <b>2.54</b> | <b>196,658</b> |
| Recurso Inferidos Mina Subterránea San Rafael                 | 2,396,500         | 1.89        | 45,274         |
| Recurso Inferidos Mina Subterránea San German                 | 856,523           | 3.70        | 31,694         |
| <b>Recurso Inferidos Mina Subterránea</b>                     | <b>3,253,023</b>  | <b>2.37</b> | <b>76,969</b>  |
| <b>Recurso Medico + Indicado + Inferidos Mina Subterránea</b> | <b>10,995,458</b> | <b>2.49</b> | <b>273,626</b> |

Fuente: Plan de Minado – San Rafael (2022)

**2.6.6 Inventario de Reservas**

Las reservas probadas se estiman en 2'965,452 TMS, con leyes promedio de 2.20% Sn, en tanto las reservas probables en 2'890,450 TMS, con leyes de 1.82% Sn.

**Tabla 20***Reservas Mina*

| Cut Off – 0.66 % Sn (Sn=21,422\$/TMF)               |                  |             |                |
|-----------------------------------------------------|------------------|-------------|----------------|
| <b>Reservas Mina</b>                                | <b>t</b>         | <b>% Sn</b> | <b>TMF</b>     |
| Reserva Probada Mina Subterránea con Modelo Bloque  | 2,965,452        | 2.20        | 65,116         |
| Reserva Probable Mina Subterránea con Modelo Bloque | 2,890,450        | 1.82        | 52,656         |
| Reserva Probada Puentes y Pilares (AMEC)            | 171,424          | 4.62        | 7,924          |
| Reserva Probable Puentes y Pilares (AMEC)           | 21,411           | 2.09        | 448            |
| Reserva Probada Total Mina Subterránea              | 3,136,877        | 2.33        | 73,040         |
| Reserva Probable Total Mina Subterránea             | <b>2,911,860</b> | <b>1.82</b> | <b>53,105</b>  |
| <b>Total Reserva MINA SUBTERRÁNEA</b>               | <b>6,048,737</b> | <b>2.09</b> | <b>126,145</b> |

Fuente: Plan de Minado – San Rafael (2022)

## **2.7 Métodos de explotación**

Los métodos de explotación subterránea aplicados en la Mina San Rafael difieren entre si principalmente en la metodología y el secuenciamiento de minado, los cuales generan comportamientos geomecánicos que interactúan de manera diferente entre los tajeos y las labores de avance de su entorno, debido al efecto de la disipación y concentración de los esfuerzos a los que son sometidos cuando se realiza excavaciones. Cada método de explotación posee una secuencia diferente de minado y dimensionamiento de excavaciones y pilares. A ello se agregan los efectos geomecánicos de la aplicación de relleno para el manejo de la estabilidad y el tiempo de exposición de las excavaciones generadas.

Actualmente los principales métodos de explotación aplicados en la son los siguientes:

- Minado por banqueo y relleno longitudinal (Bench & Fill).
- Sublevel stoping longitudinal con relleno cementado.
- Sublevel stoping transversal con relleno cementado.

### ***2.7.1 Minado de banqueo y relleno longitudinal (Bench and Fill)***

Este método contempla el minado a partir de dos subniveles previamente preparados y el uso de relleno detrítico (desmonte). El relleno es aplicado de manera continua, empezando desde un extremo del subnivel de explotación. En San Rafael es utilizado en situaciones de vetas angostas (menos de 3 m metros de potencia) y en vetas potentes (de 3 a 8 metros de potencia) en donde la zona que presenta mayor riesgo ante el desprendimiento de roca es la caja techo y en la bóveda del tajeo.

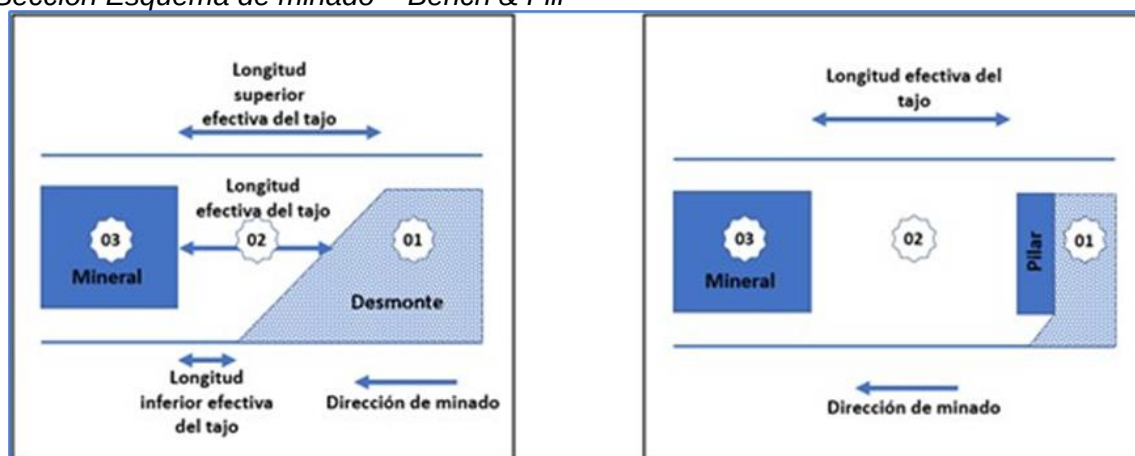
La estabilidad del tajeo es controlada por el ancho de la veta y la altura inclinada del tajeo sin sostenimiento, el cual representa el máximo radio hidráulico. En el caso de utilizar sostenimiento en la bóveda y caja techo de los tajeos, la aplicación de cable bolting es el estándar, influye en el mejoramiento de la estabilidad y el incremento de la longitud del tajeo, por lo mismo que deberá ser calculado usando el radio hidráulico de la bóveda y

caja techo sin sostenimiento. El uso del sostenimiento estándar instalado en las galerías (pernos, malla), solo tiene un efecto estabilizador localizado a nivel de la galería.

En San Rafael, el método de explotación estándar de banqueo y relleno no considera dejar pilares verticales, debido al uso de relleno de manera oportuna para el manejo del radio hidráulico.

**Figura 34**

*Sección Esquema de minado – Bench & Fill*



Fuente: Plan de Minado – San Rafael (2022)

### **2.7.2 Sublevel Stopping con relleno cementado longitudinal**

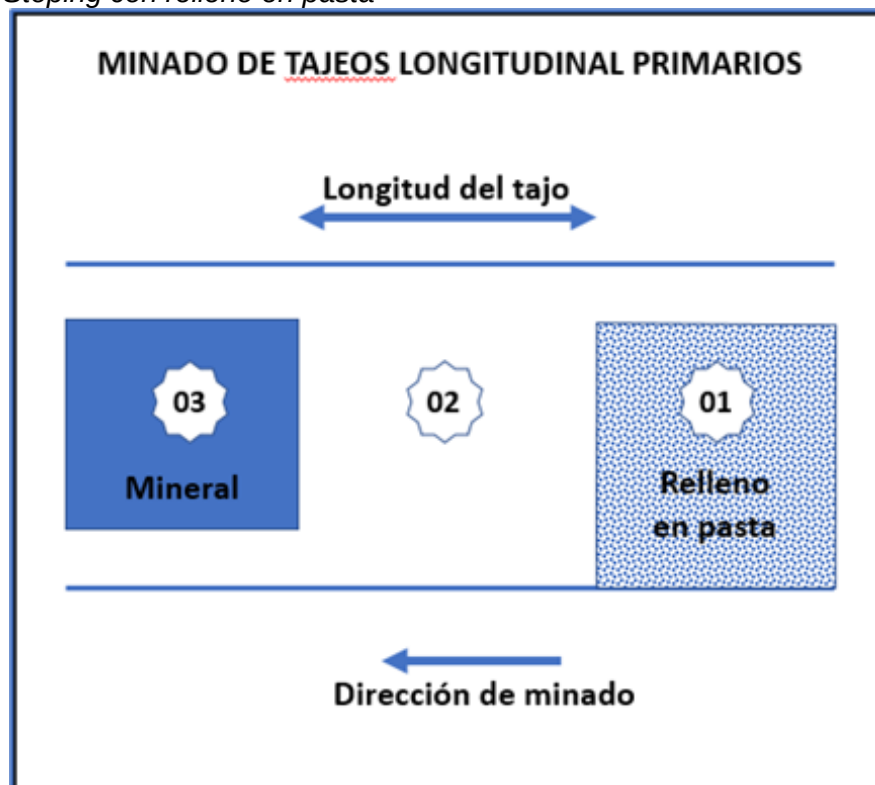
El método de Sublevel Stopping aplica el minado a partir de dos subniveles previamente preparados, y la aplicación de relleno en pasta una vez explotado el tajeo. El relleno es aplicado a través de un sistema de tuberías que desciende desde la planta del relleno hacia los tajeos vacíos (explotados) con la finalidad generar la estabilidad global del tajeo y el control del máximo radio hidráulico. De esta manera, el uso de relleno en pasta es fundamental para el control y reducción de riesgos que ocurra estallidos de roca en zonas sobre tensionadas de los niveles profundos de la Mina San Rafael.

El método sublevel stopping longitudinal es utilizado en vetas tanto angostas (potencias menores a 3 metros) como potentes (3 - 8 metros de potencia) en donde la pared que usualmente presenta mayor inestabilidad es la caja techo y en zonas potentes la bóveda del tajeo. La aplicación de relleno en pasta debe cumplir con la resistencia solicitado por el área de geomecánica que según los requerimientos es mínimo (100 kPa) dependiendo de la secuencia de minado y geometría del tajeo podría requerir hasta 170

kPa, por ende, el relleno en pasta se considera un elemento principal para el control de la estabilidad global de tajeos.

**Figura 35**

*Sub Level Stoping con relleno en pasta*



Fuente: Plan de Minado – San Rafael (2022)

### **2.7.3 Sublevel Stoping con relleno cementado transversal**

El método de Sublevel Stoping aplica el minado

Para la explotación de cuerpos de mineral con potencias mayores a los 8 metros, se aplica el minado de tajeos transversales para reducir el riesgo de inestabilidad geomecánica, el mismo que considera el minado a partir de dos subniveles previamente preparados y tajeos orientados de manera transversal a la dirección del eje de la veta con uso de relleno en pasta. El relleno aplicado de manera transversal y continua a lo largo de la longitud de la veta, a través de un sistema de tuberías que desciende desde la planta del relleno hacia los tajeos vacíos con la finalidad de aumentar la estabilidad local y global del tajo y el control del máximo radio hidráulico.

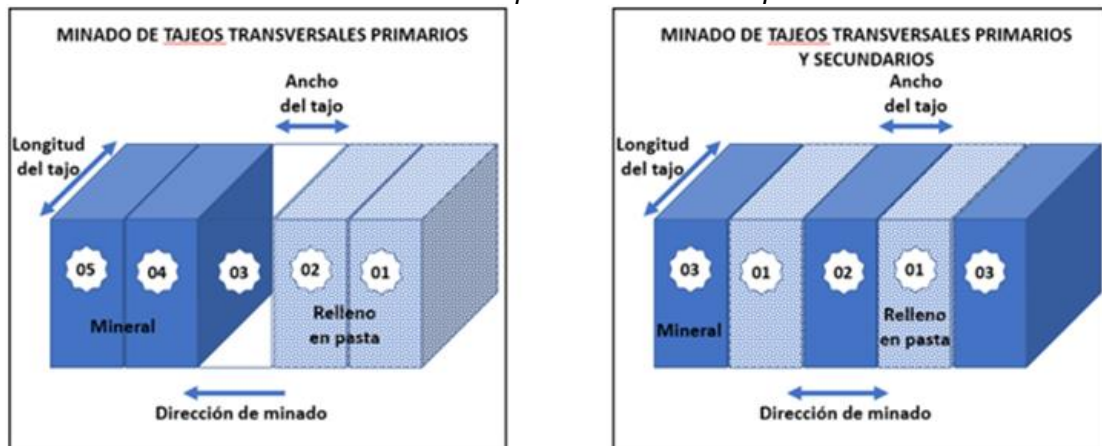
La aplicación del sostenimiento en los tajeos en el minado transversal, esta orientados a las zonas de mayor riesgo que son las paredes laterales y del tajo, cuando

la calidad de roca es desfavorable o está cercana a antiguas zonas explotadas. Para estos casos el uso de cable bolting y el control del radio hidráulico puede favorecer la estabilidad del tajeo controlando la sobre-excavación.

En la Figura 15 se muestra la secuencia de minado aplicado en los tajos transversales.

**Figura 36**

*Secuencia de minado transversal de cuerpos con relleno en pasta*



Fuente: Plan de Minado – San Rafael (2022)

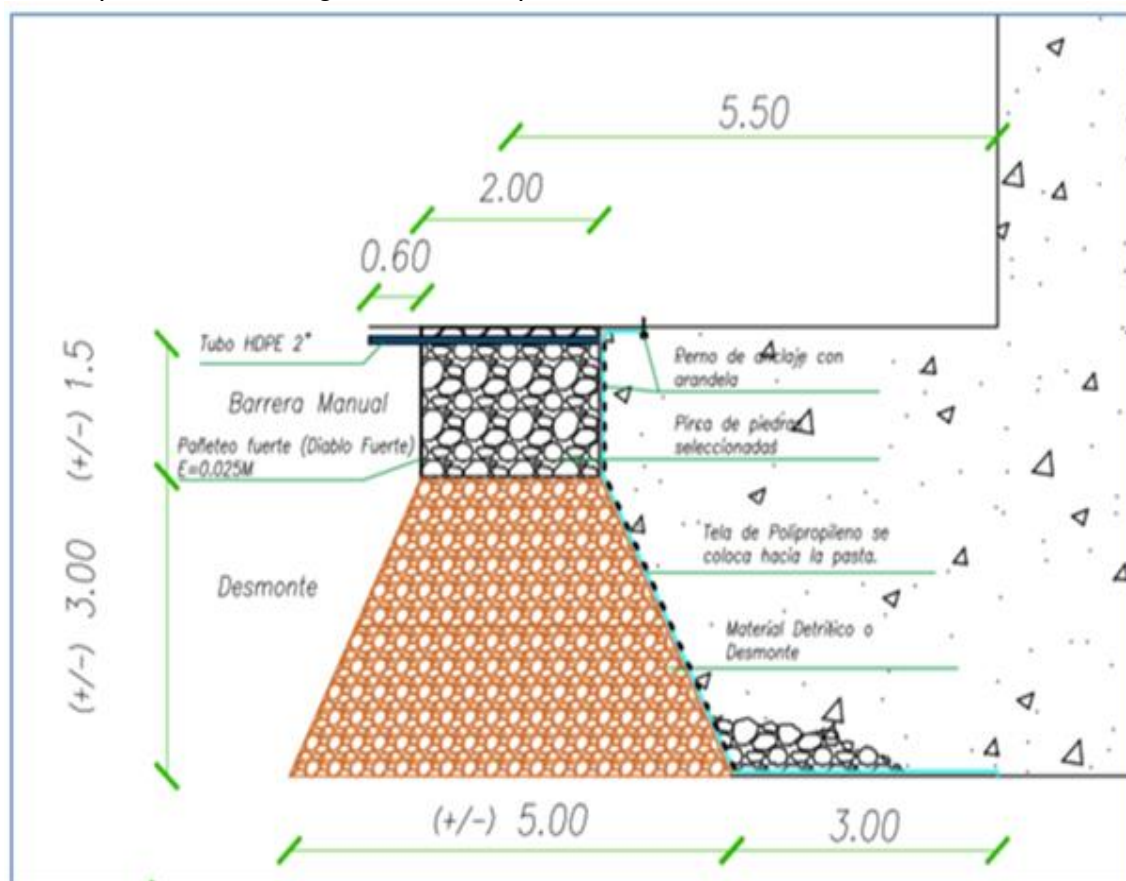
## Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

### 3.1 Diseño de barrera para relleno en pasta (diseño antiguo)

El diseño antiguo y aun empleado para barreras de relleno en pasta consta de un pircado de piedra sobre el dique (desmante), consolidado a base de un diablo fuerte (mezcla de yeso y cemento), protegido en la parte de contacto con la pasta con tela arpillera, de este modo se evitan filtraciones o fugas asegurando la estabilidad de la barrera durante el tiempo de fraguado del relleno (28 días).

**Figura 37**

*Vista en perfil Diseño antiguo de barrera para relleno.*



Fuente: Estudio de diseño de barrera – San Rafael (2022)

El tiempo de ejecución de esta barrera se detalla en la siguiente tabla

**Tabla 21***Cronograma de ejecución de barreras – Diseño antiguo*

| Nivel   | Actividades                                                                  | Rendimiento<br>(guardia) | 1 |   | 2 |   | 3 |   | 4 |   | 5 |   |
|---------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|         |                                                                              |                          | D | N | D | N | D | N | D | N | D | N |
| General | Pircado de barrera prell (3.5m x 3.5m)                                       | Und                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|         | Acumulación de carga para barrera, construcción de dique                     | 0.50                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|         | Acopio de piedra                                                             | 0.50                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|         | Construcción de barrera prell (Pircado)                                      | 2.00                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|         | Colocación de tela de polipropileno y anclaje del mismo con perno de anclaje | 0.50                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|         | Pañeteo de barrera                                                           | 0.50                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|         |                                                                              | 4.00                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

Fuente: Elaboración propia

Observando que el tiempo de ejecución de esta barrera es de 4 guardias (2 días).

Considerando los costos tanto de mano de obra como de equipos por hora y materiales utilizados en su construcción tenemos el siguiente resumen:

**Tabla 22***Detalle de costos por barrera – Diseño antiguo*

| Costo Mano de Obra            |        |             |            |            |
|-------------------------------|--------|-------------|------------|------------|
| Descripción                   | Hh     | Costo HH \$ | Parcial \$ |            |
| Maestro                       | 42     | 3.36        | 141.12     |            |
| Ayudante                      | 84     | 2.91        | 244.44     |            |
|                               |        |             | 385.56     |            |
| Costo Horas Maquina           |        |             |            |            |
| Descripción                   | Hm     | Costo HM \$ | Parcial \$ |            |
| Scoop 2.2 cy                  | 17.5   | 124.73      | 2,182.78   |            |
|                               |        |             | 2,182.78   |            |
| Materiales                    |        |             |            |            |
| Descripción                   | Unidad | Cantidad    | PU\$       | Parcial \$ |
| Cemento de 25 kg              | Bls    | 12          | 4.50       | 54.00      |
| Yeso en polvo                 | Bls    | 4           | 6.76       | 27.04      |
| Tela arpillera (polietileno)  | M      | 45          | 3.75       | 168.75     |
| Perno anclaje c/arandela us-0 | pza    | 100         | 1.50       | 150.00     |
|                               |        |             |            | 399.79     |

Fuente: Elaboración propia



## Resumen de costo por barrera:

**Tabla 23**

*Resumen de costos por barrera – Diseño antiguo*

| Barrera (Diseño antiguo)   |                 |
|----------------------------|-----------------|
| Costo Herramientas         | 29.89           |
| Costo Mano de Obra         | 385.56          |
| Costo Hora Máquina (scoop) | 2,182.78        |
| Costo Materiales           | 399.79          |
| Costo Fijo                 | 958.88          |
| <b>Costo Total (\$)</b>    | <b>3,956.90</b> |

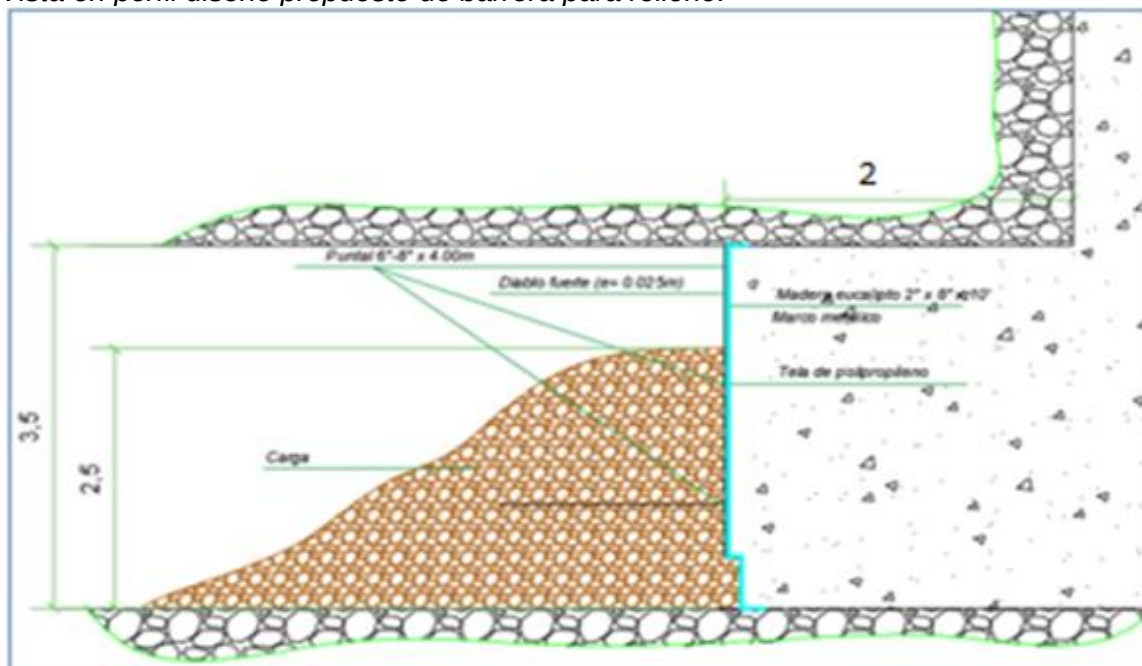
Fuente: Elaboración propia

### 3.2 Diseño de barrera para relleno en pasta (diseño nuevo)

El nuevo diseño para barreras de relleno en pasta consta de una barrera de madera con un marco metálico el cual se encuentra anclado con 6 barras a los hastiales, protegido en el área de contacto con el relleno en pasta con tela arpillera. Sobre esta barrera se coloca carga a fin de complementar la resistencia de la barrera.

**Figura 38**

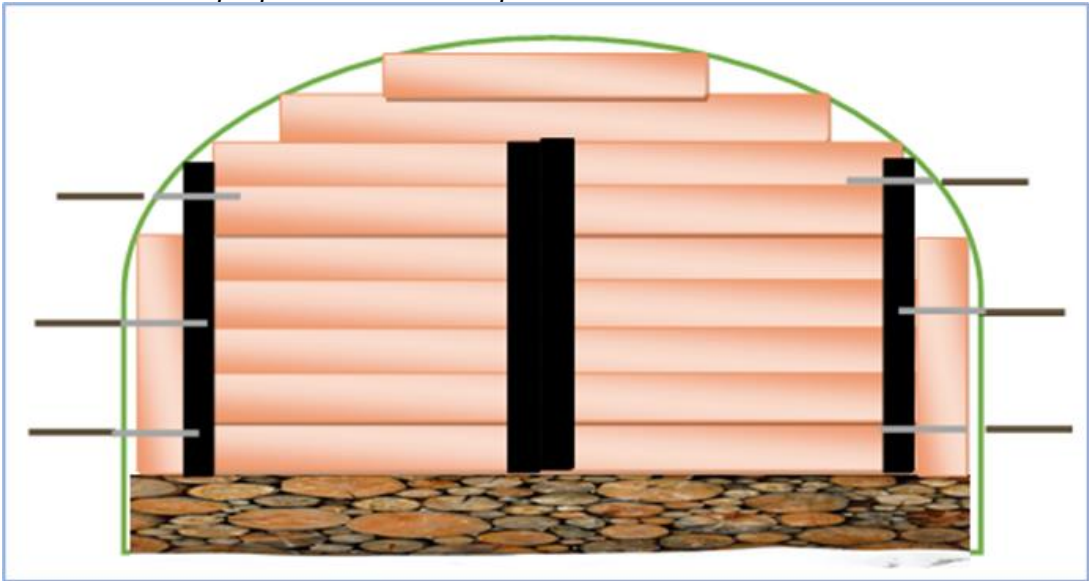
*Vista en perfil diseño propuesto de barrera para relleno.*



Fuente: Estudio de diseño de barrera – San Rafael (2022)

**Figura 39**

*Vista frontal diseño propuesto de barrera para relleno.*



Fuente: Estudio de diseño de barrera – San Rafael (2022)

El tiempo de ejecución de la barrera propuesta se detalla en la siguiente tabla

**Tabla 24**

*Cronograma de ejecución de barreras – Diseño Propuesto*

| Nivel          | Actividades                                            | Rendimiento<br>(guardia) | 1 |   | 2 |   | 3 |   | 4 |   | 5 |   |
|----------------|--------------------------------------------------------|--------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|                |                                                        |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                |                                                        |                          | D | N | D | N | D | N | D | N | D | N |
| 4239, Kimberly | Construcción de tapón con marco metálico (3.5m x 3.5m) | Und                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                | Reforzamiento de barrera (piso para barreta)           | 0.50                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                | Instalación de estructura metálica                     | 0.50                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                | Entablado de barrera                                   | 0.50                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                | Pañeteo de barrera                                     | 0.50                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                |                                                        | 2.00                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

Fuente: Elaboración propia

Observando que el tiempo de ejecución de esta barrera es de 2 guardias (1 día).

El nuevo diseño para barreras de relleno en pasta emplea materiales reutilizados en su construcción, por lo cual se considera costos depreciados para los siguientes materiales:

- Barras de simba en desuso, para el anclaje en los hastiales del marco de metálico.
- Madera para el entablado (eucalipto).

**Tabla 25***Detalle de costos por barrera – Diseño propuesto*

| Costo Mano de Obra             |        |             |            |            |                 |
|--------------------------------|--------|-------------|------------|------------|-----------------|
| Descripción                    | Hh     | Costo HH \$ | Parcial \$ |            |                 |
| Maestro                        | 21     | 3.36        | 70.56      |            |                 |
| Ayudante                       | 42     | 2.91        | 122.22     |            |                 |
|                                |        |             | 192.78     |            |                 |
| Costo Horas Maquina            |        |             |            |            |                 |
| Descripción                    | Hm     | Costo HM \$ | Parcial \$ |            |                 |
| Scoop 2.2 cy                   | 7.8    | 124.73      | 972.89     |            |                 |
|                                |        |             | 972.89     |            |                 |
| Materiales                     |        |             |            |            |                 |
| Descripción                    | Unidad | Cantidad    | PU\$       | Parcial \$ | Depreciación \$ |
| Cemento de 25 kg               | bls    | 6           | 4.50       | 27.00      | 27.00           |
| Yeso en polvo                  | bls    | 2           | 6.76       | 13.52      | 13.52           |
| Tela arpillera (polietileno)   | m      | 25          | 3.75       | 93.75      | 93.75           |
| Perno anclaje c/arandela us-0  | pza    | 60          | 1.50       | 90.00      | 90.00           |
| Madera eucalipto 2" x 8" x 10' | PZA    | 24          | 20.27      | 486.49     | 60.81           |
| Taladros simba                 | PZA    | 6           | 23.00      | 138.00     | 34.50           |
| Alambre fierro negro N° 8      | KG     | 10          | 2.32       | 23.24      | 23.24           |
|                                |        |             |            | 872.00     | 342.82          |

Fuente: Elaboración propia

Resumen de costo por barrera:

**Tabla 26***Resumen de costos por barrera – Diseño propuesto*

| <b>Barrera (Diseño nuevo)</b> |                 |
|-------------------------------|-----------------|
| Costo barrera de madera       | 7.77            |
| Costo Mano de Obra            | 192.78          |
| Costo Hora Máquina (scoop)    | 972.89          |
| Costo Materiales              | 342.82          |
| Costo Fijo                    | 898.32          |
| <b>Costo Total (\$)</b>       | <b>2,414.59</b> |

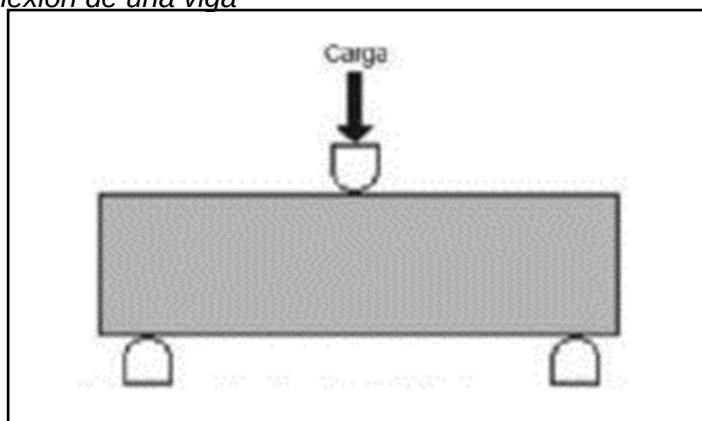
Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1 Resistencia del nuevo diseño de barrera para relleno en pasta

Considerando los siguientes parámetros de en función a los esfuerzos aplicados sobre la madera:

**Figura 40**

*Resistencia a la flexión de una viga*



Fuente: Resistencia a la flexión de vigas – Miguel Cervera Ruiz (2015)

Según el trabajo de investigación realizado por Guarniz Linares, Christian Alexander (Cajamarca), determino que la Resistencia a la Flexión de vigas macizas de Eucalipto es en promedio 1,229 kg/cm<sup>2</sup> (Anexo 1).

Respecto al acero, su límite de fluencia (límite de la zona elástica y plástica) es 250 Mpa = 2,500 Kg/cm<sup>2</sup>.

#### **Esfuerzos:**

En la siguiente Tabla 22, se muestra la relación de esfuerzos que intervienen de la interacción del relleno en pasta y la estructura que realiza la función de barrera.

**Tabla 27**

*Resumen - Resistencia de materiales*

|                                                               |             |
|---------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>1. Resistencia de la madera</b>                            |             |
| Resistencia a la flexión (kg/cm <sup>2</sup> )                | 1229        |
| <b>2. Resistencia del acero</b>                               |             |
| Límite de fluencia (kg/cm <sup>2</sup> )                      | 2500        |
| <b>Resistencia Total de la Estructura (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | <b>3729</b> |
| Esfuerzo aplicado por la Pasta (kg/cm <sup>2</sup> )          | 0.99        |

Fuente: Elaboración propia

Se determina que la barrera compuesta por madera y un borde metálico anclado, presenta mayor resistencia que respecto a la fuerza aplicada de la pasta sobre la barrera, por lo cual determinados que no se presentara ningún tipo de deformación en la estructura.

**Momentos:**

Determinando los momentos ejercidos por el relleno en pasta en las barras de empotramiento de la estructura metálica se tiene la siguiente información (Tabla 23):

**Tabla 28**

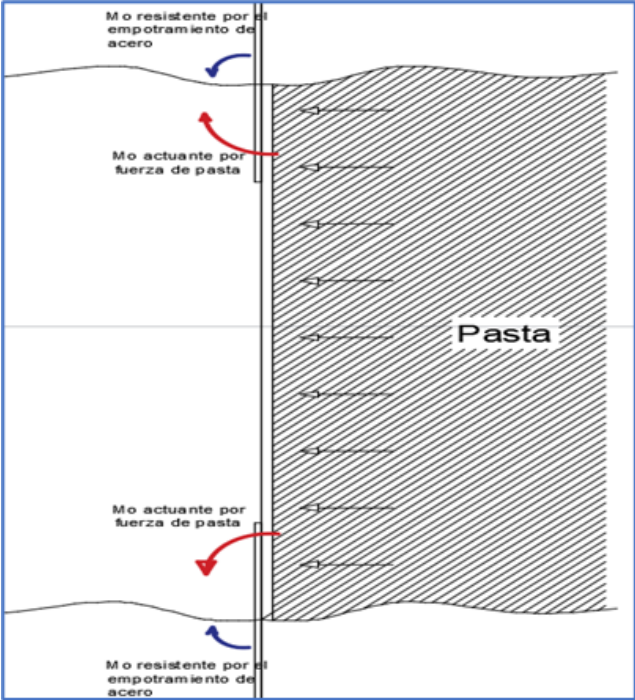
*Resumen – Resultante de momentos*

| Resistencia por empotramiento                        |                  |
|------------------------------------------------------|------------------|
| <b>1. Resistencia de la varilla</b>                  |                  |
| Límite de fluencia de varilla (kg/cm2)               | 4,200            |
| Momento resistente                                   | 19,202,400       |
| <b>2. Fuerza aplicada en la varilla por la pasta</b> |                  |
| Flexión aplicada en la varilla                       | 21,166,250       |
| <b>Diferencia de Momento (kg/cm)</b>                 | <b>1,963,850</b> |

Fuente: Elaboración propia

**Figura 41**

*Momentos actuantes sobre la estructura*



Fuente: Estudio de diseño de barrera – San Rafael (2022)

Analizando la relación de momentos, se identifica que las barras, con las cuales se empotra el marco de estructura metálica, no ejercerán la fuerza suficiente para genera un momento mayor al generado por el relleno en pasta, por lo cual siempre será necesario usar carga (desmonte) en la cara posterior de la barrera.

**Considerando el estándar :**

- Altura de la carga (2.5 m)
- Base de la carga ( 3m )

**Cálculo de carga de desmonte:**

Resistencia a la flexión de la pasta 0.99 kg/cm<sup>2</sup> ,

Se requiere una resistencia > 1 963 850 kg.cm

0.99 x Volumen Desmonte > 1 963 850 kg.cm

Volumen Desmonte > 1 983 686

(350x Área Perfil Longitudinal)/2 > 1 983 686

Área Perfil Longitudinal > 11 334 cm<sup>2</sup>

- Se necesita sea mayor 1.0 m de altura y 1.5m de base de carga – 15 000 cm<sup>2</sup>

**Seguridad al desplazamiento:**

**Tabla 29**

*Fuerzas actuantes sobre la estructura*

|                              |                                                                                                                            |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                              | - Fricción de barrera contra el hastial                                                                                    |
| Fuerza Resistente Horizontal | - Fricción de la barrera contra el piso                                                                                    |
|                              | - Resistencia a cortante del relleno de acuerdo a su tiempo de fraguado (Fuerza de apoyo por fraguado a distintas alturas) |
| Fuerza Actuante Horizontal   | - Empuje lateral propio                                                                                                    |
|                              | - Fuerza sísmica de pasta                                                                                                  |

Fuente: Estudio de diseño de barrera – San Rafael (2022)

**Fuerza actuante horizontal:**

**Empuje lateral.**

Coeficientes de presión lateral

**Factores de apoyo para calculo**

Factor1      0.56

|                                               |                       |                |
|-----------------------------------------------|-----------------------|----------------|
| Factor2                                       |                       | 0.90           |
| Factor3                                       |                       | 3.33           |
| Coeficiente de presión activa                 | Ka                    | 0.19           |
| Altura activa                                 | = ha                  | 20.00 m        |
| Altura de barrera                             | = hb= h2              | 3.5 m          |
| Carga lateral a nivel de corona de la barrera | = Cp1=Ka*γp*(ha-hb)*L | 20,230.64 Kg/m |
| Carga lateral a nivel de piso                 | = Cp2=Ka*γp*(ha)*L    | 24,521.99 kg/m |
| Empuje activo                                 | = Ea=(Cp1+Cp2)*hb     | 78,318.00 Kg   |

$$K_{ae} = \frac{\cos(\phi - \theta + \beta)^2}{\cos \theta \cos^2 \beta \cos(\delta - \beta + \theta) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \theta + i)}{\cos(\delta - \beta + \theta) \cos(i - \beta)}} \right]^2} \dots \dots \dots (3)$$

### Fuerza sísmica de la pasta

|                                               |    |       |
|-----------------------------------------------|----|-------|
| Coeficiente sísmico de aceleración horizontal | Z  | 0.35  |
| Coeficiente de aceleración horizontal         | Kh | 0.175 |
| Coeficiente de aceleración vertical           | Kv | 0     |

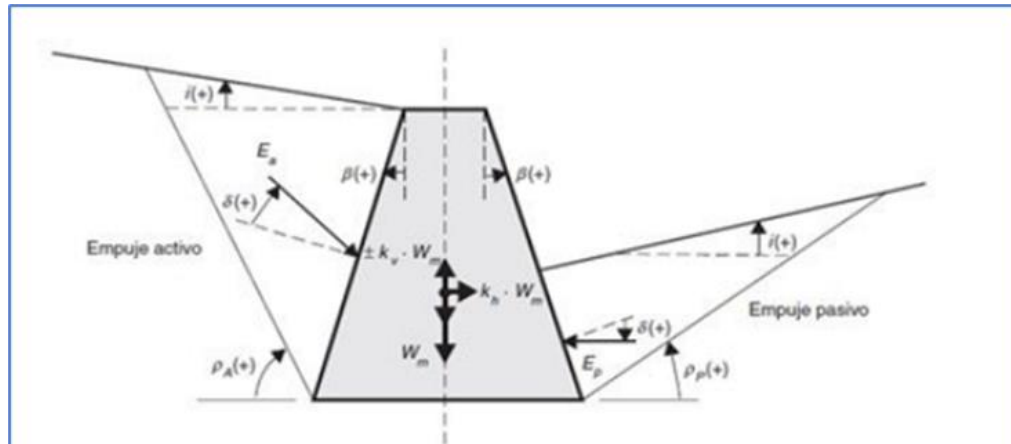
|                                                   |   | Grados | Radianes |
|---------------------------------------------------|---|--------|----------|
| Angulo de fricción                                | Φ | 41.37  | 0.72     |
| Angulo a base de coeficientes                     | Θ | 9.93   | 0.17     |
| Angulo de inclinación del muro con la vertical    | β | -      | 0.00     |
| Angulo de fricción entre la pasta y muro          | δ | 26.00  | 0.45     |
| Angulo del material de la pasta con la horizontal | i | -      | 0.00     |

### Factores de apoyo para calculo

|                                                                           |     |                     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|---------------------|
| Factor1                                                                   |     | 0.728               |
| Factor2                                                                   |     | 0.798               |
| Factor3                                                                   |     | 3.137               |
| Coeficiente de presión activa Sísmica del Terreno                         | Kae | 0.291               |
| Carga lateral a nivel de corona de la barrera: Cps1=(Kae-Ka)*γp*(ha-hb)*L |     | 11,012.53           |
| Carga lateral a nivel de piso: Cps2=(Kae-Ka)*γp*(ha)*L                    |     | 13,348.52           |
| Fuerza de acción sísmica: Fas=(Cp1+Cp2)*hb*0.5                            |     | <b>42,632.00 Kg</b> |
| Brazo de palanca: hae                                                     |     | 1.75 m              |

**Figura 42**

*Fuerzas actuantes sobre la barrera*



Fuente: Estudio de diseño de barrera – San Rafael (2022)

### Fuerza Resistente Horizontal:

### Fricción de barrera contra el hastial.

Coefficientes de presión lateral

### Factores de apoyo para calculo

|         |      |
|---------|------|
| Factor1 | 0.00 |
| Factor2 | 0.82 |
| Factor3 | 1.00 |

|                                                    |                                                     | Grados | Radianes     |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------|--------------|
| Angulo de fricción                                 | $\Phi$                                              | 90.00  | 1.57         |
| Angulo a base de coeficientes                      | $\theta$                                            | 0.00   | 0.00         |
| Angulo de inclinación del muro con la vertical     | $\beta$                                             | 0.00   | 0.00         |
| Angulo de fricción entre el muro y el hastial      | $\delta$                                            | 35     | 0.61         |
| Angulo del material de barrera con la horizontal i |                                                     | 90.00  | 1.57         |
| Coefficiente de presión activa                     | $K_a$                                               | 0.00   |              |
| Altura activa                                      | $h_a = h_b$                                         | 3.50 m |              |
| Ancho medio                                        | $L_m = (A_1 + A_2) / (h_b)$                         |        | 1.1          |
| Carga Lateral a nivel de Corona de la barrera      | $C_{pb} = K_a \cdot \gamma_p \cdot (h_b) \cdot L_m$ |        | 0.00 Kg/m    |
| Empuje Activo                                      | $E_a = (C_{pb}) \cdot h_b \cdot 0.5 \cdot 0.8$      |        | 1.00 Kg      |
| Fricción sobre hastiales                           | $F_r = f \cdot E_{ah}$                              |        | 0.700        |
| Resultante de fricción                             | $R_f = 2F_r$                                        |        | <b>1.400</b> |



## Fricción de la barrera contra el piso

**Tabla 30**

*Detalle – Pesos de los componentes de la barrera*

| Elemento                                                 | Área | Largo | PU      | Peso       |
|----------------------------------------------------------|------|-------|---------|------------|
| Desmonte                                                 | 3.8  | 3.50  | 2750    | 36093.8    |
| Pasta acumulada                                          | 2.8  | 3.50  | 1860    | 18228.0    |
| Entablado                                                | 0.2  | 3.50  | 820     | 686.1      |
| Barrera Metálica                                         | 1.8  | 3.50  | 7850.00 | 48081.3    |
| Peso total Pt                                            |      |       |         | 103,089 kg |
| Fricción contra el piso $F_{rp}=f*Pt$ <b>72183.75 kg</b> |      |       |         |            |

Fuente: Estudio de diseño de barrera – San Rafael (2022)

### Resistencia cortante al relleno (tiempo de fraguado según alturas)

Rendimiento de Vertido                      =            77    m<sup>3</sup>/hr

Porcentaje de rendimiento a la compresión por estrato

| Alto | Ancho | Largo | Volumen | Horas      | Hrs Fraguado | % Resistencia |
|------|-------|-------|---------|------------|--------------|---------------|
| 5    | 3.5   | 15    | 262.5   | 3.40909091 | 13.6363636   | 9             |
| 6.5  | 3.5   | 15    | 341.25  | 4.43181818 | 7.84090909   | 5             |
| 8.5  | 3.5   | 15    | 446.25  | 5.79545455 | 5.79545455   | 4             |

13.6363636

Angulo de inclinación de falla     $\Phi$             41.373737374°

0.72210794 rad

Resistencia a cortante por estrato

| Alto | Di    | L      | Resistencia | % Resistencia | Resistencia | Cortante |
|------|-------|--------|-------------|---------------|-------------|----------|
| 5    | 6.66  | 5.677  | 1.33        | 9             | 0.12        | 68491.4  |
| 6.5  | 8.66  | 7.380  | 1.33        | 5             | 0.07        | 66365.6  |
| 8.5  | 11.33 | 9.650  | 1.33        | 4             | 0.05        | 77623.6  |
|      |       | 22.707 |             |               |             | 212480.5 |

**159448.4**

**Tabla 31**

*Factor de seguridad al desplazamiento*

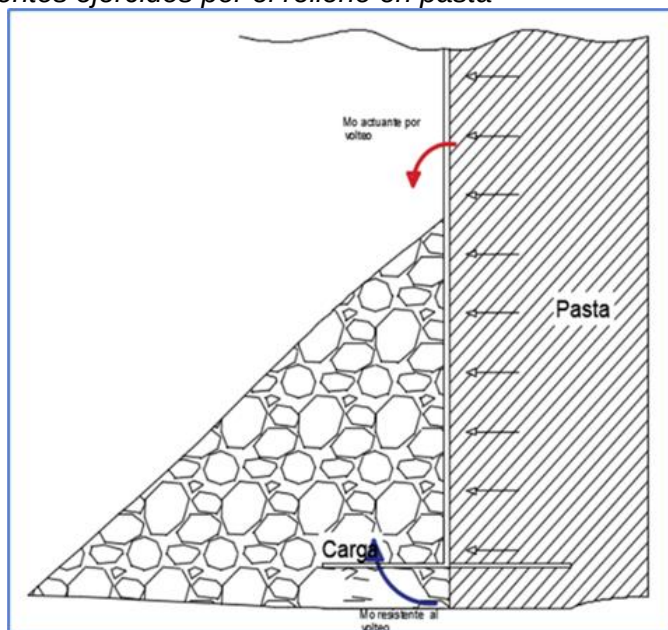
|                                       |                          |            |    |
|---------------------------------------|--------------------------|------------|----|
| Fuerza Resistente Horizontal          | $H_r = Frp + Rf + Rc$    | 231,633.53 | Kg |
| Fuerza Actuante Horizontal            | $H_a = Fas + Ea$         | 120,950.00 | Kg |
| Factor de Seguridad al Desplazamiento | $F.S.D. = H_r / H_a > 1$ | 1.92       | ok |

Fuente: Elaboración propia

Se tendría un Factor de seguridad al Desplazamiento de 1.92.

**Figura 43**

*Esquema de momentos ejercidos por el relleno en pasta*



Fuente: Estudio de diseño de barrera – San Rafael (2022)

### 3.3 Limpieza de relleno en pasta

Cumplido el objetivo de haber rellenado el tajo objetivo y como parte del ciclo de minado, la habilitación del área para retomar el minado contempla el limpiado y habilitación del punto donde se realizó la estación de la barrera.

Considerando los siguientes datos para la limpieza y habitación con el método tradicional de barrera empleada:

**Método antiguo:**

Tiempo de limpieza = 5 guardias

2.5 días

Costo mensual = 46,000 \$

En el diseño antiguo la longitud de limpieza es de 6.5 m donde se contempla la limpieza del dique con su respectivo pircado y parte del relleno en pasta.

El nuevo método al solo contener desmonte como material principal para ser removido, reduce el tiempo de limpieza considerablemente, reduciendo el costo por limpieza de cada punto donde se realizó la estación de la barrera, longitud de limpieza 2 m aproximadamente.

**Método nuevo:**

Tiempo de limpieza = 2 guardias  
1 día

Costo mensual = 18,400 \$

Comparando el costo asignado a la limpieza de estas ventanas podemos evidenciar que se tendría un ahorro presupuestado de \$ 27,600 / mes, esto considerando mantener el mismo ritmo de producción por ende el mismo requerimiento de áreas para producción.

### **3.4 Recolección de información – Pruebas de campo**

Para la ejecución de las pruebas en campo de la aplicación de la nueva barrera se tuvieron las siguientes consideraciones:

#### **3.4.1 Peligros y riesgos identificados - Instalación de la nueva barrera**

**Peligros y Riesgos:**

- Roca suelta
- Atrapamiento
- Manipulación de materiales

**Controles**

- Perforación y voladura controlada; desate respectivo.
- Uso de tecles para el manipuleo de las estructuras metálicas y madera.
- Uso obligatorio de guantes y lentes de seguridad.

#### **3.4.2 Proceso de construcción de las barreras**

- La construcción de las barreras estuvo a cargo de la ECM AESA.
- Se realizó un encamado de 50 cm con desmonte

- Se realizó el traslado con scoop de 2.2 yd<sup>3</sup> de la estructura armada hacia el punto donde se instalará la barrera.
- Se realizó el traslado con scoop de 2.2 yd<sup>3</sup> de la tela arpillera.
- Se realizó las instalaciones de las estructuras metálicas con las tablas respectivas a 3 m del tajo en vacío.
- Se realizó el hermetizado con la tela arpillera.
- Se realizó la colocación de las barras de simba (en desuso) en los taladros previamente perforados.
- Reforzamiento de la estructura con la colocación de desmonte (dique) al lado izquierdo de la barrera.

### **3.4.3 Evidencias**

- Ubicación: Nivel 4239 Kimberly Lado E

Fecha: 20/11/2023

#### **Figura 44**

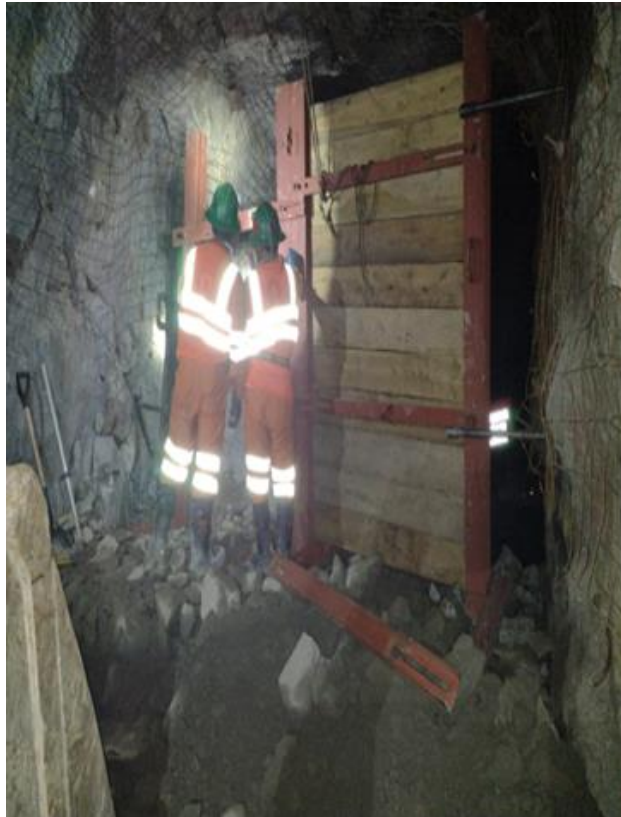
*Instalación de barrera con estructura metálica.*



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 45**

*Instalación de barrera con estructura metálica.*



Fuente: Elaboración Propia

- Ubicación: Nivel 4239 Kimberly Lado W

Fecha: 21/11/2023

**Figura 46**

*Traslado e instalación de barrera.*



Fuente: Elaboración Propia

### **Figura 47**

*Instalación de barrera.*



Fuente: Elaboración Propia

- Ubicación: Nivel 4214 Karen

Fecha: 23/11/2023

### **Figura 48**

*Instalación de barrera.*



Fuente: Elaboración propia

- Ubicación: Nivel 4214 Karen

Fecha: 26/11/2023

### **Figura 49**

*Instalación de barrera*



Fuente: Elaboración Propia

## Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados

### 4.1 Evaluación económica

Se realiza la evaluación económica considerando los siguientes parámetros:

- Tasa de oportunidad (%):  
15%
- Metros de avance en preparaciones 2024 (m):  
23,176 m
- Incidencia de avance en relleno (%):  
8%
- Metros estimados de avance en relleno (m):  
155 m / mes

#### Diseño antiguo:

- |                                                |                  |
|------------------------------------------------|------------------|
| ▪ Avance promedio en relleno (m):              | 6.38 m / barrera |
| ▪ Precio unitario de avance en relleno (\$/m): | 686.3            |
| ▪ Número de barreras mensual:                  | 24 barreras      |
| ▪ Precio unitario de barrera actual (\$):      | 3,956.9          |

#### Diseño nuevo:

- |                                                |                 |
|------------------------------------------------|-----------------|
| ▪ Avance promedio en relleno (m):              | 2.0 m / barrera |
| ▪ Precio unitario de avance en relleno (\$/m): | 686.3           |
| ▪ Número de barreras mensual:                  | 24 barreras     |
| ▪ Precio unitario de barrera actual (\$):      | 2,414.59        |



**Tabla 32**

*Detalle costo unitario (Barrera – Diseño antiguo)*

| ANTIGUO DISEÑO                                                          |           |                             |            |            |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------|------------|------------|
| 1. Pircado y pañeteo de barrera                                         |           |                             |            |            |
| 8.10 Pircado y pañeteo de barreras.<br>3.5x3.5x2, secciones típicas y o |           |                             | 29.89      |            |
| 2. Costo mano de obra                                                   |           |                             |            |            |
| Descripción                                                             | Hh        | Costo HH \$                 | Parcial \$ |            |
| Maestro                                                                 | 42        | 3.36                        | 141.12     |            |
| Ayudante                                                                | 84        | 2.91                        | 244.44     |            |
|                                                                         |           |                             | 385.56     |            |
| 3. Costo Horas máquina                                                  |           |                             |            |            |
| Descripción                                                             | Hm        | Costo HM \$                 | Parcial \$ |            |
| Scoop 2.2 cy                                                            | 17.5      | 124.73                      | 2,182.78   |            |
|                                                                         |           |                             | 2,182.78   |            |
| 4. Materiales                                                           |           |                             |            |            |
| Descripción                                                             | Unidad    | Cantidad                    | PU \$      | Parcial \$ |
| Cemento de 25 kg                                                        | bls       | 12                          | 4.50       | 54.00      |
| Yeso en polvo                                                           | bls       | 4                           | 6.76       | 27.04      |
| Tela arpillera (polietileno)                                            | m         | 45                          | 3.75       | 168.75     |
| Perno anclaje c/ arandela US.0                                          | pza       | 100                         | 1.50       | 150.00     |
|                                                                         |           |                             |            | 399.79     |
| 5. Costo fijo                                                           |           |                             |            |            |
| % a distribuir para pircado según Ppto                                  |           | 57 %                        |            |            |
| Monto costo fijo                                                        |           | 56,229.02                   |            |            |
| Monto por barrera                                                       |           | 1,526.22                    | 1,512.14   |            |
|                                                                         |           | Según peso del monto s dist |            |            |
| Gastos Lima                                                             |           | 2.75 %                      | 41.91      |            |
| Mano de Obra                                                            |           |                             |            |            |
| MO Indirecta                                                            | Indirecta | 7.94 %                      | 121.12     |            |
|                                                                         | Conductor | 6.15 %                      | 93.80      |            |
| MO directa                                                              | Directa   | 37.17 %                     | 567.34     |            |
|                                                                         | Epp       | 2.37 %                      | 36.21      |            |
|                                                                         | Scoop 4.2 | 2.75 %                      | 41.93      |            |
|                                                                         | Scoop 2.2 | 13.31 %                     | 203.28     |            |
|                                                                         | Minicarga | 0.00 %                      | -          |            |
| Gastos generales mina                                                   |           | 19.00 %                     | 289.97     |            |
| Personal de contingencia                                                |           | 0.00 %                      | -          |            |
| Costos control Covid-19                                                 |           | 4.00 %                      | 60.99      |            |
| Ajuste de costos /abr – dic)                                            |           | 0.00 %                      | -          |            |
| Servicios especializados para implementación                            |           | 1.83 %                      | 27.88      |            |
| Reintegro de costos de ene – feb 2022                                   |           | 0.50 %                      | 7.69       |            |
| Servicios especializados para implementación                            |           | 2.23 %                      | 34.10      |            |
|                                                                         |           | \$ 1,526.22                 | \$ 958.88  |            |
| Costo total Barrera                                                     |           |                             | 3,956.90   |            |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 33**

*Detalle costo unitario (Barrera – Diseño nuevo)*

| NUEVO DISEÑO                                 |           |             |             |            |                 |
|----------------------------------------------|-----------|-------------|-------------|------------|-----------------|
| 1.                                           |           |             |             |            |                 |
| Costo herramientas                           |           |             |             | 7.77       |                 |
| 2. Costo mano de obra                        |           |             |             |            |                 |
| Descripción                                  | Hh        | Costo HH \$ |             | Parcial \$ |                 |
| Maestro                                      | 21        | 3.36        |             | 70.56      |                 |
| Ayudante                                     | 42        | 2.91        |             | 122.22     |                 |
|                                              |           |             |             | 192.78     |                 |
| 3. Costo Horas máquina                       |           |             |             |            |                 |
| Descripción                                  | Hm        | Costo HM \$ |             | Parcial \$ |                 |
| Scoop 2.2 cy                                 | 7.8       | 124.73      |             | 972.89     |                 |
|                                              |           |             |             | 972.89     |                 |
| 4. Materiales                                |           |             |             |            |                 |
| Descripción                                  | Unidad    | Cantidad    | PU \$       | Parcial \$ | Depreciación \$ |
| Cemento de 25 kg                             | bls       | 6           | 4.50        | 27.00      | 27.00           |
| Yeso en polvo                                | bls       | 2           | 6.76        | 13.52      | 13.52           |
| Tela arpillera (polietileno)                 | m         | 25          | 3.75        | 93.75      | 93.75           |
| Perno anclaje c/ arandela US.0               | pza       | 60          | 1.50        | 90.00      | 90.00           |
| Madera eucalipto 2" x 8" x10"                | pza       | 24          | 20.27       | 486.49     | 60.81           |
| Taladros Simba                               | pza       | 6           | 23.00       | 138.00     | 34.50           |
| Alambre fierro negro No 8                    | Kg        | 10          | 2.32        | 23.24      | 23.24           |
|                                              |           |             |             | 872.00     | 342.82          |
|                                              |           |             |             |            |                 |
| Según peso del monto a dist                  |           |             |             |            |                 |
| Gastos Lima                                  |           |             | 2.75 %      | 41.91      |                 |
| Mano de Obra                                 |           |             |             |            |                 |
| MO Indirecta                                 | Indirecta | 7.94 %      |             | 121.12     |                 |
|                                              | Conductor | 6.15 %      |             | 93.80      |                 |
| MO directa                                   | Directa   | 37.17 %     |             | 567.34     |                 |
|                                              | Epp       | 2.37 %      |             | 36.21      |                 |
| Costo propiedades equipos                    | Scoop 4.2 | 2.75 %      |             | 41.93      |                 |
|                                              | Scoop 2.2 | 13.32 %     |             | 203.28     |                 |
|                                              | Minicarga | 0.00 %      |             | -          |                 |
| Gastos generales mina                        |           | 19.00 %     |             | 289.97     |                 |
| Personal de contingencia                     |           | 0.00 %      |             | -          |                 |
| Costos control Covid-19                      |           | 4.00 %      |             | 60.99      |                 |
| Ajuste de costos /abr – dic)                 |           | 0.00 %      |             | -          |                 |
| Servicios especializados para implementación |           | 1.83 %      |             | 27.88      |                 |
| Reintegro de costos de ene – feb 2022        |           | 0.50 %      |             | 7.69       |                 |
| Servicios especializados para implementación |           | 2.23 %      |             | 34.10      |                 |
|                                              |           |             | \$ 1,526.22 | \$ 898.32  |                 |
| Costo total Barrera                          |           |             |             | 2,414.59   |                 |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 34**

*Detalle flujo de caja anual – Diseño antiguo*

| SITUACIÓN DISEÑO<br>ANTIGUO (ACTUAL)           | UND        | PERIODO  |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|------------------------------------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                                |            | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        | 8        | 9        | 10       | 11       | 12       |
| Avance promedio en relleno                     | m          | 6.38     | 6.38     | 6.38     | 6.38     | 6.38     | 6.38     | 6.38     | 6.38     | 6.38     | 6.38     | 6.38     | 6.38     |
| Precio unitario por metro de avance en relleno | \$/m       | 686.30   | 686.30   | 686.30   | 686.30   | 686.30   | 686.30   | 686.30   | 686.30   | 686.30   | 686.30   | 686.30   | 686.30   |
| # de barreras mensuales                        | #          | 24.22    | 24.22    | 24.22    | 24.22    | 24.22    | 24.22    | 24.22    | 24.22    | 24.22    | 24.22    | 24.22    | 24.22    |
| Precio unitario de barrera actual              | \$/barrera | 3,956.90 | 3,956.90 | 3,956.90 | 3,956.90 | 3,956.90 | 3,956.90 | 3,956.90 | 3,956.90 | 3,956.90 | 3,956.90 | 3,956.90 | 3,956.90 |

| Flujo de caja<br>proyectado                                    | MESES |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------------------------------------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                                                                | 0     | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      | 11      | 12      |
| Inversión                                                      | 0     | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Impacto por avance en relleno en pasta mensual                 | 0     | 106,039 | 106,039 | 106,039 | 106,039 | 106,039 | 106,039 | 106,039 | 106,039 | 106,039 | 106,039 | 106,039 | 106,039 |
| Impacto por precio unitario de construcción de barrera mensual | 0     | 95,827  | 95,827  | 95,827  | 95,827  | 95,827  | 95,827  | 95,827  | 95,827  | 95,827  | 95,827  | 95,827  | 95,827  |
| Flujo neto de caja (fnc)                                       | 0     | 201,866 | 201,866 | 201,866 | 201,866 | 201,866 | 201,866 | 201,866 | 201,866 | 201,866 | 201,866 | 201,866 | 201,866 |

**Tabla 35**

*Detalle flujo de caja anual – Diseño propuesto*

| SITUACIÓN DISEÑO<br>NUEVO (PROYECTO)           | UND        | PERIODO  |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|------------------------------------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                                |            | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        | 8        | 9        | 10       | 11       | 12       |
| Avance promedio en relleno                     | m          | 2.00     | 2.00     | 2.00     | 2.00     | 2.00     | 2.00     | 2.00     | 2.00     | 2.00     | 2.00     | 2.00     | 2.00     |
| Precio unitario por metro de avance en relleno | \$/m       | 686.30   | 686.30   | 686.30   | 686.30   | 686.30   | 686.30   | 686.30   | 686.30   | 686.30   | 686.30   | 686.30   | 686.30   |
| # de barreras mensuales                        | #          | 24.22    | 24.22    | 24.22    | 24.22    | 24.22    | 24.22    | 24.22    | 24.22    | 24.22    | 24.22    | 24.22    | 24.22    |
| Precio unitario de barrera metálica            | \$/barrera | 2,414.59 | 2,414.59 | 2,414.59 | 2,414.59 | 2,414.59 | 2,414.59 | 2,414.59 | 2,414.59 | 2,414.59 | 2,414.59 | 2,414.59 | 2,414.59 |

| Flujo de caja<br>proyectado                                    | MESES |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------------------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                                                | 0     | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     |
| Inversión                                                      | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Impacto por avance en relleno en pasta mensual                 | 0     | 33,241 | 33,241 | 33,241 | 33,241 | 33,241 | 33,241 | 33,241 | 33,241 | 33,241 | 33,241 | 33,241 | 33,241 |
| Impacto por precio unitario de construcción de barrera mensual | 0     | 58,476 | 58,476 | 58,476 | 58,476 | 58,476 | 58,476 | 58,476 | 58,476 | 58,476 | 58,476 | 58,476 | 58,476 |
| Flujo neto de caja (fnc)                                       | 0     | 91,717 | 91,717 | 91,717 | 91,717 | 91,717 | 91,717 | 91,717 | 91,717 | 91,717 | 91,717 | 91,717 | 91,717 |

**Tabla 36**

*Detalle – Evaluación económica proyectada (Proyecto propuesto)*

| FLUJO DE CAJA ACTUAL       | MESES     |           |           |           |           |           |           |           |         |         |         |         |         |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                            | 0         | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         | 7         | 8       | 9       | 10      | 11      | 12      |
| Inversión                  | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Margen (Avance en relleno) | 0         | 72,798    | 72,798    | 72,798    | 72,798    | 72,798    | 72,798    | 72,798    | 72,798  | 72,798  | 72,798  | 72,798  | 72,798  |
| Margen (Barrera)           | 0         | 37,351    | 37,351    | 37,351    | 37,351    | 37,351    | 37,351    | 37,351    | 37,351  | 37,351  | 37,351  | 37,351  | 37,351  |
| Margen ( AR + Barrera)     | 0         | 110,149   | 110,149   | 110,149   | 110,149   | 110,149   | 110,149   | 110,149   | 110,149 | 110,149 | 110,149 | 110,149 | 110,149 |
|                            |           |           |           |           |           |           |           |           |         |         |         |         |         |
| FLUJO DE CAJA ACTUAL ANUAL | AÑOS      |           |           |           |           |           |           |           |         |         |         |         |         |
|                            | 0         | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         | 7         | 8       | 9       | 10      | 11      | 12      |
| Margen Anual               |           | 1,321,788 | 1,321,788 | 1,321,788 | 1,321,788 | 1,321,788 | 1,321,788 | 1,321,788 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Factor valor presente neto | 1.00      | 0.87      | 0.76      | 0.66      | 0.57      | 0.50      | 0.43      | 0.38      |         |         |         |         |         |
| Flujo neto de caja actual  | 0         | 1,149,381 | 999,462   | 869,097   | 755,737   | 657,162   | 571,445   | 496,909   |         |         |         |         |         |
| VAN (15 %) US \$           | 5,499,193 |           |           |           |           |           |           |           |         |         |         |         |         |

## 4.2 Comparación de la propuesta vs la existente

Considerando el costo total de instalación de la barrera y el avance en relleno para la habilitación de áreas para minado, tanto en el proceso de instalación de barreras antiguo como en el nuevo diseño propuesto se tiene lo siguiente:

**Tabla 37**

*Detalle – Costo por barrera actual*

|                                                |            |          |
|------------------------------------------------|------------|----------|
| Avance promedio en relleno                     | m          | 6.38     |
| Precio Unitario por metro de avance en relleno | \$/m       | 686.3    |
| # de barreras mensuales                        | #          | 24.22    |
| Precio Unitario de barrera actual              | \$/barrera | 3,956.90 |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 38**

*Detalle – Costo por barrera propuesta*

|                                                |            |          |
|------------------------------------------------|------------|----------|
| Avance promedio en relleno                     | m          | 2.00     |
| Precio Unitario por metro de avance en relleno | \$/m       | 686.3    |
| # de barreras mensuales                        | #          | 24.22    |
| Precio Unitario de barrera actual              | \$/barrera | 2,414.59 |

Fuente: Elaboración propia

- Margen mensual a favor del nuevo diseño (\$/mes): 110,149
- Flujo de caja anual proyectado (\$/año): 1,321,788

Considerando un periodo de transición de 7 años para la evaluación económica de la implementación de la nueva barrera para relleno en pasta, se tiene un VAN de \$ 5,499,193.

## 4.3 Contrastación de hipótesis

### 4.3.1 Contrastando hipótesis general

La implementación de una nueva barrera para relleno impactara en el costo de preparación de áreas para relleno en pasta.

El impacto que se alcanzaría al aplicar la barrera propuesta en áreas designadas para relleno en pasta es de \$ 110,149 mensuales de ahorro respecto al método de barrera convencional; considerando en promedio la instalación de 24 barreras al mes con sus

respectivas limpieza y avance lineal en el relleno en pasta. Este ahorro representa el 55% del costo de la barrera convencional empleada.

Con los valores mostrados nos encontramos con una proyección anual de ahorro de \$ 1,321,788, lo cual considerando un periodo de transición de 7 años podríamos alcanzar un VAN de \$5,499,193.

#### **4.3.2 *Contrastando hipótesis específicas***

La implementación de una nueva barrera para relleno reemplazara de manera efectiva la actual barrera para relleno en pasta.

Con las pruebas realizadas en campo, se logró evidenciar que la implementación de esta nueva barrera puede reemplazar de manera efectiva la barrera para relleno convencional, logrando alcanzar el Factor de seguridad al desplazamiento previamente determinado de 1.92.

La implementación de esa nueva barrera permitió que el relleno logre su fraguado en el tiempo estimado de 28 días, para alcanzar las especificaciones de resistencia del relleno de Minsur.

La implementación de una nueva barrera para relleno permitirá reducir el tiempo de preparación asignado para barreras de relleno en pasta.

Mediante la aplicación del nuevo diseño de barrera para relleno en pasta, se logró reducir el tiempo de instalación de la barrera a 2 guardias (1 día) considerando las actividades de:

- Traslado de los componentes de la barrera.
- Instalación de la estructura metálica.
- Enablado de barrera, pañeteo de la barrera.

El ahorro en tiempo de preparación de la barrera representa el 50% (1 día) respecto a las 4 guardias (2 días) asignadas normalmente a la instalación de la barrera convencional.

La implementación de una nueva barrera para relleno permitirá reducir la utilización de equipos en la preparación de barreras para relleno en pasta.

La implementación de esa nueva barrera considera un tiempo de 7.8 hrs (8 en promedio) de utilización de scoop, asignado tanto para el traslado de componentes de la barrera, acumulación de carga al finalizar la barrera (esta forma brindar a la estructura la resistencia suficiente para no ceder ante el relleno en pasta) y la remoción de la misma una vez cumplido el tiempo de fraguado del relleno.

Considerando el tiempo de utilización de la barrera convencional de 17.5 hrs asignado a el traslado de materiales de la barrera (desmonte, roca, cemento y yeso), se logra evidenciar que se redujo la utilización en un 55%.

Debido a esta disminución de uso de equipos, el costo por barrera también se ve disminuido debido a que factor que más influye en el costo por barrera lo representa el costo de maquinaria.

**Tabla 39**

*Costo por barrera – diseño antiguo*

| <b>Barrera (Diseño antiguo)</b> |          |
|---------------------------------|----------|
| Costo herramientas              | 29.89    |
| Costo mano de obra              | 385.56   |
| Costo hora maquina (scoop)      | 2,182.78 |
| Costo materiales                | 399.79   |
| Costo fijo                      | 958.88   |
| Costo total (\$)                | 3,956.90 |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 40**

*Costo por barrera – diseño propuesto*

| <b>Barrera (Diseño nuevo)</b> |          |
|-------------------------------|----------|
| Costo herramientas            | 7.77     |
| Costo mano de obra            | 192.78   |
| Costo hora maquina (scoop)    | 972.89   |
| Costo materiales              | 342.82   |
| Costo fijo                    | 898.32   |
| Costo total (\$)              | 1,414.59 |

Fuente: Elaboración propia



## Conclusiones

Se determinó que mediante la aplicación de la barrera propuesta se logra una reducción de los costos del 39%, es decir pasar de un costo de \$ 3,956 a \$ 2,414 por unidad de barrera para relleno; considerando el requerimiento mensual de barreras este ahorro proyectado alcanzaría los \$ 110,149 /mes y de \$ 1,321,788 /año.

La aplicación del diseño propuesto de barrera, evidencio que el tiempo de preparación de barreras para relleno se redujo en 50%, pasando de emplear un periodo de 4 guardias (2 días) a tan solo 2 guardias (1 día), reduciendo de esta manera el tiempo de la mano de obra asignado por barrera, donde se evitaría la aplicación de la barrera con pircado (duración de 2 guardias con el procedimiento estándar de barrera), proceso en su mayoría realizado a mano y solo se emplearía la mano de obra al acondicionamiento de la estructura metálica con el entablado. Esta holgura de tiempo permitirá poder ajustar el ritmo de preparación de barreras al requerimiento que se podrá dar asociado al incremento de producción.

La aplicación de la barrera propuesta permitió reducir la utilización de equipos asignada para el traslado de componentes y la preparación de la barrera en 55%, pasando de emplear un tiempo de 17.5 hrs a un promedio de 8 hrs de utilización de scoop (básicamente enfocado en el traslado de componentes, acumulación de carga y limpieza de la barrera); este ahorro de utilización de scoop equivale a \$ 1,210 por barrera lo que representa el 50% del costo de la barrera propuesta.

La proyección de 7 años con las mismas condiciones y requerimiento de áreas para rellenar y aplicando la barrera propuesta, el Valor Actual Neto sería de \$ 5,499,193, existiendo la posibilidad de incrementar esta cantidad considerando que el ritmo de producción aumentaría por ende la necesidad de incrementar la cantidad de barreras instaladas por mes.

## **Recomendaciones**

La aplicación sistemática de las barreras con estructura metálica es sujeta a la disponibilidad de los componentes para su ensamblado; si bien después de su aplicación, gran parte de los componentes se recuperan, es necesario contar con el stock suficiente de barreras (estructuras metálicas previamente elaboradas) para su empleo en los diversos puntos donde se requiera, por lo cual se recomienda la conformación de un grupo de trabajo asignado exclusivamente a su elaboración, estando sujeto la aplicación de las barreras al ritmo de elaboración de las mismas.

Se recomienda realizar la capacitación respectiva al personal asignado a la construcción e instalación de las barreras, dado que esta actividad al ser nueva requiere que se implemente un procedimiento donde se contemple los peligros a los que estará sujeto el personal que realizara la actividad la misma que aún se encuentra en proceso de evaluación.

## Referencias bibliográficas

- Bongiorno F. (2015). *Clasificación de los Macizos Rocosos*, Universidad de los Andes, Colombia.
- Cantorin O. (2013). *Método de relleno en pasta*. Revista Minería, Volumen (427),51-56.  
[http://www.iimp.org.pe/website2/jueves/ultimo311/jm20130228\\_minsur.pdf](http://www.iimp.org.pe/website2/jueves/ultimo311/jm20130228_minsur.pdf)
- Cervera R. (2015). *Resistencia Materiales*, Escuela Técnica Superior, Barcelona, España.
- Guarniz C. (2020). *Resistencia a la flexión de vigas macizas y vigas laminadas para dos tipos de maderas*, en la Ciudad de Cajamarca. (Tesis de Grado para obtener el Título de Ingeniero Civil. Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú)
- Lara W. (2019). *Diseño de muros de concreto armado en ventanas para optimizar relleno en tajeos vacíos en U.M. Cerro Lindo*. (Tesis de Grado para obtener el Título de Ingeniero de Minas. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú)
- San Rafael (2023). *Estudio de nuevo diseño de barrera prell*, (Área de Ingeniería y Planeamiento, Puno, Perú).
- San Rafael (2023). *Plan de Minado 2023*, (Área de Ingeniería y Planeamiento, Puno, Perú).
- Turbo C. (2021). *Optimización de Costos de carguío, acarreo y transporte de mineral mediante la evaluación de tiempos y rendimiento de equipos en la Unidad San Rafael*. (Tesis de Grado para obtener el Título de Ingeniero de Minas. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú)
- Venegas K. (2017). *Aplicación del relleno en pasta para reducir los costos operativos en la Unidad Minera Cerro Lindo*. (Tesis de Grado para obtener el Título de Ingeniero de Minas. Universidad Nacional de San Cristóbal, Ayacucho, Perú)
- Vidal R. (2020). *Diseño de dique tapón de desmonte para los tajos sublevel stoping con relleno en pasta en la U. M. Cerro Lindo*. (Tesis de Grado para obtener el Título de Ingeniero de Minas. Universidad Continental, Huancayo, Perú)

## **Anexos**

|                                                                   | Pág. |
|-------------------------------------------------------------------|------|
| Anexo 1: Resistencia a la flexión de la madera.....               | 1    |
| Anexo 2: Costo barrera (diseño antiguo).....                      | 2    |
| Anexo 3: Costo barrera (diseño propuesto) .....                   | 3    |
| Anexo 4: Especificaciones técnicas de la estructura metálica..... | 4    |

# Anexo 1: Resistencia a la flexión de la madera

| PROBETA           | L (cm)       | A (cm)      | H (cm)      | ÁREA (cm <sup>2</sup> ) | Lo (cm)      | CARGA MÁXIMA (kg) | ESF. FLEXIÓN (kg/cm <sup>2</sup> ) | P/Δ           | M. ELAST. (Mpa) |
|-------------------|--------------|-------------|-------------|-------------------------|--------------|-------------------|------------------------------------|---------------|-----------------|
| VME - 01          | 75.00        | 7.25        | 7.19        | 52.13                   | 45.00        | 5138.00           | 925.34                             | 284.28        | 235.68          |
| VME - 02          | 75.05        | 7.17        | 7.07        | 50.69                   | 45.00        | 5634.00           | 1061.12                            | 240.24        | 211.82          |
| VME - 03          | 75.05        | 7.29        | 7.20        | 52.49                   | 45.00        | 6219.00           | 1110.79                            | 370.53        | 304.23          |
| VME - 04          | 74.90        | 7.27        | 7.12        | 51.76                   | 45.00        | 7343.00           | 1344.88                            | 445.93        | 379.66          |
| VME - 05          | 74.90        | 7.23        | 7.18        | 51.91                   | 45.00        | 4644.00           | 841.02                             | 376.55        | 314.35          |
| VME - 06          | 74.90        | 7.20        | 7.19        | 51.77                   | 45.00        | 7035.00           | 1275.79                            | 353.18        | 294.83          |
| VME - 07          | 74.90        | 7.05        | 7.16        | 50.48                   | 45.00        | 7533.00           | 1406.88                            | 393.01        | 339.29          |
| VME - 08          | 74.70        | 7.15        | 7.08        | 50.62                   | 45.00        | 7368.00           | 1387.65                            | 420.05        | 369.82          |
| VME - 09          | 74.75        | 7.19        | 7.23        | 51.98                   | 45.00        | 5651.00           | 1014.90                            | 335.97        | 276.22          |
| VME - 10          | 74.70        | 7.24        | 7.22        | 52.27                   | 45.00        | 6354.00           | 1136.42                            | 358.94        | 294.29          |
| VME - 11          | 75.00        | 7.28        | 7.29        | 53.07                   | 45.00        | 5451.00           | 951.03                             | 444.65        | 352.21          |
| VME - 12          | 74.85        | 7.25        | 7.17        | 51.98                   | 45.00        | 6377.00           | 1154.90                            | 399.62        | 334.08          |
| VME - 13          | 74.85        | 7.21        | 7.21        | 51.98                   | 45.00        | 5576.00           | 1004.20                            | 289.04        | 238.95          |
| VME - 14          | 74.75        | 7.20        | 7.09        | 51.05                   | 45.00        | 6995.00           | 1304.57                            | 334.89        | 291.56          |
| VME - 15          | 74.65        | 7.23        | 7.08        | 51.19                   | 45.00        | 5368.00           | 999.80                             | 340.76        | 296.69          |
| VME - 16          | 74.85        | 7.25        | 7.30        | 52.93                   | 45.00        | 6250.00           | 1091.94                            | 500.17        | 396.20          |
| VME - 17          | 74.95        | 7.18        | 7.15        | 51.34                   | 45.00        | 7167.00           | 1317.97                            | 385.96        | 328.55          |
| VME - 18          | 74.90        | 7.05        | 7.22        | 50.90                   | 45.00        | 7187.00           | 1320.04                            | 431.84        | 363.60          |
| VME - 19          | 74.75        | 7.10        | 7.16        | 50.84                   | 45.00        | 8231.00           | 1526.41                            | 493.29        | 422.87          |
| VME - 20          | 74.90        | 7.06        | 7.05        | 49.77                   | 45.00        | 7208.00           | 1386.55                            | 398.42        | 359.81          |
| VME - 21          | 74.80        | 7.52        | 7.48        | 56.25                   | 45.00        | 8439.00           | 1353.86                            | 388.01        | 275.43          |
| VME - 22          | 74.75        | 7.50        | 7.50        | 56.25                   | 45.00        | 8424.00           | 1347.84                            | 485.08        | 342.50          |
| VME - 23          | 74.80        | 7.52        | 7.43        | 55.87                   | 45.00        | 8671.00           | 1409.86                            | 385.88        | 279.49          |
| VME - 24          | 74.75        | 7.39        | 7.52        | 55.57                   | 45.00        | 8475.00           | 1368.87                            | 551.27        | 391.89          |
| VME - 25          | 74.70        | 7.45        | 7.40        | 55.13                   | 45.00        | 8381.00           | 1386.69                            | 453.11        | 335.31          |
| VME - 26          | 74.65        | 7.44        | 7.50        | 55.80                   | 45.00        | 9028.00           | 1456.13                            | 486.28        | 346.12          |
| VME - 27          | 74.70        | 7.44        | 7.50        | 55.80                   | 45.00        | 6679.00           | 1077.26                            | 490.25        | 348.95          |
| VME - 28          | 74.70        | 7.48        | 7.40        | 55.35                   | 45.00        | 8427.00           | 1388.71                            | 456.02        | 336.11          |
| VME - 29          | 74.55        | 7.49        | 7.53        | 56.40                   | 45.00        | 8058.00           | 1280.73                            | 489.24        | 341.79          |
| VME - 30          | 74.80        | 7.39        | 7.32        | 54.09                   | 45.00        | 7309.00           | 1245.93                            | 363.65        | 280.29          |
| <b>Promedio</b>   | <b>74.82</b> | <b>7.28</b> | <b>7.26</b> | <b>52.92</b>            | <b>45.00</b> | <b>7020.67</b>    | <b>1229.27</b>                     | <b>404.87</b> | <b>322.75</b>   |
| <b>Desv. Est.</b> | <b>0.13</b>  | <b>0.15</b> | <b>0.15</b> | <b>2.12</b>             | <b>0.00</b>  | <b>1208.58</b>    | <b>182.08</b>                      | <b>72.74</b>  | <b>49.47</b>    |
| <b>C.V. (%)</b>   | <b>0.17</b>  | <b>2.00</b> | <b>2.13</b> | <b>4.00</b>             | <b>0.00</b>  | <b>17.21</b>      | <b>14.81</b>                       | <b>17.97</b>  | <b>15.33</b>    |

Anexo 2: Costo barrera (diseño antiguo)

| ANTIGUO DISEÑO                                                   |                             |                    |                   |                   |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Pircado y pañeteo de barrera</b>                              |                             |                    |                   |                   |
| 8.10 Pircado y pañeteo de barreras. 3.5x3.5x2, secciones típica: |                             |                    |                   | <b>29.89</b>      |
| <b>Costo Mano de Obra</b>                                        |                             |                    |                   |                   |
| <u>Descripción</u>                                               | <u>Hh</u>                   | <u>Costo HH \$</u> | <u>Parcial \$</u> |                   |
| Maestro                                                          | 42                          | 3.36               | 141.12            |                   |
| Ayudante                                                         | 84                          | 2.91               | 244.44            |                   |
|                                                                  |                             |                    | <b>385.56</b>     |                   |
| <b>Costo Horas Maquina</b>                                       |                             |                    |                   |                   |
| <u>Descripción</u>                                               | <u>Hm</u>                   | <u>Costo HM \$</u> | <u>Parcial \$</u> |                   |
| Scoop 2.2 cy                                                     | 17.5                        | 124.73             | 2,182.78          |                   |
|                                                                  |                             |                    | <b>2,182.78</b>   |                   |
| <b>Materiales</b>                                                |                             |                    |                   |                   |
| <u>Descripción</u>                                               | <u>Unidad</u>               | <u>Cantidad</u>    | <u>PU\$</u>       | <u>Parcial \$</u> |
| CEMENTO DE 25 KG                                                 | bls                         | 12                 | 4.50              | 54.00             |
| YESO EN POLVO                                                    | bls                         | 4                  | 6.76              | 27.04             |
| TELA ARPILLERA (POLIETILENO)                                     | m                           | 45                 | 3.75              | 168.75            |
| PERNO ANCLAJE C/ARANDELA US-I                                    | pza                         | 100                | 1.50              | 150.00            |
|                                                                  |                             |                    |                   | <b>399.79</b>     |
| <b>Costo Fijo</b>                                                |                             |                    |                   |                   |
| % a distribuir para pircado según Ppto                           |                             | 57%                |                   |                   |
| Monto Costo Fijo                                                 |                             | 56,229.02          |                   |                   |
| Monto por barrera                                                |                             | 1,526.22           | 1,512.14          |                   |
|                                                                  | Según Peso del monto a dist |                    |                   |                   |
| <b>Gastos Lima</b>                                               |                             | 2.75%              | 41.91             |                   |
| <b>Mano de Obra</b>                                              |                             |                    |                   |                   |
| MO Indirecto                                                     | Indirecta                   | 7.94%              | 121.12            |                   |
|                                                                  | Conducto                    | 6.15%              | 93.80             |                   |
| MO Directa                                                       | Directa                     | 37.17%             | 567.34            |                   |
|                                                                  | Epp                         | 2.37%              | 36.21             |                   |
| <b>Costo Propiedades Equipos</b>                                 |                             |                    |                   |                   |
|                                                                  | Scoop 4.2                   | 2.75%              | 41.93             |                   |
|                                                                  | Scoop 2.2                   | 13.32%             | 203.28            |                   |
|                                                                  | Minicarga                   | 0.00%              | -                 |                   |
| <b>Gastos Generales Mina</b>                                     |                             | 19.00%             | 289.97            |                   |
| <b>Personal de Contingencia</b>                                  |                             | 0.00%              | -                 |                   |
| <b>Costos control Covid-19</b>                                   |                             | 4.00%              | 60.99             |                   |
| <b>Ajuste d costos (abr - dic)</b>                               |                             | 0.00%              | -                 |                   |
| <b>Servicios especializados para implementaci</b>                |                             | 1.83%              | 27.88             |                   |
| <b>Reintegro de costo de ene-feb 2022</b>                        |                             | 0.50%              | 7.69              |                   |
| <b>Servicios especializados para implementaci</b>                |                             | 2.23%              | 34.10             |                   |
|                                                                  |                             | \$ 1,526.22        | <b>\$ 958.88</b>  |                   |

### Anexo 3: Costo barrera (diseño propuesto)

| NUEVO DISEÑO                                 |               |                    |                   |                   |                        |
|----------------------------------------------|---------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------------|
| Costo Herramientas                           |               | 7.77               |                   |                   |                        |
| <b>Costo Mano de Obra</b>                    |               |                    |                   |                   |                        |
| <u>Descripción</u>                           | <u>Hh</u>     | <u>Costo HH \$</u> | <u>Parcial \$</u> |                   |                        |
| Maestro                                      | 21            | 3.36               | 70.56             |                   |                        |
| Ayudante                                     | 42            | 2.91               | 122.22            |                   |                        |
|                                              |               |                    | <b>192.78</b>     |                   |                        |
| <b>Costo Horas Maquina</b>                   |               |                    |                   |                   |                        |
| <u>Descripción</u>                           | <u>Hm</u>     | <u>Costo HM \$</u> | <u>Parcial \$</u> |                   |                        |
| Scoop 2.2 cy                                 | 7.8           | 124.73             | 972.89            |                   |                        |
|                                              |               |                    | <b>972.89</b>     |                   |                        |
| <b>Materiales</b>                            |               |                    |                   |                   |                        |
| <u>Descripción</u>                           | <u>Unidad</u> | <u>Cantidad</u>    | <u>PU \$</u>      | <u>Parcial \$</u> | <u>Depreciación \$</u> |
| CEMENTO DE 25 KG                             | bls           | 6                  | 4.50              | 27.00             | 27.00                  |
| YESO EN POLVO                                | bls           | 2                  | 6.76              | 13.52             | 13.52                  |
| TELA ARPILLERA (POLIETILENO)                 | m             | 25                 | 3.75              | 93.75             | 93.75                  |
| PERNO ANCLAJE C/ARANDELA US-0                | pza           | 60                 | 1.50              | 90.00             | 90.00                  |
| MADERA EUCALIPTO 2" X 8" X 10'               | PZA           | 24                 | 20.27             | 486.49            | 60.81                  |
| TALADROS SIMBA                               | PZA           | 6                  | 23.00             | 138.00            | 34.50                  |
| ALAMBRE FIERRO NEGRO N° 8                    | KG            | 10                 | 2.32              | 23.24             | 23.24                  |
|                                              |               |                    |                   | <b>872.00</b>     | <b>342.82</b>          |
| Según Peso del monto a dist                  |               |                    |                   |                   |                        |
| Gastos Lima                                  |               | 2.75%              |                   | 41.91             | -                      |
| Mano de Obra                                 |               |                    |                   | -                 |                        |
| MO Indirecto                                 | Indirecta     | 7.94%              |                   | 60.56             |                        |
|                                              | Conducto      | 6.15%              |                   | 93.80             |                        |
| MO Directa                                   | Directa       | 37.17%             |                   | 567.34            |                        |
|                                              | Epp           | 2.37%              |                   | 36.21             |                        |
| Costo Propie das Equipos                     | Scoop 4.2     | 2.75%              |                   | 41.93             |                        |
|                                              | Scoop 2.2     | 13.32%             |                   | 203.28            |                        |
|                                              | Minicarga     | 0.00%              |                   | -                 |                        |
| Gastos Generales Mina                        |               | 19.00%             |                   | 289.97            |                        |
| Personal de Contingencia                     |               | 0.00%              |                   | -                 |                        |
| Costos control Covid-19                      |               | 4.00%              |                   | 60.99             |                        |
| Ajuste d costos (abr - dic)                  |               | 0.00%              |                   | -                 |                        |
| Servicios especializados para implementaciór |               | 1.83%              |                   | 27.88             |                        |
| Reintegro de costo de ene-feb 2022           |               | 0.50%              |                   | 7.69              |                        |
| Servicios especializados para implementaciór |               | 2.23%              |                   | 34.10             |                        |
|                                              |               |                    |                   | \$ 1,526.22       | \$ 898.32              |

Anexo 4: Especificaciones técnicas de la estructura metálica

| <b>Madera Eucalipto</b>  |            |      |                    |
|--------------------------|------------|------|--------------------|
| Espesor                  | e          | 0.03 | m                  |
| Ancho                    | a          | 0.1  | m                  |
| Largo                    | h          | 1.6  | m                  |
| Peso Unitario            | $\gamma_m$ | 820  | Kg/m <sup>3</sup>  |
| Resistencia a la flexión | Re         | 1229 | kg/cm <sup>2</sup> |

| <b>Barrera Metalica de Acero</b> |            |      |                    |
|----------------------------------|------------|------|--------------------|
| Espesor                          | e          | 0.5  | m                  |
| Ancho                            | a          | 3.5  | m                  |
| Altura                           | h          | 3.5  | m                  |
| Peso Unitario                    | $\gamma_b$ | 7850 | Kg/m <sup>3</sup>  |
| Limite de fluencia               | Lf         | 2500 | kg/cm <sup>2</sup> |

| <b>Barra Simba de Acero</b> |            |      |                    |
|-----------------------------|------------|------|--------------------|
| Diametro                    | d          | 0.05 | m                  |
| Largo                       | h          | 1.2  | m                  |
| Peso Unitario               | $\gamma_s$ | 7930 | Kg/m <sup>3</sup>  |
| Limite de fluencia          | Lf         | 4200 | kg/cm <sup>2</sup> |

| <b>Carga desmonte</b> |            |      |                   |
|-----------------------|------------|------|-------------------|
| Largo                 | e          | 3.0  | m                 |
| Ancho                 | a          | 3.5  | m                 |
| Altura                | h          | 2.5  | m                 |
| Peso Unitario         | $\gamma_d$ | 1800 | Kg/m <sup>3</sup> |