

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



TESIS

**Evaluación de alternativas de reaprovechamiento y cierre de una  
labor minera subterránea declarada como pasivo ambiental en  
Puno**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

Elaborado por

José Luis Prado Palacin

 [0009-0008-5002-7160](https://orcid.org/0009-0008-5002-7160)

Asesor

MSc. Atilio Mendoza Apolaya

 [0000-0001-6790-0458](https://orcid.org/0000-0001-6790-0458)

LIMA – PERÚ

2025

---

Citar/How to cite	Prado Palacin [1]
Referencia/Reference	[1] J. Prado Palacin, “Evaluación de alternativas de reaprovechamiento y cierre de una labor minera subterránea declarada como pasivo ambiental en Puno” [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

---

---

Citar/How to cite	(Prado, 2025)
Referencia/Reference	Prado, J. (2025). <i>Evaluación de alternativas de reaprovechamiento y cierre de una labor minera subterránea declarada como pasivo ambiental en Puno</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

---

***Dedicatoria***

*Dedico la presente tesis para mis familiares, colegas,  
amigos, docentes y a todo el personal administrativo de la  
Universidad Nacional de Ingeniería que me alentaron  
constantemente a terminar mis estudios y ahora a finalizar  
mi tesis.*

## **Agradecimientos**

Agradezco profundamente a mis padres Gregorio Prado Ñaupá y Carmen Palacin Ampudia, así mismo a mis hermanas Daysi, Cinthya, Magaly, Ana, Diana y a mi hermano Juan Carlos Prado Palacin, quienes me brindaron todo su apoyo durante mis estudios en la Universidad Nacional de Ingeniería. Finalmente agradezco a mi esposa Abigail Samantha Jimenez Fernández y a mi Hijo Jose Leonardo Prado Jimenez quienes me impulsaron a culminar la presente tesis.

## Resumen

La presente tesis “Evaluación de alternativas de reaprovechamiento y cierre de una labor minera subterránea declarada como pasivo ambiental en Puno” tiene como principal objetivo Identificar y proponer las alternativas más efectivas y sostenibles para el reaprovechamiento y cierre de una labor minera subterránea con ID 8857, para posteriormente mitigar los impactos ambientales negativos que este trae consigo.

El fundamento de la presente tesis se basa en ejecutar el reaprovechamiento de la labor minera subterránea con ID 8857, puesto que este representa un proyecto rentable y viable. Según el cálculo de reservas probadas y probables de la veta principal del PAM ID 8857 resulta 14,595.2 ton con leyes promedios de 8 gr/t de Au.

El proyecto de reaprovechamiento del PAM ID 8857, tiene un horizonte de 9 años, durante los cuales se tiene estimado explorar y recuperar aproximadamente de 400 000 TM de mineral, estos serán tratados en la actual planta de procesamiento de la empresa minera SMRL Los Rosales, mediante el proceso de cianuración y desorción; asimismo, se prevé realizar el cierre definitivo de la labor.

Para la ejecución del reaprovechamiento y del cierre del PAM ID 8857, se plantea 4 alternativas: Las que se han analizado mediante la metodología, evaluación de alternativas (Elección por ventajas – CBA), metodología que permite elegir la alternativa “más ventajosa” respecto a los criterios (ambiental, técnico y económico), del mismo que se obtuvo mayor puntaje es la alternativa 1, la cual además de tener más ventaja, involucra un costo menor de S/. 739.630,74.

Palabras clave — Reaprovechamiento, pasivos ambientales mineros, elección por ventajas, alternativas.

## Abstract

The main objective of this thesis, "Evaluation of Reuse and Closure Alternatives for an Underground Mine Working Declared an Environmental Liability in Puno," is to identify and propose the most effective and sustainable alternatives for the reuse and closure of an underground mine working with ID 8857, in order to subsequently mitigate the resulting negative environmental impacts.

The rationale for this thesis is to execute the reuse of the underground mine working with ID 8857, as this represents a profitable and viable project. According to the calculation of proven and probable reserves of the main vein of PAM ID 8857, the result is 14,595.2 tons with average grades of 8 g/t Au. The PAM ID 8857 reuse project has a 9-year horizon, during which it is estimated that approximately 400,000 tons of ore will be explored and recovered. This ore will be treated at the current processing plant of the SMRL Los Rosales mining company using a cyanidation and desorption process. The final closure of the project is also planned.

Four alternatives are proposed for the reuse and closure of PAM ID 8857: These have been analyzed using the Alternatives Assessment (Asset-Based Choice - ABC) methodology, which allows for the selection of the "most advantageous" alternative based on criteria (environmental, technical, and economic). Alternative 1, which obtained the highest score, not only offers more advantages but also involves a lower cost of S/. S/. 739.630,74

Keywords — Reuse, mining environmental liabilities, asset-based choice, alternatives.

## Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen .....	v
Abstract .....	vi
Introducción .....	xiii
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo .....	1
1.1 Generalidades .....	1
1.1.1. Ubicación .....	1
1.1.2 Accesibilidad .....	1
1.1.3 Topografía y fisiografía .....	1
1.1.4 Clima y meteorología .....	2
1.1.5 Precipitación pluvial .....	2
1.1.6 Humedad atmosférica .....	2
1.1.7 Temperatura .....	2
1.2 Antecedentes .....	2
1.3 Descripción del problema de investigación .....	4
1.4 Objetivos de estudio .....	7
1.4.1 Objetivo general .....	7
1.4.2 Objetivos específicos .....	7
1.5 Hipótesis .....	7
1.5.1 Hipótesis general .....	7
1.5.2 Hipótesis específicas .....	8
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual .....	9
2.1 Marco teórico .....	9
2.1.1 Gestión de pasivos ambientales mineros .....	9
2.1.2 Marcos jurídicos relevantes .....	9
2.1.3 Reutilización .....	9
2.1.4 Reaprovechamiento .....	10

2.1.5	Uso alternativo de PAM.....	11
2.1.6	Identificación de las partes interesadas.....	11
2.1.7	Actividades de cierre .....	13
2.1.8	Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada Acumulación Los Rosales.....	16
2.1.9	Evaluación de alternativas (elección por ventajas CBA) .....	24
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación .....		26
3.1	Geología.....	26
3.1.1	Geología regional .....	26
3.1.2	Geología local .....	28
3.2	Mineralogía .....	29
3.3	Algunos aspectos genéticos preliminares de áreas estudiadas .....	29
3.4	Controles genéticos preliminares del yacimiento de oro de la mina Los Rosales	30
3.4.1	Control litológico.....	30
3.4.2	Control estructural .....	30
3.4.3	Control mineralógico.....	30
3.5	Posible génesis del yacimiento y proyecciones futuras de exploración.....	31
3.6	Características geomecánica .....	32
3.7	Cálculo de reservas minerales .....	32
3.7.1	Estructuras mineralizadas .....	32
3.7.2	Cálculo de reservas probadas y probables de la veta Flavini .....	33
3.7.3	Cálculo de Reservas Probadas y Probables de la Veta 3.....	36
3.7.4	Cálculo de reservas probadas y probables de la veta principal .....	38
3.8	Tiempo de vida útil .....	41
3.9	Alternativas de reaprovechamiento y cierre de PAM .....	42
3.10	Reaprovechamiento en la Bocamina “La Candelaria” .....	42
3.10.1	Rehabilitación de PAM Bocamina Candelaria.....	42
3.10.2	Proceso metalúrgico de material extraído del PAM .....	48
3.11	Cierre de bocaminas .....	52

3.11.1	Criterios y formulación utilizada para el diseño y elección del tipo de tapón .....	53
3.11.2	Consideraciones de diseño .....	57
3.12	Tratamiento del drenaje ácido de la bocamina .....	58
3.12.1	Manejo de drenaje ácido del componente Bocamina 8857 “Labor Candelaria” ...	61
3.12.2	Planteamiento de sistemas de tratamiento después de la reutilización del PAM ID 8857 .....	63
3.13	Trade – Off de alternativas para el reaprovechamiento y cierre de la bocamina “La Candelaria” .....	67
3.13.1	Evaluación de alternativas (Elección por ventajas - CBA).....	67
3.13.2	Selección de los criterios de valoración .....	67
Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados .....		71
4.1	Análisis de costos.....	71
4.1.1	Análisis de costo de reaprovechamiento de minerales del PAM.....	71
4.1.2	Análisis de costo cierre de bocamina mediante tapones .....	72
4.1.3	Análisis de costo tratamiento activo de aguas ácidas .....	72
4.1.4	Análisis de costo tratamiento pasivo de aguas ácidas .....	74
4.1.5	Análisis de costo total.....	75
4.2	Resultados .....	75
4.2.1	Elección de Alternativa Metodología CBA .....	75
4.3	Validación de hipótesis.....	77
Conclusiones .....		79
Recomendaciones .....		81
Referencias bibliográficas.....		82

## Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 : Accesibilidad a la zona del proyecto.....	1
Tabla 2 : Resumen número de PAM por año .....	5
Tabla 3 : Marco normativo aplicable .....	9
Tabla 4 : Lista de PAM de la empresa SMRL Acumulación Los Rosales .....	18
Tabla 5 : Actividades de mantenimiento Post-Cierre.....	23
Tabla 6 : Actividades de monitoreo Post-Cierre .....	24
Tabla 7 : Características de las estructuras mineralizadas.....	33
Tabla 8 : Tonelaje de reservas probables veta Flavini .....	35
Tabla 9 : Resumen de reservas y leyes veta Flavini .....	35
Tabla 10: Tonelaje de reservas probables Veta 3.....	37
Tabla 11: Resumen de reservas y leyes Veta 3.....	38
Tabla 12: Tonelaje de reservas probables veta principal .....	40
Tabla 13: Resumen de reservas y leyes veta principal .....	41
Tabla 14: Resumen de reservas probadas y probables de la veta principal.....	41
Tabla 15: Vida útil estimada del proyecto.....	41
Tabla 16: Alternativas de reaprovechamiento y cierre de PAM .....	42
Tabla 17: Tonelaje y volumen de material a extraer producto de rehabilitación .....	44
Tabla 18: Características de chimeneas .....	45
Tabla 19: Cálculos requeridos por el número de trabajadores .....	47
Tabla 20: Caudal requerido por el consumo de madera (Qma).....	47
Tabla 21: Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo (Qte).....	48
Tabla 22: Caudal requerido por fugas (Qfu): 15% (a+b+c).....	48
Tabla 23: Caudal requerido por fugas (Qfu): 15% (a+b+c).....	48
Tabla 24: Condiciones de sitio bocamina Candelaria.....	57
Tabla 25: Condiciones sísmicas de la zona de proyecto.....	57
Tabla 26: Características del PAM.....	58

Tabla 27: Análisis de calidad de agua bocamina Candelaria .....	61
Tabla 28: Criterios para la construcción de humedales artificiales .....	66
Tabla 29: Selección de alternativas - metodología CBA.....	68
Tabla 30: Costo de costo de reaprovechamiento de minerales del PAM.....	71
Tabla 31: Costo de cierre de bocaminas con tapones.....	72
Tabla 32: Costo de tratamiento activos de aguas acidas .....	73
Tabla 33: Costo de tratamiento pasivo de aguas acidas .....	74
Tabla 34: Análisis de costo total por alternativa .....	75
Tabla 35: Resultado de alternativas vs costo de alternativas .....	75
Tabla 36: Resumen de evaluación de alternativas.....	76

## Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 : Diagrama de flujo de actividades de cierre.....	13
Figura 2 : Nivel candelaria zona de magnetita masiva .....	31
Figura 3 : Nivel candelaria tope veta brechada con patinas de limonita, goethita, óxidos de cobre y sulfuros de cobre, con vetillas de especularita .....	32
Figura 4 : Condiciones iniciales de pasivo 8857 Labor Candelaria Labor de 2.4m de ancho y 2.4m de alto .....	43
Figura 5 : Proyección de la ampliación de labor Candelaria a dimensiones de 3m de ancho y 3m de alto .....	43
Figura 6 : Sección típica Depósito de desmonte .....	44
Figura 7 : Chimenea principal de ventilación.....	46
Figura 8 : Fotografía de chimenea secundaria.....	46
Figura 9 : Esquema circuito de desorción y fundición .....	52
Figura 10: Relleno manual para bocaminas.....	54
Figura 11: Diseño de tapón de mampostería .....	55
Figura 12: Diagrama típico de cargas para el diseño por corte .....	56
Figura 13: Diagrama del Diseño por Corte (según Lang, 1999) .....	56
Figura 14: Ubicación de descarga Bocamina Candelaria (AG 01) .....	59
Figura 15: Vista fotográfica PAM Candelaria y descarga de agua (AG 01) .....	60
Figura 16: Proceso de tratamiento de agua .....	62
Figura 17: Fotografía de la planta de tratamiento de aguas acidas.....	62
Figura 18: Diagrama de tratamiento primario agua .....	63
Figura 19: Diagrama de flujo tratamiento activo de agua .....	64
Figura 20: Humedales artificiales (aeróbicos e anaeróbicos) .....	65
Figura 21: Diseño conceptual de sistema de tratamiento final .....	67
Figura 22: Resultado de análisis de alternativas .....	75

## Introducción

Siendo el Pasivo Ambiental Minero (PAM) un potencial riesgo de contaminación ambiental, y también, un riesgo para la salud humana y animal, la pérdida de bienes y servicios ambientales, existen PAMs que contaminan fuentes de agua superficial y subterránea, suelos y el aire de alrededores.

Por lo que los principales problemas para la remediación de los pasivos ambientales mineros son la imposibilidad de identificar a los responsables teniendo la necesidad de más recursos para su remediación, considerando que cuando no es posible identificar a un responsable, el Estado se hace responsable, quien también fomenta e incentiva al reaprovechamiento, reutilización del PAM, determinando la obligación de su remediación ambiental.

En ese sentido la presente tesis detallará el proceso que seguirá el Pasivo Ambiental Minero labor subterránea ID 8857 denominada Bocamina “Candelaria” para hacer posible el reaprovechamiento y posteriormente la mitigación de los impactos negativos mediante la remediación y cierre final, cumpliendo con los requerimientos legales del Perú. Para lo cual se planteará alternativas de reaprovechamiento y cierre, las mismas que serán evaluadas y elegidas mediante los “Principios básicos de toma de decisiones acertadas” de Jim Suhr ; la elección por ventajas (CBA), La CBA es una metodología colaborativa y transparente de toma de decisiones que se basa en la importancia de las ventajas entre varias alternativas, ponderando los criterios ambientales , técnicos y económicos.

## Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

### 1.1 Generalidades

#### 1.1.1. Ubicación

La labor minera subterránea “Candelaria” geográficamente pertenece a los distritos de Vilque y Mañazo, provincia de Puno, departamento de Puno y se conecta con la ciudad de Juliaca y Puno, con elevaciones que varía entre los 3398 m.s.n.m. a 4335 m.s.n.m.

#### 1.1.2 Accesibilidad

El acceso abarca los siguientes tramos:

**Tabla 1**

*Accesibilidad a la zona del proyecto*

TRAMO	DISTANCIA	TIPO DE VÍA
Lima - Juliaca	1:20 horas	Vía aérea
Juliaca - Puno	55 km	Carretera asfaltada
Puno – Vilque	34.5 km	Carretera asfaltada y afirmada
Juliaca - Mañazo	49.8 km	Carretera asfaltada y afirmada
Mañazo – Mina Los Rosales	12.7 km	Carretera afirmada
Vilque – Mina Los Rosales	2.7 km	Carretera afirmada

Fuente: elaboración propia.

#### 1.1.3 Topografía y fisiografía

Según el instituto Geológico Minero y Metalúrgico, la geomorfología del área de estudio corresponde a planicies y valles aluviales con terrazas indiferenciadas, y vertiente o piedemonte aluvio - lacustre hacia el sector del área de estudio.

El relieve topográfico en general es complejo, observándose llanuras ondulantes que luego se levantan para formar colinas cubiertas de ichu. Los cerros más importantes son: Misampata, que se encuentra al Este; Tiraconilla, al Norte; Santiago al Sur Este y el Semom al Sur, los cerros más altos son rocosos, cuyos materiales desprendidos por la erosión han formado las llanuras y hondonadas donde confluyen las aguas de escorrentía de los hielos y las lluvias

#### **1.1.4 Clima y meteorología**

La labor minera subterránea “Candelaria” se encuentran en la Región Jalca o Puna, con un clima frío y seco, con presencia estacional meteórica bien diferenciada y de poca presión barométrica. La temperatura máxima durante el día asciende a los 8°C y por las noches disminuye por debajo de los 0°C.

#### **1.1.5 Precipitación pluvial**

Con mayor precipitación durante los meses de enero a marzo, donde se producen las mayores descargas de granizo, al igual que las descargas eléctricas; mientras que en los meses de mayo a Julio bajan la cantidad de precipitación presentándose la nevada. La precipitación media anual es de 750 mm.

#### **1.1.6 Humedad atmosférica**

La humedad de la atmosfera es bastante baja ocasionado resquebrajamientos en la piel; en las madrugadas es poca perceptible por la presencia de nubes que son tenues de las que se forman las escarchas.

#### **1.1.7 Temperatura**

El clima del área es frío, por las noches llega por debajo de 0°C. Los meses de temperaturas más bajas durante las noches se registran entre mayo a agosto oscilando entre -5°C, en tanto que durante el día alcanza una temperatura máxima de 15°C.

### **1.2 Antecedentes**

(Andrea Lazarte, 2019) Propuesta de perfil de proyecto de remediación ambiental: Aprovechamiento de residuos mineros en Cerro de Pasco. Este proyecto de investigación desarrolla una propuesta innovadora que busca mitigar los impactos ambientales ocasionados por una minería no responsable en Cerro de Pasco, específicamente en los PAMs de interés para el proyecto son la Desmontera Excelsior y la Relavera de la Laguna Quiulacocha, consiste en captación y recolección de residuos mineros con contenido de pirita, para su procesamiento en una planta industrial y posterior obtención de ácido sulfúrico y energía eléctrica, mediante el proyecto se pretende disminuir el potencial de

contaminación de los pasivos ambientales mineros (PAMs) con la reducción del volumen de residuos mineros con pirita y los flujos de aguas ácidas.

(Madardo Negron, 2015) Reaprovechamiento y remediación ambiental de los pasivos ambientales mineros “Acari” una aplicación de la LEY 28271. Este estudio de investigación describe el reaprovechamiento del componente de desmonte de Minas Acari, iniciando por un proceso de análisis de reserva probada – Probable, leyes de fierro , cuantificación de toneladas de material a tratar, para después realizar la reaprovechamiento del pasivo ambiental, en función a las características geográficas propias del área donde se emplazó la mina, se retira, reubica, demuele o transfiere la propiedad de las edificaciones y la infraestructura física; en los depósitos de material fino producto del chancado, se estabilizan los taludes, perfilan, tapan o cubren y se re vegetan las instalaciones de roca estéril y relaves sobrantes, donde correspondan. También se protegen y conservan de una manera responsable y en forma apropiada los recursos hídricos, concluidas las actividades de cierre, los que fueron autorizados para ejercer el reaprovechamiento, del PAM Acari, deberán continuar desarrollando las medidas de monitoreo, mantenimiento o vigilancia que correspondan, de acuerdo con lo propuesto para el presente Plan de Cierre.

(Golden Growing [GG], 2021, P. 7) La labor minera subterránea “Candelaria” está catalogado como un pasivo ambiental con ID 8857 por la Dirección General de Minería, la cual fue otorgada a la SMRL Los Rosales para su reaprovechamiento por la DREM Puno mediante RD N° 011-2016-GRP-DREM-PUNO/D.

La mina Candelaria es una mina subterránea y fue explotada originalmente para la extracción de cobre,

La labor fue minada en su momento bajo el método de corte y relleno, presenta las siguientes características:

- No presenta sostenimiento debido a la calidad del macizo rocoso
- La dimensión de la labor es en promedio de 2.4m de alto y 2.4 m. de ancho
- El principal acceso es la bocamina Candelaria.

- La labor Candelaria presenta 830 m de longitud con una pendiente de 5:1000.
- Las características litológicas de la labor Candelaria incluye rocas sedimentarias de tipo limo arcillitas características del Grupo Puno y el intrusivo diorítico.

### **1.3 Descripción del problema de investigación**

El Perú es un país con una larga tradición minera que se remonta a épocas preincaicas, la minería es una de las actividades extractivas más importantes y de mayor impacto en la economía peruana, el país cuenta con un gran potencial mineralógico, además de ocupar el segundo lugar de la producción de cobre, plata y zinc a nivel mundial y posee las más grandes reservas de plata y el tercer lugar en cobre a nivel global. En América Latina ocupa el primer lugar en la producción de oro, zinc y plomo y cuenta con las mayores reservas de plomo, zinc y molibdeno (Chappuis M. 2019).

Este importante potencial ha impulsado, en los últimos diez años, el 10% en promedio del PBI nacional, ha contribuido con el 60% de las exportaciones nacionales y representó el 23% de la inversión extranjera directa.

Sin embargo, una de las presiones que la actividad minera ejerce en el ambiente tiene que ver con los riesgos y peligros asociados a los Pasivos Ambientales Mineros (PAM). Los PAM son resultado de un mal cierre de mina, es decir, sin un manejo ambiental apropiado y certificado por la autoridad competente; son instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras abandonadas o inactivas que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud humana, el ambiente y la propiedad. (Castillo, Satalaya, Paredes, Encalada, Zamora & Cuadros, 2021).

Al cierre del año 2023, el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) reportó la existencia de cerca de 6128 PAM a nivel nacional, presentes en 20 regiones del país.

**Tabla 2***Resumen número de PAM por año*

Variable	2006	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2018	2019	2021	2020	2022	2023	2024
Pasivos Ambientales Mineros incluidos en el Inventario de PAM del MINEM	850	5557	6855	7576	8206	8571	8616	8854	8794	8448	7668	7956	6903	6128	6001

*Nota:* Datos según el inventario de Pasivos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas.

Datos según el inventario de Pasivos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas aprobado mediante las siguientes resoluciones:

- R.M. 939-2012-MEM/DM
- R.M. 430-2013-MEM/DM
- R.M. 234-2014-MEM/DM
- R.M. 102-2015-MEM/DM
- R.M. 535-2016-MEM/DM
- R.M. 2242018-MEM/DM
- R.M. 010-2019-MEM/DM
- R.M. 238-2020-MINEM/DM
- R.M. 200-2021-MINEM/DM
- R.M. 335-2022-MINEM/DM
- R.M. 510-2023-MINEM/DM
- R.M. 351-2024-MINEM/DM

La alarmante cifra de pasivos ambientales exige la actuación prioritaria del Estado en todos los niveles de gobierno, con el liderazgo de la Presidencia del Consejo de ministros y del Ministerio del Ambiente, tal como lo establece la Política Nacional del Ambiente y el Plan Nacional de Acción Ambiental (Defensoría del Pueblo, 2015, p.6).

Los principales problemas para la remediación de los pasivos ambientales mineros son la imposibilidad de identificar a los responsables teniendo la necesidad de más recursos para su remediación, considerando que cuando no es posible identificar a un responsable, el Estado se hace responsable. Esta problemática requiere que existan

mecanismos para remediar los efectos de los PAM, se efectúen los saneamientos respectivos y se controlen los daños. En materia regulatoria, el Perú es uno de los pocos países de la región que cuenta con un marco normativo específico sobre PAM, pero a pesar de los importantes avances en el fortalecimiento del manejo de los PAM, todavía no se ha logrado un cambio significativo. (Castillo, Satalaya, Paredes, Encalada, Zamora & Cuadros, 2021, p, 7)

Un PAM constituye un potencial riesgo de contaminación ambiental, y también, un riesgo para la salud humana y animal, y la pérdida de bienes y servicios ambientales, existen PAMs que contaminan fuentes de agua superficial y subterránea, suelos y el aire de sus alrededores, y otros que han causado daños ambientales, pero el Estado aún no cuenta con adecuados mecanismos y estrategias para su atención.

El reaprovechamiento de pasivos ambientales mineros es un mecanismo favorable para la recuperación ambiental consiste en el re-procesamiento para extraer elementos valiosos de residuos de actividades pasadas (desmontes, relaves o escorias), siendo la labor minera ID 8857 “Labor Candelaria” un pasivo ambiental que en la actualidad se encuentra sin operar y que genera efluentes ácidos que provienen de la misma, es un Pasivo ambiental potencial para reaprovecharlo.

Basado en los estudios disponibles que se lograron conseguir en base al estudio de declaración de impacto ambiental para reutilizar y reaprovechar el Pasivo identificado con ID 8857, una de las problemáticas técnicas que se busca abordar está relacionado a conocer el área de impacto ambiental atribuido a dicho pasivo debido a que este presenta un drenaje ácido de mina, por lo cual es de efluente en el tiempo, condiciones hidrogeológicas de la zona, con el fin de realizar un posterior cierre definitivo que minimice los impactos medio ambientales.

De otro lado el proyecto está enfocado en conocer la cantidad de mineral que se puede reaprovechar de dicha labor y con ello proyectar una nueva vida útil de explotación temporal de mineral a través de ampliar la sección temporal del túnel de laboreo de 2.4 x 2.4 metros a 3 por 3 metros. Para dicho fin el presente estudio de investigación estará

enfocado en proponer una alternativa técnica viable para la reutilización de labor a su vez para la ejecución del cierre de Pasivos Ambientales asegurando la estabilidad física, geoquímica, hidrológica de la labor.

Finalmente se resalta que este tipo de proyectos son de alta importancia para el desarrollo económico local en la zona sur del país, además que los reaprovechamientos por terceros y remediación voluntaria permiten el ahorro de costos al estado y son parte del proceso de remediación ambiental de pasivos ambientales mineros.

## **1.4 Objetivos de estudio**

### ***1.4.1 Objetivo general***

Identificar y proponer las alternativas más efectivas y sostenibles para el reaprovechamiento y cierre de una labor minera subterránea declarada como pasivo ambiental con ID 8857 ubicado en la región de Puno, Perú, con el objetivo de mitigar los impactos ambientales negativos.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Analizar las características específicas de la labor minera subterránea con ID 8857 ubicada en Puno que la han llevado a ser declarada como pasivo ambiental, y cuáles son sus impactos ambientales predominantes.
- Investigar y proponer tecnologías disponibles para el reaprovechamiento y cierre de labores minera subterránea a pequeña escala, con un enfoque integral que considere la estabilidad física, geoquímica e hidrológica a largo plazo, con el fin de proponer soluciones que minimicen los riesgos ambientales.
- Determinar cuáles son los costos y beneficios al implementar un reaprovechamiento y cierre en la labor ID 8857 en labor minera subterránea ubicada en Puno.

## **1.5 Hipótesis**

### ***1.5.1 Hipótesis general***

En qué medida el planteamiento de alternativas para el reaprovechamiento y cierre de una labor minera subterránea declarada como pasivo ambiental con ID 8857 ubicado

en la región de Puno – Perú contribuirá a futuro a mitigar los impactos ambientales negativos.

### ***1.5.2 Hipótesis específicas***

- El análisis de las características específicas de la labor minera subterránea con ID 8857 ubicada en Puno contribuyen a sustentar los factores que han llevado a ser declarada como pasivo ambiental, y cuáles son sus impactos ambientales predominantes.
- La investigación y propuestas de tecnologías disponibles para el reaprovechamiento y cierre de labores minera subterránea a pequeña escala, con un enfoque integral que considere la estabilidad física, geoquímica e hidrológica a largo plazo, contribuyen a encontrar soluciones que minimicen los riesgos ambientales.
- La determinación de los costos y beneficios ambientales al implementar un reaprovechamiento y cierre en la labor ID 8857 en labor minera subterránea ubicada en Puno contribuyen a sustentar la viabilidad del proyecto.

## Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

### 2.1 Marco teórico

#### 2.1.1 Gestión de pasivos ambientales mineros

A modo general, los pasivos ambientales constituyen instalaciones mal abandonadas, efluentes, emisiones, restos o residuos producidos por operaciones inactivas o que han cesado sus actividades en el área donde se han producido los impactos que constituyen un riesgo para el ambiente, la salud y la propiedad (Defensoría del Pueblo, 2015, p. 29).

#### 2.1.2 Marcos jurídicos relevantes

Dentro del marco jurídico aplicable para los pasivos ambientales se encuentran los siguientes:

**Tabla 3**

*Marco normativo aplicable*

N°	NORMA	FECHA DE PUBLICACION
1	Ley N° 28271, Ley que Regula los Pasivos Ambientales de la Actividad Minera.	14/07/2004
2	Ley N° 28526, modifica la Ley N° 28271.	25/05/2005
	Decreto Legislativo N° 1042, modifica la Ley N° 28271.	26/06/2008
	Decreto Legislativo N° 1670, modifica la Ley N° 28271.	28/09/2024
3	Decreto Supremo N° 059-2005-EM, aprueba el Reglamento de Pasivos Ambientales de la Actividad Minera.	09/12/2005
	Decreto Supremo N° 003-2009-EM, modifica el Decreto Supremo N° 059-2005-EM.	15/01/2009
4	Resolución Ministerial N° 290-2006-MEM/DM, aprueba el Inventario Inicial de Pasivos Ambientales Mineros.	19/06/2006
5	Resolución Ministerial N° 290-2006-MEM/DM y sus actualizaciones	
6	Resolución Ministerial N° 351-2024-MINEM/DM : Resolución Ministerial N° 102-2015-MEM-DM, actualiza el Inventario Inicial de Pasivos Ambientales Mineros.	03/09/2024

Fuente: elaboración propia

#### 2.1.3 Reutilización

Según el Reglamento de Pasivos Ambientales de la Actividad Minera aprobado mediante Decreto Supremo (D.S.) N° 059-2005-EM, publicada el 08 de diciembre de 2005, modificada por el D.S. N° 003-2009-EM publicada el 15 de enero de 2009.

En el artículo 4, apartado 4.9.- La reutilización consiste en el uso que puede hacer el titular de una concesión minera, de los pasivos ambientales que se encuentren dentro de la misma, tales como: plataformas de exploración, labores, desmontera, relaveras u otros para que puedan ser incorporados como parte de las actividades mineras actuales o futuras, determinando la obligación de su remediación ambiental.

Al respecto, el Reglamento de PAM, artículo 59.- establece que los titulares de la actividad minera podrán reutilizar áreas conteniendo PAM, señalándolo expresamente en el estudio ambiental correspondiente y además deberá considerarlo en el respectivo plan de cierre de minas, estando regulados por la legislación que le resulte aplicable en cada caso

#### **2.1.4 Reaprovechamiento**

Según D.S. N° 003-2009-EM, en el artículo 4, apartado 4.10.- Consiste en la extracción de minerales de pasivos ambientales, tales como desmontes, relaves u otros que pudieran contener valor económico, determinando la obligación de su remediación ambiental.

Asimismo, el Artículo 59<sup>a</sup> del Reglamento, señala: Los titulares de actividad minera podrán reutilizar áreas conteniendo pasivos ambientales mineros señalándolo expresamente en el Estudio Ambiental correspondiente, y además deberá considerarlo en el respectivo plan de cierre de minas, sea desde su presentación o vía modificatoria.

El artículo 61 del reglamento menciona, la solicitud de reaprovechamiento de un pasivo ambiental inventariado deberá dirigirse a la DGM, precisando la información que permita su identificación en el inventario de pasivos. El interesado que solicite el reaprovechamiento de un pasivo ambiental, contará con un plazo máximo de un año, computado a partir de la presentación de su solicitud, para presentar a la autoridad competente un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) o Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado (EIASd), según corresponda, con cierre a nivel de factibilidad o la modificación de uno preexistente con su respectivo plan de cierre de minas, siempre que comprendan la misma área de influencia directa del pasivo ambiental.

### **2.1.5 Uso alternativo de PAM**

Según D.S. N° 003-2009-EM, en el artículo 4, apartado 4.11.-El uso alternativo constituye el acondicionamiento de los PAM para actividades productivas, turísticas, culturales, de recreo, deportivas, u otras, siempre que sea solicitado por el gobierno local o gobiernos locales del ámbito en que se encuentran y que no represente un riesgo para la salud humana o el ambiente.

### **2.1.6 Identificación de las partes interesadas**

La participación de las partes interesadas es clave para el éxito del plan de cierre. El cierre sostenible de minas y Pasivos ambientales es un empeño compartido, que requiere la colaboración entre la industria, las comunidades y los gobiernos para comprender y abordar los aspectos ambientales, sociales y económicos del cierre. Para ello, se debe identificar e involucrar a las partes interesadas representativas.

**2.1.6.1 Comunidad.** Las comunidades de la zona de influencia de la mina, que puede ser extensa, son las que se verán directamente afectadas por el proceso de cierre de minas. Estas comunidades deben identificarse al inicio del proceso de concesión de permisos. El fomento del compromiso y la participación de la comunidad en todos los aspectos del proceso de transición social es una práctica recomendada, incluso en los debates sobre el futuro uso del suelo y la inversión social. (International Council on Mining and Metals, ICMM, 2019, p,31).

**2.1.6.2 Gobiernos y autoridades reguladoras.** La colaboración con las autoridades reguladoras se da en todo el proceso de cierre, en las siguientes etapas:

#### **Autorizaciones:**

- El Instituto de Geología, Minería y Metalurgia (INGEMMET) otorga las concesiones para exploración y explotación.
- La Dirección General de Minería del Ministerio de Energía y Minas (DGM) autoriza el inicio de operaciones y/o ampliaciones de la gran y mediana minería, luego de recibir las opiniones vinculantes de todos los organismos involucrados.

- La Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (DGAAM) revisa y aprueba los estudios semidetallados, que se exige a la minería no metálica, exploraciones, concesiones de labor general y transporte, así como a los almacenes de concentrados.
- El Servicio Nacional de Certificación Ambiental (SENACE) aprueba los instrumentos ambientales de carácter detallado.
- La Autoridad Nacional del Agua (ANA) otorga autorizaciones para estudio y uso de los recursos hídricos.
- La Dirección de Salud del Ministerio de Salud (DIGESA) autoriza los volúmenes y calidad de los vertimientos.
- La Autoridad Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) resguarda el patrimonio forestal, incluso antes de que se otorgue la concesión.
- El Ministerio de Cultura se encarga de la intangibilidad de los restos arqueológicos, así como de dirigir la consulta previa en los territorios de los pueblos indígenas.

**Fiscalización y monitoreo:**

- La Superintendencia Nacional de Fiscalización Laboral (SUNAFIL) está a cargo de la fiscalización de las obligaciones que deben cumplir los titulares mineros en cuanto a seguridad laboral.
- El Organismo Supervisor de Energía y Minería (OSINERGMIN) fiscaliza la seguridad de la infraestructura.
- El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) tiene a su cargo la vigilancia del cumplimiento de los compromisos fijados en los instrumentos ambientales.

**Pequeña minería y minería artesanal:**

- La Dirección Regional de Energía y Minas (DREM) forma parte del gobierno regional y es la autoridad minera para el pequeño productor minero (PPM) y pequeño minero artesanal (PMA).

- La DREM está encargada de emitir autorizaciones, monitorear y fiscalizar, inclusive sus instrumentos ambientales y de remediación.

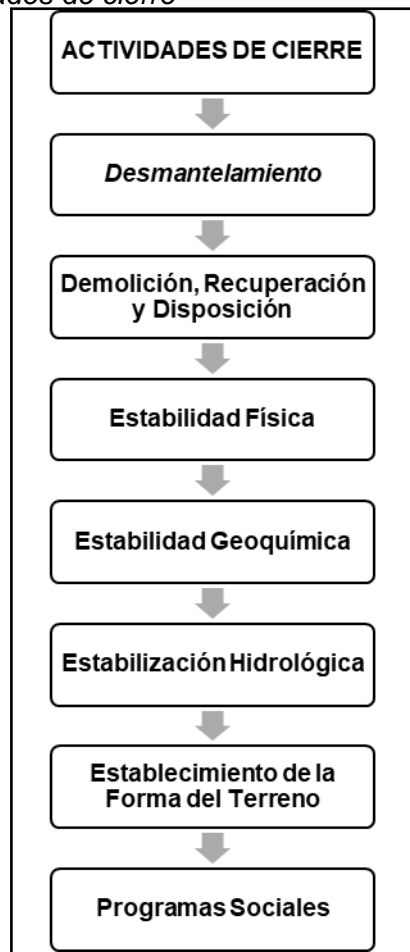
### **2.1.7 Actividades de cierre**

Las actividades del cierre son las obras físicas llevadas a cabo para cerrar el yacimiento o pasivo ambiental. Las actividades del cierre se llevan a cabo para alcanzar objetivos del cierre específicos y satisfacer los criterios de éxito.

Según (Dirección general de asuntos ambientales mineros [DGAAM], 2015, P, 18, 19), guía para la elaboración de planes de cierre de pasivos ambientales mineros las actividades de cierre que corresponde para un PAM de tipo labor subterránea incluyen lo detallado en el siguiente diagrama:

**Figura 1**

*Diagrama de flujo de actividades de cierre*



Fuente: elaboración propia

#### **2.1.7.1 Desmantelamiento.**

**Minas subterráneas.** El desmantelamiento debe considerar lo siguiente; retiro de la infraestructura de la mina, tales como ductos de ventilación y ventiladores, líneas eléctricas, líneas de agua, rieles, sistemas de izaje subterráneos, chancadoras, etc. En el caso de infraestructura que no serán retirados o no puedan ser retirados, se deberá proporcionar la justificación apropiada y los detalles de las medidas para evitar la contaminación y/o el modo en que se protegerá el agua de la contaminación.

#### **2.1.7.2 Demolición, recuperación y disposición.**

**Labores mineras:** Entre los detalles de la demolición de la mina y las operaciones de recuperación se debe considerar: la reutilización/recuperación/disposición de los equipos móviles y fijos; el retiro/recuperación/disposición de equipos de ventilación, líneas y equipos de transmisión eléctrica, bombas, tuberías, y rieles; y la demolición/recuperación/disposición de winches y equipos de izaje de ser el caso.

#### **2.1.7.3 Estabilidad física.**

- Proporcionar los métodos propuestos (e.g.: sellados, rellenos, etc.), para el cierre y clausura de las aperturas a superficie.
- La localización y naturaleza de las cercas, bermas o muros de piedra propuestos, diseñados para evitar el acceso del público a zonas colapsables o potencialmente colapsables.
- Describir todas las medidas propuestas para estabilizar los pilares corona, tales como relleno, voladura, cubierta de concreto, etc. (señalando métodos de análisis de estabilidad, prueba y caracterización de materiales).

**2.1.7.4 Estabilidad geoquímica.** En este ítem se debe de proporcionar una caracterización geoquímica para todos los tipos diferentes de mineral, desmonte, relaves, subproductos de procesamiento, escorias, lodos de tratamiento de agua, y otros residuos industriales sólidos que se hayan generado durante la vida de la mina. Esta caracterización debe considerar lo siguiente:

- Mineralogía.

- Contenido de metales.
- Balance ácido base (ABA).
- Monitoreo de la calidad del agua intersticial y/o del drenaje de las pilas de mineral, desmontes y relaves.

Además, se deberá de describir las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas del proyecto, incluyendo la descripción del sistema de manejo de aguas superficiales y subterráneas (filtración) de la mina, los botaderos de desmonte, depósitos de relave y rellenos, y fuentes receptoras de aguas subterráneas y superficiales gradiente abajo.

Describir las actividades que se realizarán para inhibir la generación de drenaje ácido. La descripción debe considerar también la metodología, los materiales o estructuras que serán necesarios y el diseño de las obras. La descripción también debe considerar la calidad de agua esperada aguas abajo de las instalaciones y los impactos potenciales en los usuarios de dichas aguas después del cierre.

Describir las actividades que se ejecutarán para tratar el drenaje ácido de roca o cualquier otro lixiviado generado que requiera tratamiento. La descripción también deberá indicar la metodología, los materiales, equipos y estructuras y el diseño de los procesos, así como la calidad de agua antes y después del tratamiento y el manejo de los residuos generados por el tratamiento (e.g., lodos).

Descripción de los programas de monitoreo (incluyendo la ubicación, los parámetros y la frecuencia de monitoreo) que serán implementados para evaluar la eficacia de la rehabilitación/remediación y del tratamiento.

#### **2.1.7.5 Estabilización hidrológica.**

**Para las labores subterráneas:** Descripción de las medidas propuestas para el manejo del drenaje y protección contra la erosión (métodos de análisis, ensayos y caracterización de materiales).

- Establecimiento de la forma del terreno
- Revegetación
- Programas sociales

Describir los impactos sociales y económicos relacionados con el cierre en base al análisis de las condiciones actuales del área del proyecto.

Cuantificar las oportunidades de empleo que estarán disponibles para las comunidades, originadas por las actividades de mantenimiento y monitoreo durante el cierre y el postcierre.

### **2.1.8 Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada Acumulación Los Rosales**

Es una empresa minera inscrita debidamente en registros públicos, del Registro de Personas Jurídicas de la Oficina Registral de Lima, con Registro Único de Contribuyentes N° 20451528123, siendo titular de derechos mineros ubicados en el distrito de Vilque, Provincia de Puno, Región Puno.

La empresa SMRL Acumulación Los Rosales tomo en poder la concesión el año 2009 y recibió su calificación como Pequeño Productor Minero-PPM, representado por sus accionistas quienes visionando la potencialidad de la zona y la operatividad de la Planta Concentradora Los Rosales y su ubicación estratégica en la región Puno. La SMRL

Acumulación Los Rosales, cuenta con la R.D N° 011-2016-GRP-DREMPUNO/D que aprueba el reaprovechamiento de los pasivos ambientales.

Mediante el reprocesamiento de los antiguos relaves, la empresa extrae el mineral valioso (oro) restante en los residuos mineros, y a la vez, realiza el cierre adecuado de la mina de acuerdo con la legislación nacional vigente, lo que, en consecuencia, reduce la contaminación ambiental de las aguas superficiales y subterráneas, del suelo, y el aire.

El caso de Los Rosales es un buen ejemplo de cómo la reutilización económica de los residuos mineros abandonados puede reducir su impacto al ambiente, eliminando un legado minero y mejorando el desarrollo socioeconómico local.

Por otro lado, el trabajo de la empresa incluye diversas medidas para involucrar a las comunidades locales, con el objetivo de establecer una buena relación social con su entorno. (Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR), 2024, p, 6)

Las actuales operaciones mineras constan del trabajo de recuperación de minerales polimetálicos, de las canchas de desmontes de baja ley, las cuales fueron

acumuladas en periodos anteriores, ahora resulta atractivo realizar el tratamiento de dichos recursos y los relaves antiguos considerando precios atractivos para los metales.

Actualmente se está operando de acuerdo a la capacidad de la planta de 340 TMD mediante la Resolución Directoral N.º 045-2021-GRP-GRDE-DREM-PUNO/D.

La PB-LR, opera a través de un circuito de Cianuración en tanques CIP, reaprovecha los depósitos de relaves y desmontes antiguos, asimismo, se procesa mineral fresco a partir de la reutilización de la labor Candelaria y niveles existentes, a su vez, se acopiará mineral de los mineros informales que desarrollan actividad en las concesiones. Acumulación Los Rosales y Los Rosales N° 5, de titularidad de SMRL Acumulación Los Rosales.

### **Pasivos ambientales**

SMRL Acumulación los Rosales, cuenta con 18 pasivos ambientales que cuentan con resolución de reaprovechamiento N°240-2012-MEM-DGM/V, que incluye los siguientes pasivos 8878, 9170 y 8858, del cual los pasivos mencionados cuentan con instrumento ambiental la Modificatoria de Impacto Ambiental (MEIA) y el Plan de Cierre de Pasivo Ambiental Minero (PC-PAM).

La resolución de reaprovechamiento N°0147-2014-MEM-DGM/V, incluye 8859, 8860, 8871, 8876, 8867, 9172, 8879, del cual los mencionados también cuentan con instrumento ambiental la Modificatoria de Impacto Ambiental (MEIA) y el Plan de Cierre de Pasivo Ambiental Minero (PC-PAM).

La resolución de reaprovechamiento N° 011-2016-GRP-DREM-PUNO/D, que incluye los siguientes pasivos 8857, 8869, 8870, 8872, 8873, 8874, 8877, 8861, en ello el pasivo con ID 8857 tendrá como instrumento ambiental la aprobación del presente documento como Declaración de Impacto Ambiental (DIA).

**Tabla 4***Lista de PAM de la empresa SMRL Acumulación Los Rosales*

N°	ID	Este(X)	Norte(Y)	Resolución de reaprovechamiento	Instrumento Ambiental
1	8878	362819	8251336	Residuo minero	N°240-2012-MEM-DGM/V
2	9170	362237	8251671	Residuo minero	
3	8858	362105	8251138	Residuo minero	
4	8859	361743	8250957	Residuo minero	
5	8860	361865	8250952	Residuo minero	
6	8871	361953	8251054	Residuo minero	N°0147-2014-MEM-DGM/V
7	8876	362709	8251485	Residuo minero	
8	8867	361948	8251070	Residuo minero	
9	9172	361928	8251742	Residuo minero	
10	8879	362912	8251121	Residuo minero	N° 011-2016-GRP-DREM-PUNO/D
11	8857	362584	8251469	Labor minera	
12	8869	361960	825108	Infraestructura	
13	8870	361952	8251057	Labor minera	
14	8872	361961	8251021	Labor minera	
15	8873	362738	8251498	Infraestructura	
16	8874	362738	8251498	Infraestructura	
17	8877	362723	8251426	Infraestructura	
18	8861	361948	8251469	Infraestructura	

Nota: Tomada de Modificatoria de Impacto Ambiental (MEIA) – SMRL Acumulación Los Rosales.

#### **Mitigación del pasivo ambiental minero:**

El ámbito del análisis corresponde principalmente a las actividades de habilitación, sostenimiento, toma de muestra, operación, tratamiento y cierre de la bocamina. Es importante considerar que estas actividades son de carácter temporal y que consideran la ejecución permanente de medidas de manejo para cada impacto potencial a lo largo del cronograma de trabajo propuesto para el Proyecto de Reaprovechamiento del pasivo ambiental con ID 8857.

#### **Descripción de los Impactos ambientales:**

##### ▪ **Suelo.**

- Alteración de la fisiografía: La alteración de la fisiografía del suelo podría generarse en la habilitación, limpieza y sostenimiento; carguío, transporte y disposición de residuos mineros; exploración y recuperación de minerales; y en

el cierre de componentes estas actividades ocasionarán una modificación parcial de la fisiografía del suelo limitada al área de emplazamiento debido al movimiento de suelos que se realizará.

- Calidad de suelo: La calidad de suelo podría verse afectado en las diferentes etapas del Proyecto como la limpieza; carguío, transporte y disposición de residuos mineros; operación del sistema de tratamiento en caso de sustancias químicas, minerales y no minerales y los efluentes no sean dispuestos adecuadamente. El impacto que podría generarse en esos casos sobre la calidad del suelo sería ligeramente negativo, puesto que en caso ocurra un derrame o un mal manejo de los minerales, lodos y de las aguas acidas.

- **Calidad de aire.**

- Calidad de aire (Incremento de material particulado PM). Las actividades que podrían generar este impacto son la habilitación, limpieza y sostenimiento; carguío, transporte y disposición de residuos mineros; operación del sistema de tratamiento y el cierre. Considerando que la ocurrencia de este impacto es altamente probable, se adoptarán, desde el inicio de las actividades del Proyecto, las medidas de mitigación consistentes en el humedecimiento periódico de accesos para evitar la generación de material particulado (en las zonas que por su configuración topográfica lo requieran), la velocidad controlada en todos los vehículos que transiten por las vías de acceso, y el mantenimiento de vehículos de manera constante en talleres especializados.

- **Calidad de ruido.**

En el carguío, transporte y disposición de residuos mineros; operación del sistema de tratamiento. Este impacto será de relevancia solo a nivel local, alrededor de las áreas donde se realice en los momentos de mayor de operación de maquinaria pesada y el posible uso de sistemas de bombeo durante el tratamiento de efluentes. Los ruidos serán puntuales y focalizadas a las áreas intervenidas por el

uso de equipos, se estima unos 100 m de radio. Sin embargo, es importante considerar que los efectos del ruido se consideran ocupacionales.

- **Flora.**

- Afectación de la cobertura vegetal. En las etapas de habilitación, limpieza y sostenimiento de la bocamina, tendrán un impacto ligeramente negativo en la cobertura vegetal. Será un impacto solo a nivel local y de duración temporal debido a que se adoptarán medidas de mitigación consistentes en la minimización del retiro de cobertura.

- **Fauna.**

- Migración y modificación de la fauna silvestre. En las etapas de habilitación, limpieza y sostenimiento; carguío, transporte y disposición de residuos mineros; operación del sistema de tratamiento y el ruido que generará por la maquinaria pesada a utilizar impactará en la fauna silvestre del lugar de manera temporal, es decir sólo mientras duren estas actividades. Es probable que el ruido y las vibraciones de los equipos y vehículos ahuyenten a las aves y mamíferos menores que existen en el área externa de los componentes mineros. Como medida de mitigación que contribuya a que la población de estas especies no se vea afectada, se realizarán campañas de sensibilización con las personas que viven en la comunidad y con el personal que labore en el Proyecto con el objetivo de evitar la captura de animales silvestres.

**Criterios adoptados para el cierre:**

El objetivo es describir los criterios de cierre considerados para el diseño de obras de cierre pasivo ambiental con ID 8857 "Labor Candelaria".

Para cumplir con los objetivos trazados para el cierre final, se han definido criterios generales de cierre que permitan diseñar las estrategias para garantizar su viabilidad técnica, económica y ambiental.

En general, las obras de cierre de pasivos ambientales mineros se diseñan en base a tres enfoques:

- **Condición de “Walk Away” (i.e., Ningún Cuidado):**

En este caso, los componentes de cierre son auto-sostenibles, es decir, no necesitan mantenimiento permanente ni en el corto ni mediano plazo; no requieren de monitoreo ni mantenimiento adicional luego de culminadas las actividades de cierre

- **Condición de Cuidado Pasivo:**

Ocurre cuando existe una mínima necesidad de programas de cuidado y mantenimiento continuo en la etapa post-cierre. El nivel de esfuerzo requerido en cuidado y mantenimiento puede variar muy ampliamente, pero en general no se requiere de personal permanente en el área.

- **Condición de Cuidado Activo:**

Esta condición requiere de programas de cuidado y mantenimiento post-cierre a largo plazo. El caso típico de cuidado activo es cuando hay una necesidad continua de tratamiento de efluentes para cumplir con los objetivos ambientales a largo plazo. El cuidado activo frecuentemente comprende la presencia de personal permanente trabajando en el sitio.

Los escenarios de cierre que no requieren de actividades de operación, monitoreo o mantenimiento post cierre, se denominan por lo general escenarios de “ningún cuidado”. Estas condiciones se pueden lograr en instalaciones de la mina o pasivos que pueden ser demolidas o desmovilizadas, como es el caso de los edificios, tuberías, caminos y equipos.

Sin embargo, para aquellas instalaciones que permanecerán en el período de post-cierre como labor minera, desmonte de mina y sistema de tratamiento, se requerirá efectuar mantenimiento y cuidado de post-cierre hasta que se logre alcanzar la estabilidad física y química. Asimismo, para este escenario se está considerando un sistema de tratamiento pasivo para el tratamiento de los flujos de las bocaminas.

El diseño de alternativas y las estrategias de cierre de los pasivos se basarán en las características propias del sitio del proyecto, considerándose principalmente los siguientes factores:

- Las características fisicoquímicas de los suelos y rocas del sitio.
- El clima y la hidrogeología del sitio y su potencial impacto en la calidad del agua.
- Las condiciones topográficas, geológicas y sísmicas del sitio.
- Las condiciones del agua superficial.
- El diseño de los componentes de cierre.

**Medidas post cierre:**

Las medidas de mantenimiento y monitoreo definen los parámetros que serán medidos y que servirán como indicadores para verificar el éxito de la aplicación de las medidas de cierre planteadas en la sección anterior. El desarrollo de estas medidas el control del efluente mediante la medición de parámetros físicos, biológicos y sociales que deberán ser monitoreados serán los mismos que se establecen en el MEIA Los Rosales 2021, asimismo, se utilizará los puntos de monitoreo expuestos en el programa de vigilancia y monitoreo, dichos puntos representativos deberán ser medidos, las frecuencias de medición y los valores estándar de referencia con los que serán comparados los resultados obtenidos.

Las actividades de mantenimiento y monitoreo post-cierre serán aplicadas a partir de la culminación de las actividades de rehabilitación y cierre.

De acuerdo con lo establecido en el artículo 45° del D.S. N° 059 2005 EM, la etapa de post-cierre estará a cargo la SMRL Los Rosales, hasta un plazo no menor de 5 años de concluida la ejecución del Plan de Cierre, luego de dicho plazo, el Estado podrá encargarse de continuar con las medidas de post cierre establecidas, siempre que el titular demuestre la estabilidad física y química de los pasivos cerrados.

El análisis de los resultados obtenidos de la aplicación de las medidas de mantenimiento y monitoreo post-cierre servirá como herramienta para la toma de decisiones respecto a la culminación del Plan de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros, el cual deberá ser evaluado por la autoridad ambiental competente.

### Actividades de mantenimiento post-cierre:

En esta sección, se mencionan las medidas que se aplicarán para efectuar el mantenimiento de las condiciones obtenidas, luego de ejecutarse y culminarse las actividades de cierre.

El objetivo de estas medidas es mantener las condiciones de estabilidad física, geoquímica, hidrológica y biológica, de forma de asegurar que las obras de cierre funciones eficazmente hasta lograr su auto sostenimiento.

**Tabla 5**

#### *Actividades de mantenimiento post-cierre*

<b>Tipo de Monitoreo</b>	<b>Componente</b>	<b>Actividad</b>	<b>Frecuencia</b>
Físico Hidrológico	Labores de Mina	Verificar y mantenimiento de tapones, muros de concreto, hitos y marcas)	Semestral (2 primeros años) y Anual (años posteriores). Asimismo, luego de eventos extremos como lluvias intensas o sismos significativos, se llevará a cabo una inspección inmediata del área.
Geoquímico	Labores de Mina	Tratamiento de Efluente	Semestral (2 primeros años) y Anual (años posteriores).

*Nota.* Adaptada del Plan de cierre SMRL Acumulación Los Rosales

### Actividades de monitoreo Post-Cierre:

Las medidas a desarrollar permitirán verificar que las condiciones alcanzadas por la ejecución de las obras de cierre han sido efectivas y que se aseguran la estabilidad física, geoquímica e hidrológica a largo plazo, teniendo como escenario el cierre final de las operaciones.

El programa de monitoreo propuesto considera indicadores de desempeño, con el fin de evaluar el cumplimiento de los objetivos de las actividades de cierre; en caso no se cumpla con los objetivos requeridos, tomar las acciones correctivas necesarias.

El monitoreo post-cierre implica el seguimiento durante los años posteriores al proceso de cierre aumentando o disminuyendo la frecuencia en función a los resultados obtenidos en el proceso. Se ha previsto el monitoreo post-cierre de efluentes y cuerpo receptor, calidad del aire, de los aspectos biológicos, geoquímicos y geotécnicos para tener un panorama de control del cierre de la operación. Una vez realizados las actividades de

monitoreo, se obtendrá una base de datos, cuyo análisis determinará el éxito de las medidas consideradas o la necesidad de aplicar medidas correctivas adicionales.

**Tabla 6**

*Actividades de monitoreo Post-Cierre*

Tipo de Monitoreo	Componente	Frecuencia	Objetivos
Físico Hidrológico	Labores de Mina	Anual. Asimismo, luego de eventos extremos como lluvias intensas o sismos significativos, se llevará a cabo una inspección inmediata del área.	Ausencia de movimientos no aceptables
Geoquímico	Efluente	Trimestral	LMP del D.S. N° 010-2010-MINAM o los que determine la ley en dicha etapa. ECA del D.S. N° 004-2017-MINAM o los que determine la ley en dicha etapa.

*Nota.* Adaptada del Plan de cierre SMRL Acumulación Los Rosales

**2.1.9 Evaluación de alternativas (elección por ventajas CBA)**

Según los “Principios básicos de toma de decisiones acertadas” de Jim Suhr; la elección por ventajas (CBA) es un sistema de toma de decisiones cuya aplicación está en el valor de análisis (VA). El sistema CBA incluye definiciones, principios, modelos y métodos para prácticamente todo tipo de decisiones.

La CBA es una metodología colaborativa y transparente para la toma de decisiones que está basado en la importancia de las ventajas entre diferentes alternativas, sin considerar sus desventajas. Adicional a ello, las decisiones se relacionan a hechos que son relevantes.

Los conceptos básicos para el método de CBA son:

- **Alternativa:**

Tres (03) de los cuales uno debe ser elegido.

- **Factor:**

Elemento, parte o componente de una decisión.

- **Criterio:**

Cualquier estándar en el cual se basa un juicio - deseado o exigido.

- **Atributo:**

Característica, cantidad o cualidad de una alternativa.

- **Ventaja:**

La diferencia beneficiosa entre los atributos y las alternativas.

El análisis se realiza mediante una matriz de comparación donde se colocan los factores o criterios, sus atributos jerarquizados y ponderados según su condición de ventaja frente a los demás atributos (a mayor ventaja mayor valor de ponderación); versus las diferentes alternativas de evaluación.

## Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

### 3.1 Geología

#### 3.1.1 *Geología regional*

**3.1.1.1 Consideraciones generales.** En la bocamina Candelaria se observa formaciones de rocas sedimentarias de tipo arenisca de las formaciones Muñani y del grupo Puno que están constituidos de la siguiente manera:

**3.1.1.1.1 Formación Muñani.** En la hoja de Puno se caracterizan por contener areniscas cuarzosas marrón rojizas a rojas parduscas interestratificadas con limolitas rojas en estratos de 0,20 a 0,30 cm. Afloran en las faldas del cerro Patacceña y en las localidades de Catahue, Porque, Sillani, Viluyo, Huaynachura, Huayrapata, Vaquería, Collapujio, Santa Cruz, Tanco Chuco, Huayco, hacienda Cochela, Chillinunta, Quillura, Esparani y Acopampa. Suprayacen en paraconformidad a la Formación Vilquechico y subyace en discordancia angular al Grupo Puno. El grosor de esta unidad es de unos 150 m aproximadamente.

**3.1.1.1.2 Grupo Puno.** Fue reconocida por primera vez por Gherh, (1915) como conglomerados y areniscas rojas. Posteriormente Cabrera La Rosa A. Y Petersen G., (1936) le elevan al rango de Formación Puno. Newell, (1949) la eleva a la categoría de grupo. Esta unidad se encuentra bien representada en el área como areniscas feldespáticas (arcosas) con conglomerados polimícticos de matriz areniscosa roja a parda, con clastos subangulares a subredondeados heterométricos.

**3.1.1.1.3 Grupo Tacaza.** Empleado por primera vez Por Jenks, (1946), aunque fue NEWELL N.D., (1945) quien lo define como lavas basálticas y arcosas rojas en los niveles inferiores y aglomerados de andesitas con tobas dacíticas en los niveles superiores. Marocco R. Y Del Pino M., (1966) lo elevan a la categoría de grupo. En la zona de estudio se le ha individualizado en tres unidades: Pichu, Totorani y Carayccasa

**3.1.1.1.4 Grupo Sillapaca.** Newell N.D., (1945) define a esta unidad como lavas andesíticas y basálticas con interestratificaciones de tobas y brechas. Wilson y García,

(1962) lo correlacionaron con el Grupo Barroso; pero en el Proyecto Integrado del Sur (1993) es donde se le asigna una edad más antigua.

### **3.1.1.2 Neógeno-Cuaternario.**

**3.1.1.2.1 Grupo Barroso.** Los volcánicos Barroso fueron denominados por WILSON J. J. y GARCÍA W., (1962) como un complejo volcánico de tobas y lavas traquíticas y andesíticas. Posteriormente son elevadas a la categoría de grupo por MENDÍVIL, (1965) y definidas como rocas volcánicas posteriores a la Formación Capillune y anteriores a la última glaciación.

**3.1.1.2.2 Paleozoico: Intrusivo de San Judas Tadeo.** Se ubica en el extremo NO de la hoja de Puno, en las inmediaciones del cerro Crusani, corresponde a un cuerpo monzogranítico gris pálido de grano medio ligeramente deformado con presencia de agregados de cuarzo en un 25%, también de máficos de biotita, clorita y epidota, así como apatita, esfena, circón y alanita. Forma un cuerpo elongado con más de 10 km en su eje mayor y 6 km en su eje menor, en relación cortante con el Grupo Cabanillas y se encuentra conformando una zona topográficamente más elevada del sector septentrional.

**3.1.1.2.3 Cenozoico: Intrusivos Cenozoicos.** En base a las relaciones de contacto y estructurales se han establecido un sinnúmero de cuerpos intrusivos de edad cenozoica. Se cuenta con una datación de 16 Ma en el intrusivo de cerro Caracollo (KLINT et al., 1986) así como la presencia de un dique paralelo a los sobreescurrecimientos del Mioceno inferior datado en 19 Ma (CLARK et al., 1990) afectado por plutones, por lo que hablamos de cuerpos del Oligoceno-Mioceno. Sin embargo, por lo limitado de estos datos no se puede generalizar la edad a todos los intrusivos. Se ha realizado una diferenciación en base a las características texturales y su composición. Entre los principales afloramientos se tienen:

- **N-di: Dioritas.** Son cuerpos de gran extensión asociados al Grupo Puno. Se presentan los intrusivos de San Cristóbal de Coallaque que se caracterizan por corresponder a una roca de grano medio a subvolcánica donde destacan fenos de plagioclasa y de feldespato potásico, cortados por numerosos diques dioríticos

cuarzosos silicificados; las plagioclasas se encuentran zonadas. También hay presencia de máficos de hornblenda, biotita, augita y epidota con accesorios de calcita, esfena, apatita y circón.

- **N-gd: Granodioritas.** Son numerosos cuerpos de corta extensión que se emplazan asociados a la faja sedimentaria del Grupo Yura-Formación Ayavacas del sector Mañazo- Lagunillas.

Algunos cuerpos se han encontrado asociados a niveles volcano sedimentarios del Grupo Maure. Algunas de las intrusiones de las quebradas Patillaza y Ancochilla y la de los cerros Zapana, Pucarillo y San Francisco en donde este último tiene un cuerpo de grano medio subvolcánico con fenocristales de anfíboles. En la hacienda Berenguela se presenta una monzodiorita cuarzosa gris rosáceo de plagioclasa tabular maclada y zonada con intercrecimiento de clinopiroxenos con cuarzo.

### **3.1.2 Geología local**

**3.1.2.1 Litología.** Se encuentra rocas sedimentarias de dos tipos la formación Muñani, grupo Puno:

**3.1.2.1.1 Formación Muñani.** La formación Muñani es de color pardusco y se caracterizan por contener areniscas cuarzosas marrón rojizas a rojas parduscas interestratificadas con limolitas rojas en estratos de 0,20 a 0,30 cm. Afloran en los niveles de Natividad y candelaria que infra yace al grupo puno.

**3.1.2.1.2 Grupo Puno.** El grupo puno dentro de la concesión minera Los Rosales supra yace a la formación Muñani que observa en los niveles de Natividad y Candelaria, se observan areniscas rojas líticas con abundante clasto de cuarcitas en una matriz de fragmentos líticos poligénicos, masivos y mal clasificados, en estratos medios de 30–50 cm. Se encuentran además numerosos niveles de conglomerados y areniscas conglomerádicas con clastos volcánicos y fragmentos líticos de 1–0,5 cm dentro de una matriz de areniscas rojizas. Se encuentran intruidas por un cuerpo intrusivo diorítico de edad neógena.

**3.1.2.1.3 Qz – Dioritas.** Se caracterizan por corresponder a una roca de grano medio a subvolcánica donde destacan fenos de plagioclasa y de feldespato potásico, cortados por numerosos diques dioríticos cuarzosos silicificados; las plagioclasas se encuentran zonadas. También hay presencia de máficos de hornblenda, biotita, augita y epidota con accesorios de calcita, esfena, apatita y circón.

**3.1.2.1.4 Subvolcánico de latita cuarzosa.** En la concesión las rocas subvolcánicas que se caracteriza notoriamente diferentes a los otros cuerpos intrusivos y está asociada con algunas mineralizaciones ferrosas.

## **3.2 Mineralogía**

La mineralización de Oro (Au) se encuentra en vetillas de Stockwork de cuarzo con presencia de specularita, con trazas de carbonatos de cobre y sulfuros de cobre el Oro (Au) que fluctúa en el rango desde los 0.3 gr/TM hasta más 90 gr/TM, su distribución es muy errática, también tiene valores anómalos de plata (Ag) y valores de cobre (Cu) roca caja presenta valores anómalos de oro (Au) desde 0.2gr/TM a 0.8gr/TM.

En el nivel natividad se observan varias vetillas de specularita con pirita diseminada, en la roca caja también hay presencia de specularita diseminado trazas de óxidos de cobre y sulfuros de cobre, así como la hematita, huetita, etc.

En el nivel candelaria de igual forma hay vetillas de specularita con sulfuros de pirita y trazas de carbonato de cobre sulfuros de cobre, en el tope se observa vetillas de cuarzo de Stockwork con sulfuros, specularita conocido veta principal ahora como la veta milagros.

## **3.3 Algunos aspectos genéticos preliminares de áreas estudiadas**

El enriquecimiento mineralógico en la mina Candelaria, es el producto de diferentes eventos o pulsación que se produjo durante su etapa tectónica y formación de volcanes en la región durante los periodos del Mesozoico e inicios del Cenozoico, en donde se observan diques de roca andesita porfirítico con magnetita diseminada en la zona de Vizcachani, zonas con brechas polimigticas con fragmentos angulosos a sub angulosos con matriz de limonita, hematita, goethita y specularita diseminado

### **3.4 Controles genéticos preliminares del yacimiento de oro de la mina Los Rosales**

#### ***3.4.1 Control litológico***

La mineralización se encuentra distribuida en rocas subvolcánicas porfíritico andesítico, en brechas dacíticas, cuarzo latito con pirita fina diseminado y magnetita diseminada, la mineralización de oro (Au) se encuentra en vetillas de cuarzo de tipo Stockwork con presencia de sulfuros como la pirita, especularita, con trazas de óxidos de cobre y sulfuros de cobre, se observa en los niveles de Natividad, nivel Candelaria.

#### ***3.4.2 Control estructural***

Las fallas se han desarrollado a todas las escalas con potencias desde unos pocos centímetros a varios metros, con trazas más o menos rectas y con altos ángulos de buzamiento. Se pueden distinguir dos sistemas principales:

Sistema de falla N-S; que muestra una asociación de un evento de mineralización en el cerro Quearane y alrededor de todo el contorno volcánico hacia el centro del yacimiento se produce el hundimiento del cono volcánico en la zona de Vizcachani las fallas se producen de forma radial más hacia el Norte del proyecto hacia las antenas de telecomunicación tiene similares características de alteración hidrotermal.

#### ***3.4.3 Control mineralógico***

La mina Candelaria está controlado por un sistema de vetas que tiene un ensamble cuarzo oro (Au) que está emplazado en rocas sub volcánicas que predomina la cuarzo diorita con pirita diseminado con venillas de pirita óxidos de cobre y sulfuros de cobre dentro del sistema se observa andesitas porfíriticas con magnetita diseminado y tufos volcánicos brechas polimícticas con fragmentos angulosos a sub angulosos con matriz cementante con óxidos de limonita, goethita, hematita y especularita diseminado.

Los resultados geoquímicos dieron valores anómalos de plata (Ag) cobre (Cu) en valores de Oro (Au) en el nivel candelaria en el tope cortada Norte y Sur hay valores altos de oro (Au) desde 0.3 gr/TM hasta de 3 onzas por (oz /TM).

### 3.5 Posible génesis del yacimiento y proyecciones futuras de exploración

- Zona Centro: en la zona centro de la concesión o zona Vizcachani se observa rocas sub volcánicas andesitas porfiriticas con magnetita diseminado y brechas con especularita diseminado y pirita diseminada más hacia el este en el cerro Quearane vetas de magnetita granular que tiene una orientación NW
- Zona Norte: en la área norte y oeste de la concesión de igual forma hay rocas sub volcánicas con magnetita diseminado, especularita diseminado pirita fina diseminado.

Por todas estas razones el futuro de la exploración se debe efectuar un programa de geofísica para ubicar nuevos targets en la concesión y realizar sondajes diamantina puesto que el muestreo superficial no es un apoyo suficiente que defina nuevos targets de oro (Au) con ley y volumen, se tomó algunas muestras dieron valores anómalos de oro (Au) 0.3 gr/TM.

#### Figura 2

*Nivel candelaria zona de magnetita masiva*



Fuente: elaboración propia

### Figura 3

*Nivel candelaria tope veta brechada con patinas de limonita, goethita, óxidos de cobre y sulfuros de cobre, con vetillas de especularita*



Fuente: elaboración propia

### 3.6 Características geomecánica

El tipo de roca en la Labor candelaria es de tipo II (RMR: 40-60). Debido a la buena calidad del macizo rocoso no se utiliza ningún tipo de sostenimiento en la labor

### 3.7 Cálculo de reservas minerales

#### 3.7.1 Estructuras mineralizadas

En la labor Candelaria se aprecian 07 estructuras mineralizadas principales las cuales tienen las siguientes características promedios que se puede apreciar en la siguiente tabla 7:

**Tabla 7***Características de las estructuras mineralizadas*

Nombre	Potencia (m)	Ley Au (gr/t)	Azimut (°)	Buzamiento (°)	Observaciones
Veta Flavini	0.15	6-7	355	85	Tipo rosario
Veta 1	0.10	2	352	80	--
Veta 2	0.15	2	350	79	--
Veta 3	0.10	6	348	78	Panizo con arcilla
Veta 4	0.40	3	352	82	Presencia de Cu
Stock Work	35.0	2	--	--	--
Veta principal	0.40	8	355	83	Reaprovechamiento

*Nota.* Adaptada de informe de cálculo de mineral – SMRL Acumulación Los Rosales

Las estructuras Vetas Flavini, 1, 2, 3, 4 y Stock Work, son estructuras vírgenes, es decir no se han realizado laboreo minero; mientras en la estructura Veta Principal se aprecia laboreo minero antiguo con niveles superiores y niveles inferiores del nivel de la veta principal.

### **3.7.2 Cálculo de reservas probadas y probables de la veta Flavini**

Constituye una importante estructura mineralizada ubicada al este de la veta Principal, el cual tiene labores al norte y sur en veta, aflora en una longitud aproximadamente de 100 metros con proyección subterránea de más de un kilómetro (mayor a 1000 metros), el cual tiene los siguientes controles estructurales: Azimut 355°, buzamiento 85° NE con una potencia aproximada de 0.15 metros, se trata de una estructura que se presenta en forma de rosario, sin embargo mantiene la presencia de sulfuros de hierro; esta veta tiene un especial interés por sus características estructurales, el cual podría contener una importante cantidad de recursos con valor económico explotables.

Las reservas probadas y probables de la veta Flavini se han calculado en 3,330 ton con unas leyes promedios de 6 a 7 gr/t de Au. Para el cálculo de estas reservas se presentan a continuación:

### **Cálculo de reservas de cada block:**

- **Área de cada block:**

$$\text{Área} = 40/\text{sen}(85^\circ) \text{ m} \times 40\text{m}$$

$$\text{Área} = 40.15 \text{ m} \times 40 \text{ m}$$

$$\text{Área} = 1606 \text{ m}^2$$

- **Volumen de cada block**

$$\text{Volumen} = \text{Área} \times \text{Potencia}$$

$$\text{Volumen} = 1606 \text{ m}^2 \times 0.15 \text{ m}$$

$$\text{Volumen} = 240.9 \text{ m}^3$$

- **Tonelaje de cada block**

$$\text{Tonelaje} = \text{Volumen} \times \text{peso específico}$$

$$\text{Tonelaje} = 240.9 \text{ m}^3 \times 2.70 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Tonelaje} = 650.43 \text{ ton.}$$

- **Tonelaje por los 05 block**

$$\text{Tonelaje total} = 5 \times \text{tonelaje de cada block}$$

$$\text{Tonelaje total} = 5 \times 640$$

$$\text{Tonelaje total} = 3200 \text{ ton.}$$

Para el cálculo del potencial se usará teóricamente 640 TN por cada block

### **Cálculo de reservas de cada chimenea:**

- **Área de cada chimenea**

$$\text{Área} = 40/\text{sen}(85^\circ) \text{ m} \times 2 \text{ m}$$

$$\text{Área} = 40.15 \text{ m} \times 2 \text{ m}$$

$$\text{Área} = 80.3 \text{ m}^2$$

- **Volumen de cada chimenea**

$$\text{Volumen} = \text{Área} \times \text{Potencia}$$

$$\text{Volumen} = 80.3 \text{ m}^2 \times 0.15 \text{ m}$$

$$\text{Volumen} = 12.05 \text{ m}^3$$

- **Tonelaje de cada chimenea**

Tonelaje = Volumen x peso específico

Tonelaje = 12.05 m<sup>3</sup> x 2.70 t/m<sup>3</sup>

Tonelaje = 32.5 ton.

- **Tonelaje por las 04 chimeneas**

Tonelaje total = 4 x tonelaje de cada chimenea

Tonelaje total = 4 x 32.50

Tonelaje total = 130 ton.

**Tabla 8**

*Tonelaje de reservas probables veta Flavini*

NOMBRE	TONELADAS
Block 1	640
Block 2	640
Block 3	640
Block 4	640
Block 5	640
Chimenea 1	32.5
Chimenea 2	32.5
Chimenea 3	32.5
Chimenea 4	32.5
<b>TOTAL, RESERVAS</b>	<b>3,330</b>

*Nota.* Adaptada de informe de cálculo de mineral – SMRL Acumulación Los Rosales

**Tabla 9**

*Resumen de reservas y leyes veta Flavini*

Longitud lineal de reservas	220 m
Encampane	Variable
Potencia promedio de veta	0.15 m
Buzamiento	85°
Peso específico de mineral	2.7 Tm/m <sup>3</sup>
Ley Au (gr/t)	6 - 7
<b>RESERVAS TOTALES</b>	<b>3,330</b>

*Nota.* Adaptada de informe de cálculo de mineral – SMRL Acumulación Los Rosales

### **3.7.3 Cálculo de Reservas Probadas y Probables de la Veta 3**

Constituye otra importante estructura mineralizada ubicada al este de la veta Principal, el cual no tiene ningún tipo de laboreo minero, aflora transversalmente a la galería Candelaria, el cual tiene los siguientes controles estructurales: Azimut 348°, buzamiento 78° NE con una potencia promedio de 0.10 metros, se trata de una estructura que se presenta con mayor potencia al hastial izquierdo de la labor candelaria y se aprecia en forma de panizo con arcilla; esta veta también tiene un especial interés por sus características estructurales, el cual podría contener una importante cantidad de recursos con valor económico explotables.

Las reservas probadas y probables de la veta 3 se han calculado en 2,300 ton con unas leyes promedios de 6 gr/t de Au. El cálculo de estas reservas se presenta a continuación:

#### **Cálculo de reservas de cada block:**

- **Área de cada block**

$$\text{Área} = 40/\text{sen}(78^\circ) \text{ m} \times 40\text{m}$$

$$\text{Área} = 40.90 \text{ m} \times 40 \text{ m}$$

$$\text{Área} = 1636 \text{ m}^2$$

- **Volumen de cada block**

$$\text{Volumen} = \text{Área} \times \text{Potencia}$$

$$\text{Volumen} = 1636 \text{ m}^2 \times 0.10 \text{ m}$$

$$\text{Volumen} = 163.6 \text{ m}^3$$

- **Tonelaje de cada block**

$$\text{Tonelaje} = \text{Volumen} \times \text{peso específico}$$

$$\text{Tonelaje} = 163.6 \text{ m}^3 \times 2.70 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Tonelaje} = 441.72 \text{ ton.}$$

Se usará para el cálculo teórico 441 Ton

- **Tonelaje por los 05 block**

$$\text{Tonelaje total} = 5 \times \text{tonelaje de cada block}$$

Tonelaje total = 5 x 441

Tonelaje total = 2205 ton.

**Cálculo de reservas de cada chimenea:**

▪ **Área de cada chimenea**

Área =  $40/\text{sen}(78^\circ)$  m x 2 m

Área = 40.90m x 2 m

Área = 81.8 m<sup>2</sup>

▪ **Volumen de cada chimenea**

Volumen = Área x Potencia

Volumen = 81.8 m<sup>2</sup> x 0.10 m

Volumen = 8.18 m<sup>3</sup>

▪ **Tonelaje de cada chimenea**

Tonelaje = Volumen x peso específico

Tonelaje = 8.18 m<sup>3</sup> x 2.70 t/m<sup>3</sup>

Tonelaje = 22.08 ton.

▪ **Tonelaje por las 04 chimeneas**

Tonelaje total = 4 x tonelaje de cada chimenea

Tonelaje total = 4 x 22.08

Tonelaje total = 88.32 ton.

**Tabla 10**

*Tonelaje de reservas probables Veta 3*

NOMBRE	TONELADAS
Block 1	441
Block 2	441
Block 3	441
Block 4	441
Block 5	441
Chimenea 1	22
Chimenea 2	22
Chimenea 3	22
Chimenea 4	22
Total Reservas	2293

Nota. Adaptada de informe de cálculo de mineral – SMRL Acumulación Los Rosales

**Tabla 11****Resumen de reservas y leyes Veta 3**

Longitud lineal de reservas	250 m
Encampane	Variable
Potencia promedio de veta	0.10 m
Buzamiento	78°
Peso específico de mineral	2.7 Tm/m <sup>3</sup>
Ley Au (gr/t)	6
Reservas Totales	2293

Nota. Adaptada de informe de cálculo de mineral – SMRL Acumulación Los Rosales

**3.7.4 Cálculo de reservas probadas y probables de la veta principal**

Constituye la más importante estructura mineralizada ubicada al oeste de las vetas Flavini y 3, el cual tiene laboreo minero antiguo en niveles inferiores y superiores al nivel candelaria explotados por el método de corte y relleno ascendente y descendente convencional; y shirinkage convencional, todos los componentes como tajeos y chimeneas se encuentran rellenas con material de las cajas encajonantes y mineral diluido que es un material reaprovechable que tiene contenido metálico económico, aflora en una longitud aproximadamente de 100 metros con proyección subterránea de más de un kilómetro (1000 metros al norte y 350 metros al sur), el cual tiene los siguientes controles estructurales: Azimut 355°, buzamiento 83° NE con una potencia promedio de 0.40 metros, se trata de una estructura principal que se ha trabajado muchos años atrás; este relleno reaprovechable de los tajeos de la veta principal también tiene un especial interés por sus características en contenido metálico económico explotables. Cabe indicar de todas las reservas totales solamente la cuarta parte es considerada como reserva útil, porque solamente el material reaprovechable se encuentra en finos que pasan por un proceso de cribado o zarandeo.

Las reservas probadas y probables de la veta principal se han calculado en 14,595.2 ton con unas leyes promedios de 8 gr/t de Au. Para el cálculo de estas reservas se han considerado los blocks de cubicación de material reaprovechable, con los siguientes cálculos que se presentan a continuación:

**Cálculo de reservas de cada block:**

▪ **Área de cada block**

$$\text{Área} = 40/\text{sen}(83^\circ) \text{ m} \times 40\text{m}$$

$$\text{Área} = 40.30 \text{ m} \times 40 \text{ m}$$

$$\text{Área} = 1612 \text{ m}^2.$$

▪ **Volumen de cada block**

$$\text{Volumen} = \text{Área} \times \text{Potencia}$$

$$\text{Volumen} = 1612 \text{ m}^2 \times 0.40 \text{ m}$$

$$\text{Volumen} = 644.8 \text{ m}^3.$$

▪ **Tonelaje de cada block**

$$\text{Tonelaje} = \text{Volumen} \times \text{peso específico}$$

$$\text{Tonelaje} = 644.8 \text{ m}^3 \times 2.70 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Tonelaje} = 1740.96 \text{ ton}.$$

▪ **Número de blocks al norte**

$$\# \text{ Block} = \text{Longitud} / \text{Largo bloque}$$

$$\# \text{ Block} = 1000/42$$

$$\# \text{ Block} = 23$$

▪ **Número de blocks al sur:**

$$\# \text{ Block} = \text{Longitud} / \text{Largo bloque}$$

$$\# \text{ Block} = 350/42$$

$$\# \text{ Block} = 8$$

▪ **Tonelaje útil total de todos los blocks de un nivel:**

$$\text{Tonelaje total} = \# \text{ Block} \times \text{Tonelaje útil/block}$$

$$\text{Tonelaje total} = (23 + 8) \times 435.24$$

$$\text{Tonelaje total} = 13942.4$$

**Cálculo de reservas de cada chimenea:**

▪ **Área de cada chimenea**

$$\text{Área} = 40/\text{sen}(83^\circ) \text{ m} \times 2 \text{ m}$$

$$\text{Área} = 40.30 \text{ m} \times 2 \text{ m}$$

$$\text{Área} = 80.6 \text{ m}^2$$

▪ **Volumen de cada chimenea**

$$\text{Volumen} = \text{Área} \times \text{Potencia}$$

$$\text{Volumen} = 80.6 \text{ m}^2 \times 0.40 \text{ m}$$

$$\text{Volumen} = 32.24 \text{ m}^3$$

▪ **Tonelaje de cada chimenea**

$$\text{Tonelaje} = \text{Volumen} \times \text{peso específico}$$

$$\text{Tonelaje} = 32.24 \text{ m}^3 \times 2.70 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Tonelaje} = 87.04 \text{ ton.}$$

▪ **Tonelaje útil de cada chimenea**

$$\text{Tonelaje total} = 1/4 \times \text{tonelaje de cada chimenea}$$

$$\text{Tonelaje total} = 1/4 \times 87.04$$

$$\text{Tonelaje total} = 21.76 \text{ ton.}$$

▪ **Tonelaje útil total de todas las chimeneas de un nivel:**

$$\text{Tonelaje total} = \# \text{ Block} - 1 \times \text{Tonelaje útil/chimenea}$$

$$\text{Tonelaje total} = (23 + 8 - 1) \times 21.76$$

$$\text{Tonelaje total} = 652.8$$

**Tabla 12**

*Tonelaje de reservas probables veta principal*

<b>NOMBRE</b>	<b>TONELADAS</b>
Blocks 1 - 31	13942.4
Chimeneas 1-30	652.8
Total, Reservas	14595.2

*Nota.* Adaptada de informe de cálculo de mineral – SMRL Acumulación Los Rosales

**Tabla 13***Resumen de reservas y leyes veta principal*

Longitud lineal de reservas	1350 m
Encampane	Variable
Potencia promedio de veta	0.40 m
Buzamiento	83°
Peso específico de mineral	2.7 Tm/m3
Ley Au (gr/t)	8
Reservas Totales	14,595.2

*Nota.* Adaptada de informe de cálculo de mineral – SMRL Acumulación Los Rosales

**Tabla 14***Resumen de reservas probadas y probables de la veta principal*

VETAS	RESERVAS	TONELADAS
Flavini	Probadas	---
	Probables	3,330
Veta 3	Probadas	---
	Probables	2,293
Veta Principal	Probadas	14,595.2
	Probables	---
Total, Reservas Probadas Y Probables		20,218.2

*Nota.* Adaptada de informe de cálculo de mineral – SMRL Acumulación Los Rosales

**3.8 Tiempo de vida útil**

En función al mineral estimado el cual incluye valores recuperables de oro y otros de distinta mineralogía como sulfuros de cobre, se estimó según la información disponible un total de 400 000 TM de mineral, el cual se obtendrá de la rehabilitación de la Labor Candelaria, y con la capacidad de tratamiento de la planta metalúrgica de 150TM día, se obtuvo un tiempo de vida útil de 8 años y 11 meses de producción.

**Tabla 15***Vida útil estimada del proyecto*

RESERVA	PRODUCCIÓN DIARIA	PRODUCCIÓN MENSUAL	PRODUCCIÓN ANUAL
400000 TM	150 TM	3750 TM	45000

*Nota.* Adaptada de informe de cálculo de mineral – SMRL Acumulación Los Rosales

### 3.9 Alternativas de reaprovechamiento y cierre de PAM

Las alternativas de reaprovechamiento del pasivo ambiental minero se evalúan de manera conjunta con el tipo de cierre del PAM, para el presente proyecto se consideró las siguientes alternativas:

**Tabla 16**

#### *Alternativas de reaprovechamiento y cierre de PAM*

Alternativa 1:	Reaprovechamiento de PAM y cierre de bocamina aplicando tapones de concreto	Involucra la rehabilitación del PAM Bocamina “La candelaria”, para posteriormente la extracción del mineral para su procesamiento, una vez culminada la vida útil del PAM se considera el cierre aplicando tapones herméticos de concreto.
Alternativa 2	Reaprovechamiento de PAM y tratamiento activo de aguas acidas	Involucra la rehabilitación del PAM Bocamina “La candelaria”, para posteriormente la extracción del mineral para su procesamiento, una vez culminada la vida útil del PAM se considera el continuo tratamiento de drenaje ácido mediante el proceso de neutralización.
Alternativa 3:	Reaprovechamiento de PAM y tratamiento pasivo de aguas acidas	Involucra la rehabilitación del PAM Bocamina “La candelaria”, para posteriormente la extracción del mineral para su procesamiento, una vez culminada la vida útil del PAM se considera el tratamiento mediante métodos pasivos siendo estos humedales artificiales.
Alternativa 4:	Reaprovechamiento de PAM y tratamiento mixto de aguas acidas	Involucra la rehabilitación del PAM Bocamina “La candelaria”, para posteriormente la extracción del mineral para su procesamiento, una vez culminada la vida útil del PAM se considera el tratamiento activo (neutralización) y después el tratamiento Pasivo (Humedales artificiales)

Fuente: elaboración propia.

### 3.10 Reaprovechamiento en la Bocamina “La Candelaria”

El proceso de reaprovechamiento de la bocamina iniciara por la rehabilitación de toda la labor con fines de exploración y explotación de minerales con valor económico.

#### **3.10.1 Rehabilitación de PAM Bocamina Candelaria**

La rehabilitación de la labor Candelaria consiste en dar mantenimiento a chimeneas y ampliar las dimensiones de la labor, la ampliación de dimensiones consiste en ensanchar la sección de la labor, hasta obtener dimensiones de 3m de alto y 3m de ancho, la metodología de ampliación se realizará de manera manual con un promedio de avance de 30 m día.

#### **Remoción de masa:**

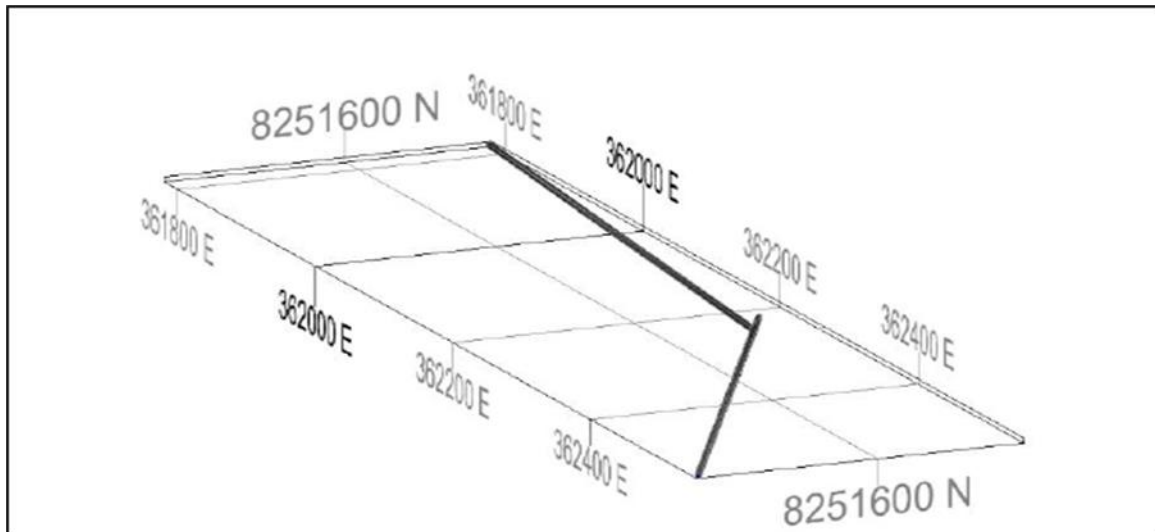
En la actividad de ampliación se obtendrá material con contenido mineralógico económico y desmonte que se clasificará en un depósito de residuos proyectado. Para el

cálculo de volumen y tonelaje de material a extraer producto de la rehabilitación se utilizó el software Datamine RM y la topografía de la Labor.

La Labor Candelaria está diseñada y construida con rumbo promedio N60°O, con 820 m de largo y con una sección de 2.4 m de ancho y 2.4 m. de alto, como se muestra en la Figura 4.

**Figura 4**

*Condiciones iniciales de pasivo 8857 Labor Candelaria Labor de 2.4m de ancho y 2.4m de alto*

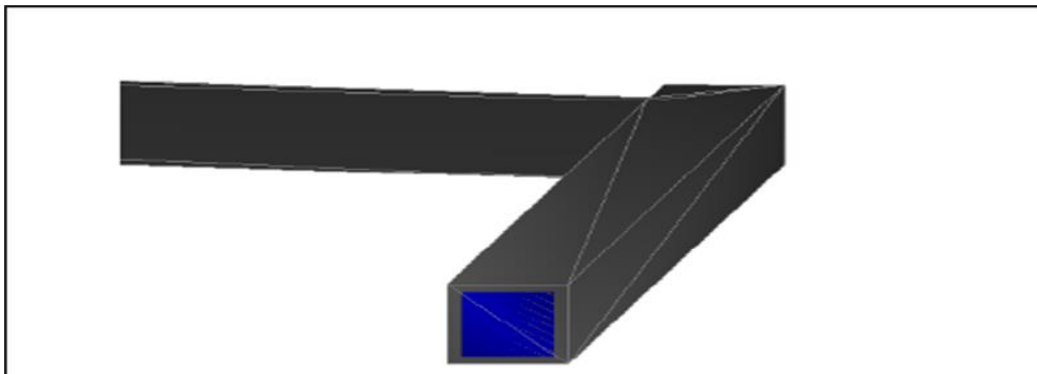


*Nota.* Imagen extraída de Declaración de declaración de impacto ambiental para la reutilización del pasivo ambiental minero identificado con id 8857 "labor candelaria" de la SMRL acumulación Los Rosales

Una de las actividades a realizar es la ampliación de la labor Candelaria mediante métodos mecánicos y manuales, la cual ampliará la sección de la misma, a dimensiones de 3m de ancho y 3m de alto en promedio.

**Figura 5**

*Proyección de la ampliación de labor Candelaria a dimensiones de 3m de ancho y 3m de alto*

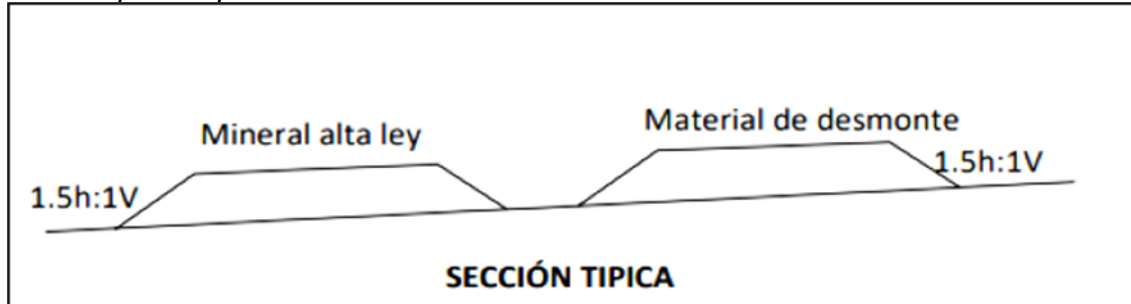


*Nota.* Imagen extraída de Declaración de declaración de impacto ambiental para la reutilización del pasivo ambiental minero identificado con id 8857 "labor candelaria" de la s.m.r.l. acumulación los rosales.

Producto de la ampliación de la labor se tendría un volumen aproximado de 3017 m<sup>3</sup> cúbicos de desmonte; por lo mismo el nuevo depósito de residuos mineros se dividirá en 2 sectores para poder separar mineral de alta ley y de baja ley, tal como se muestra en la Ilustración 4.

**Figura 6**

*Sección típica Depósito de desmonte*



*Nota.* Imagen extraída de Declaración de declaración de impacto ambiental para la reutilización del pasivo ambiental minero identificado con id 8857 “labor candelaria” de la SMRL acumulación los rosales

**Tabla 17**

*Tonelaje y volumen de material a extraer producto de rehabilitación*

Vol. Material (m <sup>3</sup> )	3017.43
Densidad desmonte (Ton/m <sup>3</sup> )	3
Toneladas métricas (TM)	9052.29

*Nota.* Adaptada de informe de cálculo de mineral – SMRL Acumulación Los Rosales

#### **Instalación de sistemas de ventilación:**

La necesidad de mantener dentro de la labor CANDELARIA, una atmosfera respirable, no toxica, y en unas condiciones ambientales optimas, obliga a renovar el aire de esta labor mediante los sistemas de ventilación.

A fin de lograr este objetivo, será necesario garantizar una dotación de aire fresco y limpio tanto en los frentes de trabajo como en las galerías de acceso, estos, aprovechando las condiciones naturales de la mina y empleando los medios auxiliares cuando sea necesario. El método más común para cumplir esta función, es hacer circular aire limpio en forma continua a través de las labores y regresar el aire contaminado a la superficie una vez que se haya logrado el objetivo deseado.

De acuerdo al D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM se tienen los siguientes objetivos a cumplir en ventilación:

- Proveer el aire necesario.
- Diluir y extraer el aire contaminado (polvo, gases) (Artículo 246).
- Controlar la temperatura del ambiente ( $\leq$  a 29° C) (Artículo 252).
- Controlar la propagación de humo en caso de incendios garantizando la seguridad del personal de trabajo, equipos entre otros.
- Garantizar un ambiente laboral seguro y confortable.

Los planos deben indicar las corrientes de ventilación, la situación de los ventiladores, puertas, cortinas, mamparas, ductos, reguladores, etc. Así mismo se indicarán las zonas mal ventiladas o de producción de gases, señalándose en este caso el tipo de estos.

#### **Ventilación en chimeneas:**

En la labor Candelaria existe la ventilación en chimeneas de forma natural, puesto que estas están conectadas a niveles superiores y finalmente a la superficie. La labor cuenta con tres chimeneas de ventilación que se encuentran al sur de la veta principal, que tienen las siguientes características:

**Tabla 18**

#### *Características de chimeneas*

	<b>CHIMENEA 1:</b>	<b>CHIMENEA 2:</b>	<b>CHIMENEA 3:</b>
Abreviatura:	CH – 1 SUR	CH – 2	CH – 3
Forma:	Rectangular	Cuadrada	Cuadrada
Sección:	3 x 2 m	2 x 2 m	2 x 2 m
Compartimiento:	02 (Ventilación 2x2 m y buzón 1x2 m)		
Roca encajonante:	Andesita/Relleno/Entablado de madera del buzón	Andesita/Relleno	Andesita/Relleno
Nivel inferior:	3963 m.s.n.m (Labor Candelaria)	3963 m.s.n.m. (Labor Candelaria)	3963 m.s.n.m. (Labor Candelaria)
Nivel Superior:	3963 m.s.n.m. (Labor Candelaria)	4013 m.s.n.m.	4013 m.s.n.m.
Altura aproximada a superficie:	262 m	50 m	50 m
Buzamiento:	80°	80°	80°

*Nota.* Adaptada de informe de cálculo de mineral – SMRL Acumulación Los Rosales

**Figura 7**

*Chimenea principal de ventilación*



Fuente: elaboración propia.

**Figura 8**

*Fotografía de chimenea secundaria*



Fuente: elaboración propia.

### **Ventilación de tajeos de explotación:**

Las chimeneas son de doble compartimento y de un compartimento de ventilación y se ubican cada 50 metros, estas cumplen los objetivos de: ventilación de labores, acceso a los tajeos principalmente.

Para mantener un buen circuito de ventilación natural en los tajeos se tiene establecido el reaprovechamiento del material de relleno que se encuentra en los tajeos tanto del lado norte y sur de la veta principal en forma simultánea de modo que permita mantener la conexión entre los tajos que existen entre la ALA1 y ALA2.

### **Cálculos de requerimiento de aire fresco en la labor Candelaria:**

En la explotación por método corte relleno ascendente convencional que se aplicara en la veta principal lados norte y sur de la labor candelaria, el requerimiento de aire fresco se determinará en función del Anexo 38 del D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM cuando en la operación no se utilicen equipos con motor petrolero como es nuestro caso.

### **Caudal requerido por el número de trabajadores (QTr):**

Personal que ingresará a la labor Candelaria: Superintendente de Mina (01), Ingeniero Geólogo (01), Ingeniero de Seguridad (01), jefe de Guardia (01), Operación Mina (05), haciendo un total de 09 personales por turno.

**Tabla 19**

*Cálculos requeridos por el número de trabajadores*

Total, de trabajadores	Art. 247 D.S. 023-2017-EM (m3/min)	Caudal de aire (m3/min)	Caudal de aire (CFM)
9	5	45	1589

*Nota.* Adaptada de informe de ventilación – SMRL Acumulación Los Rosales

**Tabla 20**

*Caudal requerido por el consumo de madera (Qma)*

Producción por guardia (TM)	Factor de producción (m3/min)	Caudal de aire (m3/min)	Caudal de aire (CFM)
1	0	0	0

*Nota.* Adaptada de informe de cálculo de mineral – SMRL Acumulación Los Rosales

**Tabla 21***Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo (Qte)*

Número de niveles con temperatura > 23 °C	Velocidad (m/min)	Área promedio (m <sup>2</sup> )	Caudal de aire (m <sup>3</sup> /min)
0	30	9	0

Nota. Adaptada de informe de ventilación – SMRL Acumulación Los Rosales

**Tabla 22***Caudal requerido por fugas (Qfu): 15% (a+b+c)*

Suma a) + b) + c) (m <sup>3</sup> /min)	Suma a) + b) + c) (CFM)	Caudal de aire (m <sup>3</sup> /min)	Caudal de aire (CFM)
45	1589	7	238

Nota. Adaptada de informe de ventilación – SMRL Acumulación Los Rosales

**Tabla 23***Caudal requerido por fugas (Qfu): 15% (a+b+c)*

Suma a) + b) + c)	Caudal de aire (m <sup>3</sup> /min)	Caudal de aire (CFM)
	52	1828

Nota. Adaptada de informe de ventilación – SMRL Acumulación Los Rosales

**3.10.2 Proceso metalúrgico de material extraído del PAM**

Como parte final del reaprovechamiento del pasivo ambiental denominado Bocamina Candelaria, el mineral extraído será procesado a la planta metalúrgica que a la fecha se está trabajando con la línea de lixiviación a razón de 160 ton por día (la cual incluye el reprocesamiento de relaves con contenido de oro), ubicada en el sector Huancasaya, Distrito de Vilque, provincia y departamento de Puno.

**Extracción y acarreo de mineral:**

El proceso de extracción de mineral en la mina subterránea comienza con la perforación, voladura o fragmentación mecánica de la roca para liberar el mineral. Una vez fragmentado, el mineral es cargado en pequeños vehículos mineros adaptados, para su extracción hacia superficie a una zona de acopio temporal.

Luego mediante volquete transportan el mineral hasta la cancha, que posteriormente mediante una excavadora es transferido a la tolva de gruesos para los siguientes procesos metalúrgicos.

### **Sección de trituración:**

De la tolva de gruesos pasara a la chancadora de martillos de 25 HP, para ser pulverizado y el relave fino pasante a la malla -3/4", que cae directamente a la faja transportadora N°1 de 18" x 15.5 m de largo, y posteriormente a la tolva de finos de 80 TM, para luego pasar a la sección molienda, con el cual culmina el circuito de chancado.

### **Sección de molienda:**

La molienda inicia con una tolva de finos N° 01 de 80TM de capacidad, que descarga el material a procesar a una faja transportadora 20" x 5 m que es alimentado al molino de bolas de 6' x 8' donde se adiciona agua, cal y/o soda para ajustar el pH a 11,0 y cianuro de sodio a 0.130%.

La pulpa es descargada a un cajón, el cual está conectado a una bomba de lodos, la pulpa es bombeado hacia un ciclón D10" BB el overflow pasa a una zaranda vibratoria 2'x4' con abertura malla #40 a fin de limpiar de basurillas, pelusas.

Los gruesos (U/F) del ciclón alimenta por gravedad al molino de bolas 5'x10' como remolienda, juntándose ambas descargas en el cajón de pulpa, cuya capacidad de molienda deberá ser 200 ton por día.

### **Proceso de cianuración:**

La pulpa del overflow se alimenta por gravedad al primer tanque acondicionador de 28'x28' a 40 RPM, donde se produce la disolución del de oro en presencia del oxígeno y el complejo de cianuro.

El oro es disuelto gradualmente mientras la pulpa pasa en contacto con el cianuro desde los molinos hasta los tanques agitadores de 28'x28' y 25'x 25'.

### **Carbón en pulpa (CIP):**

Los tanques carboneros del proceso de adsorción empiezan con los 04 tanques de agitación carbonero de 25'x25', sumado a 02 tanques carboneros 20'x20', el oro disuelto es captado gradualmente por el carbón activado granular, conteniendo en cada uno de ellos la concentración de 20 g por litro de pulpa.

Al pasar la pulpa por el último tanque, los valores económicos son bajos cuyas leyes oscilan en 0.30 g/TM de oro sólido y 0.040 g/m<sup>3</sup> en la solución. La cola (relave) del proceso es evacuado por gravedad a un espesador 60'x10' cuya finalidad es obtener dos productos: el over solución clara, la cual se obtiene de forma inmediata en planta y el underflow pulpado 1900 GPL para disponer en la relavera 03.

Cuando el carbón activado del primer tanque alcanza una carga de valores de oro de 2 - 5 gAu/kgC\* en promedio, este es cosechado del mismo por medio de un sistema de airlift con ayuda del soplador de aire de 70 cfm.

#### **Espesamiento:**

La pulpa proveniente del último tanque de agitación carbonero pasa al espesador de 60'x10' para obtener dos fases, fase líquida (solución barren), fase sólida producto al 67% de sólidos que serán evacuados a la nueva relavera por medio de una tubería HDPE de 4" con sistema de bombeo de lodos.

#### **Destrucción de cianuro:**

La fase sólida que será evacuado a la relavera ingresa a un cajón de metal conectado a una bomba de lodos de sello seco 2 ½"x2" del espesador, para la destrucción de cianuro donde se adiciona ácido "caro", generado in situ (mediante la reacción del ácido sulfúrico con peróxido de hidrógeno). Este reactivo destruye el cianuro rápidamente estimando niveles de cianuro WAD inferiores a 20 ppm.

La solución del O/F del espesador pasa a un tanque 3'x4' donde se mezcla con peróxido de hidrogeno para bajar el contenido de cianuro WAD a niveles inferiores a 20 ppm.

Luego de la destrucción de cianuro, el cobre presente en la solución se comenzará a precipitar por lo que la solución con partículas se enviará a una poza de sedimentación. El filtro se limpiará periódicamente y tanto el O/F como la solución limpia del filtro serán enviadas al tanque de agua industrial para reutilizarla en el proceso.

### **Planta de desorción 4.5 ton capacidad:**

Después efectuada la cosecha de carbón activado cargado de oro de 2 – 5 g Au/kg C\*, aproximadamente 4,500 kg de carbón es enviado a la planta de desorción para su procesamiento y la obtención de DORÉ Au y Ag.

**La Electrodeposición (Celda Electrolítica):** es convertir todo el oro y la plata desde su forma iónica a forma metálica, la solución rica obtenida de cada ciclo es alimentada a una celda de electrodeposición a razón de 7.44 m<sup>3</sup>/h ahí se le aplica una diferencia de potencial de 5 voltios y 2000 amperios mediante un rectificador de corriente directa de la marca SPECTRUM, bajo estas condiciones el oro, la plata y demás metales se electro depositan en los cátodos (-), la solución empobrecida es enviada al tanque de solución de preparación.

La celda electrolítica está compuesta por un recipiente rectangular de 2.00 m x 0.70 m x 1.0 m H, conteniendo 17 placas de cátodo de INOX y 18 placas de ánodo de acero inoxidable de 3/16" de espesor con huecos en toda la superficie, paralelas entre sí, conectados al rectificador de corriente

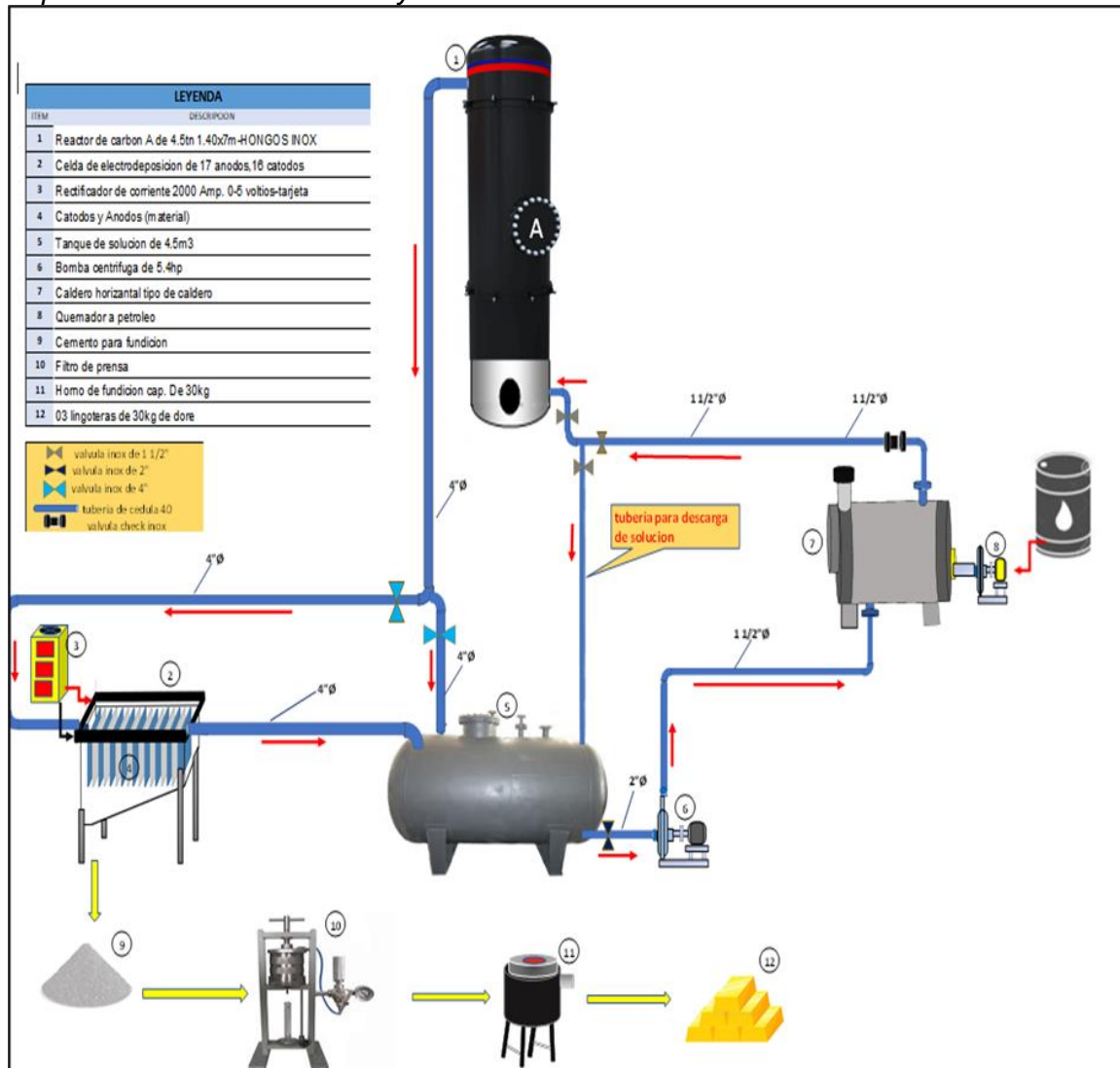
El proceso se inicia al encender el rectificador, pues un flujo de electrones (-) fluye hacia el cátodo el cual se carga negativamente en su superficie, cuando esto sucede los iones de oro y plata cargados positivamente fluye hacia el cátodo en donde su número de cargas positivas se neutraliza con un número igual de cargas negativas. Así cada ion metálico se transforma a su estado natural de metal y queda adherido en la superficie del cátodo en forma de lodos catódicos.

### **Fundición:**

Los lodos catódicos son filtrados y atacados con H<sub>3</sub>NO técnico, las lanas de acero se adhieren de carga son atacadas con ácido clorhídrico técnico más agua caliente para disolver el Fe, luego lavados y filtrados en un filtro prensa, la torta pasa a fundición con bórax y sílice en un horno a gas en un crisol de grafito tipo A-20. El dore producido es limpiado de la escoria, lavado, secado, muestreado, pesado y etiquetado.

**Figura 9**

*Esquema circuito de desorción y fundición*



Nota. Extraída de Modificación de la concesión de beneficio de la planta de procesamiento los rosales a 340 TMD de la SMRL acumulación los rosales.

### Producto final:

El producto final a obtener es un Dore de oro y plata, se cuenta a la fecha una planta de desorción de 4.5 ton de capacidad.

### 3.11 Cierre de bocaminas

La bocamina "Candelaria" es una estructura abierta temporal, que ha sido construidas para la extracción, transporte de mineral y de material de escombros de las labores mineras.

Para el cierre de la labor en mención se ha proyectado tapones ubicadas en el portal de la bocamina, los cuales tienen como función impedir el ingreso de personas y animales; cabe mencionar que para el diseño del tapón será necesaria la recopilación de información sobre las condiciones de superficie y subterráneas, es decir, se deberá caracterizar adecuadamente la cobertura de suelo y el macizo rocoso.

### ***3.11.1 Criterios y formulación utilizada para el diseño y elección del tipo de tapón***

Existen varios modelos de estructuras de acuerdo a la guía de construcción de tapones elaborados por el Ministerio de energía y minas usados en la industria minera, de los cuales los más recomendados para la construcción se considera los tapones monolíticos o tapones de núcleo hueco, utilizados en túneles de gran diámetro, para favorecer la disipación de calor donde el calor de la hidratación del cemento es alto.

Los tapones simples son rellenos manuales con material de desmonte y/o material de préstamos construidos en el portal de ingreso de cada galería. Como alternativa se ha diseñado terraplenes rellenos y compactados con material propio adyacentes a los muros.

Los tapones permanentes son estructuras de concreto colocados en lugares escogidos de tal manera que la roca donde quedan ubicadas cumpla con las condiciones geomecánicas de resistencia a la compresión, al corte y de impermeabilidad.

En el presente estudio se considera los siguientes, los mismos que deberán ser evaluados en base a los criterios:

#### **Relleno manual con material de desmonte:**

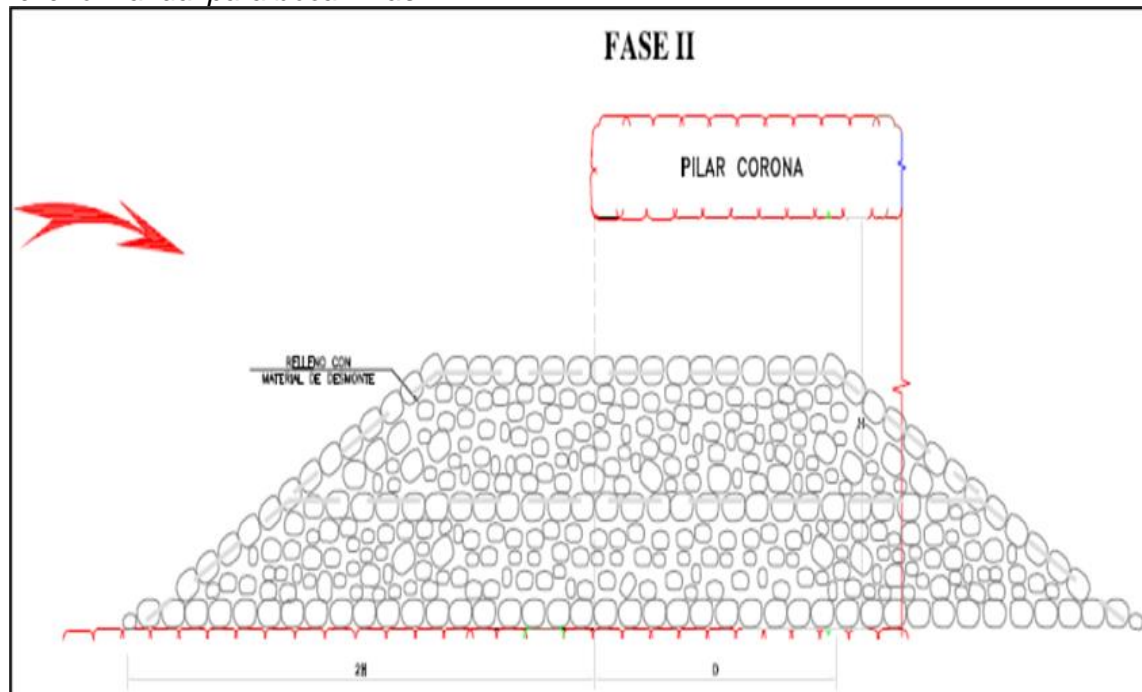
Este tipo de cierre se aplica generalmente cuando el terreno superficial donde se ubica es casi horizontal, tienen una fuerte inclinación y son de cortas profundidades. Es una modalidad simple de cerrar labores, consiste en acarrear material desde algunas zonas adyacentes (no requiere de grandes volúmenes de relleno por sus dimensiones) que puede ser botaderos de desmonte limpios.

El trasladado se realizará con cargador frontal o carretilla según sea la condición del acceso, hasta rellenarlo por completo, luego se procede a realizar un apisonamiento

(compactación casera) y se hace un proceso de revegetación si la topografía y el entorno lo amerita.

### Figura 10

*Relleno manual para bocaminas*



Nota. Tomada de la Declaración De Impacto Ambiental para la Reutilización Del Pasivo Ambiental Minero identificado con ID 8857 "Labor Candelaria" de la SMRL Acumulación Los Rosales.

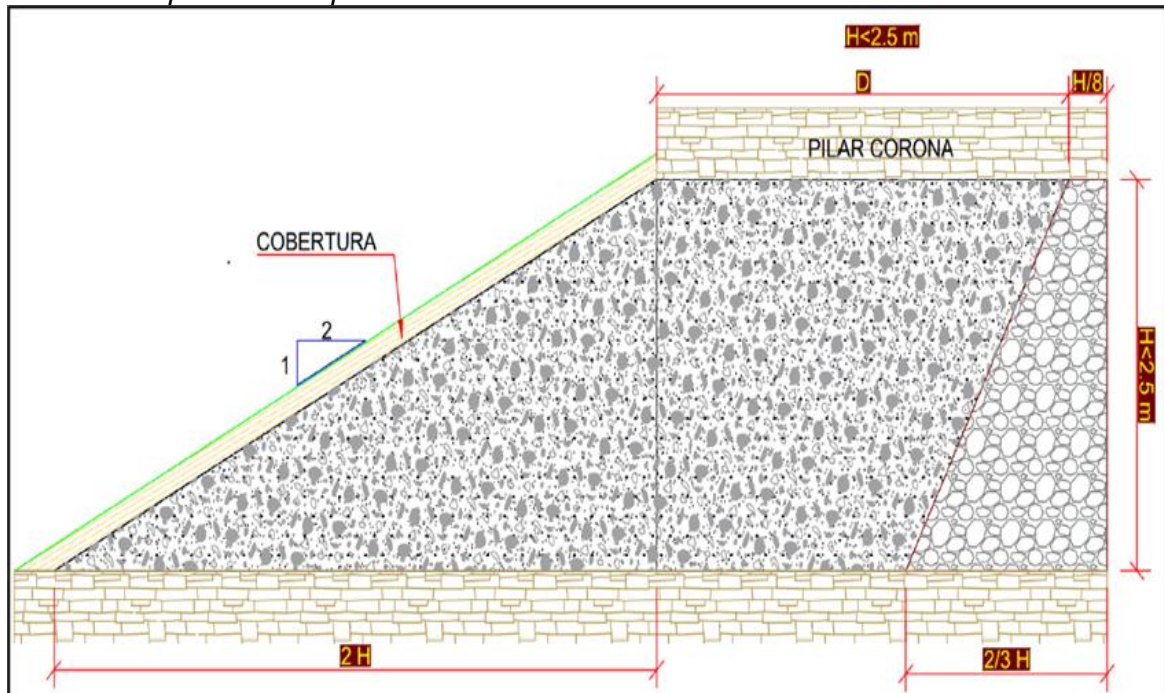
#### **Diseño de tapón de mampostería:**

La estabilización de la labor consiste en la construcción de un tapón de mampostería de piedra de forma trapezoidal, el espesor de la base será igual a  $\frac{2}{3}$  de la altura del portal de la bocamina, el espesor superior será igual a  $\frac{1}{8}$  de la altura del portal de la bocamina, la distancia D deberá ser la distancia de ubicación del tapón (Línea segura) que será en la mayoría de los casos cerca al portal.

Así mismo se acumulará material de desmonte en el portal de acuerdo a la topografía de la zona y tiene que revegetarse si el entorno lo amerita lográndose así la restauración y configuración topográfica inicial.

**Figura 11**

*Diseño de tapón de mampostería*



*Nota.* Tomada de la Declaración de impacto ambiental para la reutilización del pasivo ambiental minero identificado con ID 8857 "Labor Candelaria" de la SMRL Acumulación Los Rosales.

### **Diseño de tapón de lados paralelos:**

Por tapón de lados paralelos comúnmente se entiende un diseño de tapón "sin indentado". Pueden ser tapones monolíticos o huecos.

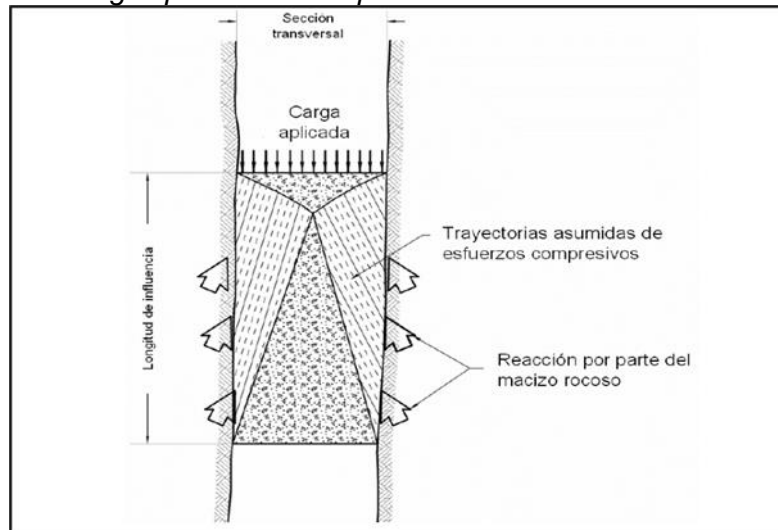
Este tipo de tapón se ha usado en el Perú, Estados Unidos, Sudáfrica y Canadá.

Por ejemplo, en la mina Antamina del Perú se ha construido una combinación de tapón de lados paralelos de sección monolítica / hueca.

En el concepto de diseño de tapón de lados paralelos se asume que la carga inducida por la presión hidrostática sería transmitida del tapón de concreto a la roca como corte alrededor del perímetro del tapón y a lo largo de toda su longitud. (MINEM,2017, pp.28)

**Figura 12**

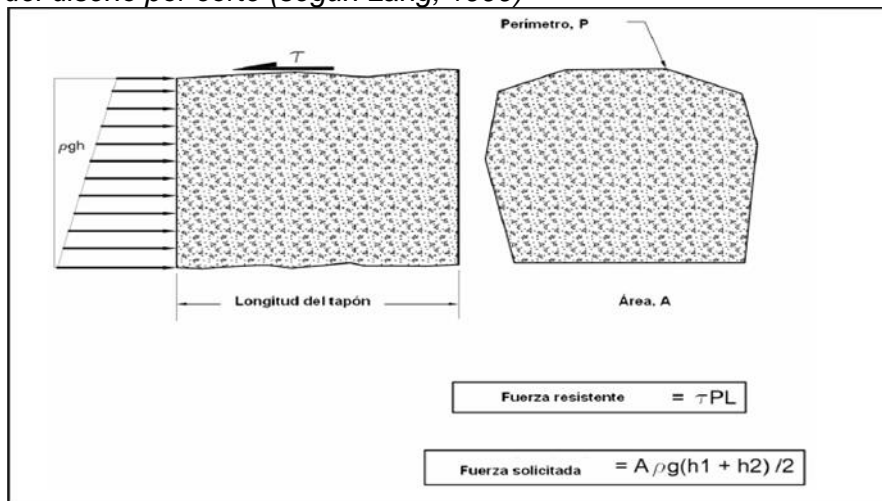
*Diagrama típico de cargas para el diseño por corte*



Nota. Tomada de la guía para el diseño de tapones para el cierre de las labores minera- MINEM -DGAAM (2017)

**Figura 13**

*Diagrama del diseño por corte (según Lang, 1999)*



Nota. Tomada de la guía para el diseño de tapones para el cierre de las labores minera- MINEM -DGAAM (2017)

El tipo de tapón a instalar en la bocamina "Candelaria" dependerá de diversos criterios, Los criterios que se toman en cuenta para la selección del método de cierre o control de los componentes de bocaminas se describen con la finalidad de:

- Prevenir el riesgo potencial de accidentes para personas y animales.
- Prevenir y/o remediar la generación de aguas ácidas.
- Prevenir usos futuros de la zona como botadero de desmonte

**Condiciones de sitio:** Las condiciones ambientales consideradas para el diseño del proyecto se detallan en el cuadro.

**Tabla 24**

*Condiciones de sitio Bocamina Candelaria*

CONDICIONES	VALOR	UNIDADES
Altitud sobre el nivel mar	3970	m.s.n.m
temperatura máxima	15	°C
temperatura mínima	-5	°C
Velocidad promedio de viento	Este (43%) al Nor-Oeste (53%)	
Tipo de Terreno	Suelo natural y tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas).	
Zona sísmica (Norma técnica E.030)	Zona II	

*Nota.* Datos extraídos de estudio geológico – SMRL Acumulación Los Rosales

**Sismicidad:** Para evaluar las condiciones sísmicas de la zona del proyecto, se ha revisado el estudio de peligro sísmico realizado el año 2022.

**Tabla 25**

*Condiciones sísmicas de la zona de proyecto*

Periodo de Retorno en años	Aceleración Máxima Esperada (%g)
475	0.074 g

*Nota.* Datos extraídos de estudio geológico – SMRL Acumulación Los Rosales

**3.11.2 Consideraciones de diseño**

Los taponos de concreto de alta resistencia serán diseñados a partir de los siguientes criterios:

- La carga de presión hidrostática sobre el tapón deberá ser resistida por el esfuerzo cortante que se genera alrededor del perímetro concreto-roca.
- Se deberá proveer la longitud suficiente para reducir gradientes hidráulicos a niveles admisibles según las condiciones de la roca y su permeabilidad.
- Deberá haber suficiente capacidad estructural para resistir las presiones externas del fluido.

- Se deberá disponer de una longitud suficiente para evitar el deslizamiento de la estructura retenedora, para lo cual, se debe asegurar una longitud adecuada del tapón en función del esfuerzo de adherencia concreto-roca.
- Las características físico- mecánicas consideradas en el diseño son las siguientes:
  - Túnel de ancho (w) por alto (h) en metros.
  - Carga máxima hidráulica (H) en metros.
  - Clasificación del macizo rocoso, RMR en el tramo de ubicación del tapón.
  - Ancho y altura de las aberturas de la galería
  - Presión hidrostática de agua equivalente a la carga actuante.
  - Resistencia a la compresión del concreto.
  - Cobertura de suelo y roca, e inclinación del mismo.
  - Peso específico de la roca.
  - Aceleración de la gravedad sísmica.

**Tabla 26**

*Características del PAM*

Bocamina	Norte	Este	Ancho de la labor (m)	Altura de la labor (m)	Longitud (m)	RMR 89	RMR89 Ajustado Calidad de Roca
ID 8857	8251486.54	362549.08	2.4 m	2.4 m.	830	40-60	Tipo III: Media

*Nota.* Datos extraídos de estudio geológico, geo mecánico – SMRL Acumulación Los Rosales

**3.12 Tratamiento del drenaje ácido de la bocamina**

La afectación temporal de los cuerpos de agua superficial ocurre por la generación de aguas ácidas que provienen de la bocamina, material particulado, aceites y combustible, minerales a reutilizarse y lodos en contacto con el agua superficial y escorrentía en las etapas de habilitación, limpieza y sostenimiento; carguío, trasporte y disposición de residuos mineros; y operación del sistema de tratamiento.

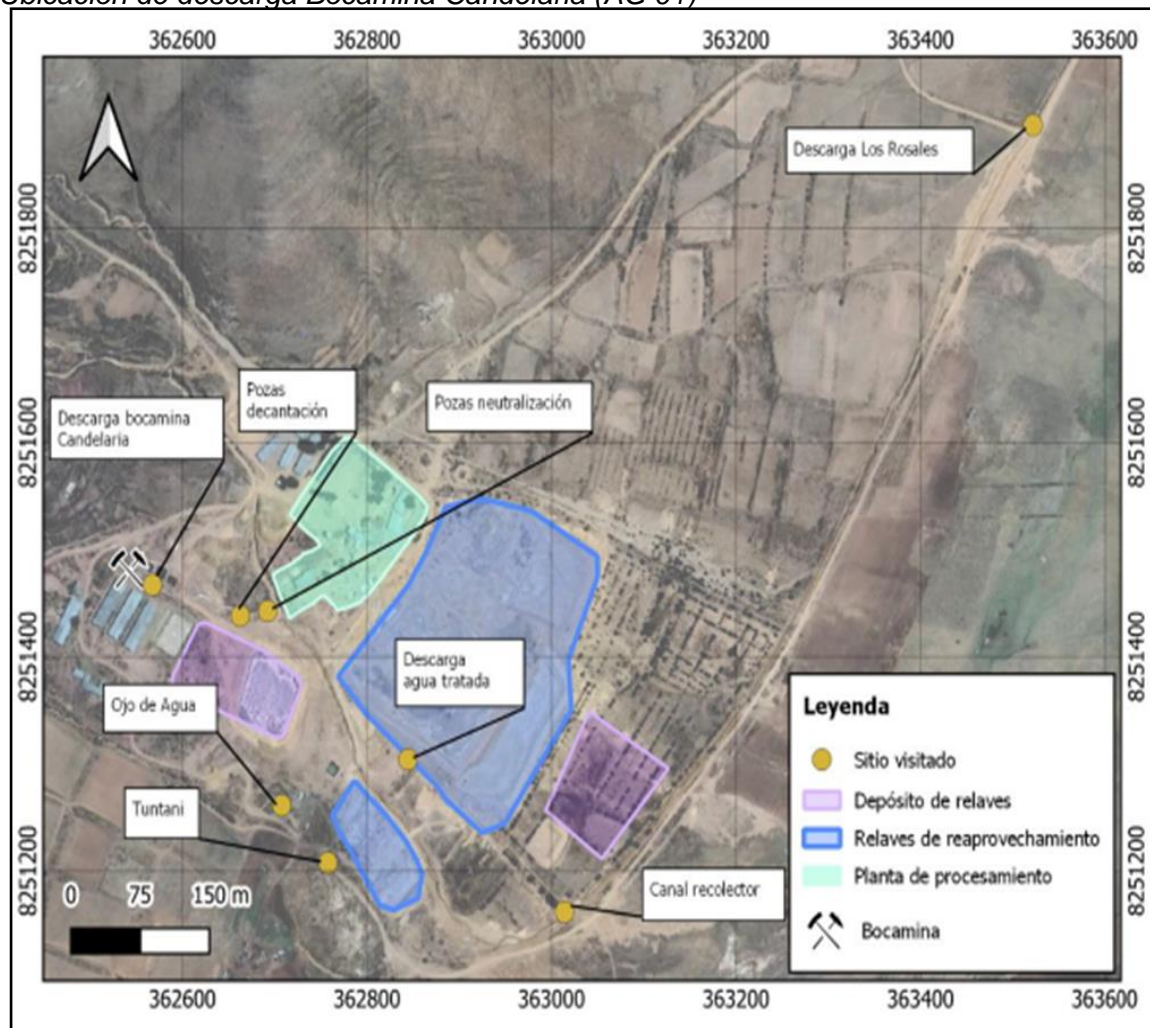
Se obtuvo información histórica de Los Rosales respecto al agua acida proveniente de la bocamina Candelaria.

- Dos campañas de monitoreo en marzo 2020 y 2021 (Quantum MVA, 2020; Sesam, Perú, 2021). Estos informes incluyeron análisis de suelo, agua y ruido.

- Estudio hidrogeológico de octubre de 2020 (Golden Growing, 2020). Se presentan los resultados químicos de cuatro sitios de muestreo, incluidas muestras de agua de mina y agua subterránea de excavaciones exploratorias.
- Estudio hidrológico de octubre de 2020 (Golden Growing, 2020). La caracterización de la cuenca y las precipitaciones y escurrimientos máximos esperados se calcularon a partir de datos meteorológicos.
- Informe de exploración geológica de octubre de 2020 (Canllahui Duran, 2020). Un estudio general de las propiedades Los Rosales, la Mina Candelaria y los mineros que extraen material sin maquinaria en el área se centró en la mineralización del área.

**Figura 14**

*Ubicación de descarga Bocamina Candelaria (AG 01)*



*Nota.* Tomado de Protección del agua en la rehabilitación minera en el Perú (pg 335), por Roth T, Sontag H, Lagas G, Aselmeyer G, (2022).

## Figura 15

Vista fotográfica PAM Candelaria y descarga de agua (AG 01)



Fuente: elaboración propia

La muestra AG-01 representa el flujo de salida del agua de la mina Candelaria al medio ambiente, y los resultados de los parámetros medidos in situ y los analizados en el laboratorio muestran las características del drenaje ácido de mina: bajo pH (3.9), alta conductividad eléctrica (1650  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) y elevadas concentraciones de sulfato (1006 mg/L), hierro (102 mg/L) y otros metales como cobre (4.7 mg/L), manganeso (12.8 mg/L) y zinc (2 mg/L).

De la exploración histórica se obtuvieron los siguientes resultados:

- El agua de mina de la mina Candelaria reportó pH bajo, altas concentraciones de sulfato, fluoruro, aluminio, cobre, manganeso, níquel y zinc.

- Las concentraciones de cobre, hierro y zinc superan los límites máximos permitidos para descarga de agua en faenas mineras determinados en la normatividad peruana.

**Tabla 27**

*Análisis de calidad de agua bocamina Candelaria*

	pH (-)	SO <sup>4</sup> Mg/L	Al Mg/L	Cu Mg/L	Fe Mg/L	Mn Mg/L	Zn Mg/L
Marzo 2021	4.4	-	-				
Marzo 2020	5.2	-	9.35	7.98	117.01	11.56	2.34
Octubre 2020	4.3	985	8.75	6.99	128.7	12.89	2.249

*Nota.* Tomado de Protección del agua en la rehabilitación minera en el Perú (pg 333), por Roth T, Sontag H, Lagas G, Aselmeyer G, (2022).

**3.12.1 Manejo de drenaje ácido del componente Bocamina 8857 “Labor Candelaria”**

El volumen de drenaje que la bocamina 8857 generan es de 2 a 5 l/s, el manejo que se realiza en la actualidad sigue los siguientes procesos:

- **Sedimentación:**

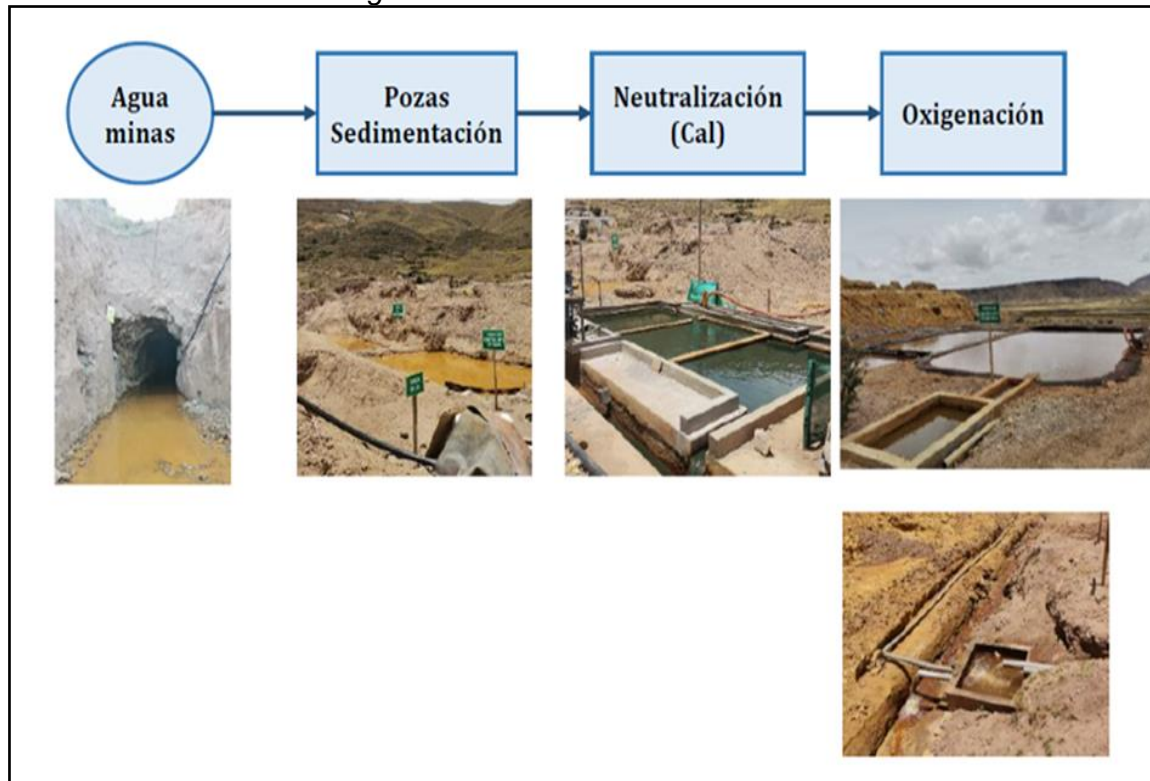
El afluente es conducido a través de un canal impermeabilizado hacia 3 pozas de sedimentación, donde se precipitan los sólidos presentes en el agua, posteriormente pasa por dos tuberías HPDE (4”) a las pozas de tratamiento de aguas acidas, (pH 3-5)

- **Tratamiento por hidrolisis:**

Estas consisten de 3 pozas de dimensiones 9.0 x 20.0 m con 3.0 m de profundidad, En la primera poza se agrega lechada de cal, hidróxido de cal (Ca (OH)<sub>2</sub>) al 80%, (pH 9 - 10), al pasar por las pozas 2 y 3 el pH disminuye, y se es donde se precipita algunos metales como Hierro y Zinc, formándose los lodos, en la salida de la poza 3 los valores de pH y metales muestran valores de:

**Figura 16**

*Proceso de tratamiento de agua*



*Nota.* Tomado de Protección del agua en la rehabilitación minera en el Perú (pg 334), por Roth T, Sontag H, Lagas G, Aselmeyer G, (2022).

**Figura 17**

*Fotografía de la planta de tratamiento de aguas acidas*



Fuente: elaboración propia

### 3.12.2 Planteamiento de sistemas de tratamiento después de la reutilización del PAM

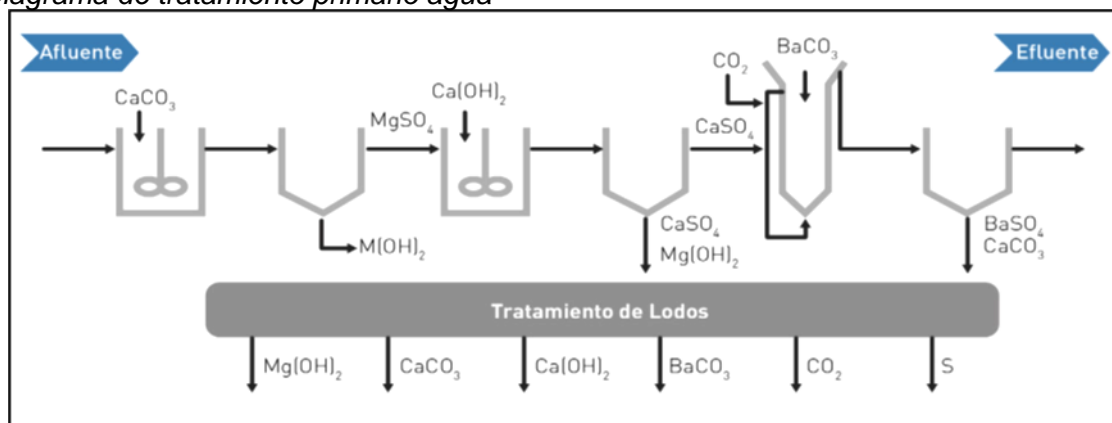
ID 8857

#### Tratamiento primario: Neutralización/Hidrólisis

Los agentes de neutralización más comunes a usar es la cal hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), pero también se utiliza la cal viva ( $\text{CaO}$ ), mediante la mezcla del agente neutralizante y el agua se realiza la preparación de lechada de cal a una concentración entre el 5% al 10% (P/V); esta lechada será dosificada al agua ácida mediante agitación constante hasta obtener una pulpa con pH entre 8.0 a 9.0. (Servicio Nacional de Geología y Minería [SERNAGEOMIN], (2015). Pg. 32)

Figura 18

Diagrama de tratamiento primario agua



Nota. Tomada de guía metodológica para la estabilidad química de faenas e instalaciones mineras, por Servicio Nacional de Geología y Minería, 2015. Chile.

#### Tratamiento secundario: Coagulación /floculación

Después de la dosificación de lechada de cal al agua ácida, este pasa a los tanques donde se realiza el proceso de coagulante o floculante, en esta fase, se dosifica un coagulante que actúa neutralizando las cargas eléctricas de las partículas coloidales, lo que facilita su aglomeración en partículas de mayor tamaño, mejorando así la eficiencia del proceso de clarificación, este puede variar de concentración del 5%. Entonces el agua será bombeada a las pozas de sedimentación y clarificación, donde se generará los lodos y el efluente podrá tener calidad.

Tener en cuenta que la utilización de agentes neutralizantes lleva asociada la generación de lodos, resultado de las reacciones de neutralización. Estos se componen

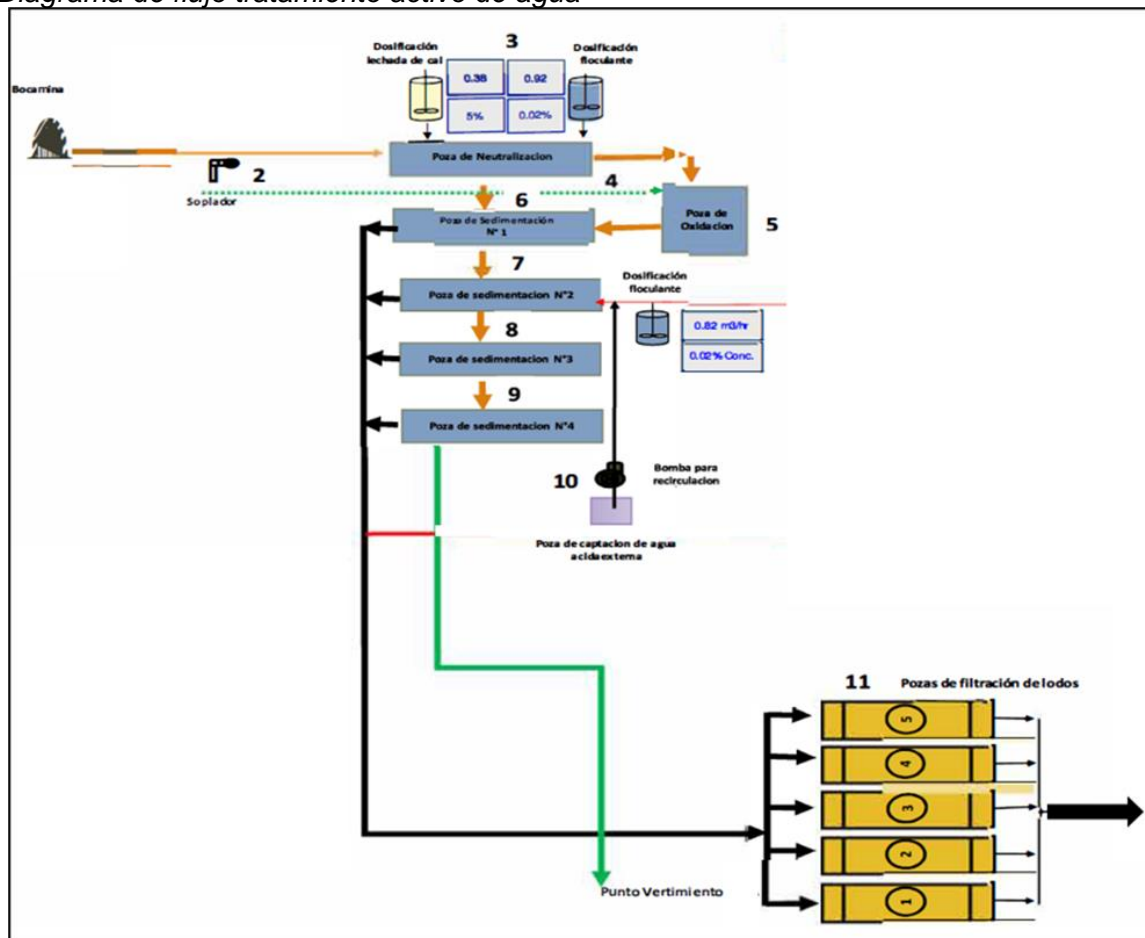
principalmente de óxidos e hidróxidos metálicos, sales de sulfato, yeso y productos químicos de neutralización que no han reaccionado.

### Diagrama de flujo tratamiento activo.

El actual Diagrama de Flujo del proceso está sujeto a las modificaciones que se demanden en función a las actividades y caudal a considerar.

**Figura 19**

*Diagrama de flujo tratamiento activo de agua*



Fuente: elaboración propia.

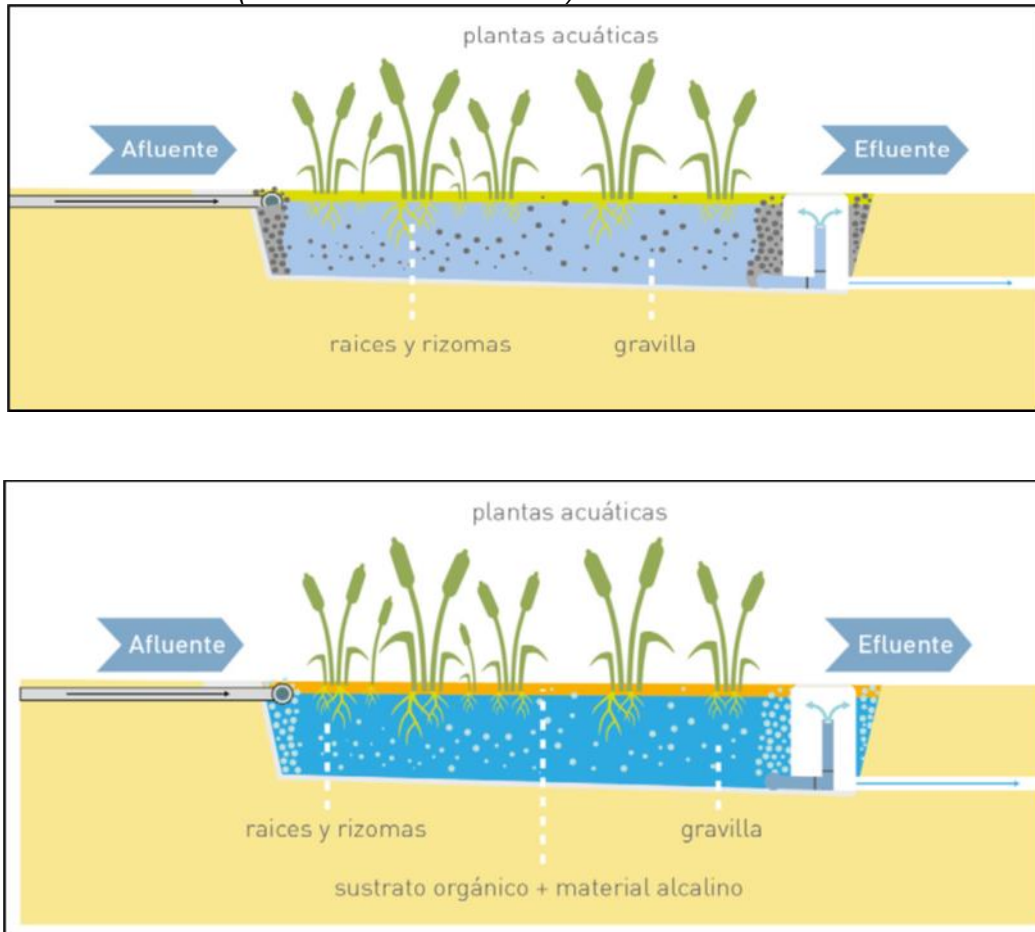
### Tratamiento terciario: Tratamiento por métodos pasivos de drenajes acidas

Los tratamientos pasivos se caracterizan por no requerir el uso de insumos químicos ni energía para operar, utilizando fuentes de energía disponibles en la naturaleza, como, por ejemplo, la gravedad a través de gradiente topográfico o la energía metabólica microbiana. Los tratamientos pasivos suelen ser menos efectivos en término de eficiencia

de remoción y también se consideran más lentos que los activos (SERNAGEOMIN, 2015, PP. 114)

**Figura 20**

*Humedales artificiales (aeróbicos e anaeróbicos)*



*Nota.* Tomada de guía metodológica para la estabilidad química de faenas e instalaciones mineras, por Servicio Nacional de Geología y Minería, 2015. Chile.

**Consideraciones básicas para el diseño:**

Como requisito general para la instalación de humedales artificiales se debe considerar:

- Mayor espacio que los sistemas convencionales.
- Es preferible climas que no tengan períodos largos de heladas.
- Se recomienda tener condiciones totales de luz solar.
- Las plantas utilizadas deben estar adaptadas
- Personal capacitado para el mantenimiento

- impermeabilización de la base: para el revestimiento del fondo del humedal se utiliza geomembrana HDPE8 (o PVC), también es posible impermeabilizar con una capa de arcilla o una base de concreto
- Contar con tubos de PVC, debidamente perforados para una distribución uniforme.
- Grava y arena sin polvo (o arena lavada).

**Tabla 28**

*Criterios para la construcción de humedales artificiales*

ÁREA REQUERIDA	PLANTAS QUE UTILIZAR	SUSTRATO UTILIZADO
El área propuesta es de 15.0 m de largo x 7.0 m de ancho, el mismo que se ubicara aguas abajo del tratamiento secundario.	Considerando especies locales, autóctonas. Carrizo ( <i>Phragmites australis</i> ) Totora o junco ( <i>Schoenoplectus californicus</i> )	La correcta selección es por la permeabilidad. Arena gruesa El lecho de arena tiene un espesor de 40 a 80 cm. Los tubos de entrada y de salida son cubiertos con 10 a 20 cm de grava. La arena debe tener una capacidad hidráulica (valor kf) aproximado de 3,10 a 4,10 m/s.

Fuente: elaboración propia

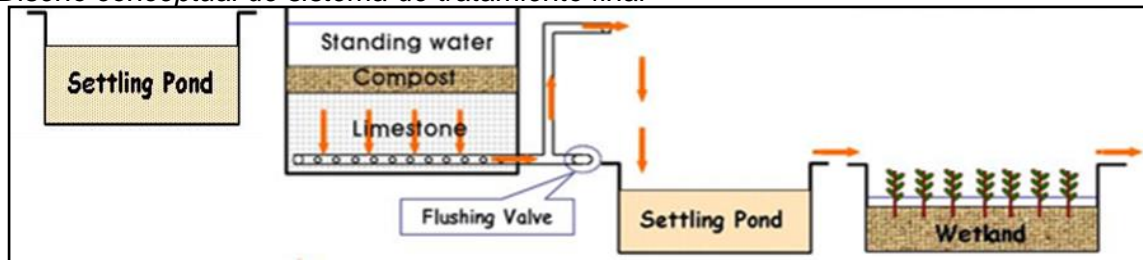
En función a los resultados de la calidad de agua de la bocamina 8857, se planteó el sistema de tratamiento pasivo basado en el diseño de humedales (wetland) para eliminar la concentración metales disueltos, además de otros componentes de interés antes de la descarga al ambiente, con la finalidad de cumplir con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes.

El sistema de tratamiento pasivo considera los siguientes componentes colocados en serie, uno a continuación de otro según: sistema reductor y generador de alcalinidad; reactor bioquímico, pozas de colección/sedimentación, dos canales de aireación. En la ilustración 16 se muestra el detalle conceptual de cada uno de los componentes del sistema de tratamiento.

En cuanto al flujo de aguas ácidas de la Bocamina 8857 medido puntualmente en época seca y húmeda es 2 L/s y 5 L/s respectivamente; sin embargo, para el diseño se consideró el flujo máximo estimado de 5 L/s.

**Figura 21**

*Diseño conceptual de sistema de tratamiento final*



*Nota.* Tomada de la Declaración de impacto ambiental para la reutilización del pasivo ambiental minero identificado con ID 8857 "Labor Candelaria" de la SMRL Acumulación Los Rosales, pág. 91.

### **3.13 Trade – Off de alternativas para el reaprovechamiento y cierre de la bocamina "La Candelaria"**

#### **3.13.1 Evaluación de alternativas (Elección por ventajas - CBA)**

El análisis de las alternativas se desarrolló sobre la base de la información existente para las condiciones actuales y las necesidades de estabilización a largo plazo de los aspectos relevantes o de interés observados en la bocamina "La candelaria" (reaprovechamiento, estabilidad física, geoquímica de la bocamina, necesidad de tratamiento de las aguas de contacto, y optimización para el tratamiento de drenaje ácidos). Para esto se usó el método de elección por ventajas (CBA, por sus siglas en inglés).

#### **3.13.2 Selección de los criterios de valoración**

De acuerdo a la metodología descrita anteriormente y a los aspectos de interés identificados para las alternativas de análisis se seleccionaron los siguientes criterios de valoración para la selección de la alternativa más favorable según el método CBA. Los criterios considerados se detallan en la siguiente tabla:



Factor (Criterio)	Jerarquización de atributos	Clasificación de tipo de atributo y valoración de su ventaja por su importancia	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	
			Reaprovechamiento de PAM y cierre de bocamina aplicando tapones de concreto	Reaprovechamiento de PAM y tratamiento activo de aguas acidas	Reaprovechamiento de PAM y tratamiento pasivo de aguas acidas	Reaprovechamiento de PAM y tratamiento mixto de aguas acidas	
Mantenimiento Post cierre	Frecuencia de mantenimiento físico (tapones y sistema de tratamiento de agua)	Mantenimiento constante/perenne	1	3	1	2	1
		Mantenimiento periódico (Trimestrales)	2				
		Mantenimientos temporales (Época de avenidas de lluvias)	3	Mas ventajosa	Menos ventajosa	Medianamente ventajosa	Menos ventajosa
Costos por implementación (cierre) y costo post-cierre	Costo CAPEX	Bajo ( $\leq 0.5$ millones de soles)	3	2	2	3	1
		Medio (0.5-25 millones de soles)	2				
		Alto (>25 millones de soles)	1	Menos ventajosa	Medianamente ventajosa	Mas ventajosa	Menos ventajosa
	Costos por mantenimiento y monitoreo post cierre	Bajo	3	3	1	3	1
		Medio	2				
		Alto	1	Mas ventajosa	Menos ventajosa	Mas ventajosa	Menos ventajosa
PUNTAJE TOTAL			15	9	13	8	

Fuente: Elaboración propia

Se asignaron valores de ponderación a los diversos criterios de la matriz de evaluación de acuerdo con las siguientes razones fundamentales:

- **Aspectos ambientales:**

Basados en la complejidad de manejo de aguas al cierre y post cierre de cada alternativa con la finalidad de minimizar potenciales riesgos de afectación a cuerpos de agua naturales (e.g: tratamiento, generación de efluentes).

- **Aspectos técnicos:**

Referidos a la complejidad de su ejecución en campo y el sostenimiento a largo plazo de las medidas de cierre (estabilidad física, geoquímica) y mantenimiento post cierre.

- **Aspectos económicos:**

La evaluación de estos aspectos incluyó los criterios de capital para la implementación de las medidas de cierre y costos estimados para la etapa de cierre.

Cada alternativa fue calificada en la escala de 1 a 3 (un mayor puntaje significa una mayor ventaja o aspecto favorable sobre el resto de las alternativas) para cada uno de los criterios señalados. El valor final de cada alternativa se calculó como la suma de los conteos individuales

## Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados

### 4.1 Análisis de costos

#### 4.1.1 Análisis de costo de reaprovechamiento de minerales del PAM

El costo incluye las actividades preliminares a realizar la extracción de mineral para el reaprovechamiento, tales como la rehabilitación de la bocamina, a fin de brindar las condiciones para el ingreso y la ejecución de las operaciones con normalidad.

**Tabla 30**

*Costo de costo de reaprovechamiento de minerales del PAM*

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD TOTAL	P.U	COSTO PARCIAL	COSTO TOTAL
<b>1</b>	<b>PRELIMINARES</b>					<b>71.000,00</b>
1.1	Movilización y desmovilización	Glb	1,00	25.000,00	25.000,00	
1.2	Trazo y Replanteo	Mes	1,00	4.000,00	4.000,00	
1.3	Provisionales	Glb	1,00	10.000,00	10.000,00	
1.4	Rehabilitación de PAM Bocamina Candelaria	Glb	1,00	24.000,00	24.000,00	
1.5	Instalación de sistemas de ventilación	Glb	1,00	8.000,00	8.000,00	
<b>2</b>	<b>PROCESO METALÚRGICO DE MATERIAL EXTRAÍDO DEL PAM</b>					<b>390.600,00</b>
2.1	CHANCADO Y MOLIENDA					159.600,00
2.1.1	Tolva de gruesos	Glb	1,00	10.000,00	10.000,00	
2.1.2	Faja de alimentación 36"x2500	Glb	1,00	15.000,00	15.000,00	
2.1.3	Chancadora de martillo	Glb	1,00	5.000,00	5.000,00	
2.1.4	Chancadora cónica symons 3	Glb	1,00	10.000,00	10.000,00	
2.1.5	Zaranda vibratoria 4x12	Glb	1,00	18.000,00	18.000,00	
2.1.6	Faja transportadora 1,2,3,4	Glb	1,00	20.000,00	20.000,00	
2.1.7	Faja transportadora 5	Glb	1,00	21.600,00	21.600,00	
2.1.8	Molino de bolas continuo 6x 8	Glb	1,00	30.000,00	30.000,00	
2.1.9	Molino de bolas continuo 5x10	Glb	1,00	25.000,00	25.000,00	
2.1.10	cajón de bomba	Glb	1,00	1.000,00	1.000,00	
2.1.11	Bomba de lodos sello seco	Glb	1,00	2.000,00	2.000,00	
2.1.12	Hidrociclón	Glb	1,00	2.000,00	2.000,00	
2.2	PROCESAMIENTO DE LIXIVIACIÓN					196.000,00
2.2.1	DSM vibratorio	Glb	1,00	20.000,00	20.000,00	
2.2.2	Tanque agitador 28" x 28	Glb	1,00	20.000,00	20.000,00	
2.2.3	Tanque carbonero 25"x25"	Glb	1,00	22.000,00	22.000,00	
2.2.4	Tanque carbonero 20"x20"	Glb	1,00	30.000,00	30.000,00	
2.2.5	Espesador 60x 10	Glb	1,00	25.000,00	25.000,00	
2.2.6	Tanque 12 x 12	Glb	1,00	29.000,00	29.000,00	
2.2.7	Tanques de agitación 8" x 8"	Glb	1,00	15.000,00	15.000,00	
2.2.8	Tanques de agitación 6" x 7"	Glb	1,00	10.000,00	10.000,00	
2.2.9	Tanque de solución	Glb	1,00	25.000,00	25.000,00	
2.3	PLANTA DE DESORCIÓN Y FUNDICIÓN					35.000,00
2.3.1	Planta de desorción y fundición	Glb	1,00	35.000,00	35.000,00	
	COSTO DIRECTO					461.600,00
	COSTO INDIRECTO				40,00%	184.640,00
	RIESGO Y/O CONTINGENCIAS				5,00%	32.312,00
	<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>					<b>678.552,00</b>

Fuente: elaboración propia

#### 4.1.2 Análisis de costo cierre de bocamina mediante tapones

El costo involucra el cierre de la bocamina mediante la construcción de tapones de concreto.

**Tabla 31**

##### *Costo de cierre de bocaminas con tapones*

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD TOTAL	P.U	COSTO PARCIAL	COSTO TOTAL
<b>1</b>	<b>ESTABILIDAD FISICA</b>					<b>41.550,16</b>
1.1	TAPON DE CONCRETO 2,4*2,4*10m					41.550,16
1.1.1	Excavación de caja techo manual	m <sup>3</sup>	24	54.93	1.318,32	
1.1.2	Excavación de cimentación manual para tapón	m <sup>3</sup>	24	59.15	1.419,60	
1.1.3	Excavación lateral manual	m <sup>3</sup>	4.8	54.93	263,66	
1.1.4	Acero corrugado FY= 4200 kg/cm2 grado 60	kg	10700	2.46	26.322,00	
1.1.5	Encofrado de superestructura perdido	m <sup>2</sup>	48	15.03	721.44	
1.1.6	Encofrado y desencofrado de muretes	m <sup>2</sup>	11.52	13.81	159,09	
1.1.7	Concreto armado f'c=30Mpa	m <sup>3</sup>	86.4	131.32	11.346,04	
	<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>41.550,16</b>
	<b>COSTO INDIRECTO</b>				<b>40,00%</b>	<b>16.620,07</b>
	<b>RIESGO Y/O CONTINGENCIAS</b>				<b>5,00%</b>	<b>2.908,51</b>
	<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>					<b>60.247,74</b>

Fuente: elaboración propia

#### 4.1.3 Análisis de costo tratamiento activo de aguas acidas

El presupuesto calculado corresponde al proceso de instalación y equipamiento del sistema de tratamiento de aguas acidas (efluente de la bocamina "La Candelaria"), el tratamiento consta de dos procesos: neutralización y floculación.

**Tabla 32**

*Costo de tratamiento activos de aguas acidas*

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD TOTAL	P.U	COSTO PARCIAL	COSTO TOTAL
<b>1</b>	<b>PRELIMINARES</b>					<b>10.800,00</b>
1.1	Movilización y desmovilización	Glb	4,00	450,00	1.800,00	
1.2	Trazo y Replanteo	Mes	1,00	4.000,00	4.000,00	
1.3	Provisionales	Glb	1,00	5.000,00	5.000,00	
<b>2</b>	<b>CONSTRUCCION DE POZAS DE TRATAMIENTO</b>					<b>41.490,00</b>
2.1	POZA DE NEUTRALIZACION (3,7 m x 2.5m) (01)					8.400,00
2.1.1	Concreto simple f'c=175 kg/cm2	Glb	1,00	7.400,00	7.400,00	
2.1.2	Encofrado y desencofrado	Glb	1,00	500,00	500,00	
2.1.3	Curado del concreto	Glb	1,00	500,00	500,00	
2.2	POZA DE OXIDACION (3,7 m x 2.5m) (01)					8.400,00
2.2.1	Concreto simple f'c=175 kg/cm2	Glb	1,00	7.400,00	7.400,00	
2.2.2	Encofrado y desencofrado	Glb	1,00	500,00	500,00	
2.2.3	Curado del concreto	Glb	1,00	500,00	500,00	
2.3	POZA DE SEDIMENTACION (3m x 2 m) (03)					12.690,00
2.3.1	Concreto simple f'c=175 kg/cm2	Glb	3,00	3.600,00	10.800,00	
2.3.2	Encofrado y desencofrado	Glb	3,00	315,00	945,00	
2.3.3	Curado del concreto	Glb	3,00	315,00	945,00	
2.4	POZA DE FILTRACION DE LODOS (4m x2.5m) (2)					12.000,00
2.4.1	Concreto simple f'c=175 kg/cm2	Glb	2,00	5.000,00	10.000,00	
2.4.2	Encofrado y desencofrado	Glb	2,00	500,00	1.000,00	
2.4.3	Curado del concreto	Glb	2,00	500,00	1.000,00	
<b>3</b>	<b>IMPLEMENTACION</b>					<b>71.200,00</b>
3.1	EQUIPOS					55.200,00
3.1.1	Tanque dosificación de lechada cal 10 m3	Glb	1,00	15.000,00	12.000,00	
3.1.2	Tanque dosificación floculante /coagulante 10m3	Glb	1,00	10.000,00	9.000,00	
3.1.3	Motor de 12.5HP	Glb	2,00	5.500,00	11.000,00	
3.1.4	Bombas sumergibles de recirculación 10 Hp	Glb	1,00	7.000,00	7.000,00	
3.1.5	Tanque de agitación 10 m3	Glb	1,00	15.000,00	15.000,00	
3.1.6	Teclé manual (Capacidad 2 TM)	Glb	1,00	1.200,00	1.200,00	
3.2	OTROS					16.000,00
3.2.1	Suministro energía eléctrica	Glb	1,00	8.000,00	8.000,00	
3.2.2	Suministro de tubería HDPE de 4"	Glb	1,00	4.000,00	4.000,00	
3.2.3	Suministro de tubería HDPE de 3"	Glb	1,00	4.000,00	4.000,00	
	<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>123.490,00</b>
	<b>COSTO INDIRECTO</b>				40,00%	<b>49.396,00</b>
	<b>RIESGO Y/O CONTINGENCIAS</b>				5,00%	<b>8.644,00</b>
	<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>					<b>181.530,30</b>

Fuente: elaboración propia

#### 4.1.4 Análisis de costo tratamiento pasivo de aguas acidas

El costo calculado se realizó al sistema de tratamiento pasivo mediante humedales usando especies locales, cabe mencionar que las dimensiones de las pozas se determinaron de acuerdo a flujo del efluente de la bocamina, considerando el aumento de caudal en temporada de lluvias y un borde libre de 0.5 m como contingencia.

**Tabla 33**

##### Costo de tratamiento pasivo de aguas acidas

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD TOTAL	P.U	COSTO PARCIAL	COSTO TOTAL
<b>1</b>	<b>PRELIMINARES</b>					<b>1.350,00</b>
1.1	Movilización y desmovilización	Glb	3,00	450,00	1.350,00	
<b>2</b>	<b>CONSTRUCCION DE HUMEDALES ARTIFICIALES</b>					<b>40.900,00</b>
2.1	POZA DE RECEPCION (3,5m x 2,3m x 1,5m)					7.000,00
2.1.1	Concreto simple f'c=175 kg/cm2	Glb	1,00	6.000,00	6.000,00	
2.1.2	Encofrado y desencofrado	Glb	1,00	500,00	500,00	
2.1.3	Curado del concreto	Glb	1,00	500,00	500,00	
2.2	CASCADA DE AERACION (1m x 3m x 0,5m)					6.000,00
2.2.1	Concreto simple f'c=175 kg/cm2	Glb	1,00	5.000,00	5.000,00	
2.2.2	Encofrado y desencofrado	Glb	1,00	500,00	500,00	
2.2.3	Curado del concreto	Glb	1,00	500,00	500,00	
2.3	POZA DE DISTRIBUCION (3,5m x 2,3m x 1,5m)					11.000,00
2.3.1	Concreto simple f'c=175 kg/cm2	Glb	1,00	10.000,00	10.000,00	
2.3.2	Encofrado y desencofrado	Glb	1,00	500,00	500,00	
2.3.3	Curado del concreto	Glb	1,00	500,00	500,00	
2.4	SERPETIN (1m x 3m x 0,5m)					8.000,00
2.4.1	Concreto simple f'c=175 kg/cm2	Glb	1,00	7.000,00	7.000,00	
2.4.2	Encofrado y desencofrado	Glb	1,00	500,00	500,00	
2.4.3	Curado del concreto	Glb	1,00	500,00	500,00	
2.5	POZA DE PLANTAS (3,5m x 2,3m x 1,5m)					8.900,00
2.5.1	Concreto simple f'c=175 kg/cm2	Glb	1,00	1.000,00	1.000,00	
2.5.2	Encofrado y desencofrado	Glb	1,00	500,00	500,00	
2.5.3	Curado del concreto	Glb	1,00	500,00	500,00	
2.5.4	Substratos Caliza (diámetro 3/4")	Glb	1,00	2.100,00	2.100,00	
2.5.5	Material granular (Diámetro 1/2" a 2")	Glb	1,00	1.800,00	1.800,00	
2.5.6	Traslado y instalación de especies vegetales	Glb	1,00	3.000,00	3.000,00	
	<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>42.250,00</b>
	<b>COSTO INDIRECTO</b>				40,00%	<b>16.900,00</b>
	<b>RIESGO Y/O CONTINGENCIAS</b>				5,00%	<b>2.957,50</b>
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>						<b>62.107,50</b>

Fuente: elaboración propia

#### 4.1.5 Análisis de costo total

Considerando el presupuesto calculado para cada actividad detallado en los cuadros anteriores, se calculó el costo por alternativa planteada, siendo estos:

**Tabla 34**

##### *Análisis de costo total por alternativa*

ALTERNATIVA		ACTIVIDADES	COSTO POR ACTIVIDAD	COSTO TOTAL (SOLES)
Alternativa 1	Reaprovechamiento de PAM y cierre de bocamina aplicando tapones de concreto	Costo reaprovechamiento PAM	678.552,00	S/ 739.630,74
		cierre de bocamina aplicando tapones de concreto	61.078,74	
Alternativa 2	Reaprovechamiento de PAM y tratamiento activo de aguas acidas	Costo reaprovechamiento PAM	678.552,00	S/ 860.082,30
		tratamiento activo de aguas acidas	181.530,30	
Alternativa 3	Reaprovechamiento de PAM y tratamiento pasivo de aguas acidas	Costo reaprovechamiento PAM	678.552,00	S/ 740.659,50
		tratamiento pasivo de aguas acidas	62.107,50	
Alternativa 4	Reaprovechamiento de PAM y tratamiento mixto de aguas acidas	Costo reaprovechamiento PAM	678.552,00	S/ 922.189,80
		tratamiento mixto de aguas acidas (Tratamiento pasivo sumado al tratamiento activo)	243.637,80	

Fuente: elaboración propia

## 4.2 Resultados

### 4.2.1 Elección de Alternativa Metodología CBA

**Tabla 35**

##### *Resultado de alternativas vs costo de alternativas*

DESCRIPCIÓN	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4
Puntaje total de valoración de ventajas	15	9	13	8
Costo de alternativas de cierre (Soles)	S/. 739.630,74	S/. 860.082,30	S/. 740.659,50	S/. 922.189,80

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con el resultado que se muestra en la tabla 35, se determina que la alternativa N 1: Reaprovechamiento de PAM y cierre de bocamina aplicando tapones de concreto, es la alternativa más ventajosa ambiental, técnico y económicamente, adicional a ello el monto que corresponde a esta alternativa es de S/. 739.630,74, el mismo que es el menor en comparación a las demás alternativas, por lo que se debería optar en la ejecución de la misma, previo a la elaboración de estudios de ingeniería a detalle

**Tabla 36**

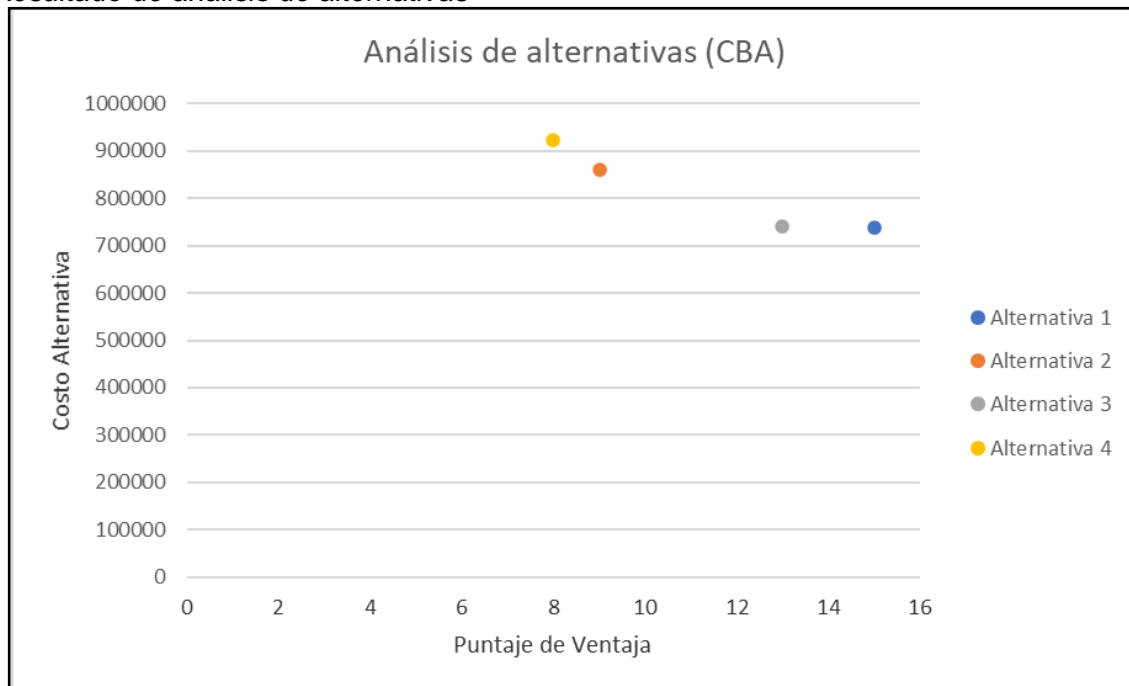
*Resumen de evaluación de alternativas*

PUNTAJE	ASPECTOS POSITIVOS	ASPECTOS NEGATIVOS	RIESGOS / INCERTIDUMBRES
<b>ALTERNATIVA 1</b>			
15	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elimina la necesidad de tratamiento de aguas de contacto a largo plazo</li> <li>▪ Tiempo de implementación menor comparado con el resto de alternativas.</li> <li>▪ Menos costo para la implementación de la alternativa.</li> <li>▪ Menor frecuencia de mantenimiento post cierre.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Puede requerir tratamiento pasivo de aguas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Riesgo de fallas de estabilidad física de tapon</li> </ul>
<b>ALTERNATIVA 2</b>			
9	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elimina riesgo de inestabilidad física de tapon de bocamina.</li> <li>▪ Eficiente tratamiento de agua de no contacto (activo).</li> <li>▪ Tiempo "moderado" para la construcción .</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Necesidad de tratamiento de aguas de contacto</li> <li>▪ Mayor frecuencia de mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas.</li> <li>▪ Mayor costo en mantenimiento y monitoreo post cierre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Incertidumbre respecto a la viabilidad de tratamiento.</li> <li>▪ Incertidumbre sobre estimación de plazos de llegar a una calidad adecuada para la descarga directa de las aguas de contacto</li> </ul>
<b>ALTERNATIVA 3</b>			
13	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elimina riesgo de inestabilidad física de tapon de bocamina.</li> <li>▪ Tiempo "moderado" para la construcción .</li> <li>▪ Frecuencia trimestral para mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Necesidad de tratamiento de aguas de contacto .</li> <li>▪ Tratamiento poco eficiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Incertidumbre respecto a la viabilidad del tratamiento (humedales artificiales)</li> <li>▪ Incertidumbre sobre estimación de plazos de llegar a una calidad adecuada para la descarga directa de las aguas de contacto.</li> </ul>
<b>ALTERNATIVA 4</b>			
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elimina riesgo de inestabilidad física de tapon de bocamina.</li> <li>▪ Tratamiento eficiente (Mixto) .</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Necesidad de tratamiento de aguas de contacto .</li> <li>▪ Tratamiento de aguas costoso</li> <li>▪ Mayor tiempo en la construcción.</li> <li>▪ Mantenimiento constante del sistema de tratamiento de aguas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Incertidumbre sobre el costo que involucraria todo el proceso de sistema de tratamiento de aguas.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia

**Figura 22**

*Resultado de análisis de alternativas*



Fuente: elaboración propia

De acuerdo con el resultado que se muestra en la tabla 36 y figura 22, se determina que la alternativa N 1: Reaprovechamiento de PAM y cierre de bocamina aplicando tapones de concreto, es la alternativa más ventajosa ambiental, técnico y económicamente, adicional a ello el monto que corresponde a esta alternativa es de S/. 739.630,74, el mismo que es el menor en comparación a las demás alternativas, por lo que se debería optar en la ejecución de la misma, previo a la elaboración de estudios de ingeniería a detalle.

#### **4.3 Validación de hipótesis**

##### **Medida de mitigación**

El planteamiento de alternativas para el reaprovechamiento y cierre de una labor minera subterránea ayuda a mitigar futuros problemas de impactos ambientales negativos, ya que el diseño seleccionado para el cierre de la labor minera posee dentro de sus ventajas la eliminación del tratamiento de aguas de contacto a largo plazo, asimismo reduce el impacto ambiental negativo, y al ser un reaprovechamiento y cierre de la labor minera declarado como pasivo ambiental minero se tendrá en cuenta lo establecido en el

artículo 45° del D.S. N.º 059 2005 EM, la etapa de post-cierre estará a cargo la SMRL Los Rosales, hasta un plazo no menor de 5 años de concluida la ejecución del Plan de Cierre luego de dicho plazo, el Estado podrá encargarse de continuar con las medidas de post cierre establecidas, siempre que el titular demuestre la estabilidad física y química de los pasivos cerrados.

### **Análisis de las características**

Las características específicas de la labor minera subterránea con ID 8857 ubicada en Puno contribuyen a sustentar los factores que han llevado a ser declarado como pasivo ambiental minero, y cuáles son sus impactos ambientales predominantes, siendo una característica por el cual fue declarado como pasivo ambiental minero es el ser una labor en la cual se desconoce a los responsables de causar dicho pasivo ambiental minero, es por ello que ingresa al inventario de labores con pasivo.

### **Determinación de costos**

La determinación de costos es un análisis de las alternativas con la cual se realiza el cierre de mina, en donde se consideró a la alternativa N°1 como la seleccionada ya que representa un menor costo a diferencia de las otras alternativas, en donde se consideró todos los componentes, en la cual se obtuvo como resultado un monto de S/. 678.552,00 sumando a ello el monto del reaprovechamiento S/. 61.078,74 teniendo como resultado S/. 739.630,74, con la cual se logrará realizar el cierre de la labor minera, y con ello se evitará la generación de contaminantes.

## Conclusiones

El reaprovechamiento del pasivo ambiental ID 8857 denominada Bocamina “candelaria” conllevará que el titular pueda extraer y recuperar elementos valiosos, puesto que se estima la extracción de 400 000TM de mineral con leyes promedios de 6gr/t de Au, la cual se proyecta realizar durante aproximadamente 9 años; asimismo el titular está obligado a realizar el cierre de la bocamina asegurando la estabilidad física, geoquímica, hidrológica de la labor.

El presente estudio determinó las características específicas del pasivo ambiental con ID 8857, tales como ubicación, geología, mineralogía, geomecánica, cálculo de reservas probables y probadas, así como los principales riesgos ambientales que representa dicho pasivo y el tratamiento actual que se viene empleando como parte de las obligaciones ambientales de la empresa minera a cargo.

El presente estudio plantea cuatro alternativas de reaprovechamiento y cierre de manera conjunta, siendo estos: alternativa 1 reaprovechamiento de PAM y cierre de bocamina aplicando tapones de concreto, alternativa 2 reaprovechamiento de PAM y tratamiento activo de aguas acidas, alternativa 3 reaprovechamiento de PAM y tratamiento pasivo de aguas acidas, alternativa 4 reaprovechamiento de PAM y tratamiento mixto de aguas acidas.

El análisis se realizó mediante la metodología, evaluación de alternativas (Elección por ventajas – CBA), metodología que permite elegir la alternativa “más ventajosa” respecto a los criterios (ambiental, técnico y económico), sobre la base de la información existente de las condiciones actuales y las necesidades de estabilización a largo plazo de los aspectos relevantes o de interés (Estabilidad física de Bocamina, tipo de tratamiento de agua, Tiempo de construcción de tapones y sistema de tratamiento de agua, Frecuencia de mantenimiento físico, Costo CAPEX, Costos por mantenimiento y monitoreo post cierre), en la cual resultó con mayor puntaje la alternativa 1 : reaprovechamiento de PAM y cierre de bocamina aplicando tapones de concreto.

Las ventajas principales de la opción ganadora “Alternativa 1” son: Eliminar la necesidad de tratamiento de aguas de contacto a largo plazo, asegurando la estabilidad geoquímica, el tiempo de implementación de la alternativa resulta ser menor comparado con el resto de las alternativas lo que reduce costos en la ejecución del proyecto, una vez realizado el cierre de la bocamina el proyecto pasara a la etapa de mantenimiento y monitoreo post cierre, el mismo que requerirá mantenimientos temporales, por ende un menor costo en el mantenimiento post cierre; adicional a ello el presupuesto estimado es de S/. 739.630,74 soles, este valor de inversión es el menor de todas las alternativas planteadas y de mayor puntaje en ventajas.

## Recomendaciones

Se recomienda que como parte del proceso de reaprovechamiento del pasivo ambiental ID 8857 denominada Bocamina “Candelaria” se pueda sincerar los valores económicos de explotación y recuperación mediante estudios geometalúrgicos detallados.

Se recomienda que después de culminado el proceso de reaprovechamiento mediante la explotación de recursos se actualice las condiciones de estabilidad física, hidrológica, geoquímica y riesgos ambientales del pasivo mediante la calibración modelos hidrogeológicos, geoquímicos y estabilidad final, en condición de cierre final.

Se recomienda estudiar las dos alternativas de mayor puntaje en la siguiente etapa de ingeniería de detalle cuando se culmine el proceso de reaprovechamiento de la labor Candelaria, con el fin de determinar la mejor opción de cierre definitivo del componente con el fin de asegurar las condiciones de estabilidad física, geoquímica e hidrológica a largo plazo del componente.

Se recomienda que se puedan evaluar otras opciones de reaprovechamiento de labores mineras abandonadas declarados pasivos, dentro del ámbito de concesión de la empresa minera a cargo y se pueda hacer mayor sinergia de la inversión con el fin de obtener mayores beneficios del proyecto.

## Referencias bibliográficas

- Castillo, Satalaya, Paredes, Encalada, Zamora & Cuadros (2021). *Pasivos Ambientales Mineros En El Perú: Resultados de la auditoría de desempeño sobre gobernanza para el manejo integral de los PAM*. Lima, Perú.
- Clara Dallaire - Fortier (2024) Unemployment ripple: The impact of mine closures in Canada, 1987 to 2020
- Consejo Internacional de Minería y Metales. (febrero de 2019). *Cierre integrado de minas: Guía de prácticas recomendadas*, 2.<sup>a</sup> edición.
- Chappuis, M,(2019). *Remediación y activación de pasivos ambientales mineros (PAM) en el Perú*: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL),
- Defensoría del Pueblo. (junio de 2015). *El Informe Defensorial N° 171 ¡Un llamado a la remediación! Avances y pendientes en la gestión estatal frente a los pasivos ambientales mineros e hidrocarburíferos*. <http://www.defensoria.gob.pe>.
- Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros. *Guía para la elaboración de planes de cierre de pasivos ambientales mineros* (2015).
- Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros. *Guía para el diseño de tapones para el cierre de labores mineras* (2017).
- Golden Growing [GG], (2021). *Declaración de impacto ambiental para la reutilización del pasivo ambiental minero identificado con id 8857 "labor candelaria" de la Smrl Acumulación Los Rosales*. Puno, Perú.
- Golden Growing [GG], (2022). *Modificación de la concesión de beneficio de la planta de procesamiento Los Rosales A 340 Tmd De La SMRL Acumulación Los Rosales*. Puno.