



DEPARTAMENTO DE
INGENIERIA COMERCIAL
UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
Departamento de Ingeniería Comercial
MBA, Magíster en Gestión Empresarial

**“EVALUACIÓN FINANCIERA Y ESTRATEGIA PARA
REPROCESAMIENTO DE RELAVES EN LA INDUSTRIA
MINERA DE COBRE CHILENA”**

Tesina de Grado presentada por
Rodrigo Andrés Esquivel Johnson
Como requisito para optar al grado de
MBA, Magíster en Gestión Empresarial

Guía de Tesina Dr. Patricio Mansilla Caro

Abril de 2025

TITULO DE TESINA: **“EVALUACIÓN FINANCIERA Y ESTRATEGIA PARA
REPROCESAMIENTO DE RELAVES EN LA
INDUSTRIA MINERA DE COBRE CHILENA”**

AUTOR: Rodrigo Andrés Esquivel Johnson

TRABAJO DE TESINA, presentando en cumplimiento parcial de los requisitos para el Grado de MBA, Magíster en Gestión Empresarial de la Universidad Técnica Federico Santa María.

OBSERVACIONES: _____

COMISIÓN DE TESINA:

Dr. Patricio Mansilla Caro, **Profesor Guía**
Dr. Lionel Valenzuela, Co-Referente Interno.
Mg. José Luis Andías, Profesor Externo

Santiago, Abril de 2025

Todo el contenido, análisis, conclusiones y opiniones vertidas en este estudio son de mi exclusiva responsabilidad.

Nombre: Rodrigo Andrés Esquivel Johnson.

Fecha: 06 de Mayo de 2025

Tablas de Contenidos

Resumen ejecutivo.....	8
1. Introducción.....	10
2. Origen y Propósito del estudio	12
2.1. Objetivos	12
2.1.1. Objetivo General	12
2.1.2. Objetivos específicos:	12
3. Alcance del Estudio.....	13
4. Metodología	14
4.1. Enfoque de la Investigación	14
4.2. Fuente de Datos.....	15
4.3. Proceso Metodológico.....	16
5. Estado del Arte.....	19
5.1. Antecedentes del estado del arte.....	19
5.1.1. Definición y proceso de relaves	19
5.1.1.1. Definición	19
5.1.1.2. Etapas del Reprocesamiento de Relaves	20
5.1.2. Una Estrategia de Economía Circular para una Minería Sostenible	21
5.1.2.1. Beneficios del reprocesamiento de relaves	21
5.1.2.2. El Rol del plan Nacional para una Minería Responsable	23
5.1.3. Demanda del Cobre y Minerales Asociados	23
5.1.4. Experiencia Nacional e internacional y Ciclo del Cobre	25
5.1.4.1. Competencia y Proyectos Similares	25
5.1.4.2. Proyecto del Tranque de Relaves Cauquenes	26
5.1.5. Proyectos en Perú y otras regiones de América Latina	30

5.1.6. Desarrollos en Otros Países Mineros.....	32
5.1.6.1. Ejemplos de Reprocesamiento: Minera Valle Central (MVC)	33
5.1.6.2. Reapertura de Faenas vs Reprocesamiento de relaves	34
5.2. Marco Teórico	35
5.2.1. Análisis del entorno.....	35
5.2.2. Evaluación Financiera.....	37
6. Desarrollo de la propuesta	38
6.1. Análisis del Entorno	38
6.1.1. Análisis FODA.....	38
6.1.2. Análisis PESTEL.....	41
6.1.3. Comparación con Nuevos Proyectos	44
6.1.4. Factores Normativos y Medioambientales	45
6.1.4.1. Desafíos en el Reprocesamiento de Relaves	46
6.1.4.2. Comparación con Normativas Internacionales	46
6.2. Análisis integral del reprocesamiento de relaves.....	46
6.2.1. Características de los Relaves.....	47
6.2.1.1. Composición de los Relaves de Cobre	47
6.2.1.2. Potencial de Recuperación	47
6.2.1.3. Beneficios Ambientales y Económicos	48
6.2.1.4. Regulación Ambiental en el Manejo de Relaves.....	50
6.2.2. Infraestructura Necesaria	50
6.2.2.1. Plantas de Procesamiento	51
6.2.2.2. Sistemas de Manejo y Tratamiento de Agua	51
6.2.3. Normativas Específicas de Relaves en Chile.....	51
6.2.4. Almacenamiento	52

6.2.5. Equipos de Transporte.....	52
6.3. Diseño de un plan de negocios para el reprocesamiento de relaves en la industria del cobre en Chile.....	52
6.3.1. Plan de Operaciones.....	53
6.3.1.1. Recolección y transporte	53
6.3.1.2. Proceso de Reprocesamiento de Relaves	54
6.3.1.3. Almacenamiento de Residuos	55
6.3.1.4. Cadena de Suministro	56
6.3.1.5. Plan de Recursos Humanos	59
6.3.1.6. Plan de Gestión Ambiental	61
6.3.2. Estrategia Comercial y de Marketing	63
6.3.2.1. Segmentación de Mercado	63
6.3.2.2. Clientes en la Industria del Cobre	64
6.3.2.3. Mercado de Subproductos Minerales Recuperados	64
6.3.2.4. Mercado Internacional y de Exportación.....	65
6.3.2.5. Propuesta de Valor	66
6.3.2.6. Estrategia de Precio.....	68
6.3.2.7. Canales de Distribución y Ventas	70
6.3.3. Análisis de Riesgos.....	72
6.3.3.1. Riesgos Financieros	73
6.3.3.2. Riesgos Ambientales	73
6.3.3.3. Riesgos Operacionales.....	74
6.3.3.4. Riesgos Regulatorios.....	74
7. Evaluación financiera del proyecto.....	76
7.1. Inversión inicial	77

7.1.1. Fuentes de Financiación	79
7.2. Costos Operativos.....	80
7.3. Proyección de demanda e ingresos	81
7.4. Análisis de Rentabilidad.....	82
7.4.1. Análisis de Sensibilidad	84
8. Conclusiones y Recomendaciones	86
9. Bibliografía	88
10. Anexos.....	91
10.1. Inversión	91

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la viabilidad económica y comercial del reprocesamiento de relaves en la minería de cobre en Chile, con un enfoque en los beneficios económicos que esta actividad puede aportar.

Los relaves mineros representan uno de los principales desafíos de sostenibilidad en la industria minera¹, esto debido a que Chile es el tercer país con más relaves en el mundo y la producción de relaves va en aumento, se estima que en el año 2035 el número de tranques de relaves en Chile podría duplicarse, al año 2022 según el Servicio Nacional de Geología y Minería existen 764 depósitos de relaves. Esto también es una oportunidad estratégica para recuperar minerales valiosos, optimizar recursos y reducir los impactos ambientales asociados a su disposición.

El reprocesamiento de relaves consiste en la recuperación de minerales valiosos que se encuentran en los depósitos de relaves generados durante el proceso de extracción y concentración de minerales. Este enfoque se enmarca en un modelo de economía circular, donde los relaves, que tradicionalmente se consideraban pasivos ambientales, se transforman en recursos útiles.

La investigación de este proyecto se centra en el análisis técnico, económico y financiero de esta alternativa de reprocesamiento de relaves, considerando las proyecciones de costos, ingresos y rentabilidad. Asimismo, se incluyen estudios sobre las tecnologías disponibles para el reprocesamiento y los marcos regulatorios aplicables en Chile.

Entre los principales hallazgos, se destaca que el reprocesamiento de relaves podría generar retornos significativos si se logra implementar con tecnologías eficientes y bajo un marco operativo sostenible. Los indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) demuestran la viabilidad del proyecto bajo ciertas condiciones de mercado, mientras que el análisis

¹ Prof. Javier Ruiz del Solar, Columna de opinión Universidad de Chile "Manejo Sustentable de Relaves: El gran desafío de la Minería Chilena"

de sensibilidad resalta la importancia de gestionar riesgos relacionados con fluctuaciones en los precios del cobre y los costos operativos.

Este estudio ofrece una base sólida para la toma de decisiones estratégicas en la industria minera, planteando el reprocesamiento de relaves no solo como una oportunidad económica, sino también como un paso hacia una minería más sustentable y responsable en el contexto chileno.

1. INTRODUCCIÓN

La producción de cobre en Chile durante el año 2024 se estimó cercano a 5,3 millones TMF² lo que posiciona a Chile como el mayor productor de cobre a nivel mundial³. Chile ha forjado su desarrollo económico en gran medida gracias a la minería de este mineral. Sin embargo, la producción minera ha generado, a lo largo de las décadas, grandes volúmenes de relaves, un subproducto del proceso de concentración que actualmente se acumula en depósitos cada vez más grandes. Los relaves representan un pasivo ambiental significativo que afecta no solo a las comunidades y ecosistemas cercanos a los tranques de relaves, sino también a los recursos hídricos y biológicos de las áreas circundantes. Esta situación plantea un desafío constante para la industria minera chilena, la cual debe adoptar prácticas más sustentables que permitan reducir el impacto ambiental mientras se mantienen los niveles de producción y rentabilidad.

El reprocesamiento de relaves ha ganado atención en la industria minera como una solución viable tanto desde el punto de vista económico como ambiental. Este proceso no solo permite mitigar el riesgo de contaminación y gestionar los pasivos ambientales, sino que también abre la oportunidad de recuperar minerales valiosos que quedaron atrapados en el relave, como cobre, hierro y pirita. Así, el reprocesamiento de relaves se enmarca en una estrategia de economía circular que transforma los desechos mineros en un recurso aprovechable, ayudando a consolidar una minería sustentable y competitiva a nivel mundial.

A octubre del año 2022, según datos del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), Chile cuenta con 764 depósitos de relaves, de los cuales un 14% se encuentra activo, 62% inactivo, 23% abandonado y el 1% en construcción o revisión. La mayoría de estos depósitos, alrededor del 85.5%, corresponden a tranques y embalses convencionales, lo que representa un enorme desafío en términos de seguridad ambiental y sostenibilidad ya que estos tranques son

² TMF: Tonelada Métrica de cobre fino

³ Países líderes en la producción de cobre a nivel mundial en 2024, publicado por Rosa Fernandez el 11 de febrero 2025 – <http://es.statista.com>

depósitos de residuos mineros abandonados o inactivos, lo cual constituye un riesgo para la salud a las personas y medioambiente. El reprocesamiento de estos relaves podría, por lo tanto, no solo reducir su volumen, sino también aprovechar los minerales aún presentes, integrando la sostenibilidad como una ventaja competitiva y una oportunidad de crecimiento para la industria minera chilena.

El objetivo de esta tesina es diseñar un plan de negocio que permita evaluar la viabilidad financiera del reprocesamiento de relaves en la industria minera chilena. Este análisis busca identificar y cuantificar los beneficios potenciales de esta actividad, tanto desde una perspectiva económica, mediante la generación de valor y la recuperación de recursos valiosos, como desde un enfoque ambiental, promoviendo la reducción del impacto ecológico asociado a los depósitos de relaves. Con ello, se busca ofrecer una solución sostenible que impulse el desarrollo de la minería. Se pretende realizar una caracterización de los relaves, analizando su composición química, mineralógica y granulométrica, para identificar los minerales valiosos que pueden recuperarse.

Además, se realizará una evaluación de viabilidad financiera que incluya el análisis de costos e ingresos, considerando gastos operativos, inversiones en infraestructura y potenciales ingresos por la venta de concentrados o cátodos.

El propósito de este estudio es evaluar si el reprocesamiento de relaves es una estrategia económicamente viable y ambientalmente responsable, que permite una minería más sustentable y competitiva a nivel mundial. Con esta iniciativa, se espera contribuir al desarrollo de un modelo de negocio que impulse la innovación y la sostenibilidad en la industria minera chilena, ofreciendo una solución integral a los desafíos ambientales y económicos que enfrenta actualmente la minería del cobre en el país.

2. ORIGEN Y PROPÓSITO DEL ESTUDIO

El reprocesamiento de relaves representa una oportunidad económica que puede contribuir a la economía circular y a la sostenibilidad en la minería chilena. Con el aumento en el precio del cobre y la necesidad de reducir el impacto ambiental, el reprocesamiento de relaves podría convertirse en una alternativa rentable y sostenible. Un plan de negocio enfocado en esta área permitirá comprender mejor los recursos, tecnologías y estrategias necesarias para hacer viable la recuperación de minerales desde relaves.

2.1. Objetivos

En esta sección se detalla el objetivo general y los objetivos específicos de este trabajo de investigación.

2.1.1. Objetivo General

Evaluar la viabilidad financiera y la sostenibilidad del reprocesamiento de relaves en la minería chilena, destacando su potencial para transformar pasivos ambientales en recursos económicos y contribuir a la sostenibilidad de las operaciones mineras.

2.1.2. Objetivos específicos:

- Evaluar el Reprocesamiento de relaves como Oportunidad Económica: Analizar cómo el reprocesamiento de relaves puede convertirse en una alternativa económica viable, considerando el aumento en la demanda de minerales y los precios del mercado.
- Analizar la Rentabilidad Financiera: Explicar en detalle los aspectos financieros del reprocesamiento de relaves, incluyendo el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).
- Identificar y entender experiencias nacionales e internacionales: Fomentar la adopción de tecnologías innovadoras y prácticas sostenibles en la minería, destacando ejemplos exitosos de reprocesamiento de relaves a nivel global, como el caso de MVC (Minera Valle Central) en tranque de relaves Cauquenes como otros proyectos.

- Diseñar un plan de negocios: Describir las estrategias y proyecciones financieras del proyecto en una redacción ordenada de la idea de negocio, que permita hacer una reflexión sobre el proyecto para reducir al máximo los riesgos.

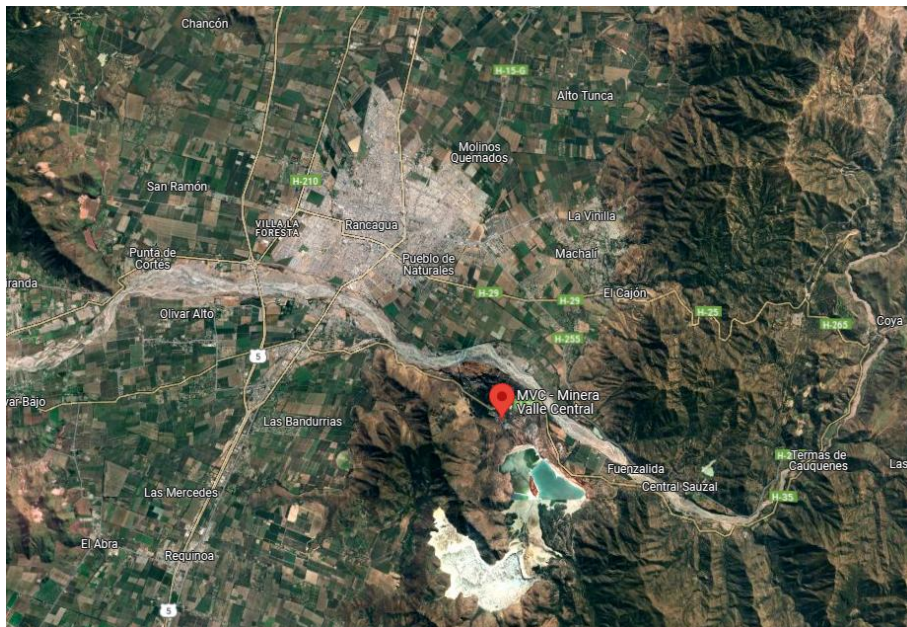
3. ALCANCE DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación entrega como resultado el análisis financiero del reprocesamiento de relaves como una alternativa de producción, transformando pasivos ambientales a recursos financieros.

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se consideran experiencias de reprocesamiento de relaves a nivel nacional, como el caso de Minera Valle Central como también a nivel internacional (se estudian los casos del proyecto B2 de Minsur y Barrick Gold en Canadá).

Con respecto a la locación de este estudio, si bien, no está ubicado en un punto definido (emplazamiento de alguna minera), se toma como referencia el proyecto de Minera Valle Central el cual realiza el reprocesamiento del tranque de relaves Cauquenes. Este se localiza a 13 Km al suroeste de la ciudad de Rancagua, en terrenos de Codelco Chile, División El Teniente.

Ilustración 1 - Ubicación Tranque de Relaves Cauquenes



4. METODOLOGÍA

La metodología propuesta para este estudio se estructura en varias etapas interconectadas, cada una de las cuales contribuye a la evaluación integral de la viabilidad del reprocesamiento de relaves. A través de un enfoque sistemático, se busca no solo caracterizar los relaves existentes, sino también analizar su potencial económico y ambiental. Cada fase del proceso está diseñada para proporcionar información valiosa que respalde la toma de decisiones informadas sobre la implementación de proyectos de reprocesamiento.

4.1. Enfoque de la Investigación

El enfoque de esta investigación se centra en métodos cuantitativos para evaluar la factibilidad financiera y comercial del reprocesamiento de relaves en la minería de cobre en Chile.

Se centrará en el análisis de datos financieros y operativos, como costos, ingresos proyectados y estimaciones de retorno de inversión, esto con el objetivo de determinar la viabilidad financiera del proyecto. Dentro de este análisis se usarán metodologías como la evaluación del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), así como un análisis de sensibilidad que considere variaciones en ingresos y egresos.

Para ofrecer un diagnóstico integral sobre la viabilidad del reprocesamiento de relaves en el contexto chileno, se realizarán análisis FODA y PESTEL que permitirán identificar los factores internos y externos que afectan el proyecto.

El análisis FODA revelará las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del reprocesamiento de relaves:

- **Fortalezas:** Recuperación de recursos valiosos, sostenibilidad ambiental, tecnologías avanzadas y creciente demanda de cobre.
- **Oportunidades:** Regulaciones favorables, inversión en innovación, colaboración público-privada y expansión a nuevos mercados.
- **Debilidades:** Altos costos iniciales, dependencia de precios de minerales, complejidad regulatoria y falta de conocimiento en reprocesamiento.

- Amenazas: Riesgos ambientales, cambios en la normativa, competencia internacional y condiciones económicas globales adversas.

El análisis PESTEL examinará los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales que impactan el reprocesamiento de relaves:

- Político: Regulaciones ambientales en evolución y estabilidad política en Chile.
- Económico: Creciente demanda de cobre y costos de producción fluctuantes
- Social: Aceptación comunitaria y creación de empleo en regiones mineras.
- Tecnológico: Innovación en procesos de reprocesamiento e inversión en investigación y desarrollo.
- Ecológico: Impacto ambiental de los relaves y efectos del cambio climático en recursos hídricos.
- Legal: Cumplimiento de normativas ambientales y protección de recursos naturales.

Este enfoque junto con los análisis FODA y PESTEL, permitirá una comprensión profunda de la viabilidad del reprocesamiento de relaves en la minería de cobre en Chile, facilitando la identificación de estrategias que maximicen las oportunidades y mitiguen los riesgos asociados.

4.2. Fuente de Datos

Esta tesina utilizará fuentes secundarias para fundamentar el análisis.

Fuentes secundarias:

- Estudios previos sobre reprocesamiento de relaves y minería sostenible.
- Datos estadísticos del sector minero chileno publicados por organismos como Cochilco y el Ministerio de Minería.
- Informes financieros y ambientales de empresas mineras que operan en Chile.
- Normativas y políticas públicas relacionadas con el manejo de residuos mineros y la sostenibilidad ambiental.

4.3. Proceso Metodológico

El proceso metodológico incluye las siguientes etapas:

1. Caracterización de relaves: Revisión de literatura académica y sobre reprocesamiento de relaves, características físicas y químicas de los relaves.
2. Evaluación de mercado:
 - Recopilación de datos históricos y actuales sobre costos operativos, producción de cobre, demanda de cobre,
3. Análisis Técnico:
 - Recopilación de datos de tecnologías disponibles y normativas aplicables.
4. Evaluación financiera:
 - Análisis cuantitativo: Evaluación financiera utilizando herramientas como el cálculo del VAN, TIR y punto de equilibrio para proyectar la rentabilidad del proyecto.
5. Desarrollo de plan de negocios:
 - Propuesta del modelo de negocio, que incluye la estructura de costos, proyecciones financieras, estrategia de mercado y análisis de riesgos.
 - Validación: Contraste de los resultados obtenidos con expertos del sector y ajustes al plan de negocio según sea necesario.
 - Conclusiones y recomendaciones: Elaboración de propuestas para la implementación del reprocesamiento de relaves en Chile con base en los hallazgos del estudio.

El diagrama a continuación sintetiza de forma visual y secuencial los pasos metodológicos propuestos para evaluar la viabilidad del reprocesamiento de relaves en la minería del cobre. Cada etapa del diagrama representa una fase del proceso, desde la revisión del marco teórico y el estado del arte hasta el análisis de riesgos y sensibilidad. Esta representación gráfica permite comprender de manera clara cómo se integran las diferentes áreas de estudio: Técnica, económica y de negocio para formar un enfoque integral que garantice la sustentabilidad y la rentabilidad del proyecto.

Ilustración 2 Diagrama de pasos en la metodología



Elaboración Propia

Esta representación gráfica, en definitiva, se erige como una herramienta clave para la organización y seguimiento de las fases del proyecto, contribuyendo a una evaluación integral que apunte a la eficiencia operativa ya la sustentabilidad ambiental y económica.

La caracterización de los relaves permitirá obtener un análisis detallado de tanto las características físicas y químicas de los relaves, esto debido a que no todos los

relaves son homogéneos en su estructura, existen relaves con mayores minerales que otros.

La evaluación de mercado, se realizará con el objetivo de identificar la demanda de los minerales que se pueden recuperar en el reprocesamiento de relaves, como también obtener algunas tendencias de precios que permitirá realizar una viabilidad económica del proyecto.

Al igual que en cada proyecto, se realizará un análisis de las tecnologías actuales disponibles para realizar reprocesamiento de relaves, considerando parámetros como eficiencia, costos y sostenibilidad.

La inclusión de la evaluación financiera y el desarrollo del plan de negocios demuestra el compromiso de analizar no solo la viabilidad técnica del reprocesamiento, sino también su rentabilidad económica y sostenibilidad en el tiempo.

La etapa final, dedicada al desarrollo del plan de negocios, resalta la importancia de identificar y mitigar los posibles factores que pueden impactar la ejecución y rentabilidad del proyecto, lo que es crucial para la toma de decisiones informadas

En conjunto, el diagrama ofrece una guía clara y concisa para estructurar el estudio del proyecto, facilitando la comunicación de ideas y la planificación estratégica para el reprocesamiento de relaves en la minería del cobre.

5. ESTADO DEL ARTE

En esta sección se realizará una investigación documental para obtener una visión generalizada sobre el reprocesamiento de relaves para comprender el contexto de esta tesina, en la cual se describirán las etapas del proceso minero que genera relaves, explicando cuales son los beneficios de realizar un reproceso de relaves enfocado a una estrategia de economía circular, además de analizar experiencias nacionales e internacionales con proyectos similares, descripciones de un proyecto de reprocesamiento de relaves en Chile y también la definición del marco teórico de este proyecto donde se obtendrá un análisis del entorno por medio de análisis FODA y PESTEL.

5.1. Antecedentes del estado del arte

El reprocesamiento de relaves en la minería se ha convertido en un tema de creciente interés, especialmente en el contexto del ciclo del cobre a nivel global. Este ciclo se caracteriza por la demanda constante de cobre, impulsada por su uso en diversas aplicaciones, desde la construcción hasta la tecnología de energías renovables. Según la Comisión Chilena del Cobre (Cochilco, 2022), Chile es el principal productor de cobre a nivel mundial, representando aproximadamente el 39% de la producción global. Sin embargo, la explotación de yacimientos de cobre ha generado grandes volúmenes de relaves, que son considerados pasivos ambientales y representan un desafío significativo para la industria.

5.1.1. Definición y proceso de relaves

A continuación se define y se indican las etapas del reprocesamiento de relaves.

5.1.1.1. Definición

Los relaves son suspensiones de sólidos en líquidos que se generan en las plantas de concentración de minerales, especialmente en la minería de cobre, donde se producen grandes volúmenes de desechos. Según el Decreto Supremo No 248, los relaves son "suspensión de sólidos en líquidos, formando una pulpa, que se generan y desechan en las plantas de concentración húmeda de especies minerales" (SERNAGEOMIN, 2007).

5.1.1.2. Etapas del Reprocesamiento de Relaves

El reprocesamiento implica varias etapas, que incluyen la alimentación y clasificación de los relaves, donde se separan las fracciones gruesas y finas mediante hidrociclones. La fracción gruesa se somete a un proceso de molienda y flotación para recuperar minerales como cobre, molibdeno, oro y plata (SERNAGEOMIN, 2019).

- Alimentación y Clasificación de Relaves: El proceso comienza con la clasificación primaria de los relaves frescos, que se realiza mediante hidrociclones. Esta etapa tiene como objetivo separar la fracción gruesa del mineral contenido en los relaves. La fracción fina se envía a un proceso de flotación, mientras que la fracción gruesa se dirige a una clasificación adicional (SERNAGEOMIN, 2007)
- Molienda: La fracción gruesa de los relaves se somete a un proceso de molienda en molinos de bolas. Este proceso reduce el tamaño de las partículas, facilitando la liberación de los minerales valiosos para su posterior recuperación (Ecometales.cl, 2017).
- Flotación: Después de la molienda, el material se somete a un proceso de flotación, donde se añaden reactivos químicos que permiten la separación de los minerales de interés. Este proceso se realiza en varias etapas, incluyendo flotación rougher, scavenger y cleaner, para maximizar la recuperación de los metales (Goreatacama, 2019).
- Concentración Magnética: En algunos casos, se utiliza la concentración magnética para recuperar minerales como la pirita y el hierro magnético de los relaves. Este proceso implica el uso de separadores magnéticos que permiten la separación de los minerales magnéticos del resto de los materiales (Goreatacama, 2019).
- Filtración y Desaguado: Los relaves pueden ser sometidos a un proceso de filtración para reducir su contenido de agua. Los relaves filtrados contienen menos del 20% de humedad, lo que permite su manejo y almacenamiento más eficiente (SERNAGEOMIN, 2007).

- Disposición Final de Residuos: Finalmente, los residuos generados durante el reprocesamiento deben ser gestionados adecuadamente. Esto puede incluir la reubicación de los relaves en áreas designadas, asegurando que se minimicen los impactos ambientales y se cumplan con las normativas vigentes (Ecometales.cl, 2017).

5.1.2. Una Estrategia de Economía Circular para una Minería Sostenible

La creciente demanda de metales y minerales, impulsada por la transición hacia energías renovables, ha llevado a la minería a reconsiderar su modelo de operación. El Banco Mundial⁴ estima que para el año 2050 se requerirán más de 3.000 millones de toneladas de metales y minerales para cumplir con los objetivos climáticos globales. Este contexto resalta la necesidad de implementar prácticas sostenibles, como el reprocesamiento de relaves, que no solo busca recuperar minerales valiosos, sino también mitigar el impacto ambiental asociado a su almacenamiento.

Los relaves, que son los residuos generados durante la concentración de minerales, representan un desafío significativo para la industria minera. En Chile, se generan aproximadamente 600 millones de toneladas de relaves anualmente, cifra que podría aumentar a 1.000 millones en la próxima década⁵. Este aumento subraya la urgencia de adoptar estrategias que permitan la recuperación de recursos de estos depósitos, transformando pasivos ambientales en activos económicos.

5.1.2.1. Beneficios del reprocesamiento de relaves

A continuación se presentan varios beneficios del reprocesamiento de relaves dentro del marco de la economía circular según Julca Zuloeta en el documento “Economía Circular en la Minería”, 30 de mayo 2023.:

⁴ El Grupo Banco Mundial apoya a países en la gestión sostenible de recursos naturales para crear empleo, mejorar la seguridad alimentaria, reducir la contaminación y aumentar la resiliencia ante fenómenos climáticos externos y desastres naturales
<https://www.worldbank.org/en/topic/environment/overview#:~:text=The%20World%20Bank%20Group%20supports,weather%20events%20and%20natural%20disasters>.

⁵ El Sector de la minería en Chile 2024 – ICEX España Exportación e Inversiones

- **Recuperación de Recursos:** El reprocesamiento permite maximizar la recuperación de minerales, reduciendo la dilución y la pérdida de mineral durante la extracción. Esto es crucial para mejorar la eficiencia en la extracción de recursos primarios y asegurar una rehabilitación efectiva de los sitios mineros.
- **Reducción de Residuos:** Al integrar los relaves en nuevas cadenas de suministro, como en la industria del cemento o vidrio, se reduce el volumen de residuos y se minimizan los impactos ambientales. Esto también contribuye a la prolongación de la vida útil de los productos extraídos.
- **Innovación y Tecnología:** La implementación de tecnologías disruptivas en el reprocesamiento de relaves puede mejorar el desempeño de las empresas mineras, optimizando procesos y reduciendo emisiones. Esto es fundamental para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y para la transición hacia una minería más responsable.
- **Gestión Proactiva de Residuos:** El enfoque en la gestión proactiva de los relaves, incluyendo técnicas de procesamiento que eliminen sulfuros antes de su disposición, es esencial para abordar los problemas ambientales desde su origen.

La necesidad de inversión significativa y decisiones políticas adecuadas son cruciales para fomentar la continuidad empresarial y la adopción de prácticas sostenibles. Las políticas públicas deben asegurar que los proyectos mineros adopten un diseño circular, promoviendo la valorización y/o inertización de los residuos mineros como un eje estratégico para la investigación y el desarrollo.

El reprocesamiento de relaves se presenta como una solución viable y necesaria para enfrentar los desafíos ambientales y económicos de la minería moderna. Al integrar este enfoque dentro de un marco de economía circular, la industria no solo puede mejorar su sostenibilidad, sino también contribuir a la recuperación de recursos valiosos, alineándose con las tendencias globales hacia un desarrollo más responsable y eficiente. La colaboración entre todos los actores involucrados será fundamental para implementar estas estrategias de manera efectiva y garantizar un futuro sostenible para la minería.

5.1.2.2. El Rol del plan Nacional para una Minería Responsable

Chile se encuentra en una migración estratégica para que su plan de “Planificación Nacional de Depósitos Acantilado para una Minería Sustentable” (Ministerio de Minería, Julio 2020) aborde uno de los principales desafíos de la industria: las repercusiones eficientes y responsables en la disposición de relaves. El propósito de este plan es establecer una ley integral mediante la cual se englobe cualquier deposición y se fomente su reprocesamiento y reciclaje en un enfoque de economía circular.

Los principales objetivos del plan serán entonces evitar o minimizar los riesgos ambientales y sociales de los depósitos de relaves: contaminación de aguas subterráneas e inestabilidad de terraplenes e impacto en las poblaciones de sus alrededores. Además, el plan apunta a maximizar el uso de los recursos a través de la recuperación de minerales valiosos como el cobre, el molibdeno y las tierras raras, que generalmente permanecen en los relaves, contribuyendo así al desarrollo sustentable de la minería en el país (Ecometales, 2017).

5.1.3. Demanda del Cobre y Minerales Asociados

El mercado mundial del cobre se encuentra actualmente en una situación crítica debido a la creciente demanda y a las limitaciones en la oferta, lo que ha conducido a un escenario de déficit significativo que podría tener implicaciones serias para la transición energética y los objetivos de reducción de emisiones netas. El cobre, esencial para la infraestructura de energías renovables y la electrificación de vehículos, experimentará una demanda en aumento debido a su rol fundamental como conductor de electricidad y calor.

Para la transición energética, el cobre es indispensable: se usa en grandes cantidades para sistemas de cableado en redes eléctricas y en componentes como turbinas eólicas (con ocho toneladas de cobre por megavatio), así como en vehículos eléctricos, que requieren más del doble de cobre en comparación con automóviles convencionales (AIE, 2024).

Proyecciones de consultoras como McKinsey y S&P Global (2023) señalan que, mientras la demanda anual de cobre podría aumentar a 36,6 millones de toneladas para 2031, la oferta solo alcanzará 30,1 millones de toneladas, creando un déficit de 6,5 millones de toneladas en menos de una década. A largo plazo, S&P Global estima que la demanda podría duplicarse hasta los 50 millones de toneladas para 2035, muy por encima de los 31 millones de toneladas que se prevé que pueda ofrecer la industria minera si continúa el crecimiento actual de producción (Mills, 2023)

Sin embargo, también existen algunos desafíos como los siguientes:

- **En el suministro:** La extracción de cobre enfrenta barreras significativas, tanto geológicas como políticas. Chile y Perú, los principales productores mundiales, atraviesan desafíos de agotamiento de recursos y conflictos sociopolíticos que afectan la producción y el transporte. Chile, por ejemplo, sufre restricciones por la disminución en la calidad de los yacimientos y escasez de agua en las áreas mineras, mientras que, en Perú, las tensiones políticas y disturbios sociales afectan a grandes minas, como Las Bambas y Antapaccay.
- **Perspectiva de la industria:** Las grandes mineras están buscando diversificar sus operaciones hacia jurisdicciones menos riesgosas. Compañías como BHP y Glencore han expandido su portafolio en países más estables para garantizar un suministro estable de cobre. Sin embargo, el desarrollo de nuevas minas enfrenta desafíos burocráticos y financieros, pues puede tomar hasta dos décadas llevar un proyecto desde la fase de exploración hasta la producción.

Este déficit en la oferta de cobre podría complicar el cumplimiento de los objetivos climáticos, ya que el metal es esencial para tecnologías limpias. Para mitigar el déficit, se requiere de inversiones significativas en nuevos proyectos de exploración, que se estiman en \$70,000 millones de dólares anuales hasta 2030 (AIE, 2024) La construcción de nuevas minas y la adopción de prácticas más sostenibles se perfilan como cruciales para la seguridad del suministro y la estabilidad de precios del cobre en los próximos años.

5.1.4. Experiencia Nacional e internacional y Ciclo del Cobre

A nivel mundial, varios países mineros han puesto en marcha iniciativas de reprocesamiento de relaves que han tenido mucho éxito. En Canadá, empresas auríferas como Barrick Gold han recuperado con éxito los minerales de sus yacimientos mediante procesos de flotación y lixiviación de alta tecnología, de tal manera que son conocidas por su capacidad de minimización. Por ejemplo, Barrick ha desarrollado un proyecto pionero de reprocesamiento de relaves en la mina Golden Sunlight que reduce significativamente el uso de cianuro y elimina posibles fuentes de contaminación del agua (Chacon, 2022).

El ciclo del cobre se ha visto afectado por la creciente demanda de metales, especialmente en el contexto de la transición hacia energías renovables. La producción de cobre está intrínsecamente ligada a la generación de relaves, que son los residuos resultantes del proceso de concentración del mineral. En Chile, se estima que la minería genera cerca de 600 millones de toneladas de relaves anualmente, y se proyecta que esta cifra podría aumentar a 1.000 millones en la próxima década (SERNAGEOMINI, 2022).

Este aumento en la producción de relaves resalta la necesidad de implementar prácticas sostenibles, como el reprocesamiento, que no solo busca recuperar minerales valiosos, sino también mitigar el impacto ambiental asociado a su almacenamiento.

5.1.4.1. Competencia y Proyectos Similares

La competencia en el ámbito del reprocesamiento de relaves ha crecido en los últimos años, impulsada por la demanda de cobre y otros minerales críticos, así como por la presión para adoptar prácticas mineras más sostenibles. En este contexto, algunos proyectos y competidores en Chile y otras regiones mineras han sido pioneros en tecnologías y estrategias para recuperar minerales de los relaves, aprovechando los avances tecnológicos y las oportunidades de negocio que presenta el reprocesamiento de desechos mineros.

5.1.4.2. Proyecto del Tranque de Relaves Cauquenes

El proyecto del tranque de relaves Cauquenes, operado por Minera Valle Central (MVC), se destaca como un ejemplo innovador de reprocesamiento de relaves en la minería chilena. Esta iniciativa aborda el desafío ambiental de los relaves mineros, que son grandes depósitos de desechos generados durante el procesamiento de cobre y otros minerales, al mismo tiempo que genera beneficios económicos al recuperar cobre y molibdeno de desechos antiguos.

En términos técnicos, MVC emplea métodos avanzados de extracción y procesamiento para aprovechar los relaves acumulados en el tranque Cauquenes, mejorando la recuperación de minerales en una fase en la que tradicionalmente estos no se habrían explotado. El proceso consiste en el tratamiento de los relaves mediante tecnologías de flotación que separan el cobre y el molibdeno, permitiendo obtener productos adicionales de valor comercial, lo cual ha contribuido al crecimiento de la industria y a una operación más sostenible

Luis Paredes, especialista en geotecnia y tranques de relaves de Ausenco, destaca que esta práctica se ha adaptado a las condiciones particulares de los relaves, permitiendo la integración de nuevas tecnologías en las líneas de producción. Según Paredes, “en el caso de Cauquenes se ha implementado una recuperación mejorada de minerales y un manejo más específico de los relaves generados, lo cual no solo optimiza la recuperación de cobre, sino que también ayuda a producir residuos más seguros en términos de granulometría y contenido de agua. Estas mejoras en los residuos contribuyen a la sostenibilidad de las operaciones mineras, ya que facilitan el manejo y disposición segura de estos materiales (MCH, 2024)

El éxito del tranque Cauquenes representa un modelo replicable para otras operaciones en Chile y en el mundo, en las cuales es posible no solo reducir los riesgos ambientales sino también generar valor a partir de desechos mineros. La práctica de reprocesar relaves antiguos ha permitido a Codelco y MVC maximizar la recuperación de recursos minerales mientras se avanza hacia una minería más sostenible y responsable, un factor crucial en el contexto de las crecientes preocupaciones ambientales y regulatorias (MCH, 2024).

El proyecto de reprocesamiento de relaves operado por MVC es una iniciativa innovadora que busca recuperar cobre y molibdeno de los relaves recién generados en sus operaciones.

Objetivos del proyecto:

- El principal objetivo es extraer cobre y molibdeno de los relaves frescos, aprovechando el contenido mineral que aún queda en estos residuos.
- Al procesar los relaves recién generados, se busca maximizar la recuperación de minerales antes de que sean depositados en los tranques de relaves.
- Al recuperar más minerales de los relaves, se reduce potencialmente el volumen de residuos que deben ser almacenados a largo plazo.

Tecnología y procesos:

- Espesamiento de relaves: Codelco está implementando tecnologías de espesamiento en alta densidad en otros proyectos, lo que podría ser aplicable aquí para facilitar la recuperación de minerales.
- Es posible que se utilicen técnicas como flotación, lixiviación o separación magnética para extraer el cobre y molibdeno de los relaves frescos.

Este proyecto de reprocesamiento de relaves se enmarca en una tendencia más amplia en la industria minera chilena:

- Valorización de residuos: Hay un creciente interés en extraer valor de los relaves y otros residuos mineros, como lo demuestra la existencia de más de 740 depósitos de relaves en Chile.
- Innovación tecnológica: Codelco y otras empresas están invirtiendo en el desarrollo de nuevas tecnologías para el procesamiento de relaves.
- Sustentabilidad: Estos proyectos buscan mejorar la eficiencia en el uso de recursos y reducir el impacto ambiental de la minería.

Desafíos y oportunidades:

- Viabilidad económica: El éxito del proyecto dependerá de su capacidad para recuperar minerales de manera rentable.
- Escalabilidad: Si resulta exitoso, este enfoque podría aplicarse en otras operaciones de Codelco y potencialmente en toda la industria minera chilena.
- Impacto ambiental: Aunque el proyecto busca reducir los residuos, es importante considerar el impacto ambiental de los procesos adicionales requeridos para la recuperación de minerales.

El proyecto de reprocesamiento de relaves de MVC representa un enfoque innovador para maximizar la recuperación de recursos y mejorar la sustentabilidad en la industria minera del cobre. Su desarrollo y resultados serán de gran interés para el sector minero en Chile ya nivel global (Codelco, 2023).

Otro proyecto de reprocesamiento de relaves en Chile, el cual es liderado por Codelco Tech y financiado en parte por CORFO, surge como una iniciativa de relevancia nacional, que busca transformar los relaves mineros en activos valiosos mediante tecnologías innovadoras. Esta colaboración público-privada forma parte del Programa Nacional de Minería Alta Ley, el cual se orienta hacia una minería sostenible, circular y alineada con las expectativas de una sociedad más consciente y exigente en temas ambientales.

El programa tecnológico estratégico impulsado por CORFO tiene como objetivo identificar, cuantificar y priorizar los elementos de valor presentes en los tranques de relaves, ya sean estos activos o cerrados, en los cuales hay una oportunidad significativa para recuperar metales estratégicos como cobre, molibdeno, tierras raras, galio, cobalto y circonio. Estos metales son altamente demandados en el mercado global y su extracción contribuye a posicionar a Chile como un líder en minería circular.

El proyecto de reprocesamiento de relaves Cauquenes cuenta con una inversión de \$2.140 millones de pesos, con Corporación de Fomento (CORFO), financiando el 70% mediante el Fondo de Inversión Estratégica. Esta financiación pública-privada permite el desarrollo de tecnologías bio-hidrometalúrgicas innovadoras y fomenta la

creación de procedimientos y normas que facilitan la adopción de estas prácticas en otros depósitos mineros.

Durante el evento "Field Day Relaves⁶" desarrollado por CORFO en 2017 en Requínoa, Región del Libertador Bernardo O'Higgins, se presentaron avances del proyecto tranque de relaves Cauquenes, demostrando que es un ejemplo práctico del potencial del proyecto, donde se extraen minerales de relaves antiguos y se trabaja en la recuperación de otros elementos de alto valor.

A este evento asistieron representantes de la industria minera y autoridades gubernamentales. Según la ministra de Minería, Aurora Williams, el objetivo es consolidar una minería "virtuosa, inclusiva y sustentable" en Chile, aprovechando los relaves como recursos y no solo como pasivos ambientales. Marcela Angulo, gerente de Capacidades Tecnológicas de CORFO, también destaca la importancia del proyecto dentro de la agenda de investigación y desarrollo, dado su potencial para convertir los relaves en fuentes estratégicas de minerales en el futuro (El Urbano Rural, 2017)

Este programa cuenta con importantes socios, entre ellos:

- Codelco Tech: Encargado de liderar el proyecto y desarrollar tecnologías innovadoras para la recuperación de metales.
- Centro Avanzado de Tecnología para la Minería de la Universidad de Chile: Responsable de la investigación y desarrollo de soluciones tecnológicas.
- Minera Valle Central: Especialista en la recuperación de cobre y molibdeno de relaves frescos de Codelco.
- Solvay Chile: Empresa que diseña moléculas especializadas para la extracción de metales.

⁶ El evento "Field Day Relaves" tuvo como objetivo presentar los avances del Programa Tecnológico Estratégico de CORFO, enfocado en desarrollar tecnologías para recuperar elementos de valor desde los relaves mineros, promoviendo la economía circular y la minería sostenible en Chile.

Este proyecto representa un paso crucial hacia la sostenibilidad y la innovación en el sector minero chileno, destacando el compromiso del país con el uso responsable de los recursos y con el impulso de tecnologías limpias (El Urbano Rural, 2017).

5.1.5. Proyectos en Perú y otras regiones de América Latina

El Proyecto B2 de Minsur⁷ encuentra en la Unidad Minera San Rafael, en la región de Puno, Perú, y tiene como objetivo principal reaprovechar los parientes del depósito B2 para recuperar este año. Este tipo de procesamiento se realiza para maximizar la recuperación de recursos minerales que de otra manera permanecerían como desechos, disminuyendo así la necesidad de nuevas explotaciones.

La inversión inicial aprobada fue de USD 218 millones, aunque algunas fuentes indican que el costo pudo rondar los USD 195 millones. A lo largo de su vida útil, el proyecto tiene como meta producir alrededor de 51,000 toneladas métricas finas (TMF) de este año. El inicio de las operaciones estaba previsto para el segundo semestre de 2019; Sin embargo, la planta finalmente comenzó a operar en 2020.

La construcción del proyecto se realizó en un período de 27 meses, y la inversión final se redujo a USD 174 millones. Desde su inicio hasta 2023, la planta ha recuperado aproximadamente 18,805 toneladas de estaño refinado y ha procesado cerca del 50% de los relaves del depósito B2. La finalización del procesamiento de estos relacionados se espera para el año 2028, lo cual permitirá optimizar el uso de recursos sin recurrir a una extracción minera tradicional.

Beneficios e impactos:

- Ambientales: El proyecto contribuye a la reducción del impacto ambiental al transformar un depósito de relaves en un recurso aprovechable, eliminando la necesidad de nuevas extracciones y disminuyendo el uso de explosivos, lo que en el año 2023 permitió un

⁷ Minsur: Es una empresa minera peruana que forma parte del Grupo Breca, especializada en la producción y comercialización de estaño y oro. Es reconocida por operar una de las minas de este año más importantes del mundo, ubicada en San Rafael, Perú, y por sus proyectos de sostenibilidad y gestión ambiental en el sector minero.

ahorro de más de 1.000 toneladas. Además, el 93% del agua utilizada en el proceso es recirculada, lo cual reduce el consumo de agua fresca y minimiza la huella hídrica de la operación.

- **Económicos:** El proyecto genera ingresos adicionales a través de la venta del estaño recuperado, al mismo tiempo que reduce la presión sobre el yacimiento subterráneo de San Rafael. Esto diversifica las fuentes de ingresos de Minsur y prolonga la vida útil de la mina.
- **Sociales:** A nivel regional, el proyecto ha creado más de 1,500 empleos indirectos y el 60% del personal de la planta B2 proviene de comunidades locales, promoviendo el desarrollo económico en la zona. Entre 2020 y 2023, Minsur también ha destinado 37,6 millones de dólares a proyectos sociales, beneficiando a las comunidades cercanas y fortaleciendo el compromiso de la empresa con el desarrollo local.
- **Innovación Tecnológica:** El Proyecto B2 se destaca a nivel mundial como la primera planta en su tipo dedicada al reprocesamiento de relaves de estaño. Para asegurar la trazabilidad y sostenibilidad del mineral, Minsur emplea tecnología blockchain bajo la marca "SusTINable", la cual permite garantizar la transparencia y el cumplimiento de estándares de sostenibilidad en el mercado. Este enfoque innovador demuestra cómo la tecnología puede transformar pasivos ambientales en oportunidades de desarrollo económico y social, promoviendo una minería más responsable y eficiente (Desde Adentro, 2024).

En Perú, los proyectos de reprocesamiento de relaves han sido menos frecuentes, pero empresas como Buenaventura y Southern Copper han comenzado a explorar el potencial de relaves para recuperar cobre y otros minerales, incluyendo oro y molibdeno, debido a la presión para reducir el impacto ambiental y extender la vida útil de las minas

Estos proyectos suelen enfrentar desafíos regulatorios y sociales, ya que la minería en Perú es objeto de escrutinio debido a problemas de impacto ambiental y conflictos comunitarios.

Una de las fortalezas de estos proyectos es el interés gubernamental en promover prácticas sostenibles en la minería, lo cual puede facilitar la obtención de permisos. Sin embargo, la debilidad radica en la falta de infraestructura y de conocimientos técnicos especializados en reprocesamiento, lo que incrementa los costos y los riesgos operativos.

5.1.6. Desarrollos en Otros Países Mineros

El reprocesamiento de relaves ha cobrado relevancia en la minería de países como Canadá y Australia, quienes lideran proyectos innovadores que buscan recuperar minerales de valor a partir de depósitos previamente explotados. En Canadá, Barrick Gold y Newmont han impulsado proyectos de reprocesamiento enfocados en recuperar oro y otros metales preciosos. Un ejemplo es la reapertura del proyecto de Golden Sunlight de Barrick en Montana, que permite extraer oro de relaves almacenados y genera beneficios medioambientales y económicos para las comunidades cercanas. Este tipo de proyecto es favorecido por la existencia de una regulación estable y predecible que facilita la inversión y asegura que la operación sea ambientalmente responsable (Republic of Mining, 2022)

Australia, otro país con importantes avances en el reprocesamiento, ha implementado proyectos como los de Northern Star Resources, enfocados en recuperar metales críticos como el litio y el níquel, esenciales para la transición energética. La compañía ha destacado en la reducción del uso de agua y el aprovechamiento de tecnologías avanzadas que minimizan el impacto ambiental, aspectos que la posicionan como un referente en sostenibilidad. Sin embargo, ambos países enfrentan desafíos comunes en cuanto a los elevados costos de capital que estos proyectos demandan y la volatilidad de los precios de los minerales, factores que pueden afectar la rentabilidad a largo plazo (Newmont, 2024)

Estos desarrollos destacan el potencial de las tecnologías de reprocesamiento en países mineros avanzados y pueden servir como referencia para iniciativas similares en otras regiones, especialmente en aquellas que buscan optimizar el valor de sus recursos y mejorar las prácticas medioambientales en la minería.

5.1.6.1. Ejemplos de Reprocesamiento: Minera Valle Central (MVC)

Un ejemplo destacado de reprocesamiento de relaves es el caso de Minera Valle Central (MVC) en Chile, que ha estado operando desde el año 2000. MVC se especializa en la recuperación de cobre y molibdeno de relaves antiguos, utilizando tecnologías avanzadas que permiten extraer metales de depósitos que anteriormente se consideraban sin valor. Según informes de la empresa, MVC ha logrado recuperar entre un 7% y un 8% de la producción de cobre de la División El teniente de Codelco, lo que demuestra la viabilidad económica del reprocesamiento de relaves (Minera Valle Central, 2021).

Minera Valle Central (MVC) se ha consolidado como un referente en el reprocesamiento de relaves en Chile desde su establecimiento en el año 2000. La empresa ha desarrollado un modelo de negocio innovador que se centra en la recuperación de minerales valiosos, específicamente cobre y molibdeno, de los relaves generados por la División El teniente de Codelco. Este enfoque no solo busca maximizar la eficiencia en la extracción de recursos, sino también mitigar el impacto ambiental asociado a la acumulación de relaves.

MVC ha implementado tecnologías avanzadas que permiten el tratamiento de relaves frescos y antiguos. Inicialmente, la planta se dedicaba al tratamiento de relaves frescos, pero con el tiempo ha ampliado su capacidad para incluir depósitos de relaves antiguos, como el de Cauquenes. Actualmente, la planta tiene una capacidad de procesamiento de 140,000 toneladas por día (tpd) de relaves frescos y 60,000 tpd de relaves antiguos. Este aumento en la capacidad ha permitido a MVC recuperar aproximadamente 30,000 toneladas de cobre y 1.6 millones de libras de molibdeno anualmente.

A pesar de que la recuperación de cobre de los relaves frescos se sitúa en torno al 20%, y de los antiguos entre el 38% y 40%, estas cifras son significativas en comparación con las tasas de recuperación en los concentradores de Codelco. Este éxito en la recuperación de minerales demuestra la viabilidad económica del reprocesamiento de relaves, transformando lo que antes se consideraba un desecho en un recurso valioso.

Desafíos y Sostenibilidad: Uno de los principales desafíos que enfrenta MVC es la gestión del agua, especialmente en un contexto de sequía y cambio climático. La empresa ha implementado tecnologías para optimizar la recuperación de agua, con el objetivo de alcanzar un 97% de reutilización. Esta eficiencia en el uso del agua es crucial no solo para la sostenibilidad de las operaciones de MVC, sino también para la conservación de recursos hídricos en una región donde el agua es escasa.

Además, MVC está explorando la posibilidad de expandir su modelo de operación a otras divisiones de Codelco y a empresas de minería privada. La recuperación de relaves antiguos en diversas regiones de Chile representa una oportunidad significativa para la industria minera, aunque el acceso a estos relaves abandonados aún carece de regulación, lo que plantea un desafío adicional.

El reprocesamiento de relaves en Minera Valle Central no solo contribuye a la recuperación de recursos valiosos, sino que también se alinea con las prácticas sostenibles necesarias para enfrentar los retos ambientales actuales en la minería. Al transformar pasivos ambientales en activos económicos, MVC está demostrando que es posible combinar la rentabilidad con la responsabilidad ambiental. Este modelo de negocio podría servir como un ejemplo a seguir para otras empresas mineras en Chile y en el mundo, promoviendo un enfoque más circular y sostenible en la industria. La experiencia de MVC resalta la importancia de la innovación y la adaptación en un sector que enfrenta desafíos significativos en el contexto global actual (Minera Valle Central, 2019).

5.1.6.2. Reapertura de Faenas vs Reprocesamiento de relaves

Es importante diferenciar el reprocesamiento de relaves de la reapertura de faenas mineras. Mientras que la reapertura de faenas implica la reactivación de

operaciones mineras cerradas para extraer minerales, el reprocesamiento se centra en la recuperación de recursos de depósitos de relaves existentes. Este enfoque no solo busca maximizar la recuperación de minerales, sino que también se alinea con las políticas de sostenibilidad y economía circular, transformando pasivos ambientales en activos económicos.

El Plan Nacional de Depósitos de Relaves para una Minería Sostenible en Chile busca establecer un marco regulatorio que facilite el reprocesamiento y la reutilización de relaves, promoviendo así prácticas mineras más responsables y sostenibles (SERNAGEOMINI, 2022).

Este marco es fundamental para asegurar que las iniciativas de reprocesamiento se realicen de manera segura y eficiente, minimizando el impacto ambiental y maximizando el valor económico.

5.2. Marco Teórico

En esta tesina se realizará un análisis del entorno que incluye un análisis FODA y un análisis PESTEL, esto permitirá identificar fortalezas y debilidades internas del reprocesamiento de relaves como las oportunidades y amenazas en el negocio, a su vez, el análisis PESTEL examinará todos los factores externos del proyecto, políticos, económicos, sociales, tecnológicos además de una evaluación financiera.

5.2.1. Análisis del entorno

Para obtener una planificación estratégica que sea eficaz se requiere de una clara comprensión de los factores que pueden influir en el proyecto, organización, etc. Por lo cual se realiza el análisis FODA y PESTEL

- **Análisis FODA:** El análisis FODA se originó en 1960 en el instituto de investigación de Standfor (SRI) desarrollado por el consultor administrativo Albert Humphrey. Este análisis tiene dos componentes principales a evaluar, los factores internos (Fortalezas y Debilidades) y los factores externos (Oportunidades y Amenazas), con esto se obtiene una visión del estado actual y el futuro potencial.

- Fortalezas: ¿En que se destaca el proyecto? ¿Que recursos únicos posee?
 - Debilidades: ¿En que aspectos falla el proyecto? ¿Cuales son las áreas de mejora?
 - Oportunidades: ¿Qué condiciones externas puede explotar el proyecto en su beneficio?
 - Amenazas: ¿Qué desafíos externos podrían afectar al éxito del proyecto?
-
- Análisis PESTEL: El análisis PESTEL fue creado en 1968 por V.K. Narayanan y Liam Fahey, este análisis se centra en los factores macroambientales externos que pueden influir en el proyecto. El nombre PESTEL proviene de los seis factores, Político, Económico, Social, Tecnológico, Ecológicos y Legal.
 - Factores políticos: evalúa el impacto que genera en el proyecto todo cambio político, regulaciones gubernamentales y estabilidad política.
 - Factores económicos: aquí se analiza los niveles de riqueza y desarrollo económico del lugar del proyecto, no solo pensando en el presente, si no analizando tendencias futuras para una buena estrategia.
 - Factores sociales: este factor evalúa las tendencias sociales, patrones culturales, creencias y religión, edad de la población, todo con el objetivo de profundizar en la sociedad donde operará el proyecto.
 - Factores tecnológicos: se evalúa el grado de conocimiento y/o madurez tecnológica del mercado en el cual se enfoca el proyecto, analizando tecnologías I+D, distintas formas de producción y tendencias de uso.
 - Factores ecológicos: se abordan aspectos que pueden afectar de manera directa o indirecta al proyecto, como cambios climáticos, contaminación, disponibilidad de materias primas entre otros.

- Factores legales: En este ultimo factor se consideran todas las leyes y regulaciones locales que puedan afectar al proyecto o dificultar su ejecución.

5.2.2. Evaluación Financiera

La evaluación financiera es un componente crítico de la metodología, ya que permite determinar la viabilidad económica del reprocesamiento de relaves. Para ello, se calcularán el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) en Unidades de Fomento (UF), que es la moneda utilizada en Chile para ajustar los valores a la inflación.

Cálculo del VAN: El VAN es un criterio de inversión que consiste en un análisis de cobros y pagos de un proyecto o inversión para estimar cuanta es la ganancia o pérdida de esta. Se determinará el VAN descontando los flujos de caja futuros esperados del proyecto a una tasa de descuento apropiada, restando la inversión inicial. Un VAN positivo indicará que el proyecto es financieramente viable.

Cálculo de la TIR: La TIR es la rentabilidad que se espera que el proyecto o inversión entregue, esta se mide en porcentaje sobre la inversión realizada. Se calculará como la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. Este indicador permitirá evaluar la rentabilidad del proyecto en comparación con otras oportunidades de inversión.

Estos indicadores se integrarán en el plan de negocios, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones sobre la implementación del reprocesamiento de relaves y asegurando que se consideren tanto los aspectos económicos como los ambientales en el desarrollo del proyecto.

6. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

El análisis de mercado para el reprocesamiento de relaves en la minería del cobre en Chile se sustenta en una exhaustiva evaluación de los factores internos y externos que influyen en la viabilidad y sostenibilidad. A través de un FODA podemos revelar aspectos cruciales como la capacidad de recuperación de recursos valiosos. Asimismo, el análisis PESTEL proporcionará una visión integral de los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales que afectan a la implementación del reprocesamiento de relaves en la industria minera.

En esta sección se analizarán los entornos , además de comparaciones con nuevos proyectos , indicando las principales ventajas, además un análisis de los factores normativos y medioambientales en los que se rige el proyecto de reprocesamiento de relaves, viendo las normativas específicas en Chile y comparación con normativas internacionales.

6.1. Análisis del Entorno

Actualmente en la minería el proceso de flotación finaliza con el almacenamiento de relaves en un tranque y este análisis busca convertir este pasivo ambiental en ingreso económico, generando un reproceso del relave para recuperar el cobre y minerales valiosos que durante el primer proceso no se pudo extraer. Este proyecto se encuentra basado en el tranque Cauquenes de MVC, sin embargo, puede ser extrapolado a otra minera teniendo en consideraciones los factores externos e internos de cada compañía y producción de esta.

6.1.1. Análisis FODA

El análisis FODA permite identificar las fortalezas y debilidades internas de un proyecto, así como las oportunidades y amenazas externas que pueden influir en su éxito. En el contexto del reprocesamiento de relaves en la minería de cobre en Chile, las fortalezas incluyen la capacidad de recuperar recursos valiosos y la sostenibilidad ambiental. Las debilidades, como los altos costos iniciales, pueden limitar la implementación. Las oportunidades, como regulaciones favorables, y las

amenazas, como riesgos ambientales, son factores críticos por considerar (Dunne, 2025).

Tabla 1 - Analisis FODA

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
Recuperación de recursos valiosos.	Regulaciones favorables para el reprocesamiento.
Sostenibilidad ambiental.	Inversión en innovación y tecnologías limpias.
Tecnologías avanzadas en el proceso.	Colaboración público-privada.
Creciente demanda de cobre.	Expansión a nuevos mercados.
DEBILIDADES	AMENAZAS
Altos costos iniciales de inversión.	Riesgos ambientales durante el reprocesamiento.
Dependencia de precios de minerales.	Cambios en la normativa ambiental.
Complejidad regulatoria.	Competencia internacional en el sector.
Falta de conocimiento en reprocesamiento.	Condiciones económicas globales adversas.

La tabla 1 es de elaboración propia, considerando a MVC como ejemplo.

El análisis FODA realizado sobre el reprocesamiento de relaves en la minería de cobre en Chile revela un panorama mixto que destaca tanto las fortalezas y oportunidades como las debilidades y amenazas que enfrenta este sector.

Fortalezas:

- **Recuperación de Recursos Valiosos:** La capacidad de recuperar minerales valiosos de los relaves representa una ventaja significativa, permitiendo transformar pasivos ambientales en activos económicos.
- **Sostenibilidad Ambiental:** El reprocesamiento contribuye a la sostenibilidad, alineándose con las tendencias globales hacia prácticas más responsables y respetuosas con el medio ambiente.
- **Tecnologías Avanzadas:** La implementación de tecnologías innovadoras mejora la eficiencia del proceso de reprocesamiento, aumentando la rentabilidad y reduciendo el impacto ambiental.
- **Creciente Demanda de Cobre:** La demanda global de cobre, impulsada por la transición energética y la electrificación, favorece la viabilidad económica del reprocesamiento de relaves.

Oportunidades:

- **Regulaciones Favorables:** La evolución de las regulaciones ambientales puede facilitar el reprocesamiento, incentivando inversiones en tecnologías limpias y sostenibles.
- **Inversión en Innovación:** La disponibilidad de financiamiento para la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías puede impulsar el avance en el reprocesamiento de relaves.
- **Colaboración Público-Privada:** La cooperación entre el sector público y privado puede generar sinergias que fortalezcan la implementación de proyectos de reprocesamiento.
- **Expansión a Nuevos Mercados:** La diversificación de productos y la búsqueda de nuevos mercados pueden aumentar los ingresos y reducir la dependencia de una sola fuente de ingresos.

Debilidades:

- **Altos Costos Iniciales:** La inversión inicial necesaria para implementar proyectos de reprocesamiento puede ser un obstáculo significativo, limitando la capacidad de las empresas para avanzar.
- **Dependencia de Precios de Minerales:** La viabilidad económica del reprocesamiento está sujeta a la fluctuación de los precios de los minerales, lo que puede afectar la rentabilidad.
- **Complejidad Regulatoria:** La necesidad de cumplir con normativas ambientales y de minería puede complicar la implementación de proyectos y aumentar los costos operativos.
- **Falta de Conocimiento:** La escasez de experiencia y conocimiento en el reprocesamiento de relaves puede limitar la capacidad de las empresas para adoptar estas tecnologías de manera efectiva.

Amenazas:

- **Riesgos Ambientales:** La posibilidad de impactos ambientales negativos durante el reprocesamiento puede generar conflictos con comunidades locales y afectar la reputación de las empresas.
- **Cambios en la Normativa:** La evolución de las regulaciones ambientales puede imponer requisitos adicionales que afecten la viabilidad de los proyectos.
- **Competencia Internacional:** La competencia de otros países con prácticas mineras más avanzadas y sostenibles puede limitar la competitividad de la minería chilena.
- **Condiciones Económicas Globales:** Factores económicos globales, como recesiones o cambios en la demanda de cobre, pueden afectar la rentabilidad del reprocesamiento.

El reprocesamiento de relaves en la minería de cobre en Chile presenta una oportunidad significativa para mejorar la sostenibilidad y la rentabilidad del sector. Sin embargo, es crucial abordar las debilidades y amenazas identificadas para maximizar el potencial de este enfoque. La implementación de estrategias que fomenten la innovación, la colaboración y la gestión de riesgos será fundamental para asegurar el éxito de los proyectos de reprocesamiento en el futuro.

6.1.2. Análisis PESTEL

El análisis PESTEL examina los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales que afectan un proyecto. En el caso del reprocesamiento de relaves, los factores políticos incluyen regulaciones ambientales que pueden facilitar o complicar la implementación. Económicamente, la creciente demanda de cobre es una oportunidad, mientras que los costos de producción son un desafío. Socialmente, la aceptación de la comunidad es crucial, y tecnológicamente, la innovación puede mejorar la eficiencia. Los factores ecológicos y legales son igualmente importantes, ya que el cumplimiento normativo y la gestión ambiental son esenciales para la sostenibilidad del proyecto (Santos, 2025).

Tabla 2 - Análisis PESTEL

POLÍTICO	ECONÓMICO
Regulaciones ambientales en evolución.	Creciente demanda de cobre.
Estabilidad política en Chile.	Costos de producción y fluctuaciones de precios.
SOCIAL	TECNOLÓGICO
Aceptación comunitaria y relaciones locales.	Innovación en procesos de reprocesamiento.
Creación de empleo en regiones mineras.	Inversión en investigación y desarrollo.
ECOLÓGICO	LEGAL
Impacto ambiental de los relaves.	Cumplimiento de normativas ambientales.
Cambio climático y su efecto en recursos hídricos.	Protección de recursos naturales.

El análisis PESTEL realizado sobre el reprocesamiento de relaves en la industria minera de cobre en Chile proporciona una visión integral de los factores externos que afectan la viabilidad y sostenibilidad del proyecto. A continuación, se presentan las conclusiones clave de cada uno de los componentes analizados:

Político

- **Regulaciones Ambientales:** La evolución de las regulaciones ambientales en Chile es favorable para el reprocesamiento de relaves, lo que puede facilitar la implementación de proyectos sostenibles. Sin embargo, es crucial que las empresas se mantengan actualizadas sobre los cambios normativos para asegurar el cumplimiento y evitar sanciones.
- **Estabilidad Política:** La estabilidad política en Chile es un factor positivo que fomenta la inversión en el sector minero, brindando un entorno propicio para el desarrollo de iniciativas de reprocesamiento.

Económico

- **Creciente Demanda de Cobre:** La demanda global de cobre, impulsada por la transición hacia energías renovables y la electrificación, representa una oportunidad significativa para el

reprocesamiento de relaves. Esto puede traducirse en un aumento de ingresos para las empresas que implementen estas prácticas.

- **Costos de Producción:** La fluctuación de los costos de producción y la dependencia de los precios de los minerales son desafíos que deben ser gestionados cuidadosamente para asegurar la rentabilidad del proyecto.

Social

- **Aceptación Comunitaria:** La relación con las comunidades locales es fundamental. Un enfoque proactivo en la comunicación y la gestión de impactos ambientales puede mejorar la aceptación social del reprocesamiento de relaves, contribuyendo a la sostenibilidad del proyecto.
- **Creación de Empleo:** El reprocesamiento de relaves puede generar empleo y contribuir al desarrollo económico de las regiones mineras, lo que puede fortalecer la relación con las comunidades y mejorar la percepción social de la minería.

Tecnológico

- **Innovación en Procesos:** La adopción de tecnologías avanzadas en el reprocesamiento de relaves es esencial para mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental. La inversión en investigación y desarrollo puede impulsar la competitividad del sector.
- **Desarrollo de Nuevas Tecnologías:** La implementación de tecnologías limpias y sostenibles es crucial para cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible y mejorar la imagen de la industria minera.

Ecológico

- **Impacto Ambiental:** La gestión adecuada de los relaves es fundamental para minimizar los impactos ambientales negativos. La implementación de prácticas sostenibles puede contribuir a la reducción de residuos y a la mejora de la sostenibilidad del sector.

- Cambio Climático: Las condiciones climáticas extremas pueden afectar la disponibilidad de recursos hídricos y la operación de proyectos mineros, lo que resalta la necesidad de estrategias de adaptación.

Legal

- Cumplimiento Normativo: Las empresas deben cumplir con un marco regulatorio que busca equilibrar el desarrollo económico con la preservación ambiental. La flexibilidad en la normativa puede facilitar la implementación de proyectos de reprocesamiento.
- Protección de Recursos Naturales: Las leyes que protegen los recursos naturales son esenciales para garantizar la sostenibilidad del reprocesamiento de relaves, pero también pueden representar un desafío si no se gestionan adecuadamente.

El análisis PESTEL destaca que el reprocesamiento de relaves en la minería de cobre en Chile presenta tanto oportunidades significativas como desafíos importantes. La capacidad de las empresas para adaptarse a las condiciones políticas, económicas, sociales, tecnológicas, ecológicas y legales será crucial para el éxito de estos proyectos. La implementación de estrategias que aborden estos factores de manera integral puede contribuir a una minería más sostenible y responsable en el país.

6.1.3. Comparación con Nuevos Proyectos

Al comparar nuevos proyectos de reprocesamiento de relaves en Chile con iniciativas similares en otros países mineros, emergen tanto ventajas como desafíos específicos en cada contexto.

Ventajas en Chile: Los proyectos en Chile gozan de una sólida infraestructura minera y una fuerza laboral capacitada en actividades mineras, factores que reducen los costos de implementación y operatividad en comparación con otras regiones. La proximidad a los mercados de cobre en Asia y otros lugares es una ventaja clave, ya que disminuye los costos logísticos y facilita la exportación. Sin

embargo, Chile enfrenta desafíos de escasez de agua, un recurso vital para los procesos mineros, así como preocupaciones sobre el agotamiento de recursos en depósitos accesibles

Ventajas en Canadá y Australia: En Canadá, empresas como Barrick Gold y Newmont han liderado proyectos de reprocesamiento de relaves, principalmente orientados a la recuperación de metales preciosos y al desarrollo de técnicas como la biolixiviación (Tecnología mineral, 2022)

Australia también ha avanzado en estos desarrollos; un ejemplo es la empresa Northern Star Resources, que aplica tecnologías para reducir el uso de agua y optimizar la recuperación de metales críticos (International Mining, 2021)

Ambos países cuentan con marcos regulatorios estables y promueven la inversión en tecnologías sostenibles, aunque enfrentan altos costos logísticos debido a la distancia de los principales mercados globales y una fuerte competencia por el capital de inversión

Para todos estos proyectos, el éxito depende de la implementación de innovaciones tecnológicas y estrategias de sostenibilidad que minimicen el impacto ambiental y promuevan el desarrollo socioeconómico local. Estos incluyen tecnologías de recuperación eficiente y gestión de relaves, además de políticas que alineen los intereses corporativos con los objetivos ambientales y sociales. La sostenibilidad en el reprocesamiento de relaves representa no solo una oportunidad de recuperación de recursos, sino también un compromiso con una minería responsable que responda a los desafíos específicos de cada país y proyecto.

6.1.4. Factores Normativos y Medioambientales

El marco normativo y medioambiental en Chile para el manejo y reprocesamiento de relaves está regido principalmente por la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente (Ley N.º 19.300) y el Código de Minería, ambos diseñados para asegurar prácticas sostenibles y minimizar los impactos ambientales en la industria minera. Sin embargo, existen desafíos debido a la magnitud de los depósitos de relaves y a la necesidad de adaptarse a estándares internacionales.

6.1.4.1. Desafíos en el Reprocesamiento de Relaves

El reprocesamiento de relaves enfrenta el desafío de cumplir con las exigencias ambientales mientras se optimiza la recuperación de minerales. Si bien la legislación fomenta la economía circular y permite el reprocesamiento, los proyectos deben demostrar su viabilidad económica y su contribución a la sostenibilidad ambiental. Además, la Comisión Chilena del Cobre (Cochilco) y otros entes gubernamentales enfatizan la importancia de una regulación flexible que facilite la inversión en tecnologías limpias, como la biolixiviación y la minimización del uso de agua en los procesos, ambas prácticas que buscan reducir el impacto ambiental de la minería en Chile.

6.1.4.2. Comparación con Normativas Internacionales

En comparación con países como Canadá y Australia, donde existen fuertes incentivos para proyectos de minería responsable, Chile aún enfrenta desafíos en cuanto a transparencia y accesibilidad a recursos para financiar iniciativas de reprocesamiento de relaves. Sin embargo, los programas tecnológicos como Alta Ley y el apoyo de entidades como CORFO han permitido el surgimiento de proyectos innovadores que cumplen con estándares internacionales de sostenibilidad.

Se concluye que el marco regulatorio chileno en torno al reprocesamiento de relaves busca equilibrar el desarrollo económico con la preservación ambiental, pero requiere un monitoreo constante y adaptaciones periódicas para estar alineado con las mejores prácticas globales. La adopción de tecnologías innovadoras y una normativa flexible pueden asegurar que el reprocesamiento de relaves en Chile no solo recupere recursos valiosos, sino que también contribuya a una minería más sostenible y menos contaminante en el largo plazo.

6.2. Análisis integral del reprocesamiento de relaves

Es importante para entender las características mineralógicas de los relaves, que contienen elementos como cobre, molibdeno y tierras raras, además, revela un potencial significativo para su reprocesamiento, especialmente con el avance de

tecnologías como la biolixiviación. Asimismo, la infraestructura necesaria, que incluye plantas de procesamiento, los sistemas de manejo de agua y almacenamiento seguro son esenciales para garantizar la viabilidad y sostenibilidad del proyecto, alineando su ejecución con los objetivos de una minería más responsable en el país.

6.2.1. Características de los Relaves

Los relaves de cobre en Chile presentan una composición mineralógica compleja, dado que resultan del proceso de concentración de cobre en la minería, donde se descartan materiales que aún contienen cantidades de minerales valiosos. Estos residuos están compuestos principalmente de silicatos, óxidos de hierro, y minerales de cobre en forma de sulfuros y óxidos, además de trazas de otros elementos que pueden ser recuperables, como molibdeno, cobalto, zinc, y metales de tierras raras

6.2.1.1. Composición de los Relaves de Cobre

La composición de los relaves varía dependiendo del tipo de mineral y del proceso de extracción utilizado. En los depósitos de cobre tipo pórfido, predominan los minerales de gangas, como el cuarzo y feldespatos, que se encuentran mezclados con óxidos y sulfuros de cobre en concentraciones reducidas. Esto incluye minerales de interés como calcopirita, covelina y bornita, que se presentan en pequeñas proporciones, lo cual limita la eficiencia de extracción en el proceso primario, dejando elementos residuales en los relaves

Además, estos depósitos contienen cantidades significativas de elementos valiosos. Según estudios recientes en depósitos específicos, como el tranque Cauquenes de la División El teniente, el contenido de cobre residual puede oscilar entre 0.1% y 0.5%, mientras que también se encuentran pequeñas cantidades de molibdeno y trazas de cobalto y tierras raras, lo cual representa una oportunidad de reprocesamiento rentable y sostenible para recuperar estos elementos estratégicos.

6.2.1.2. Potencial de Recuperación

El potencial de recuperación de minerales en los relaves está siendo cada vez más reconocido gracias al avance en tecnologías de procesamiento. Técnicas como la

biolixiviación y la lixiviación en pilas permiten extraer minerales sin recurrir a métodos tradicionales de flotación, que son menos efectivos para relaves finos y de baja ley. Estas técnicas permiten una mayor selectividad en la recuperación de cobre y de otros elementos críticos, como el molibdeno y el cobalto, lo que puede hacer económicamente viable el reprocesamiento de estos depósitos

El desarrollo de tecnologías limpias ofrece una alternativa con menor impacto ambiental. El uso de biotecnología y procesos químicos optimizados permite no solo extraer los elementos de valor, sino también reducir los volúmenes de residuos y estabilizar los relaves tratados, reduciendo su potencial contaminante. Esto es particularmente importante en Chile, donde la abundancia de relaves representa un desafío ambiental y de seguridad (Carter y otros, 2020).

6.2.1.3. Beneficios Ambientales y Económicos

El potencial económico de recuperar minerales valiosos de los relaves de cobre debe equilibrarse con las consideraciones medioambientales. El reprocesamiento ayuda a reducir los impactos negativos de los depósitos a largo plazo, promoviendo la economía circular en la minería. Sin embargo, la viabilidad económica depende de factores como el precio de los metales recuperados y los costos asociados con la implementación de nuevas tecnologías de procesamiento, así como el cumplimiento de la normativa ambiental.

Los relaves de Chile contienen una composición mineralógica que ofrece un potencial de recuperación significativo. Gracias a los avances tecnológicos en extracción y a la creciente demanda de metales críticos, el reprocesamiento de estos depósitos podría representar no solo un beneficio económico para el país, sino también una oportunidad para avanzar hacia una minería más sostenible y responsable (International Mining, 2021).

La selección de tecnología para el reprocesamiento de relaves es un factor crítico en proyectos mineros, especialmente en un contexto como el chileno, donde la eficiencia, costos, rendimiento y viabilidad técnica son fundamentales. Entre las tecnologías comúnmente evaluadas para el tratamiento de relaves se destacan la flotación y la lixiviación, cada una con sus respectivas ventajas y desafíos.

- Flotación: La flotación es un método ampliamente utilizado para la separación de minerales valiosos en relaves de cobre, debido a su alta capacidad para recuperar partículas finas de minerales como cobre y molibdeno. Este proceso se basa en la diferencia en la hidrofobicidad de los minerales y permite la concentración de metales a través de un sistema de burbujeo. En el contexto chileno, la flotación se considera una opción viable porque se adapta bien a los tipos de minerales y condiciones climáticas presentes. Sin embargo, presenta desafíos relacionados con el consumo de agua, lo que resulta problemático en zonas con restricciones hídricas como el norte de Chile
- Lixiviación: La lixiviación es otra tecnología clave, especialmente en la forma de biolixiviación, que utiliza bacterias para oxidar minerales y liberar metales. Este proceso es especialmente ventajoso para relaves que contienen metales valiosos, como cobre y metales secundarios, que pueden no ser capturados eficazmente por flotación. La lixiviación tiene un menor consumo de energía y, en muchos casos, puede aplicarse a relaves de baja ley, aumentando así el potencial de recuperación de minerales. En Chile, la lixiviación es de interés debido a la menor necesidad de agua y a su adaptabilidad a la normativa ambiental en regiones mineras (International Mining, 2021)

Comparación y selección de la opción óptima: La selección entre flotación y lixiviación depende en gran medida de factores como el tipo de mineral, la granulometría de los relaves, la disponibilidad de recursos (agua y energía), y el costo asociado a cada tecnología. En Chile, la combinación de flotación y lixiviación en algunos casos puede ser la opción más eficiente para maximizar la recuperación de minerales y minimizar el impacto ambiental. La flotación puede utilizarse inicialmente para extraer partículas de cobre más concentradas, mientras que la lixiviación biológica o química podría aplicarse a los residuos restantes, maximizando así la recuperación de metales y optimizando costos

La selección de tecnologías de reprocesamiento de relaves en Chile debe considerar las condiciones geológicas, hídricas y regulatorias del país. La

combinación de flotación y lixiviación puede ofrecer una solución balanceada entre rendimiento y viabilidad, especialmente en el contexto de sostenibilidad y eficiencia económica que demanda la minería actual.

6.2.1.4. Regulación Ambiental en el Manejo de Relaves

La legislación chilena exige que cualquier actividad de disposición o reprocesamiento de relaves cumpla con una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), de acuerdo con el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). La EIA permite evaluar y mitigar los posibles impactos negativos de los proyectos en el entorno, asegurando el cumplimiento de normativas en aspectos críticos como la calidad del agua, la biodiversidad y la integridad de los suelos. En la práctica, el SEIA establece restricciones específicas y monitorea el cumplimiento de medidas de mitigación para la gestión de relaves, que incluyen desde planes de cierre y rehabilitación hasta el control de emisiones de polvo y lixiviación (International Mining, 2021).

6.2.2. Infraestructura Necesaria

El éxito de este proyecto depende de contar con un equipo humano altamente capacitado, una infraestructura adecuada para las fases iniciales, y una estrategia logística sólida que incluya visitas al terreno, ensayos en laboratorios especializados y una ubicación estratégica en Santiago. Estas condiciones garantizan que el proyecto esté alineado con las necesidades del mercado, facilite la toma de decisiones de los clientes y cumpla con los estándares de calidad y sostenibilidad esperados en la industria minera.

Para llevar a cabo el reprocesamiento de relaves en la industria minera, es muy importante contar con una infraestructura específica que permita el manejo eficiente y seguro de estos materiales, optimizando tanto los recursos como el impacto ambiental. La infraestructura esencial incluye plantas de procesamiento, sistemas de manejo y tratamiento de agua, instalaciones de almacenamiento, y equipos de transporte adecuados.

6.2.2.1. Plantas de Procesamiento

Las plantas de procesamiento son el núcleo de cualquier operación de reprocesamiento de relaves, ya que permiten la recuperación de minerales valiosos mediante técnicas como la flotación y la lixiviación. Estas instalaciones suelen estar equipadas con molinos y celdas de flotación para separar los minerales del material de desecho, así como con unidades de lixiviación en las que se utilizan reactivos químicos o bacterias para extraer los minerales. La capacidad de estas plantas depende del volumen y la composición de los relaves, y su diseño debe tener en cuenta las propiedades de cada tipo de depósito

6.2.2.2. Sistemas de Manejo y Tratamiento de Agua

El tratamiento de agua es esencial en el reprocesamiento de relaves, ya que muchas técnicas de extracción de minerales, como la flotación, requieren grandes cantidades de agua. Los sistemas de recirculación y tratamiento de agua ayudan a reducir la demanda de recursos hídricos al recuperar y tratar el agua utilizada en el proceso para su reutilización. Además, la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales asegura que el agua descargada cumpla con los estándares ambientales, minimizando el impacto en los ecosistemas circundantes.

6.2.3. Normativas Específicas de Relaves en Chile

La normativa sobre el manejo de relaves está especialmente contenida en el Decreto Supremo N.º 248 de 2007 del Ministerio de Minería, que establece las directrices para la construcción, operación y cierre de tranques de relaves. Este decreto enfatiza que la estabilidad física y química de los relaves es fundamental para evitar riesgos ambientales a largo plazo. En los últimos años, las regulaciones se han actualizado en respuesta a incidentes y catástrofes ambientales, impulsando el desarrollo de tecnologías que permitan tanto la estabilidad de los depósitos como la reducción de su huella ambiental.

6.2.4. Almacenamiento

El almacenamiento de relaves reprocesados y subproductos de baja ley requiere estructuras de contención adecuadas para evitar fugas y minimizar riesgos ambientales. Los depósitos modernos de almacenamiento pueden estar revestidos para evitar la filtración de materiales hacia el suelo y las fuentes de agua cercanas. Además, los relaves residuales que han sido reprocesados y estabilizados pueden reutilizarse para cubrir minas en desuso, proporcionando una solución sostenible para la gestión de residuos mineros.

6.2.5. Equipos de Transporte

Un equipo de transporte eficiente de los relaves desde las áreas de almacenamiento hasta las plantas de procesamiento y, posteriormente, hacia las áreas de disposición final es fundamental. Los equipos de transporte, como bombas de alta capacidad y tuberías, deben estar diseñados para manejar materiales con alta densidad y abrasividad. En algunas operaciones, se emplean camiones especiales y sistemas de tuberías de transporte de lodos, lo cual reduce la generación de polvo y minimiza el impacto ambiental del transporte de relaves.

La infraestructura en el reprocesamiento de relaves debe estar diseñada para maximizar la eficiencia en la recuperación de minerales y reducir el impacto ambiental. El adecuado diseño y gestión de plantas de procesamiento, sistemas de manejo de agua, instalaciones de almacenamiento, y equipos de transporte es fundamental para el éxito de estos proyectos y su alineación con los principios de sostenibilidad de la industria minera.

6.3. Diseño de un plan de negocios para el reprocesamiento de relaves en la industria del cobre en Chile

En esta sección se presentan los aspectos claves del reprocesamiento de relaves, tales como el plan de operación para este proyecto, además de analizar una estrategia comercial de marketing que impulse el proyecto como también un análisis

de riesgos el cual se enfoca en cubrir las 4 áreas más importantes, riesgos financieros, ambientales, operacionales y regulatorios.

6.3.1. Plan de Operaciones

6.3.1.1. Recolección y transporte

La recolección de relaves en proyectos de reprocesamiento utiliza varias técnicas de extracción adaptadas a las condiciones específicas del depósito, asegurando una operación eficiente y minimizando el impacto ambiental.

Remoción Mecánica: Esta técnica es ideal para depósitos sin agua y consiste en el uso de excavadoras y camiones para recoger y transportar los relaves hasta la planta de procesamiento. La remoción mecánica permite controlar con precisión la cantidad de material recolectado y facilitar su traslado en áreas donde la extracción subacuática no es viable.

Dragado: Utilizado en depósitos cubiertos por agua, el dragado emplea bombas de succión para extraer el material desde el fondo del depósito. Este método es altamente eficiente para la recolección en zonas húmedas, ya que el material se convierte en una mezcla de pulpa que puede ser transportada mediante tuberías hasta la planta, reduciendo la necesidad de transporte terrestre y facilitando el flujo continuo de material.

Monitoreo Hidráulico: En esta técnica se añade agua al depósito seco para crear una mezcla de relaves y agua conocida como pulpa. Esta pulpa se desplaza de manera controlada hacia la planta de procesamiento, ya sea por gravedad en terrenos inclinados o mediante bombeo en terrenos planos. El monitoreo hidráulico es una opción adecuada para mover grandes volúmenes de material y permite reducir el uso de maquinaria pesada en el sitio de extracción.

Cada una de estas técnicas ofrece ventajas específicas en función del tipo y condición del depósito de relaves, lo que permite optimizar el proceso de recolección y asegurar que el transporte hacia la planta de procesamiento sea seguro y eficiente.

6.3.1.2. Proceso de Reprocesamiento de Relaves

Una vez que los relaves llegan a la planta, el procesamiento se divide en varias etapas diseñadas para maximizar la recuperación de minerales:

Clasificación: En esta fase, se elimina el material ultrafino que no tiene valor recuperable y se envía el resto al circuito de molienda. La clasificación permite optimizar la siguiente fase de procesamiento, al concentrar el material de mayor interés en el flujo principal.

Molienda: Los relaves clasificados son sometidos a una molienda en molinos de bolas de alta capacidad, donde se reducen a partículas finas, facilitando así la liberación de minerales valiosos. Este paso es fundamental, ya que la eficacia del proceso de separación posterior depende de la granulometría lograda en la molienda.

Flotación: En esta etapa, las partículas de mineral de cobre y otros metales se separan del material de diseño mediante celdas de flotación. En las celdas, se utiliza aire comprimido y reactivos específicos que permiten que los minerales se adhieran a burbujas de aire y floten hacia la superficie, mientras el material no deseado se hunde. Este concentrado de cobre puede ser tratado adicionalmente para obtener un producto final de alta pureza.

Lixiviación: Si el depósito contiene minerales que no pueden ser recuperados mediante flotación, se utilizan reactores de lixiviación, donde los minerales son disueltos en soluciones químicas específicas o mediante biolixiviación, una técnica que utiliza bacterias para oxidar los minerales y extraer metales como el cobre. Este método es adecuado para minerales refractarios que requieren un tratamiento adicional para su recuperación.

Planta de Molibdeno: Si el concentrado contiene molibdeno, el material puede ser transferido a una planta especializada para la separación de este metal, mediante el uso de reactivos como el TIOFOS. Esto permite obtener un subproducto valioso que complementa la recuperación de cobre y otros minerales.

6.3.1.3. Almacenamiento de Residuos

El almacenamiento de residuos es una fase importante en el proceso de reprocesamiento de relaves, especialmente en proyectos que buscan minimizar el impacto ambiental y promover una minería más sostenible. Los materiales residuales resultantes del tratamiento de relaves deben ser manejados cuidadosamente para evitar la contaminación del suelo y los cuerpos de agua cercanos, y para garantizar la seguridad a largo plazo del sitio. Este proceso incluye varias etapas y estrategias para asegurar una gestión de residuos adecuada y ambientalmente responsable.

Estabilización de los Residuos: Los residuos generados tras la recuperación de minerales en la planta de procesamiento pasan por un proceso de estabilización que implica reducir su movilidad y reactividad. Estación estabilización puede lograrse mediante técnicas de secado y mezcla con agentes aglutinantes, lo que permite transformar los residuos en materiales más estables y menos propensos a liberar metales o sustancias contaminantes al entorno. La estabilización es esencial para garantizar que los residuos depositados en el sitio de almacenamiento no presenten riesgos a largo plazo para el medio ambiente o la salud humana.

Depósitos con Sistemas de Contención: Los residuos estabilizados se almacenan en depósitos especialmente diseñados con sistemas de contención que incluyen revestimientos impermeables y barreras geotécnicas. Estos revestimientos, generalmente de geomembranas de alta densidad, crean una barrera física que evita que los lixiviados de los residuos se infiltren en el suelo o en las fuentes de agua subterráneas. Además, algunos depósitos están equipados con sistemas de drenaje y monitoreo para controlar y recolectar cualquier líquido que pueda generarse en el sitio, permitiendo su tratamiento antes de que se descargue al ambiente.

Los sistemas de contención y monitoreo son componentes críticos, ya que brindan una solución segura y duradera para la gestión de residuos, asegurando que el material residual quede aislado de los ecosistemas circundantes. Estos sistemas

cumplen con normativas ambientales estrictas y representan una clave de inversión para reducir el impacto ambiental de las operaciones mineras.

Reutilización de Residuos en Rehabilitación de Minas: En algunos casos, los residuos estabilizados pueden ser reutilizados en la rehabilitación de áreas mineras en desuso. Este enfoque, alineado con la economía circular, implica usar los residuos tratados para rellenar o cubrir minas abandonadas y otros sitios mineros, lo que ayuda a devolver el terreno a una condición segura y estable. Esta práctica de reutilización no solo reduce la cantidad de residuos finales, sino que también contribuye a la recuperación de los paisajes mineros, mejorando la estabilidad estructural de los terrenos y previniendo erosiones o graduales.

La reutilización de estos residuos es una solución sostenible, ya que ofrece beneficios ambientales y económicos al reducir la necesidad de nuevos depósitos de residuos y al facilitar la recuperación de terrenos alterados por actividades mineras.

Control y Monitoreo Ambiental a Largo Plazo: Además del almacenamiento físico de los residuos, los proyectos de reprocesamiento de relaves incluyen planes de monitoreo ambiental a largo plazo. Este monitoreo abarca el control de la calidad del agua, del suelo y del aire en las áreas circundantes, garantizando que los residuos almacenados no generen emisiones o filtraciones perjudiciales con el tiempo. Los sistemas de monitoreo, que a menudo incluyen sensores y estaciones de control, permiten detectar posibles fugas o contaminantes, proporcionando información en tiempo real y permitiendo la implementación de medidas correctas inmediatas si fuera necesario.

6.3.1.4. Cadena de Suministro

La cadena de suministro en un proyecto de reprocesamiento de relaves es un componente estratégico que asegura la continuidad y eficiencia de las operaciones, desde la adquisición de insumos críticos hasta la entrega de productos finales. Para lograr un reprocesamiento eficaz y sostenible, se requiere una planificación mínima.

Planificación y Adquisición de Insumos Críticos: La primera fase en la cadena de suministro implica identificar y adquirir los insumos esenciales para el reprocesamiento, tales como:

Reactivos Químicos: Estos son necesarios para el proceso de flotación y lixiviación, permitiendo la separación y extracción de minerales valiosos. Entre los reactivos comunes están los colectores y espumantes en la flotación, y agentes lixiviantes para el tratamiento de metales específicos. La selección de proveedores confiables y la negociación de precios y condiciones de entrega son claves para mantener la calidad y reducir los costos.

Equipos de Bombeo y Monitoreo: El transporte de pulpa y agua requiere bombas especializadas, y los sistemas de monitoreo hidráulico permiten el control de la estabilidad y condiciones del flujo en todo momento. La confiabilidad de estos equipos es esencial para evitar interrupciones operativas, por lo que la cadena de suministro debe asegurar su disponibilidad y contar con repuestos de manera oportuna.

Sistemas de Seguridad y Contención: La adquisición de equipos para asegurar el manejo adecuado de residuos y la protección ambiental también forma parte de la cadena de suministro. Esto incluye geomembranas, sistemas de drenaje y sensores de monitoreo de calidad ambiental.

Contratación de Proveedores y Subcontratistas Especializados: Para asegurar la obtención de insumos y servicios de calidad en tiempo y forma, es crucial establecer contratos sólidos con proveedores y subcontratistas especializados. La contratación de proveedores locales no solo reduce los tiempos de entrega y los costos logísticos, sino que también apoya a la economía local y facilita la gestión en caso de necesidades de emergencia.

Los subcontratistas pueden encargarse de servicios específicos, como el mantenimiento de maquinaria, el monitoreo de la calidad del agua y la seguridad en el sitio. Al elegir a los subcontratistas, son evaluados por su experiencia, capacidad técnica y cumplimiento de normativas ambientales, ya que la calidad y continuidad del proyecto dependen en gran medida de estos colaboradores.

Implementación de Prácticas Sostenibles en la Cadena de Suministro: La sostenibilidad en la cadena de suministro implica reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia en el uso de recursos. Esto se logra mediante:

Optimización Logística: Planificar rutas de transporte eficientes y minimizar las distancias de envío para reducir las emisiones de CO₂ y los costos de logística.

Uso de Tecnologías Modernas: Implementar herramientas de monitoreo y control digital que permitan gestionar inventarios, predecir la demanda de insumos y optimizar los pedidos en función de las necesidades operativas. Estas tecnologías mejoran la visibilidad de la cadena de suministro y permiten tomar decisiones en tiempo real para evitar interrupciones.

Evaluación de Proveedores en Sostenibilidad: Seleccionar proveedores que cumplan con prácticas ambientales y sociales responsables, evaluando su huella de carbono, su consumo de agua y energía, y su compromiso con políticas de reciclaje y reducción de residuos.

Gestión de Inventarios y Logística de Almacenamiento: La gestión de inventarios es fundamental para evitar la escasez de insumos críticos y sobrecostos. Se debe implementar un sistema de gestión de inventarios que permita controlar en tiempo real los niveles de cada insumo, optimizando la rotación y evitando el desperdicio. Los almacenes deben estar diseñados para facilitar el acceso y la rotación de los productos, y contar con áreas seguras para insumos que requieren condiciones especiales de almacenamiento, como los reactivos químicos.

Monitoreo y Evaluación de Desempeño de la Cadena de Suministro: Finalmente, el monitoreo continuo del desempeño de la cadena de suministro es esencial para detectar áreas de mejora y asegurar una operación eficiente. Este monitoreo incluye la evaluación de tiempos de entrega, cumplimiento de los proveedores y costos operativos, permitiendo implementar ajustes cuando sea necesario y asegurar que el proyecto mantenga la calidad y eficiencia.

La cadena de suministro en un proyecto de reprocesamiento de relaves es un sistema integrado que involucra la planificación de insumos, la gestión de

proveedores y la implementación de prácticas sostenibles. Mediante el uso de tecnologías modernas y una sólida estrategia de contratación, el proyecto puede optimizar la adquisición de recursos, mejorar la eficiencia operativa y reducir el impacto ambiental, asegurando la sostenibilidad y el éxito a largo plazo del reprocesamiento de relaves.

6.3.1.5. Plan de Recursos Humanos

El éxito del proyecto depende en gran medida de un plan de recursos humanos, bien estructurado que asegure la disponibilidad de personal calificado y competente en todas las etapas operativas. Este plan abarca la contratación de personal especializado, la definición de competencias y la implementación de programas de capacitación continua para maximizar la eficiencia y seguridad del proyecto.

Contratación de Personal Especializado: Dado que el reprocesamiento de relaves implica tecnologías avanzadas y operaciones especializadas, es esencial contar con un equipo que combine conocimientos técnicos y experiencia práctica. La clave personal incluye:

Ingenieros Especializados en Minería y Procesamiento de Relaves: Estos profesionales son responsables de supervisar el funcionamiento de las plantas de tratamiento, asegurando que los procesos de clasificación, molienda, flotación y lixiviación se ejecutarán de acuerdo con los estándares de eficiencia y seguridad.

Operadores de Planta: Los operadores son responsables de manejar los equipos y sistemas de procesamiento, monitorear el flujo de materiales y ajustar los parámetros según sea necesario para maximizar la recuperación de minerales. Se requieren habilidades técnicas en el manejo de maquinaria pesada y sistemas de monitoreo.

Técnicos de Mantenimiento: Este equipo garantiza la disponibilidad de equipos, realizando inspecciones y mantenimientos preventivos en sistemas mecánicos, eléctricos e hidráulicos, para evitar interrupciones operativas.

Especialistas en Control de Calidad y Gestión Ambiental: Estos expertos supervisan la calidad del producto y el cumplimiento de los estándares ambientales. Son

responsables de implementar prácticas de manejo de residuos y de asegurar que las operaciones cumplan con las normativas ambientales y de seguridad.

Definición de Competencias y Perfiles de Puesto: Cada puesto debe contar con un perfil de competencias que abarque conocimientos técnicos, habilidades prácticas y capacidades de gestión. Por ejemplo:

- Ingenieros: Conocimientos en técnicas de recuperación de minerales, gestión de proyectos mineros y operación de plantas de procesamiento. Se valoran habilidades en liderazgo y capacidad para resolver problemas técnicos.
- Operadores y Técnicos: Habilidades en el manejo de equipos específicos de minería y procesamiento, así como conocimiento en tecnologías de monitoreo y seguridad industrial.
- Especialistas en Sostenibilidad: Conocimientos en normativas ambientales, técnicas de mitigación de impacto y auditoría ambiental.

Capacitación Continua y Programas de Desarrollo: La capacitación continua es esencial para mantener la seguridad y eficiencia de las operaciones, y debe incluir:

- Manejo de Maquinaria y Equipos: Los operadores y técnicos deben recibir formación en el manejo de equipos, como celdas de flotación, molinos y sistemas de bombeo, así como en el mantenimiento preventivo y correctivo de estos sistemas.
- Operaciones Seguras y Normativas Ambientales: Capacitación en procedimientos de seguridad y cumplimiento de regulaciones ambientales, incluyendo prácticas de gestión de residuos, control de emisiones y manejo seguro de reactivos químicos.
- Actualización en Tecnologías de Recuperación de Minerales: Capacitación en nuevas tecnologías y técnicas de recuperación de minerales, como biolixiviación y optimización de flotación, para que el personal esté al tanto de los avances y pueda aplicar innovaciones en sus trabajos diarios.

Estrategias de Retención y Desarrollo Profesional: Para mantener a los empleados motivados y comprometidos, es fundamental implementar estrategias de retención, como:

- Oportunidades de Crecimiento Profesional: Crear un plan de desarrollo de carrera que permita a los empleados avanzar en sus roles y asumir responsabilidades adicionales con el tiempo.
- Beneficios Competitivos y Bienestar Laboral: Ofrecer paquetes de beneficios competitivos, condiciones de trabajo seguras y promover el equilibrio entre la vida laboral y personal.
- Reconocimiento y Evaluación de Desempeño: Implementar un sistema de reconocimiento para el desempeño sobresaliente y evaluaciones periódicas que permitan identificar áreas de mejora y reforzar las competencias del personal.

El Plan de Recursos Humanos para el reprocesamiento de relaves asegura que, el proyecto cuente con un equipo altamente capacitado y comprometido, fundamental para una operación eficiente, segura y sostenible. Al definir competencias específicas, ofrecer capacitación continua y crear un ambiente laboral positivo, este plan contribuye al logro de los objetivos operativos y ambientales del proyecto, alineándose con las mejores prácticas de la industria minera.

6.3.1.6. Plan de Gestión Ambiental

Con el fin de establecer acciones que mitiguen y compensen impactos ambientales relacionados al proyecto de reprocesamiento de relaves, es de necesidad implementar los siguientes puntos:

- Manejo de Residuos: La correcta gestión de residuos es esencial en el reprocesamiento de relaves. Este plan incluye la estabilización y almacenamiento seguro de los residuos generados durante el procesamiento. Los residuos deben ser tratados para reducir su toxicidad y luego almacenados en depósitos especialmente diseñados con revestimientos impermeables y sistemas de contención que eviten filtraciones al suelo y los cuerpos de agua cercanos. Esta estrategia de

almacenamiento asegura que los residuos sean manejados de forma segura, minimizando su impacto a largo plazo en el entorno.

- Optimización en el Uso de Agua: Dado que el agua es un recurso clave en el procesamiento de relaves, la gestión ambiental debe incluir sistemas para optimizar su uso. Para ello, se implementarán medidas como:
 - Reciclaje de Agua: Los sistemas de reciclaje y recirculación permiten reutilizar el agua empleada en el proceso de flotación y otras etapas de tratamiento, reduciendo significativamente el consumo de agua fresca y disminuyendo el volumen de agua residual.
 - Tratamiento de Aguas Residuales: Se establecieron plantas de tratamiento de aguas residuales para depurar el agua antes de su descarga o recirculación, asegurando que cumpla con los estándares de calidad establecidos por las regulaciones ambientales.

La combinación de estas medidas no solo reduce el consumo de agua, sino que también minimiza la generación de efluentes y protege las fuentes de agua circundantes.

- Control de emisiones: El control de emisiones es prioritario en la gestión ambiental del proyecto, especialmente en lo referente a la calidad del aire y la reducción de partículas en suspensión. Las medidas de control incluyen:
 - Monitoreo de Calidad del Aire y Suelo: Se implementan sistemas de monitoreo continuo que permiten evaluar la calidad del aire y detectar cualquier liberación de polvo o partículas en suspensión en áreas cercanas a las operaciones. Los sensores de calidad del aire aseguran que las emisiones se mantengan dentro de los límites regulados.
 - Reducción de Polvo: Se adoptan tecnologías y técnicas para reducir la generación de polvo, como el uso de sistemas de riego en áreas donde se genera polvo por el tránsito de vehículos o el movimiento de materiales, y la instalación de cubiertas en las áreas de almacenamiento. de materiales secos.

- **Tecnologías para Minimizar el Impacto Ambiental:** Esto incluye el uso de biotecnologías para el tratamiento de residuos, sistemas de bajo consumo de energía y métodos que reduzcan el uso de reactivos químicos. Estas innovaciones ayudan a mantener las operaciones mineras dentro de un marco ambientalmente responsable y alineado con las mejores prácticas de sostenibilidad.
- **Rehabilitación y Recuperación de Áreas Impactadas:** Esto implica la restauración de zonas utilizadas para el almacenamiento de relaves y otras áreas que han sido intervenidas, promoviendo la revegetación y estabilización del suelo para restaurar el ecosistema.

Para responder rápidamente a cualquier eventualidad, el proyecto cuenta con un plan de emergencia ambiental. Este plan detalla los procedimientos a seguir en caso de derrames, fugas o cualquier incidente que pueda afectar al medio ambiente, asegurando que el equipo esté preparado para actuar de manera efectiva y mitigar posibles daños.

El Plan de Gestión Ambiental del proyecto de reprocesamiento de relaves garantiza que todas las etapas de la operación se lleven a cabo de forma segura y con el menor impacto posible en el entorno. Mediante la gestión eficiente de residuos, el uso racional del agua, el control de emisiones y la adopción de tecnologías sostenibles, el proyecto contribuye a una minería responsable que promueve la protección y conservación del medio ambiente.

6.3.2. Estrategia Comercial y de Marketing

La estrategia comercial y de marketing se enfocan en diferentes aspectos del negocio, buscando contribuir al éxito del proyecto, estas son las siguientes:

6.3.2.1. Segmentación de Mercado

La segmentación de mercado en un proyecto de reprocesamiento de relaves consiste en identificar y categorizar los clientes potenciales que demandarían el cobre y otros subproductos minerales recuperados. Este enfoque permite optimizar

las estrategias de comercialización y asegurar la venta de los productos finales a sectores que valoran y necesitan estos materiales.

6.3.2.2. Clientes en la Industria del Cobre

A continuación se presentan los clientes en la industria del cobre que son principalmente las fundiciones y refinerías y los fabricantes de componentes de cobre.

- a) Fundiciones y Refinerías: Estas empresas requieren concentrados de cobre y minerales secundarios para producir cátodos de alta pureza. Al reprocesar relaves, se pueden concentrados que cumplen con los requisitos de pureza necesarios para las fundiciones, ofreciendo una alternativa a los concentrados de minas tradicionales. Además, algunas fundiciones valoran los minerales secundarios como el molibdeno o metales preciosos que se encuentran en los relaves.
- b) Fabricantes de Componentes de Cobre: Empresas de fabricación de conductores eléctricos, cables y componentes industriales representan un mercado clave. Estos fabricantes valoran el cobre reciclado y reprocesado, especialmente en un contexto de creciente demanda por la transición energética, donde el cobre es fundamental para energías renovables, infraestructura y vehículos eléctricos.

6.3.2.3. Mercado de Subproductos Minerales Recuperados

La segmentación del mercado para los subproductos minerales derivados del reprocesamiento de relaves es diversa y depende de los elementos específicos que se puedan recuperar, como molibdeno, hierro, tierras raras, y otros metales de valor.

A continuación se presenta la descripción de los subproductos.

- a) Industria del Acero y Aleaciones: El molibdeno y el hierro son componentes clave en la fabricación de aceros especiales y aleaciones. Empresas de la industria siderúrgica utilizan molibdeno como aditivo para mejorar la resistencia y durabilidad del acero, lo que representa un mercado potencial para estos subproductos minerales.

- b) Fabricantes de Electrónica y Tecnología: Las tierras y otros metales raros son esenciales en la producción de dispositivos electrónicos, baterías y tecnología de energía limpia. Empresas que producen baterías, paneles solares, turbinas eólicas y otros productos tecnológicos están aceptablemente en proveedores de metales críticos, lo cual representa una oportunidad para colocar estos subproductos en mercados especializados.
- c) Sector de la Construcción y Cemento: En algunos casos, los materiales residuales estabilizados pueden utilizarse en la producción de materiales de construcción, como agregados para cementos y concreto, lo que proporciona una salida alternativa y sostenible para los residuos tratados.

6.3.2.4. Mercado Internacional y de Exportación

El reprocesamiento de relaves abre oportunidades estratégicas en el mercado internacional como los siguientes.

- a) Asia y Europa: Estos mercados, que experimentan una gran demanda de cobre y minerales raros, son receptores importantes para los productos derivados del reprocesamiento de relaves. Países como China y Japón tienen una alta demanda de materias primas para industrias tecnológicas, automotrices y de infraestructura. Europa, por otro lado, se encuentra en la transición hacia energías limpias y busca asegurar un suministro estable de metales estratégicos.
- b) Empresas de Energía Renovable y Movilidad Eléctrica: Con el aumento de las inversiones en energías limpias, se incrementa la demanda de cobre y otros minerales para turbinas eólicas, paneles solares, y componentes de vehículos eléctricos. Esta industria representa un segmento en crecimiento que demanda materias primas con certificaciones de sostenibilidad, lo que permite que los productos recuperados mediante reprocesamiento de relaves sean atractivos para estos clientes.

La segmentación de mercado para un proyecto de reprocesamiento de relaves en la industria minera abarca a clientes de diversos sectores industriales que requieren cobre y subproductos minerales. Al identificar a los clientes

potenciales, desde fundiciones y fabricantes de componentes eléctricos hasta industrias tecnológicas y de energías renovables, el proyecto orienta su producción y comercialización de manera eficaz.

6.3.2.5. Propuesta de Valor

La propuesta de valor para el reprocesamiento de relaves está diseñada para satisfacer las necesidades de las compañías mineras propietarias de depósitos de relaves, tanto en operación como cerrados. Este modelo ofrece beneficios económicos, funcionales y de imagen, transformando lo que normalmente ha sido un pasivo ambiental en una oportunidad de negocio sostenible.

Valor Económico: El reprocesamiento de relaves permite incrementar los ingresos de las compañías mineras mediante la recuperación adicional de cobre y otros subproductos, como molibdeno y metales críticos. (Jason Palmer 2023, Metso)

Estudio y Propuesta de Negocio: Una empresa especializada analiza las características químicas, mineralógicas y granulométricas del depósito de relaves, identificando el potencial de recuperación y proponiendo un método de extracción y tratamiento. Este enfoque asegura una solución adaptada a cada depósito, maximizando la recuperación de recursos.

Incremento de Ingresos:

- Pago de Derechos de Tratamiento: El propietario del depósito recibe ingresos por permitir que una empresa trate a sus relaves, beneficiándose directamente del reprocesamiento sin asumir riesgos significativos.
- Producción Incrementada: Alternativamente, las compañías mineras pueden utilizar el modelo de maquila⁸, en el que el material recuperado está integrado en su producción global, aumentando el volumen de concentrado o cátodos sin necesidad de extraer nuevo mineral.

⁸ El modelo maquila consiste en que una empresa (llamada Maquiladora) asume total o parcialmente la producción de otra empresa.

- **Bajo Riesgo para el Propietario:** La empresa que realiza el reprocesamiento asume la gestión de permisos, los costos de inversión y los riesgos operativos a cambio de acuerdos comerciales a largo plazo. Esto permite al propietario enfocarse en su operación principal mientras obtiene ingresos adicionales.

Valor funcional: El reprocesamiento de relaves complementa los procesos mineros tradicionales, ofreciendo capacidades adicionales para minimizar pérdidas y gestionar emergencias.

Recuperación de Minerales No Capturados: Los relaves contienen minerales que no fueron recuperados durante el procesamiento primario. El reprocesamiento actúa como una segunda oportunidad para capturar estos recursos, incrementando la eficiencia general del proyecto minero.

Capacidades de Emergencia: En caso de perturbaciones en el concentrador principal (como fallas técnicas o interrupciones), el reprocesamiento de relaves puede compensar las pérdidas temporales, asegurando una producción continua y estable.

Valor de la imagen: El reprocesamiento de relaves mejora significativamente la percepción ambiental y social de las compañías mineras, alineándolas con las expectativas actuales de sostenibilidad (Humberto Preciado 2024 – Ausenco)

Transformación de Pasivos Ambientales en Activos Rentables: Al reprocesar relaves, los depósitos tradicionalmente considerados un ambiental pasivo se convierten en fuentes de valor económico. Además, el proyecto incluye monitoreo y control ambiental exhaustivo, asegurando la reducción de impactos.

Integración con el Plan de Cierre: La extracción de relaves puede reducir los costos y complejidad asociados con el cierre definitivo del depósito, ya que parte de los residuos son tratados y gestionados de manera diferente.

Declarar el depósito nuevamente en operación permite extender el plazo para cumplir con los requisitos legales de cierre, dando tiempo adicional para gestionar las garantías requeridas por la legislación.

Reputación Sostenible: Al adoptar soluciones de reprocesamiento, las empresas pueden posicionarse como líderes en prácticas de minería sostenible, cumpliendo con estándares internacionales como los del Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM) y respondiendo a la creciente demanda de los inversionistas por proyectos alineados con Criterios ESG (ambientales, sociales y de gobernanza).

La propuesta de valor del reprocesamiento de relaves se centra en generar beneficios económicos mediante la recuperación de recursos, ofrecer una funcionalidad adicional a los procesos mineros existentes y mejorar la imagen ambiental y social de las compañías mineras. Al abordar el problema de los relaves desde una perspectiva integral, esta propuesta transforma un desafío ambiental en una oportunidad de negocio sostenible y rentable.

6.3.2.6. Estrategia de Precio

La estrategia de precios para este proyecto de reprocesamiento de relaves es competitiva, sostenible y adaptable a las condiciones del mercado y las características específicas del depósito. La fijación de precios considera múltiples factores como los costos operativos, el valor de los minerales recuperados y el modelo de negocio acordado con los propietarios de los depósitos. A continuación, se describen los principales enfoques para estructurar la estrategia de precios, como el pago por derechos de tratamiento (Fee per-ton) y Modelo de maquila, este último es originado en México en 1965 con el objetivo de fomentar la inversión extranjera y combatir el desempleo.

a) Pago por Derechos de Tratamiento (Fee per-Ton): En este modelo, el propietario del depósito cobra un monto fijo por tonelada de relaves procesadas. Este esquema es ideal cuando el operador del proyecto de reprocesamiento asume todos los costos y riesgos operativos. El precio se fija considerando:

- La calidad y volumen de los relaves.
- El potencial de recuperación de minerales valiosos.
- Los costos asociados al tratamiento y manejo de residuos.

- b) Modelo de Maquila: El operador procesa los relaves y devuelve al propietario una parte de los minerales recuperados, generalmente en forma de concentrado o cátodos. Este modelo se basa en un esquema de participación de ingresos, donde el precio depende según las siguientes características:
- El valor de mercado de los minerales recuperados.
 - La eficiencia del proceso de recuperación.
 - Los costos de transporte y procesamiento.
 - Ingresos Compartidos (Revenue Sharing)

En este enfoque, los ingresos derivados de la venta de los minerales recuperados se dividen entre el propietario y el operador según un acuerdo preestablecido. Este modelo favorece una relación de largo plazo y fomenta la cooperación para maximizar los ingresos conjuntos.

A continuación se presentan los factores clave para la determinación de precios:

- a) Costos Operativos: El precio debe cubrir los costos directos e indirectos del reprocesamiento, que incluyen:
- Costos de extracción y transporte de los relaves.
 - Procesos de clasificación, molienda, flotación y lixiviación.
 - Gestión de residuos y cumplimiento de normativas ambientales.
 - Valor del Mercado de los Minerales Recuperados

La fijación de precios considera la fluctuación en los precios del cobre, molibdeno y otros subproductos en los mercados internacionales. También se tiene en cuenta el análisis de tendencias de precios a mediano y largo plazo.

- b) Riesgos y Condiciones del Proyecto: Factores como el estado del depósito (activo o cerrado), la calidad del material a reprocesar, y los riesgos asociados al financiamiento y permisos regulatorios también influyen en los precios.
- c) Competitividad del Mercado: La comparación con proyectos similares en la región permite ajustar los precios para mantenerse competitivo sin

comprometer la rentabilidad. Esto incluye los precios ofrecidos por proyectos en mercados mineros como Perú, Canadá o Australia.

- d) Ajustes y flexibilidad: la estrategia de precios efectiva es adaptable a las condiciones cambiantes del mercado y del proyecto. Se incluyen mecanismos como:
- e) Precios Ajustados a Índices de Mercado: Se relacionan los precios con índices como el LME (London Metal Exchange) para reflejar las variaciones en el precio del cobre y otros minerales.
- f) Bonificaciones por Volumen: Se ofrecerán descuentos por procesar grandes volúmenes de relaves, para incentivar a los propietarios a facilitar más material para el reprocesamiento.
- g) Acuerdos a Largo Plazo: se va a fijar precios estables para contratos extendidos, generando seguridad para ambas partes.

La estrategia de precios para el reprocesamiento de relaves combina modelos flexibles y sostenibles, asegurando la rentabilidad del proyecto mientras se ofrece valor a los propietarios de depósitos. Este enfoque integral permite maximizar los ingresos y fomentar relaciones comerciales a largo plazo, posicionando al proyecto como una solución atractiva y competitiva en el sector minero.

6.3.2.7. Canales de Distribución y Ventas

La distribución de los productos derivados del reprocesamiento de relaves, como concentrados de cobre, molibdeno y subproductos minerales, requiere una estrategia de canales de distribución eficiente, confiable y adaptable a las necesidades del mercado. Estos canales deben garantizar la entrega oportuna de los productos a los clientes finales, minimizando costos logísticos y asegurando la calidad del producto.

Canales Directos:

- Venta Directa a Fundiciones y Refinerías: Este es el canal principal para los concentrados de cobre y molibdeno, que son procesados posteriormente en fundiciones y refinerías para obtener cátodos de cobre y otros productos de alta pureza. La relación directa con las

fundiciones permite una mayor estabilidad en los acuerdos comerciales y facilita el manejo logístico.

- Características: Contratos a largo plazo, acuerdos de precio basados en índices internacionales (como el LME), y entregas programadas según la capacidad de las fundiciones.
- Ventajas: Mayor control sobre los términos de negociación y reducción de intermediarios.
- Exportación Directa a Mercados Internacionales: En caso de excedentes o minerales estratégicos como tierras raras, los productos pueden ser enviados directamente a clientes internacionales en mercados clave como Asia, Europa y Norteamérica. Este canal permite acceder a un mercado más amplio, aprovechando la creciente demanda de minerales para tecnología y energías renovables.
 - Características: Logística compleja que incluye transporte marítimo, aduanas y certificaciones de origen.
 - Ventajas: Mayores ingresos potenciales al atender mercados con alta demanda y precios competitivos.

Canales indirectos:

- Intermediarios Comerciales: Los traders o intermediarios especializados en minerales pueden actuar como canal de distribución, gestionando la compra, transporte y venta de los productos en mercados locales e internacionales. Este canal es útil para diversificar los destinos del producto y reducir la carga logística del operador del proyecto.
 - Características: Relaciones comerciales establecidas y experiencia en mercados globales.
 - Ventajas: Reducción de riesgos logísticos y financieros para el productor.
- Alianzas Estratégicas con Socios Industriales: Asociaciones con empresas que utilizan productos derivados, como fabricantes de componentes eléctricos o empresas tecnológicas, pueden ser un

canal eficiente para distribuir subproductos como tierras raras, hierro o metales secundarios.

- Características: Contratos específicos con enfoque en aplicaciones industriales.
- Ventajas: Relación directa con usuarios finales y oportunidad de agregar valor al producto.
- Logística y Apoyo a la Distribución: La ubicación estratégica del proyecto permite aprovechar redes ferroviarias, puertos marítimos y carreteras para el transporte de los productos. Es esencial establecer rutas logísticas eficientes que minimicen los costos y tiempos de entrega.
- Almacenamiento y Centros de Acopio: La construcción de almacenes cerca de los mercados objetivo o en puntos estratégicos como puertos y zonas industriales facilita la gestión de inventarios y asegura una distribución más fluida.
- Tecnología y Seguimiento: El uso de tecnologías como blockchain y sistemas de gestión de transporte (TMS) permite rastrear los productos durante todo el proceso de distribución, asegurando la trazabilidad y calidad del material entregado.

La estrategia de canales de distribución del proyecto de reprocesamiento de relaves se basa en una combinación de canales directos e indirectos, respaldados por una logística eficiente y tecnologías de monitoreo. Esta estructura garantiza la entrega oportuna y segura de los productos, maximizando el alcance en mercados locales e internacionales, y posicionando al proyecto como un proveedor confiable en la industria minera.

6.3.3. Análisis de Riesgos

Este apartado identifica las principales amenazas que podrían impactar la operación y proponer estrategias de mitigación, asegurando la sostenibilidad financiera, ambiental, operativa y regulatoria del proyecto.

6.3.3.1. Riesgos Financieros

Los riesgos financieros identificados son los siguientes:

Fluctuaciones en los Precios del Cobre y Otros Minerales: Los precios de los metales, especialmente el cobre, están sujetos a variaciones en los mercados internacionales debido a factores como la demanda global, las políticas comerciales y los costos de producción. Estas fluctuaciones pueden afectar directamente la rentabilidad del proyecto.

Impacto Potencial: Reducción en los ingresos proyectados, efectos en el retorno de la inversión y la viabilidad financiera.

Estrategias de mitigación:

- Diversificación de los productos recuperados (molibdeno, hierro, tierras raras) para depender menos del precio del cobre.
- Establecimiento de contratos a largo plazo con precios indexados para asegurar la estabilidad en los ingresos.
- Utilización de herramientas financieras como coberturas (hedging) para protegerse contra caídas significativas en los precios.

6.3.3.2. Riesgos Ambientales

Los impactos ambientales identificados son los siguientes:

Impactos ambientales adversos: El reprocesamiento de relaves implica actividades como el transporte, procesamiento y almacenamiento de residuos estabilizados, que pueden generar impactos ambientales, como contaminación del suelo, el agua y el aire.

Impacto potencial: Sanciones legales, pérdida de reputación y conflictos con las comunidades locales.

Estrategias de mitigación:

- Implementación de un plan de gestión ambiental robusto, que incluya monitoreo continuo de agua, aire y suelo.

- Diseño de depósitos de almacenamiento con revestimientos y sistemas de drenaje que minimicen filtraciones.
- Establecimiento de programas de relacionamiento comunitario para informar y trabajar en conjunto con las comunidades afectadas.

6.3.3.3. Riesgos Operacionales

Problemas Técnicos o de Infraestructura: Las operaciones de reprocesamiento dependen de equipos especializados y de una infraestructura adecuada. Fallas en los equipos, interrupciones en el suministro de insumos críticos o deficiencias en la logística pueden impactar la eficiencia del proyecto.

Impacto Potencial: Aumento de costos operativos, retrasos en la producción y pérdida de eficiencia.

Estrategias de mitigación:

- Programación de mantenimientos preventivos periódicos estableciendo contratos de servicio con proveedores de equipos clave.
- Diseño de planes de contingencia para mitigar interrupciones en la cadena de suministro.
- Capacitación al personal en el manejo de tecnologías específicas y en la resolución de problemas operativos

6.3.3.4. Riesgos Regulatorios

Cambios en la Normativa Chilena: Las normativas ambientales y de minería en Chile están sujetas a actualizaciones que pueden imponer requisitos adicionales o restringir ciertas actividades relacionadas con el reprocesamiento de relaves.

Impacto Potencial: Incremento en los costos de cumplimiento o la necesidad de reestructurar las operaciones.

Estrategias de mitigación:

- Monitoreo activo de los cambios en las normativas locales e internacionales.

- Sostenimiento de una comunicación constante con las autoridades regulatorias para anticipar y adaptarse a nuevos requisitos.
- Diseño de procesos operativos flexibles que puedan ajustarse a cambios regulatorios sin afectar significativamente la producción.

El análisis de riesgos identifica las principales amenazas en los ámbitos financiero, ambiental, operacional y regulatorio, proponiendo medidas concretas para mitigarlas. Al integrar estrategias proactivas y flexibles, el proyecto de reprocesamiento de relaves garantiza su sostenibilidad a largo plazo, maximizando sus beneficios económicos y minimizando impactos negativos. Este enfoque holístico fortalece la resiliencia del proyecto frente a un entorno dinámico y competitivo.

7. EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO

La evaluación financiera del proyecto de reprocesamiento de relaves en la industria del cobre en Chile resulta clave para determinar la viabilidad financiera y sostenibilidad a largo plazo. Esta sección presenta un desglose de la inversión inicial que se requiere para la implementación, abarcando costos relacionados con la construcción legal, la infraestructura, el equipamiento y los estudios técnicos necesarios.

Para la evaluación financiera del proyecto se consideran ciertos supuestos como los siguientes:

- El proyecto potencialmente se encuentra en Cauquenes, ubicado a 12km al sureste de la ciudad de Rancagua. El tranque de relaves Cauquenes pertenece a Codelco división el teniente y es operado por Minera Valle Central. Este proyecto puede estar situado en cualquier zona minera siempre y cuando los supuestos se adecuen a las condiciones internas y externas de cada minera.
- La inversión inicial del proyecto considera un 70% de financiamiento bancario y un 30% de aporte propio, con una tasa anual de 8% de interés. La inversión inicial considera un presupuesto de 1.511.493 UF.
- Los costos operacionales para el primer año se consideran bajos, esto debido a la construcción y montaje de la nueva infraestructuras y puesta en marcha (PEM).
- Con respecto a los costos fijos desde el año 2026 en adelante se considera 68.430 UF influenciado principalmente por las remuneraciones
- Los costos variables del proyecto desde el año 2026 (35.234 UF) considera un aumento constante de un 10%.
- Para el año 2026 se considera una producción de 4.500TMF de cobre y para los años siguientes se considera una producción de 9.000 TMF con un aumento constante de 5% desde el año 2028 en adelante.

- Se consideran para los años 2025 y 2026 un precio del cobre de USD 4,25 la libra y desde el año 2027 en adelante USD 3 la libra para un caso desfavorable.
- Para el cálculo del VAN se considera una tasa de 15% de tasa de descuento.

7.1. Inversión inicial

El presupuesto de inversión inicial de la Tabla 3 detalla los costos asociados con la implementación del proyecto de reprocesamiento de relaves, considerando todos los aspectos claves necesarios para su puesta en marcha. Estos costos se presentan en Unidades de Fomento (UF). Para el detalle de infraestructura y equipamientos como también el estudio del terreno ver anexo.

Tabla 3 - Inversión inicial

Concepto	Inversión inicial UF
Constitución Legal y otros tramites	49
Infraestructura y Equipamiento	1.450.890
Estudio del terreno y estanque a tratar	23.363
Gastos iniciales primer año	37.192
Total, presupuesto	1.511.493

- **Constitución Legal y Otros Trámites:** Este rubro incluye los gastos relacionados con la formalización legal de la empresa, permisos iniciales, registros y otros trámites administrativos necesarios para operar dentro del marco normativo chileno.
- **Infraestructura y Equipamiento:** Este es el componente más significativo del presupuesto y cubre la construcción de instalaciones, adquisición de equipos especializados para el reprocesamiento (como molinos, celdas de flotación y sistemas de bombeo), y la implementación de sistemas de monitoreo y gestión ambiental. Refleja el carácter intensivo en capital del proyecto, dado que requiere tecnología avanzada y estructuras duraderas.
- **Estudio del Terreno y del Estanque a Tratar:** Comprende los costos asociados con estudios técnicos, ambientales, cantidad de relaves que se

puedan reprocesar y así evaluar la viabilidad del estanque, como la caracterización de los relaves y el diseño de la estrategia de tratamiento. Estos estudios aseguran que las operaciones se desarrollen de manera eficiente y con el menor impacto ambiental posible. Se considera que los terrenos que posee la minera están dentro de las zonas medioambientalmente aprobadas por la autoridad.

- Gastos Iniciales del Primer Año: Incluye costos y gastos operativos necesarios para arrancar el proyecto, como salarios, capacitación del personal, insumos, mantenimiento inicial de equipos y costos logísticos. Este componente se requiere para garantizar que el proyecto tenga los recursos necesarios para operar durante su primer año sin interrupciones.

El proyecto requiere una inversión inicial significativa, donde la infraestructura y el equipamiento se llevan el 96% del presupuesto total. Esto es importante ya que debe contar con tecnología avanzada y adecuada para garantizar la eficiencia y sostenibilidad de las operaciones.

Los rubros relacionados con estudios técnicos y legales, aunque representan un porcentaje menor del presupuesto, son esenciales para mitigar riesgos operativos, regulatorios y ambientales. Estos estudios y trámites iniciales sientan las bases para un desarrollo seguro y exitoso del proyecto.

Los gastos operativos planificados para el primer año aseguran la estabilidad del proyecto durante su fase inicial, permitiendo que las operaciones se ejecuten sin interrupciones y facilitando un flujo de ingresos constante a partir del reprocesamiento.

Aunque el presupuesto inicial es elevado, la inversión se justifica por el potencial generamiento de ingresos significativos mediante la recuperación de minerales valiosos y la reducción de pasivos ambientales, posicionando al proyecto como una solución sostenible y económicamente viable.

Este tipo de iniciativas se alinean con la tendencia global hacia una minería más sostenible, enfocada en la economía circular y la valorización de residuos. El

proyecto tiene el potencial de convertirse en un modelo replicable en otras regiones mineras.

En los anexos se encuentran detallados los costos de inversión.

7.1.1. Fuentes de Financiación

Para el proyecto las fuentes de financiación serán 30% (453.448 UF) con ingresos propios y 70% (1.058.045 UF) con un préstamo bancario a una tasa de interés del 8% anual, a 10 años, en la siguiente tabla se presenta la amortización:

Tabla 4 - Amortización y costo del préstamo en UF

Años	Capital	Cuota	Amortización	Intereses
2026	\$1.058.045	157.680	73.036	84.644
2027	985.009	157.680	78.879	78.801
2028	906.129	157.680	85.190	72.490
2029	820.940	157.680	92.005	65.675
2030	728.935	157.680	99.365	58.315
2031	629.570	157.680	107.314	50.366
2032	522.256	157.680	115.899	41.780
2033	406.356	157.680	125.171	32.509
2034	281.185	157.680	135.185	22.495
2035	146.000	157.680	146.000	11.680

La amortización del préstamo se estructura en pagos anuales constantes, donde la cuota total permanece fija durante todo el período de financiamiento. Sin embargo, la composición de cada pago varía con el tiempo, ya que la parte destinada a la amortización del capital aumenta progresivamente, mientras que el componente de intereses disminuye a medida que se reduce el saldo pendiente de la deuda.

En los primeros años, una mayor proporción de la cuota se destina al pago de intereses, debido a que el capital pendiente es más alto. Sin embargo, conforme avanza el tiempo y se va reduciendo el saldo del capital, la porción de la cuota destinada a la amortización aumenta, lo que a su vez provoca una disminución gradual en los intereses a pagar.

A lo largo del periodo de amortización, el saldo del préstamo disminuye consistentemente, lo que genera una reducción en los intereses acumulados, mientras que el capital amortizado crece de forma sostenida. Al final del periodo, cuando el préstamo se acerca a su liquidación, la proporción de la cuota dedicada a la amortización del capital es considerablemente mayor que en los primeros años.

Este esquema permite una gestión financiera predecible y establece una reducción progresiva de los costos financieros, lo cual favorece la estabilidad del flujo de caja y mejora la viabilidad económica del proyecto en el largo plazo.

7.2. Costos Operativos

La Tabla 10 de los anexos se describe los costos operativos anuales proyectados para un proyecto de reprocesamiento de relaves entre 2025 y 2034. Cada categoría de gasto refleja una parte fundamental del proceso operativo, desde la energía hasta los servicios de soporte. Los montos se encuentran en Unidades de Fomento (UF).

Los costos variables representan una proporción menor de los gastos totales durante los primeros años, a medida que avanza el tiempo su proporción supera los gastos fijos del proyectos, destacando la importancia de gestionar eficientemente rubros como energía, reactivos y transporte. Las mejoras en la eficiencia energética, así como en la planificación logística, podrían generar ahorros considerables.

Los costos fijos mantienen una tendencia, este comportamiento favorece la estabilidad operativa del proyecto, pero exige una planificación rigurosa para garantizar el equilibrio financiero a largo plazo. Los costos fijos se componen principalmente de las remuneraciones, las cuales se estiman un total de 51 personas con roles de Gerente Reprocesos de relaves hasta operadores, para el detalle ver anexos.

Rubros como el mantenimiento, servicios distribuibles y control de calidad presentan potencial para ser optimizados mediante la incorporación de tecnologías y mejores prácticas operativas, lo que podría contribuir a reducir el impacto acumulativo de los costos.

El comportamiento proyectado de los costos y gastos subraya la necesidad de contar con herramientas de planificación financiera que permitan anticipar y mitigar las variaciones futuras, asegurando la sostenibilidad del proyecto ante posibles escenarios adversos.

7.3. Proyección de demanda e ingresos

Para el análisis de este proyecto se considera una producción paulatina, como también se considera que para el primer año (2025) no existe producción, esto debido a la construcción y montaje de toda infraestructura requerida para el reprocesamiento de relaves. La producción iniciará desde el año 2026 a mitad de año y considera la mitad de la producción obtenida por los relaves del tranque cauquenes al año 2017, desde el año 2027 se considera un incremento del 5% anualmente.

Además se considera la proyección del precio del cobre informada por Cochilco en la cual indica una proyección para el año 2025 y 2026 de USD 4,25 la libra. Para los años posteriores no existe una proyección, sin embargo, se considera un precio del cobre de USD 3 la libra considerando un caso desfavorable.

Ilustración 3 - Tabla de ingresos por producción

Ingresos por producción					
Año	Producción (TMF)	Precio promedio de producción (USD/lb)	Precio promedio UF	Total libras producidas	Ingresos (UF)
2025	-	4,25	0,10	-	-
2026	4.500	3,00	0,07	9.920.790	725.239
2027	9.000	3,00	0,07	19.841.580	1.450.479
2028	9.450	3,00	0,07	20.833.659	1.523.003
2029	9.923	3,00	0,07	21.875.342	1.599.153
2030	10.419	3,00	0,07	22.969.109	1.679.111
2031	10.940	3,00	0,07	24.117.564	1.763.066
2032	11.487	3,00	0,07	25.323.443	1.851.219
2033	12.061	3,00	0,07	26.589.615	1.943.780
2034	12.664	3,00	0,07	27.919.096	2.040.969

7.4. Análisis de Rentabilidad

En la Tabla 11 en anexo se describe el flujo de efectivo desde 2025 hasta 2034, de este se puede interpretar que el proyecto evidencia un crecimiento sostenido del saldo acumulado de caja a lo largo del horizonte evaluado, consolidando su capacidad para generar excedentes y mantener un flujo de efectivo positivo. Esto refleja una sólida viabilidad económica y operativa.

Los ingresos operacionales presentan un crecimiento constante del 5% año tras año (exceptuando periodo 2026-2027), impulsado por una estrategia eficiente de operación y aprovechamiento de oportunidades de mercado. Este desempeño garantiza un flujo de recursos capaz de sostener las operaciones y financiar el desarrollo continuo del proyecto.

Aunque se identifican aumentos moderados en algunos costos operativos, estos se mantienen dentro de márgenes controlados, demostrando una gestión eficiente de los recursos. Esto contribuye a la estabilidad del flujo de caja y refuerza la sostenibilidad del proyecto.

Los gastos financieros disminuyen de manera consistente, resultado de una estrategia efectiva para la amortización de la deuda. Esto permite reducir la carga financiera y liberar recursos para otras áreas prioritarias del proyecto.

El flujo de caja antes de impuestos refleja un crecimiento sostenido, indicando la capacidad del proyecto para cubrir costos operativos, financieros y de inversión, al mismo tiempo que se generan excedentes para reinversión o distribución.

El análisis del (VAN) evidencia que el proyecto es altamente rentable, superando ampliamente la inversión inicial y generando beneficios sustanciales. Esto lo posiciona como una iniciativa financieramente atractiva, capaz de aportar un valor considerable a los inversores.

La tasa interna de rendimiento obtenida supera con creces la tasa mínima requerida para evaluar el proyecto. Este resultado refleja la capacidad del proyecto para ofrecer retornos muy por encima del costo de capital estimado, consolidando su viabilidad económica y su atractivo financiero.

Los flujos de efectivo proyectados muestran un crecimiento progresivo y sostenido durante el período de evaluación. Lo cual indica una estructura operativa y financiera adecuada, que garantiza la generación de beneficios a largo plazo.

Con base en los resultados del VAN y la tasa interna de rendimiento, se concluye que el proyecto no solo cumple con las expectativas de rentabilidad, sino que las supera ampliamente. Esto lo convierte en una alternativa sólida y estratégica para la asignación de recursos.

7.4.1. Análisis de Sensibilidad

Tabla 5 - Análisis de sensibilidad con disminución en ingresos y aumento en egresos

VAN Análisis de sensibilidad con disminución en ingresos y aumento en egresos						
5.281.488	10%	11%	12%	13%	14%	15%
10%	5.146.036	5.191.434	5.282.230	5.418.423	5.600.014	5.827.003
9%	5.854.094	5.899.491	5.990.287	6.126.480	6.308.072	6.535.061
8%	6.562.151	6.607.549	6.698.344	6.834.538	7.016.129	7.243.118
7%	7.270.208	7.315.606	7.406.402	7.542.595	7.724.186	7.951.175
6%	7.978.266	8.023.663	8.114.459	8.250.652	8.432.244	8.659.233
5%	8.686.323	8.731.721	8.822.516	8.958.710	9.140.301	9.367.290
4%	9.394.380	9.439.778	9.530.574	9.666.767	9.848.358	10.075.347
3%	10.102.438	10.147.836	10.238.631	10.374.825	10.556.416	10.783.405
2%	10.810.495	10.855.893	10.946.688	11.082.882	11.264.473	11.491.462
1%	11.518.552	11.563.950	11.654.746	11.790.939	11.972.530	12.199.519
-1%	12.253.700	12.299.098	12.389.894	12.526.087	12.707.678	12.934.667
Variación ingresos			10%			
Variación egresos			5%			
Costos de oportunidad			15%			

La Tabla 5 presenta un análisis de sensibilidad del VAN en Unidades de Fomento (UF) para el proyecto, evaluando cómo el VAN cambia ante variaciones simultáneas en los ingresos y los egresos. En este caso, los ingresos aumentan en un rango de 10% a -1%, mientras que los egresos disminuyen de -10% a -5%. Además, se proporcionan parámetros base: una variación de ingresos de 10%, una variación de egresos de 5%, y un costo de oportunidad del 8%, que representa la tasa de descuento utilizada para calcular el VAN.

La estructura de la tabla es la siguiente:

- Filas: Representan el porcentaje de disminución en los egresos (de -10% a -1%).
- Columnas: Representan el porcentaje de aumento en los ingresos (de 10% a 14%).

- Celdas: Cada celda muestra el VAN resultante en UF para una combinación específica de variación en ingresos y egresos.

En el escenario base, el VAN inicial de 5.281.488 UF corresponde al escenario base, donde los ingresos aumentan un 10% y los egresos disminuyen un 10%. Este valor sirve como punto de referencia para el análisis de sensibilidad.

La sensibilidad al aumento de ingresos (variación horizontal) es la siguiente:

- A medida que el aumento de ingresos crece, el VAN aumenta de manera constante. Cada 1% de aumento en ingresos genera un incremento en el VAN. Esto indica que el VAN es sensible al aumento de ingresos, y un mayor incremento en los ingresos mejora significativamente el valor del proyecto.

La sensibilidad a la disminución de egresos (variación vertical) es la siguiente:

- A medida que la disminución de egresos se reduce, el VAN aumenta de manera significativa y constante de 708.057 UF por cada 1% de menor reducción en egresos.

El escenario más favorable es cuando el VAN es más alto, correspondiente a 12.934.667 UF, que ocurre con un aumento de ingresos del 15% y una disminución de egresos del -1%. Este escenario refleja el mayor aumento de ingresos y la menor reducción de costos, lo que maximiza el flujo de caja neto y, por ende, el VAN.

El escenario menos favorable: es cuando el VAN es más bajo, correspondiente al escenario base con un aumento de ingresos del 10% y una disminución de egresos del -10%. Este es el peor escenario dentro de los datos consistentes, ya que tiene el menor aumento de ingresos y la mayor reducción de costos (aunque sigue siendo un escenario positivo en términos de VAN).

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proyecto de reprocesamiento de relaves en la industria minera de cobre en Chile ha sido evaluado a través de un enfoque integral que considera tanto la viabilidad financiera como la sostenibilidad ambiental. A continuación, se presentan las conclusiones ampliadas en relación con los objetivos específicos planteados en la investigación.

El análisis ha demostrado que el reprocesamiento de relaves no solo es una alternativa viable, sino que también representa una oportunidad financiera significativa. La creciente demanda de cobre, impulsada por su uso en tecnologías renovables y la electrificación, ha creado un contexto favorable para la recuperación de minerales valiosos. Este enfoque permite transformar pasivos ambientales en activos económicos, contribuyendo a la rentabilidad del sector minero. Se recomienda fomentar prácticas que reduzcan residuos y optimicen el uso de recursos.

Los indicadores financieros, como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), han mostrado resultados positivos, indicando que el reprocesamiento de relaves puede generar retornos significativos. El VAN proyectado sugiere que, bajo condiciones de mercado favorables, el proyecto es financieramente atractivo. Además, el análisis de sensibilidad resalta la importancia de gestionar los riesgos asociados a las fluctuaciones en los precios del cobre y los costos operativos, lo que es crucial para mantener la rentabilidad. Es fundamental implementar un plan de gestión de riesgos que contemple fluctuaciones en los precios de los minerales y costos operativos. Esto incluye la creación de un fondo de reserva para mitigar impactos financieros adversos y asegurar la rentabilidad del proyecto.

El estudio ha identificado que la adopción de tecnologías innovadoras es fundamental para el éxito del reprocesamiento de relaves. La inversión en investigación y desarrollo puede mejorar la eficiencia de los procesos de recuperación de minerales, alineándose con las mejores prácticas globales. Ejemplos de éxito en otros países, como Canadá, demuestran que la

implementación de tecnologías avanzadas puede maximizar la recuperación de recursos y minimizar el impacto ambiental.

El reprocesamiento de relaves tiene el potencial de mitigar los impactos ambientales negativos asociados con los depósitos de relaves. Al recuperar minerales valiosos, se reduce la cantidad de residuos que deben ser almacenados a largo plazo, contribuyendo a una minería más sostenible. Además, el proyecto puede generar empleo y fortalecer el capital humano en las regiones mineras, mejorando la relación con las comunidades locales y promoviendo un desarrollo económico inclusivo. Se recomienda mantenerse actualizado sobre las regulaciones ambientales y de minería es esencial para asegurar el cumplimiento y evitar sanciones. Se recomienda desarrollar procesos operativos flexibles que puedan adaptarse a cambios regulatorios sin afectar significativamente la producción

El reprocesamiento de relaves en la minería de cobre en Chile se presenta como una estrategia financieramente viable y ambientalmente responsable. Este enfoque no solo permite recuperar recursos valiosos, sino que también contribuye a la sostenibilidad del sector minero. La implementación de un plan de negocio sólido, que contemple la innovación tecnológica, la gestión de riesgos y la colaboración con las comunidades, será clave para maximizar los beneficios económicos y ambientales del reprocesamiento de relaves. Con ello, se espera que esta iniciativa impulse un modelo de minería más sustentable y competitivo a nivel global.

9. BIBLIOGRAFÍA

- AIE. (2024). *Perspectivas mundiales sobre minerales críticos para 2024*. Obtenido de AIE, París : <https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2024>, Licencia: CC BY 4.0
- Barrick.com. (11 de 02 de 2022). *El proyecto de reprocesamiento de relaves de Golden Sunlight es un modelo para un cierre sostenible*. Obtenido de <https://www.barrick.com/English/news/news-details/2022/golden-sunlights-tailings-reprocessing-project-a-model-for-sustainable-closure/default.aspx>
- Carter, S., Paytan, A., & Griffith, E. (2020). Toward an Improved Understanding of the Marine Barium Cycle and the Application of Marine Barite as a Paleoproductivity Proxy. *Minerals*, 10(5), 421. doi:<https://doi.org/10.3390/min10050421>
- Chacon, T. (11 de 02 de 2022). *Barrick Gold: Reprocesamiento de relaves de Golden Sunlight es modelo para el cierre sostenible*. Obtenido de <https://www.rumbominero.com/peru/noticias/internacionales/barrick-gold-relaves-golden-sunlight-cierre-sostenible>
- Cochilco. (2022). *Monitoreo del estado de los relaves mineros en Chile*. Obtenido de Comision Chilena del Cobre: <https://www.cochilco.cl/web/sustentabilidad/>
- Cochilco. (2024). *Cochilco*. Obtenido de <https://www.cochilco.cl/web/cochilco-proyecta-precio-del-cobre-de-us-425-la-libra-para-2026-2/>
- Codelco. (2023). *Resumen requisito 15 1 divulgacion talabre Rev consolidada*. Obtenido de Codelco Chile: https://www.codelco.com/sites/site/docs/20230328/20230328084229/resumen_requisito_15_1_divulgacion_talabre_rev_consolidada_20230725.pdf
- Desde Adentro. (10 de 2024). *Estano circular: el proyecto de Minsur que convierte los relaves en desarrollo sostenible*. Obtenido de <https://www.desdeadentro.pe/2024/10/estano-circular-el-proyecto-de-minsur-que-convierte-los-relaves-en-desarrollo-sostenible/>

- Dunne, K. (2025). *Análisis FODA*. Obtenido de <https://www.mindtools.com/amtbj63/swot-analysis>
- Ecometales.cl. (2017). *Recuperación de valor desde relaves*. Obtenido de <https://www.ecometales.cl/operaciones-y-proyectos/recuperacion-de-elementos-de-valor-relaves>
- El Urbano Rural. (10 de 2017). *Iniciativa público-privada busca extraer metales valiosos de pasivos mineros*. Obtenido de <https://elurbanorural.cl/iniciativa-publico-privada-busca-extraer-metales-valiosos-de-pasivos-mineros/>
- Goreatacama. (2019). *Desarrollo de la tecnología innovadora para producción de concentrado de minerales de valor económico contenido en relaves de cobre de la región de Atacama*. Obtenido de Universidad de Atacama: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajhttps://goreatacama.gob.cl/wp-content/uploads/Universidad-de-Atacama-Desarrollo-de-tecnologia-innovadora-1.pdf
- International Mining. (11 de 2021). *EnviroGold reprocesará relaves en la mina de oro Hellyer en Tasmania*. Obtenido de <https://im-mining.com/2021/11/30/envirogold-reprocess-tailings-hellyer-gold-mine-tasmania/>
- Julca, D. (05 de 2023). *Economía Circular en la Minería*. Obtenido de Celpar: https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/04._dolfer_julca_1.pdf
- Julca, D. (s.f.). *Economía Circular en la Minería*. Obtenido de https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/04._dolfer_julca_1.pdf
- MCH. (17 de 01 de 2024). *Reprocesamiento de relaves: Sector expresa necesidad de incentivos regulatorios*. Obtenido de <https://www.mch.cl/medio-ambiente/reprocesamiento-de-relaves-sector-expresa-necesidad-de-incentivos-regulatorios/>
- Mills, R. (25 de 07 de 2023). *El mercado mundial del cobre está entrando en una era de déficits extremadamente grandes*. Obtenido de Mining.com: <https://www.mining.com/the-global-copper-market-is-entering-an-age-of-extremely-large-deficits/>

- Minera Valle Central. (2019). *El gran desafío de replicar este modelo en otros lugares*. Obtenido de <https://mineravallecentral.cl/el-gran-desafio-es-replicar-este-modelo-en-otros-lugares/>
- Newmont. (2024). *Procesamiento de minerales*. Obtenido de Newmont Corporation: <https://newmont.com/about-us/about-mining/the-mining-process/default.aspx>
- Republic of Mining. (02 de 2022). *Barrick lanza un proyecto de reprocesamiento de relaves en una mina de oro cerrada en EE. UU.* Obtenido de <https://republicofmining.com/2022/02/15/barrick-launches-tailings-reprocessing-project-at-closed-us-gold-mine-mining-technology-february-14-2022/>
- Santos, D. (2025). *Análisis PESTEL: qué es, cómo se hace y ejemplos útiles*. Obtenido de <https://blog.hubspot.es/marketing/crear-analisis-pestel#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20PESTEL%20es%20un,%2C%20socioculturales%2C%20psicol%C3%B3gicos%20o%20legales.>
- SERNAGEOMIN. (2007). *Reglamento para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de los Depósitos de Relaves*. Obtenido de Ministerio de Minería: https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/01/DS248_Reglamento_DepositosRelave.pdf
- SERNAGEOMIN. (2019). *Anuario de la minería en Chile* . Obtenido de Ministerio de Minería: <https://www.sernageomin.cl>
- SERNAGEOMINI. (2022). *Datos Públicos Depósito de Relaves*. Obtenido de <https://www.sernageomin.cl/datos-publicos-deposito-de-relaves/>
- Solar, P. J. (31 de Enero de 2017). *Universidad de Chile*. Obtenido de <https://uchile.cl/noticias/130887/columna-de-opinion-manejo-sustentable-de-relaves-el-gran-desafio>
- Tecnología mineral. (02 de 2022). *Barrick lanza proyecto de reprocesamiento de relaves en mina de oro cerrada en EE.UU.* Obtenido de <https://www.mining-technology.com/news/barrick-tailings-us-gold-mine/>

10. ANEXOS

En los siguientes párrafos se detallan los cálculos de los valores ingresados en la evaluación financiera de este proyecto.

10.1. Inversión

Se considera dentro de la inversión los gastos de ingeniería, construcción, infraestructura y equipamiento, como también el estudio del terreno y los gastos iniciales del primer año.

Tabla 6 Gastos de ingeniería y construcción

Descripción	Cantidad	UF	UF Total/Proyecto
Ingeniería			
Ingeniería e Inspección	1	38.988	38.988
Sumideros			
Movimiento de Tierra	1	20.889	20.889
Estructuras	70	975	68.229
Equipos de bombeo	1	2.150	2.150
Equipos de Levante	3	163	490
Sistema de Monitoreo Hidráulico			
Monitores Hidraulicos	4	1.898	7.593
Estación de Bombeo Agua Baja Presión			
Equipo de Bombeo	2	3.256	6.513
Estructuras	1	5.212	5.212
Tubería	1	17.522	17.522
Estación de Bombeo Agua Alta Presión			
Movimiento de Tierra	1	4.154	4.154
Obras civiles	1	4.049	4.049
Equipo de Bombeo	2	1.927	3.854
Estructuras	1	2.370	2.370
Tubería	1	51.558	51.558
Pulpa de bombeo			
Equipo de Bombeo	2	4.024	8.048
Tubería	2	51.694	103.389
Electricidad e Instrumentación			
Sala Eléctrica Equipada con CCM	2	16.372	32.743
PLC, Gabinetes	1	4.904	4.904
Sala de Control	1	2.308	2.308
Instrumentación	1	4.923	4.923
Línea Eléctrica	1	4.857	4.857
Instalaciones Generales			

Oficinas Generales	30	24	708
Sala de Cambio	10	22	216
Comedor	20	23	456
Bodega, Talleres	30	22	648
Habilitaciones Comunicaciones e Informática			
Comunicaciones, Informática	1	603	603
Contingencias (7%)			27.816
Total			386.202

Tabla 7 Gastos Infraestructura y Equipamiento

Descripción	Cantidad	UF	UF Total/Proyecto
Clasificación			
Movimiento de Ti	1	11.496	11.496
Obras civiles	1	22.246	22.246
Estro	1	18.829	18.829
Tubería	1	9.961	9.961
Baterías de ciclones	5	2.476	12.380
Equipos de bombeo	5	2.459	12.293
Molienda			
Movimiento de Tierra	1	23.346	23.346
Obras civiles	1	67.284	67.284
Estructura	1	60.010	60.010
Molinos de Bolas	1	89.359	89.359
Equipo de Bombeo	1	3.257	3.257
Tubería	1	7.438	7.438
Flotación			
Movimiento de Tierra	1	5.109	5.109
Obras civiles	1	42.003	42.003
Tubería	1	17.339	17.339
Celdas de flotación	10	2.480	24.799
Planta de Cal	1	42.934	42.934
Planta de Molibdeno	1	178.906	178.906
Planta de filtrado y secado	1	17.167	17.167
Planta de Recuperación de Agua	1	398.529	398.529
Total			1.064.687

Tabla 8 Estudios del terreno

Descripción	UF/mes	Meses	UF Total/Proyecto
Dirección de Proyectos			
Director de Proyecto	189	12	2.264
Ingeniero de proyectos	141	12	1.698
Documental de control	71	12	849
Asesoría Legal	472	1	472
Estudio Proceso			
Servicio de Ingeniería de Procesos	2.122	1	2.122
Ingeniero Revisor	141	8	1.132
Toma de muestras	0	1	0
Ensayos de Laboratorio (mineralogías)	0	1	0
Visitas Terreno, Otros	393	1	393
Ingeniería			
Jefe de ingeniería	165	8	1.321
Especialidad Mecánica-Piping	0	8	2.138
Especialidad Civil-Estructural	0	8	1.006
Especialidad Eléctrica-Instrumentación	0	8	2.138
Informática-Comunicaciones	86	8	692
Visitas Terreno, Otros	354	1	354
SAC (Seguridad, Ambiente, Calidad)			
Ingeniero SAC	94	8	1
Asesorías SAC, Revisiones	432	1	432
Visitas Terreno, Otros	354	1	354
Generales			
Oficinas, Equipos, Vehículos, Seguros	314	12	3.773
Contingencias (10%)			2.225
Total			23.363

Tabla 9 - Calculo dotación y remuneraciones

Área funcional	Rol	Cantidad	Sueldo total (UF/mes)	Costo de empresa (UF/mes)	Costo de empresa (UF/año)
Dirección	Gerente Reproceso Relaves	1	365,51	365,51	4.386,18
	Jefe General Planta	1	292,41	292,41	3.508,94
	Secretaría	1	73,10	73,10	877,24
Recursos humanos	Jefe de Recursos Humanos	1	194,94	194,94	2.339,30
	Encargado personal	2	121,84	243,68	2.924,12
	Capacitación cargada	2	73,10	146,21	1.754,47
	Analista personal	3	73,10	219,31	2.631,71
Operaciones	Jefe General Extraccion	1	194,94	194,94	2.339,30
	Jefe Metalurgia	1	121,84	121,84	1.462,06
	Operadores de Maquinaria	8	60,92	487,35	5.848,24
	Jefe General Planta	2	194,94	389,88	4.678,59
	Jefe Turno Planta	2	121,84	243,68	2.924,12
	Operadores de Planta	8	60,92	487,35	5.848,24
Mantenimiento	Jefe General de Mantenimiento	1	194,94	194,94	2.339,30
	Jefe de mantenimiento mecánico	2	121,84	243,68	2.924,12
	Jefe Mantenimiento Instrumentación Eléctrica	2	121,84	243,68	2.924,12
	Jefe de Servicios	1	121,84	121,84	1.462,06
	Electromecánicos (Mecánica)	4	85,29	341,15	4.093,77
	Electromecánicos (E&I)	4	85,29	341,15	4.093,77
	Electromecánicos (Servicios)	4	85,29	341,15	4.093,77
General total	-	51	-	5.288	63.453

Tabla 10 - Proyección de costos y gastos

Concepto	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Energía	1.884	20.727	22.799	25.079	27.587	30.346	33.380	36.718	40.390	44.429
Elementos molidores	605	6.653	7.319	8.051	8.856	9.741	10.715	11.787	12.966	14.262
Extracción cauques	149	1.635	1.799	1.979	2.176	2.394	2.634	2.897	3.187	3.505
Transporte concentrado	105	1.156	1.272	1.399	1.539	1.693	1.863	2.049	2.254	2.479
Cal	301	332	365	401	441	486	534	588	646	711
Reactivos	215	2.368	2.605	2.866	3.152	3.467	3.814	4.196	4.615	5.077
Agua industrial	33	366	403	443	488	536	590	649	714	785
Filtrado y secado	58	643	707	778	856	942	1.036	1.139	1.253	1.379
Estudio de terreno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Otros	123	1.353	1.488	1.637	1.801	1.981	2.179	2.397	2.636	2.900
Costos variables	3.474	35.234	38.757	42.633	46.896	51.586	56.745	62.419	68.661	75.527
Remuneraciones	31.727	63.453	63.453	63.453	63.453	63.453	63.453	63.453	63.453	63.453
Servicios distribuibles	1.479	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697
control y de calidad	16	41	41	41	41	41	41	41	41	41
SAC	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Otros	492	1.230	1.230	1.230	1.230	1.230	1.230	1.230	1.230	1.230
Total costos fijos	33.717	68.430	68.430	68.430	68.430	68.430	68.430	68.430	68.430	68.430
Total costos	37.192	103.664	107.187	111.063	115.326	120.016	125.175	130.849	137.091	143.957

