



UNIVERSIDAD DE TALCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL DE MINAS

**REHABILITACIÓN Y VALORIZACIÓN DEL  
BOTADERO DE ESTÉRILES DE MINA SPENCE  
USANDO CRITERIOS DE SUSTENTABILIDAD Y  
PRINCIPIOS DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL DE MINAS

**CRISTIÁN TOMÁS LANG GUAJARDO**

PROFESOR GUÍA

HARALD FERNÁNDEZ PURATICH

MIEMBROS DE LA COMISIÓN

MARCIA VÁSQUEZ SANDOVAL

FRANCISCO RIVAS SALDAÑA

**CURICÓ – CHILE**

2021

## CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su encargado Biblioteca Campus Curicó certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Two circular stamps and signatures are present. The left stamp is blue and reads "UNIVERSIDAD DE TALCA" at the top, "DIRECCIÓN" in the center, and "SISTEMA DE BIBLIOTECAS" at the bottom. A blue ink signature is written over the stamp. The right stamp is grey and reads "UNIVERSIDAD DE TALCA" at the top, "SISTEMA DE BIBLIOTECAS" in the center, and "CAMPUS CURICO" at the bottom. A blue ink signature is written over the stamp.

Curicó, 2022

## **Resumen**

Las explotaciones mineras a cielo abierto pueden producir graves daños al medio ambiente cuando se extraen grandes cantidades de material. Estas operaciones pueden provocar contaminación del aire, agua y suelo, pérdidas de flora y fauna y daños a sitios arqueológicos.

Los botaderos de estériles, producidos por la minería a cielo abierto, tienen considerable potencial de contaminación cuando sus residuos no son tratados y controlados según lo estipulado por la ley. Se debe asegurar la estabilidad física y química para integrar medidas de seguridad, mantención y rehabilitación, las cuales son realizadas progresivamente sin que la operación en la faena se vea comprometida. Así mismo, se debe mantener el área del botadero en un mínimo y permitir disminuir el tiempo del cierre de minas.

En este contexto, Mina Spence tiene el potencial necesario para que su botadero pueda ser rehabilitado progresivamente a través de la propuesta mostrada en este informe de memoria, la cual integra los principios de la economía circular, criterios de sustentabilidad y una valorización económica del proyecto, todo esto siendo elaborado a un nivel de perfil.. Así se puede determinar si es factible realizar una rehabilitación al botadero en estudio de mina Spence, y en caso contrario, proponer recomendaciones para corregir el proyecto de rehabilitación integrando otros escenarios.

Palabras claves: Botadero de estériles, Rehabilitación, Mina Spence, Economía Circular, Criterios de sustentabilidad, Valorización económica.

## **Abstract**

Mining Open Pit operations may produce severe damage to the environment when big quantities of soil are extracted. These operations may cause air, water and soil contamination, flora and fauna loss and archeological sites damage.

The mining waste dumps, produced by mining open pit, have considerable pollution potential when their wastes are not treated and controlled according to what it is dictated by the law. Physical and chemical stability must be ensured to integrate safety, maintenance, and rehabilitation measures, which are performed progressively without the compromise of the mining operation. Likewise, the mining waste dump area must be maintained to the minimum to decrease the mine closure time.

In this context, Spence mine has the necessary potential for its mining waste dump can be rehabilitated progressively through the proposal shown in this dissertation, which integrates the principles of circular economy, sustainability criteria and project economic assessment, all this being elaborated at a profile level. This way, it can be determined if it is feasible to perform a rehabilitation to the mining waste dump of Spence mine, otherwise, recommendations to correct the rehabilitation project integrating other scenarios can be proposed.

## **Agradecimientos**

Agradecer a mis padres, Carmen y Ruperto, y a mi hermana Daniela que son una parte fundamental en mi vida, sin su apoyo nada de esto hubiera sido posible, gracias por sus enseñanzas y por darme los medios para desarrollarme de la mejor manera tanto profesional y personalmente. Los quiero.

A mi abuela Eugenia por siempre decirme lo capaz que soy, que lograría todo lo que me propusiera en la vida, su apoyo y optimismo para alcanzar mis metas.

A mi profesor guía Harald Fernandez por entregarme su conocimiento y motivación en el proceso completo de la realización de esta tesis.

A mi pareja Constanza, por acompañarme en este proceso con su apoyo, cariño y sus consejos cuando los he necesitado.

A mis compañeros y compañeras Vale, Magallanes, Coté y Seba Nach, por brindarme sus conocimientos y por darme todo el empuje para lograrlo y que este proceso se viera más fácil. A mis compañeros de casa durante mi estadía en Curicó: Daniel, Cesar y Feny. Gracias por los buenos momentos que compartimos y por los días de estudio juntos, a pesar de que fuéramos de diferentes carreras.

Se agradece a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Talca, especialmente a la Escuela de Ingeniería Civil de Minas por todo lo brindado en estos años de formación.

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Descripción del problema y propuesta .....	2
1.3 Objetivos .....	3
1.3.1 Objetivo General .....	3
1.3.2 Objetivos Específicos .....	3
1.4 Alcances .....	4
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	5
2.1 Botaderos de estériles .....	5
2.1.1 Diseño y Dimensiones.....	5
2.1.2 Emplazamiento.....	6
2.1.3 Sistema de vertido.....	7
2.1.4 Métodos y sistemas constructivos.....	8
2.2 Normativa aplicable a botaderos .....	9
2.2.1 Reglamento de Seguridad Minera .....	10
2.2.2 Permisos ambientales sectoriales (PAS).....	10
2.2.3 Ley 20.551 .....	11
2.2.4 Ley 19.300.....	11
2.3 Métodos de reutilización y rehabilitación para un botadero de estériles.....	12
2.3.1 Rehabilitación de botaderos .....	12
2.3.2 Métodos de rehabilitación para botadero de estériles.....	14
2.4 Economía circular .....	17
2.4.1 Principios de la economía circular.....	18
2.4.2 Economía circular aplicada a la minería .....	19
2.5 Criterios de sustentabilidad en minería .....	19
2.5.1 Identificación de criterios de sustentabilidad .....	20
2.5.2 Construcción de criterios de sustentabilidad.....	23
2.6 Valorización económica de un botadero de estériles .....	26
2.6.1 Flujo de caja .....	27
2.6.2 Instrumentos para la evaluación de proyectos .....	28
METODOLOGÍA.....	30
3.1 Antecedentes generales y recopilación de información del área de estudio .....	30

3.1.1 Localización .....	30
3.1.2 Recopilación de información y descripción del proyecto .....	31
3.2 Construcción de criterios de sustentabilidad Mina Spence .....	34
3.2.1 Encuesta de criterios de sustentabilidad .....	34
3.2.2 Aspectos críticos de los criterios de sustentabilidad.....	39
3.3 Propuesta de reprocesamiento y rehabilitación para el botadero de estériles de Mina Spence .....	43
3.3.1 Características del botadero de estériles .....	43
3.3.2 Mineralización del botadero de estériles .....	44
3.3.3 Diseño botadero de estériles .....	45
3.3.4 Planificación de operaciones de rehabilitación y reprocesamiento .....	47
3.4 Valorización económica del proyecto .....	48
3.4.1 Beneficios del proyecto .....	48
3.4.2 Costos del proyecto .....	50
3.4.3 Flujos de caja del proyecto .....	53
RESULTADOS .....	55
4.1 Resultados obtenidos .....	55
4.1.1 Criterios de sustentabilidad en el botadero en estudio .....	55
4.1.2 Propuesta de rehabilitación y reutilización para el botadero en estudio .....	56
4.1.3 Valorización económica del botadero en estudio .....	61
4.2 Discusión de resultados .....	69
4.2.1 Criterios de sustentabilidad en el botadero en estudio .....	69
4.2.2 Propuesta de rehabilitación y reutilización para el botadero en estudio .....	71
4.2.3 Valorización económica del botadero en estudio .....	71
CONCLUSIONES .....	73
REFERENCIAS.....	75
APÉNDICE .....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Indicadores de costos.....	23
Tabla 2.2: Disposición de indicadores y acciones para la prueba de sustentabilidad..	25-26
Tabla 3.1: Indicador geológico minero.....	35
Tabla 3.2: Indicador de crecimiento económico.....	36
Tabla 3.3: Indicador de compensación.....	37
Tabla 3.4: Indicador de desarrollo.....	38
Tabla 3.5: Parámetros geométricos del botadero de estériles.....	43
Tabla 3.6: Mineralización del botadero.....	45
Tabla 3.7: Proyección de precios del Cobre.....	49
Tabla 3.8: Parámetros utilizados para el cálculo pagable del cobre.....	50
Tabla 3.9: Costos por personal requerido en el proyecto.....	52
Tabla 4.1: Ingresos anuales por venta de cobre.....	62
Tabla 4.2: Aportes por el proyecto y el Contratista.....	63
Tabla 4.3: Costos por pago a la empresa contratista.....	64
Tabla 4.4: Proyección costos de maquila.....	65
Tabla 4.5: Proyección costos energía eléctrica.....	65
Tabla 4.6: Costos de concentración del proyecto.....	66
Tabla 4.7: Costos del personal requerido.....	67
Tabla 4.8: Capital de trabajo para el proyecto.....	68
Tabla 4.9: Características del préstamo bancario.....	68
Tabla 4.10: Compilación de costos administrativos y operacionales.....	69
Tabla 4.11 Resultados evaluadores económicos.....	69



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Diseño de un botadero.....	6
Figura 2.2: Tipos de emplazamientos.....	7
Figura 2.3: Sistemas de vertido.....	8
Figura 2.4: Métodos constructivos de botaderos.....	9
Figura 2.5: Ocultación de botaderos.....	15
Figura 2.6: Remodelado de botadero mediante su extensión.....	15
Figura 2.7: Modelo del sistema de indicadores de sustentabilidad .....	21
Figura 3.1: Ubicación faena minera Spence.....	30
Figura 3.2: Relocalización Ruta 25.....	32
Figura 3.3: Ubicación botadero de estériles.....	44
Figura 3.4: Diseño botadero de estériles.....	46
Figura 3.5: Perfiles del botadero de estériles.....	47
Figura 4.1: Rutas de explotación del botadero de estériles.....	57

# INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes

La economía circular es una estrategia que tiene por objetivo reducir tanto la entrada de las materias primas como la producción de desechos, cerrando flujos económicos y ecológicos de los recursos.

Una característica de la economía circular es que es versátil, ya que puede ser aplicada en distintas industrias, procesos y la vida diaria, como, por ejemplo: neumáticos que se transforman en zapatos, construcción sostenible de casas y oficinas, entre otros.

La economía lineal actual, basada en tomar, hacer y desechar se basa en usar grandes cantidades de materias y energía baratas y de fácil acceso, ha sido el elemento fundamental del desarrollo industrial y ha generado un nivel de crecimiento sin precedentes. Una economía circular es aquella que es restaurativa y regenerativa a propósito, y que trata de que los productos, componentes y materias mantengan su utilidad y valor máximo en todo momento, distinguiendo entre ciclos técnicos y biológicos. Este nuevo modelo económico trata en definitiva de desvincular el desarrollo económico global del consumo de recursos finitos (Mcarthur, 2015).

En este contexto, la industria minera nacional presenta un espacio de oportunidades para demostrar que el camino de convergencia entre el crecimiento económico, la protección del medioambiente y el desarrollo social es posible de alcanzar, cuando se tiene claridad estratégica. Actualmente, en Chile se tiene como ejemplo de aplicación de economía circular a Minera Valle Central, la cual recupera cobre y molibdeno desde relaves frescos provenientes de la mina El Teniente llegando a procesar 130.000 t/d de relaves, con una ley de 0,12% de cobre. También, extrae relaves antiguos del tranque de relaves Cauquenes depositados entre 1939 y 1977 (Minera Valle Central, 2021).

Según Mcarthur (2015), el actual modelo económico lineal podría estar llegando a su fin y su lugar será ocupado por economía circular, lo que representa en la industria minera retos y oportunidades para las empresas del sector. Puede acabar con la escasez de

recursos minerales, el desperdicio de recursos y la contaminación medioambiental a la vez que crea ventajas económicas. Las compañías mineras tendrán que encontrar la forma de maximizar la eficiencia de su actividad de forma que se minimice el uso de energía y otros recursos, y se reduzcan al máximo los residuos.

## **1.2 Descripción del problema y propuesta**

Desde el año 2011 existe en Chile la ley 20.551 sobre el plan de cierre de faenas mineras, la cual se encarga de identificar y cuantificar los impactos ambientales negativos generados en la etapa de cierre de una faena minera, así como definir medidas de acción presentes y futuras para prevenirlos, minimizarlos y/o mitigarlos y desarrollar un cronograma de ejecución de las medidas proyectadas. Es así como desde esa fecha en adelante toda faena minera que quiera entrar al mercado deberá contar con un plan de cierre de faenas aprobado, pero también existen instalaciones mineras anteriores a esta ley que se encuentran en abandono.

El informe elaborado por SERNAGEOMIN (2007) da cuenta de la existencia de más de 200 faenas mineras abandonadas en Chile. Son lugares donde alguna vez se trabajó en la extracción de un mineral preciado y que, cuando éste se agotó, la faena se cerró sin tomar las medidas de seguridad necesarias. Cuando el SERNAGEOMIN clasifica algunas de estas faenas como “pasivo ambiental minero”, lo que está diciendo es que esa faena y sus residuos constituyen un riesgo para quienes habitan a su alrededor ya sea porque tienen cultivos en tierras cercanas o consumen agua de norias que están ubicadas cerca.

La ex minera Las Palmas se ubica en la comuna de Penciahue y durante el terremoto del 27 de febrero del 2010 se provocó un derrumbe del tranque de relaves ocasionando la muerte de cuatro integrantes de la Familia Gálvez Chamorro (CIPER, 2011). El informe del SERNAGEOMIN señala que la empresa fue sancionada por medidas correctivas incumplidas y en el detalle de la evaluación se identifican más de una decena de peligros de seguridad figurando el hundimiento de la superficie, caída de rocas y estructuras que podrían afectar a personas y/o el medio ambiente con consecuencias severas.

Actualmente existen leyes y decretos que ponen el foco sobre las actividades mineras como la ley 19.300 que evalúa los impactos ambientales, el decreto supremo 248 sobre relaves, su diseño y seguridad, y la ley 20.551 sobre el cierre de faenas, pero aun así siguen existiendo faenas anteriores a la promulgación de estas leyes que no se acogen a esto ya que se encuentran abandonadas o no realizaron buenas prácticas en ellas.

El Proyecto de Minera Spence extrae mineral de cobre por el método de explotación a cielo abierto. Contempla al final de su vida útil, unificar los 3 botaderos de estériles existentes y aprobados ambientalmente alcanzando una capacidad de almacenamiento de 1.353 Mt y una superficie total aproximada de 1.210 ha.

Es en este ámbito que el botadero de estériles de mina Spence representa una oportunidad con suficiente potencial para aplicar el principio de la economía circular, la cual es un camino para avanzar hacia una minería verde proponiendo la disminución y eliminación de productos químicos tóxicos. Es así que en este proyecto se va a realizar un estudio a nivel de perfil para el botadero de mina Spence.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Elaborar un plan de acción minero que se hará cargo de la remediación del botadero de estériles de minera Spence a través de la economía circular y bajo criterios de sustentabilidad actuales.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- 1) Determinar los criterios de sustentabilidad en el botadero de estudio.
- 2) Proponer un reprocesamiento a través de un diseño de programa y herramientas de remediación para el botadero de estériles en estudio.
- 3) Valorizar económicamente la propuesta de reprocesamiento para el botadero de estériles en estudio.

## **1.4 Alcances**

El presente estudio corresponde a un proyecto de ingeniería cuyo principal objetivo es elaborar un plan de acción minero para la rehabilitación de botaderos, cuyos alcances y limitaciones son los siguientes:

- La planificación de las operaciones de rehabilitación considera no interrumpir las operaciones de una faena minera en operación, sino que se realicen en paralelo con las operaciones ya existentes.
- No es objetivo de este estudio la ejecución del plan de acción minero al botadero en estudio.
- El tiempo requerido para realizar las operaciones de rehabilitación es variable y depende de la disponibilidad de los equipos, condiciones de estabilidad física y química y del análisis económico del botadero en estudio.
- No está considerado en este estudio los costos económicos exactos del plan de acción, sino que una aproximación teórica a estos.
- El estudio al botadero de mina Spence se aplica desde un nivel de perfil.

# REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## 2.1 Botaderos de estériles

Los botaderos de estériles son depósitos de material fragmentado, obtenidos en una faena minera. Estos materiales de desecho plantean el problema de su almacenamiento en condiciones adecuadas de estabilidad, seguridad y cuidado del medio ambiente (SERNAGEOMIN, 2012). Se tienen los siguientes tipos de botaderos:

- Estériles: material económicamente inútil que acompaña a la mena o se genera en desarrollos mineros.
- Escorias: lugar de disposición ordenada del residuo del proceso pirometalúrgico
- Minerales de baja ley: acumulación de materiales que proviene de la explotación minera que contiene cierto valor económico para eventual tratamiento o aprovechamiento posterior.
- Residuos de lixiviación: corresponde a materiales de descarte del proceso hidrometalúrgico, denominado ripio.

La elección del emplazamiento de un botadero se debe basar en criterios de diversa naturaleza como técnicos, económicos, ambientales y socioeconómicos. Entre los criterios específicos más importantes se encuentran la distancia de transporte desde la explotación al botadero, lo cual afecta el costo de la operación; la capacidad de almacenamiento necesaria, determinada por el tonelaje a depositar y las posibles alteraciones al medio ambiente.

### 2.1.1 Diseño y Dimensiones

Se considera botadero cualquier acumulación de materiales que sobrepase los 25.000 m<sup>3</sup> de volumen, 15 m de diferencia de altura entre su pie y la parte superior del depósito, o bien cuyo espesor de estéril sea superior a 10 m (Instituto Tecnológico GeoMinero de España [ITGE],1989). Estos se dividen en:

- Grandes: altura superior a 30 m.
- Medianos: altura superior a 20 m e inferior a 30 m.
- Pequeños: altura superior a 15 m e inferior a 20 m.

Los valores de sus parámetros de diseño deben ser determinados por un estudio geotécnico y dependen tanto del tipo de material depositado como del suelo donde se emplace. Algunos parámetros se visualizan en la figura 2.1 y son los siguientes:

- Banco: es la unidad básica de un botadero, también denominado piso, módulo o torta.
- Berma: distancia entre la cresta de un banco y el pie del banco sobre él.
- Ángulo de banco: ángulo formado entre el pie y la cresta de un mismo banco, generalmente corresponde al ángulo de reposo del material estéril.

h = Altura del banco  
 a = Ángulo de talud  
 b = Ángulo de banco  
 b = Ancho de berma

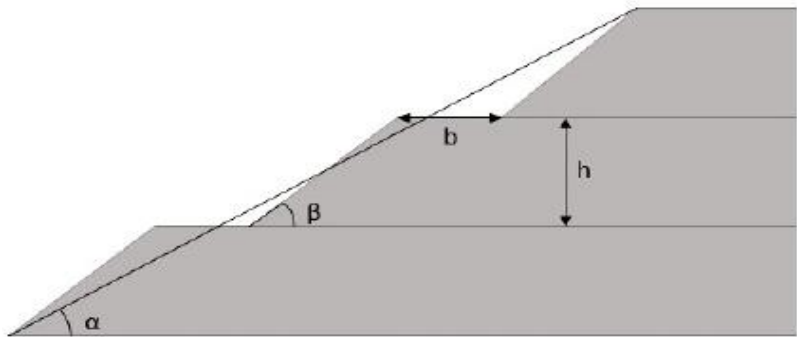


Figura 2.1: Diseño de un botadero  
 (Márquez et al, 2015)

### 2.1.2 Emplazamiento

Según la ubicación del botadero, estos se construirán en forma de llanura, ladera o quebrada, según como se muestra en la figura 2.2. También, según la extensión del botadero, es posible que se encuentren más de una combinación de estructuras de emplazamiento.

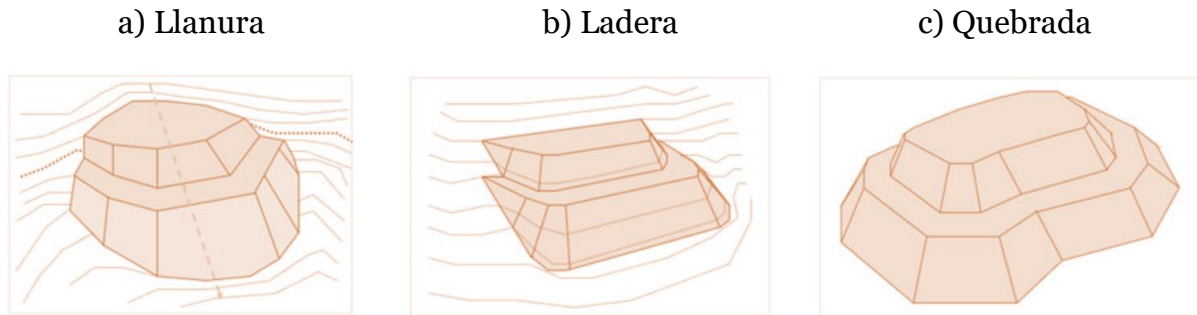


Figura 2.2: Tipos de emplazamientos  
(Márquez et al, 2015)

La disposición del estéril en laderas de cerros cercanos a las operaciones es una de las más utilizadas, por la simplicidad que representa para la descarga, mantención y estabilidad del talud del botadero. La disposición sobre terrenos llanos ocurre cuando no hay laderas o quebradas cercanas a la explotación y se denomina disposición en tortas o pilas.

### 2.1.3 Sistema de vertido

Comúnmente, los estériles de la mina se desplazan al botadero por camiones o por correas transportadoras. El vertido hacia el botadero se debe realizar de la manera más homogénea posible para mantener el terreno libre de escombros, lo que depende en gran medida del sistema de vertido al botadero cuando este se realiza. Es común utilizar bulldozers para el acondicionamiento del piso (Márquez et al, 2015). En la Figura 2.3, cuando el vertido se hace mediante camiones, éste puede clasificarse de dos maneras: vertido libre hacia el talud del botadero y vertido interno sobre el botadero. Los bulldozers permiten a los camiones operar en mejores condiciones de seguridad, cuando estos se posición para descargar el material al interior del botadero.



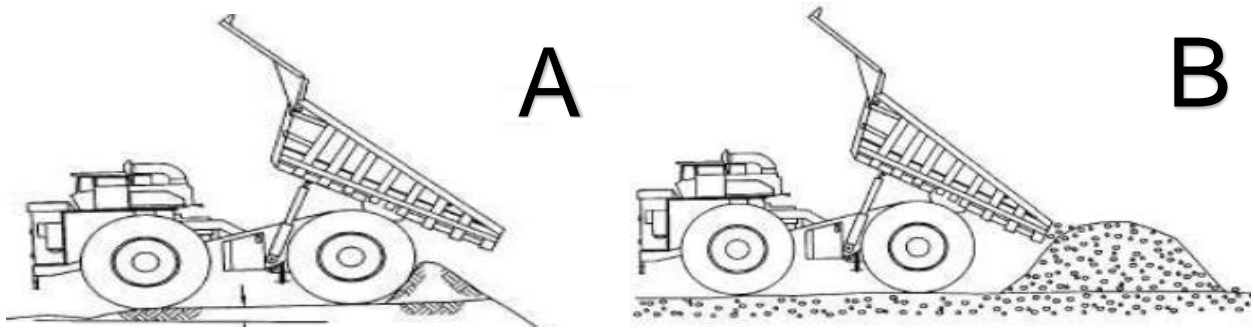


Figura 2.3: Sistemas de vertido  
A) Vertido libre hacia el talud. B) Vertido interno sobre el botadero  
(Márquez et al, 2015)

#### **2.1.4 Métodos y sistemas constructivos**

El método de construcción de botaderos tiene una gran importancia sobre la homogeneidad y estabilidad de esta. Además, se deberá prestar una especial atención al sistema de vertido. Así, se diferenciará el sistema de vertido directo desde un camión o correa transportadora, que será admisible en escombreras de pequeña envergadura y cuando no exista riesgo de rodadura de piedras, del sistema de vertido por empuje con tractor de orugas o pala. Por otro lado, la depositación del botadero se debe realizar de la forma más homogénea posible, que será por capas (Márquez et al, 2015). Para este fin, se evitará que los escombros de distinta naturaleza se combinen en una misma zona del botadero. Los tipos de botaderos que pueden construirse corresponden a vertido libre, vertido por fases adosadas, dique de retención en pie y fases ascendentes superpuestas, las cuales se visualizan en la figura 2.4:

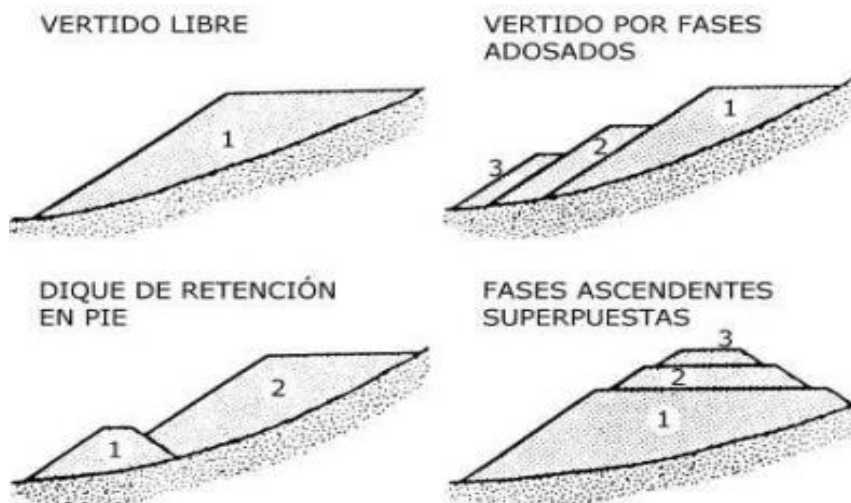


Figura 2.4: Métodos constructivos de botaderos  
(Márquez et al, 2015)

El vertido libre es aconsejable usar en botaderos de pequeñas dimensiones y cuando no exista riesgo de rodadura de piedras aguas abajo. Se caracteriza por presentar en cada momento un talud que coincide con el ángulo de reposo de los estériles. De los cuatro tipos es el más desfavorable geotécnicamente. Los botaderos con fases adosadas proporcionan factores de seguridad mayores, pues se consiguen unos taludes medios finales más bajos. La altura total puede llegar a suponer una limitación por consideraciones prácticas de acceso a los niveles inferiores. Cuando los estériles que se van a verter no son homogéneos y presentan diferentes litologías y características geotécnicas, puede ser conveniente el levantamiento de un dique de pie con los materiales más gruesos y resistentes, de manera que actúen de muro de contención del resto de los estériles depositados. El tipo de fases superpuestas aporta una mayor estabilidad, ya que se disminuyen los taludes finales y se consigue una mayor compactación de los materiales.

## 2.2 Normativa aplicable a botaderos

La institucionalidad ambiental y las leyes que regulan el cierre de faenas mineras y gestión de residuos forman parte del marco jurídico que rige a la actividad minera nacional. La implementación de un botadero también está incluida dentro de toda esta normativa, los

cuales son regulados por la Reglamento de Seguridad Minera (D.S. 132), Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y la Ley 20.551. En estas normativas se establecen los requisitos mínimos para la implementación y funcionamiento de un botadero, los permisos correspondientes que se deben tramitar y su mantención en el tiempo (Minería Chilena, 2016).

### **2.2.1 Reglamento de Seguridad Minera**

La construcción, puesta en marcha y cierre de un botadero tendrán que asegurar que todo el proceso se realice cumpliendo estándares de seguridad conforme lo establece esta Normativa respetando lo siguiente:

- “Los botaderos de estériles y la acumulación de mineral se establecerán de acuerdo con un proyecto que la empresa deberá presentar para su revisión y aprobación, donde se garantice su estabilidad y contenga las máximas medidas de seguridad tanto en su construcción como crecimiento” (Artículo 339).
- “Para conseguir la estabilidad de los depósitos de estériles se tendrá principalmente en cuenta en su diseño, la resistencia del terreno de emplazamiento, los materiales que serán depositados y sus características” (Artículo 340).

### **2.2.2 Permisos ambientales sectoriales (PAS)**

Los PAS son pronunciamientos que deben emitir los Órganos de la Administración del Estado con Competencia Ambiental (OAECA) respecto de proyectos o actividades presentados al SEIA, que tengan un objeto de protección ambiental. Se separan en PAS únicamente ambientales, que tienen contenidos ambientales, y PAS mixtos, que tienen contenidos ambientales y sectoriales (no ambientales).

El artículo 136 del SEIA otorga el permiso para la implementación de un botadero de estériles o acumulación de mineral, tal como lo establece el artículo 339 del Reglamento de Seguridad Minera. Los requisitos para su otorgamiento deberán siempre velar por la

estabilidad física y química del botadero o depósito y que contenga las medidas de seguridad correspondiente en toda etapa que se encuentre, protegiendo el medio ambiente y la vida e integridad física de las personas (SEIA, 2019). Estos permisos son presentados ante el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y son revisados y otorgados por los Órganos de la Administración del Estado con Competencia Ambiental (OAECA).

### **2.2.3 Ley 20.551**

Esta ley obliga a que todas las faenas mineras cuenten con un plan de cierre aprobado por SERNAGEOMIN (2012) previo al inicio de las operaciones mineras y que debe contener la totalidad de las instalaciones de la faena. Tiene como objetivo lo siguiente:

- Resguardar la vida, salud y seguridad de las personas y del medio ambiente.
- Eliminar los efectos negativos de la industria minera
- Evitar el abandono de faenas mineras al final de las operaciones.
- Asegurar estabilidad química y física de las zonas en que se desarrolle la actividad minera.
- Establecer garantías para el cierre efectivo de las faenas e instalaciones mineras creando un fondo post-cierre para el monitoreo de estas.

### **2.2.4 Ley 19.300**

La Ley N°19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente, es un mecanismo para la obtención de las autorizaciones ambientales del proyecto que se requiera ejecutar. Establece los instrumentos de gestión ambiental y los procedimientos para su dictación (Minería Chilena, 2016):

- Normas de calidad: protección de la salud humana y protección del medio ambiente.
- Planes de Prevención: prevenir que los índices de contaminación establecidos en las normas de calidad ambiental sean elevados.
- Planes de Descontaminación: su objetivo es lograr el cumplimiento de los estándares establecidos en las normas de calidad ambiental cuando uno o más de ellos hayan sido vulnerados.
- Evaluación Ambiental Estratégica: es el procedimiento realizado por el Ministerio sectorial respectivo para que se incorporen las consideraciones ambientales del desarrollo sustentable al proceso de formulación de las políticas y planes de carácter normativo general que tengan impacto sobre el medio ambiente o la sustentabilidad, de manera que ellas sean integradas en la dictación de la respectiva política y plan, así como sus modificaciones sustanciales.
- Participación ciudadana: la ley permite la participación ciudadana generando planes y regulaciones ambientales, en la evaluación de impacto ambiental y en el uso del derecho para efectuar denuncias por eventuales infracciones ambientales.
- Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental: mecanismo de evaluación del impacto de proyectos o actividades que se desarrollan en el país.

## **2.3 Métodos de reutilización y rehabilitación para un botadero de estériles**

### **2.3.1 Rehabilitación de botaderos**

Los botaderos de estériles han sido dispuestos con muy poca consideración sobre el impacto ambiental generado y el posible futuro uso de la tierra. Sin embargo, en las últimas décadas, los desafíos de rehabilitación y recuperación de botaderos y sitios mineros se han vuelto una componente importante de las estrategias de desarrollo sustentable que utilizan muchos países (Instituto Tecnológico GeoMinero de España [ITGE], 1989).

Los desechos de un botadero de estériles representan una oportunidad de recuperación y procesamiento para que entren al mercado los minerales presentes en el. Aplicando economía circular a botaderos de estériles se pueden obtener los siguientes beneficios:

- Remediación ambiental de una zona.
- Generación de nuevos puestos de trabajo.
- Una comunidad cercana ya no estaría expuesta a posibles peligros físicos y químicos.
- Desarrollo económico y social.
- Innovar en cómo se recuperan los desechos.
- Evitar desastres ambientales y pérdidas humanas por la existencia de una faena minera abandonada.

En particular, para la rehabilitación de botaderos destacan los proyectos realizados en Chile en Mina los Bronces en la Región Metropolitana y la Mina Venado Sur en la Región de Atacama. En ambos proyectos se recupera mineral de cobre provenientes de los botaderos de estériles que se construyeron durante la explotación de la mina. A continuación, se presentan estos dos casos:

- El proyecto consiste en recuperar cobre del estéril mineralizado del depósito San Francisco, estéril que proviene de la explotación de la Mina Los Bronces, en el Cajón de Disputada o Estero Los Bronces. La recuperación del cobre se haría mediante lixiviación con solución ácida. Esta solución, previo almacenamiento en piscinas sería procesado en una nueva planta de extracción por solventes y electro-obtención de la que se obtendría cobre catódico. De acuerdo con el proyecto de Expansión- 2 Mina Los Bronces, en el depósito de estériles San Francisco se depositaría un total 1.235 millones de toneladas. Este material sería depositado a una tasa anual entre 14 y 27 millones de toneladas/año, en capas de 50 a 70 m, con alturas máximas de 100 m. El proyecto contemplaría producir entre 15 a 24 mil toneladas/año de cobre catódico de calidad LME grado A. Se estima que este proyecto tendría una operación total de 25 años (Disputada Las Condes, 1999).

- El presente proyecto se desarrollará al interior de la faena minera Venado Sur, área previamente intervenida por las labores de explotación ocurridas en el pasado, y tiene como propósito el procesamiento de los materiales contenidos en 4 botaderos de estéril y en un stock de baja ley existentes con una cubicación total de 6,1 millones de toneladas de material. De esta forma, mediante la remoción y procesamiento de estos materiales, se espera recuperar mineral de cobre remanente mediante el uso de tecnología Sortero y a una tasa de procesamiento promedio de 165.000 ton/mes (Pucobre, 2018).

### **2.3.2 Métodos de rehabilitación para botadero de estériles**

Los botaderos de estériles tienen su principal problemática en el diseño inicial. Debe evitar un impacto visual, ya sea por localización o por integración paisajística. Los criterios de localización serán los que eviten que el depósito sea visto desde las zonas pobladas o de tránsito, y solo será posible si la zona tiene una cierta orografía. Los de integración paisajística a menudo requieren también topografía abrupta, puesto que en zonas llanas pretender la integración supone aplanar mucho el depósito, afectando a una extensión mucho mayor (ITGE, 1987). Desde un punto de vista ambiental, el botadero debe cumplir lo siguiente:

- Estar integrada en lo posible con el paisaje
- Evitar el esparcimiento de sus estériles y lixiviados.

Algunos métodos para la rehabilitación de depósitos de estéril son los siguientes:

- Ocultación del botadero: consiste en evitar la visión desde los puntos más significativos como poblaciones o carreteras. Para ellos puede aprovecharse la naturaleza del terreno o pueden construirse pantallas como de vegetación o materiales de acopio como se puede ver en la figura 2.5.

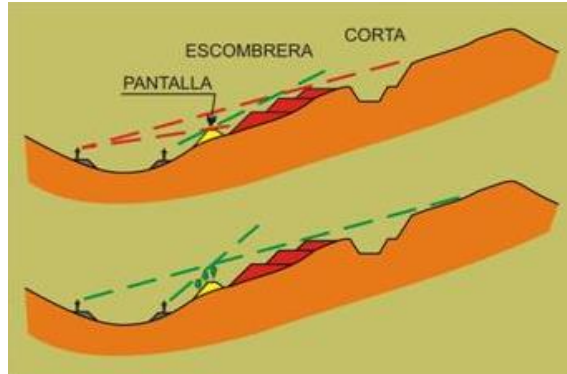


Figura 2.5: Ocultación de botaderos (ITGE, 1987)

- Reducción de altura: es uno de los métodos más frecuentes siendo uno de los que genera mayor impacto. Eso implica un aumento de la superficie del botadero, por lo que la remodelación debe realizarse retirando tierra del área a afectar siendo extendida al finalizar el proceso como se visualiza en la figura 2.6.

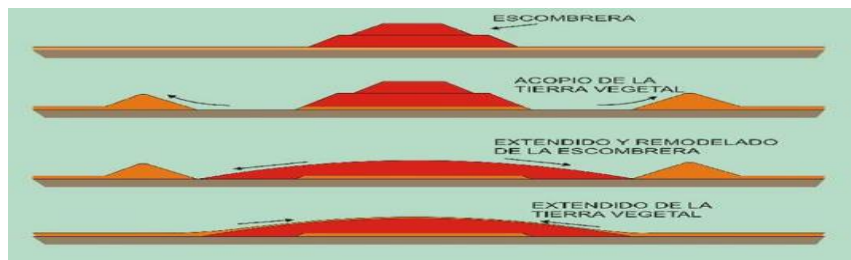


Figura 2.6: Remodelado de botadero mediante su extensión (ITGE, 1987)

- Reutilización y reaprovechamiento de estériles: los estériles procedentes de las explotaciones mineras plantean diversos problemas, tanto en lo relativo a su almacenamiento y mantenimiento, como a los impactos potenciales que producen sobre el medio ambiente. Por ello, existe una tendencia lógica hacia el aprovechamiento de los materiales, al objeto de lograr un uso más racional de los recursos naturales y minimizar los problemas que puedan ocasionar. El primer uso que puede tener un estéril es el de material de relleno de los espacios creados en las minas. En las explotaciones a cielo abierto se pueden rellenar total o parcialmente, alcanzando topografías poco discordantes con las originales. En minas subterráneas, el relleno de



los túneles y caserones se pueden utilizar como sistema de sostenimiento facilitando la extracción del mineral y minimizando los efectos de los hundimientos en la superficie (ITGE,1989).

La restauración y remediación suele ser la posibilidad de que los estériles tengan alguna utilidad. Algunas aplicaciones posibles para estos estériles serían:

- Áridos: los materiales provenientes de los áridos son adecuados para los diversos fines a que se destinan estos materiales: base y sub-base de carreteras, morteros, hormigones firmes de carretera (Strohmayer, 1999).
  - Materiales cerámicos: Los recubrimientos arcillosos pueden tener aplicación en la industria cerámica, en función de su composición correcta.
  - Aprovechamiento energético: Los estériles que poseen carbón en su composición, tienen un poder calorífico superior que va desde los 1.700 kJ/kg hasta los 8.000 kJ/kg.
  - Agricultura. Otra de las posibilidades de aprovechamiento de los estériles de carbón es su uso como fertilizante o acondicionador de suelos destinados a la agricultura.
- Reutilización de suelos para labores de restauración y remediación: Los suelos acumulados sufrirán una cierta degradación con el tiempo, por ejemplo, apelmazamiento, aumento de la densidad, decrecimiento de la capacidad de acumular agua y cambios químicos. No obstante, estos suelos son la mejor opción para reestablecer el ecosistema vegetal y microbiano existente antes de la actividad minera.

Para la elaboración de un plan minero de recuperación de un botadero de estériles se requiere tener una caracterización clara del botadero requiriendo información como:

- Antecedentes disponibles del área del proyecto.
- Composición geológica y mineral de la zona.
- Indicar antecedentes disponibles sobre estimación de cantidad total y ley media del mineral que se extraerá.

- Indicar la cantidad de trabajadores del proyecto, tanto de operación como de servicios, así como el régimen de trabajo que se tendrá en la faena para cumplir con el plan de producción.

## **2.4 Economía circular**

El mundo ya comenzó la transición hacia una economía circular, principalmente la comunidad europea a través de un paquete de economía circular que considera una inversión al 2030 de 6.000 millones de euros y que busca crear tres millones de empleos, reducir emisiones de gases efecto invernadero en 3% y aumentar el PIB en 1%. De manera individual, países como Suecia, Dinamarca, Finlandia, China, Japón, Austria, Alemania, Inglaterra, Escocia, Holanda y Canadá, también están desarrollando sus propias políticas circulares (McArthur, 2015).

La economía circular nace como una alternativa al sistema lineal de producción. Se plantea como la clave para dilucidar formas de atacar los problemas de una manera económicamente viable y, además, establecer nuevas dinámicas sociales y técnicas que conducirán a una producción y consumo responsables. Principalmente se trata de un sistema que conserva y optimiza el uso de los recursos utilizados en cada proceso y cada etapa de vida del material (Sorting, 2020).

Uno de los motivos para avanzar hacia una economía circular es el aumento de la demanda de materias primas y la escasez de recursos. Varias materias primas de gran importancia tienen duración definida y, como la población mundial crece, aumenta la demanda de estas como los combustibles fósiles. El impacto en el clima es otro de los factores. La extracción y el uso de materias primas tienen importantes consecuencias medioambientales, aumenta el consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>, mientras que un uso más inteligente de las materias primas puede reducir las emisiones contaminantes. (Sorting, 2020).

A diferencia de otros modelos económicos donde prima el aspecto económico por encima del social o medioambiental, la economía circular supone una sustancial mejora común,

tanto para las empresas como para para los consumidores. Las empresas que han puesto en práctica este sistema están comprobando que reutilizar los recursos resulta mucho más rentable que crearlos desde cero. Como consecuencia, los precios de producción se reducen, de manera que el precio de venta también se ve rebajado, beneficiando así al consumidor; no sólo en lo económico, sino también en la vertiente social y medioambiental.

#### **2.4.1 Principios de la economía circular**

Además de responder a unas necesidades tan evidentes en el mundo de hoy , la economía circular también ofrece soluciones a la búsqueda de una mayor competitividad de las empresas, y al desarrollo de modelos de negocio o marcas que tengan en cuenta su impacto económico, social y medioambiental. Según McArthur (2015) la economía circular cuenta con tres principios, los cuales son:

- 1) Preservar y mejorar el capital natural: consiste en la búsqueda de una utilización de los flujos de recursos naturales y renovables cada vez más eficiente. Cuando aportar recursos naturales sea necesario, se deben seleccionar aquellos que empleen recursos renovables o que utilicen menores cantidades de productos naturales. Una economía circular mejora el capital natural creando condiciones que, por ejemplo, permitan la regeneración del suelo.
- 2) Optimizar el uso de los recursos: se basa en buscar una mayor rotación de los productos y sus componentes, logrando un mayor ciclo de utilización, y por lo tanto, un mayor ciclo de vida. Para ello es fundamental el ecodiseño, de tal manera que el producto se pueda crear, reparar y/o reciclar de una manera eficiente.
- 3) Fomentar la eficacia del sistema: se alcanza reduciendo las externalidades de los procesos de utilización de recursos naturales y buscando sinergias entre los diferentes agentes que intervienen en este proceso.

### **2.4.2 Economía circular aplicada a la minería**

La economía circular aplicada a la minería consistiría en establecer estrategias de cómo reducir la generación de residuos en cada una de las etapas del proceso productivo en base a un análisis de este proceso para identificar oportunidades sostenibles en un marco de colaboración de los actores involucrados (Amelia, 2020) En el contexto de la economía circular, las empresas mineras deberán desarrollar sus procesos extractivos no sólo precautelando los efectos de impacto negativo al medio ambiente que generan cada una de las operaciones unitarias del proceso extractivo; sino que también, creando soluciones innovadoras que permitan disminuir los consumos de agua y energía; pero además, tratando que los residuos generados sean reutilizados en el cierre de la operación minera; permitiendo así, un claro beneficio económico, social y ambiental para la industria minera.

### **2.5 Criterios de sustentabilidad en minería**

Los criterios e indicadores deben ser considerados como una herramienta valiosa al ser utilizados en la planeación, evaluación, manejo, inventario, monitoreo y comunicación. Para Montero (2005) un indicador de sustentabilidad es la estadística o parámetro que proporciona información y tendencias de las condiciones de desarrollo de las diferentes actividades económicas y su influencia en el medio ambiente y en el desarrollo de acciones para el mantenimiento de las condiciones ambientales, sociales y tecnológicas. ¿Cuáles serían los indicadores de sustentabilidad en la actual configuración de la minería extractiva?.

Según Valencia (2005), los complejos acuerdo políticos y económicos institucionales por parte de analistas, son necesarios para centralizar tres aspectos fundamentales, los cuales son:

- Componentes técnicos propios de la industria minera.
- El desarrollo económico social en asentamientos mineros, como parte de una política de mayor amplitud de la seguridad y las soluciones sociales de largo aliento.
- Establecer políticas e iniciativas que garanticen el cuidado del medio ambiente.

### **2.5.1 Identificación de criterios de sustentabilidad**

Los criterios de sustentabilidad comprenden una serie de variables que pueden presentar las edificaciones e infraestructuras para una construcción sustentable de la sociedad. Según Valencia (2005), el esquema propuesto para la formulación de indicadores de sustentabilidad aplicables a la industria minera incluye lo técnico, económico y ambiental, vistos los mismos como un sistema en el cual dichos componentes son interdependientes. El efecto positivo o negativo que cada uno de ellos ejerza, puede producir un efecto equivalente sobre el sistema general. Así, no basta con determinar el impacto de esta industria únicamente desde el punto de vista técnico y económico, sin considerar la afectación de ella sobre el medio ambiente, porque si la evaluación ambiental resulta negativa, la ejecución de la actividad puede resultar inviable de ejecutar. De no tenerse en cuenta la integralidad de los componentes del sistema, se producirá un sesgo en la decisión de emprender un proyecto minero o determinará la entrega de resultados negativos en el momento de controlarlo y/o si el proyecto se encuentra en operación. Desde el momento mismo de planear la ejecución de un proyecto minero, debe concebirse el enfoque sistémico para la elaboración de los indicadores de sustentabilidad.

El modelo propuesto por Valencia (2005) se presenta en la figura 2.7 y consiste en una simple propuesta que debe ser detenidamente revisada y analizada, para poder ponerla en conocimiento de la autoridad minera y ambiental competente.

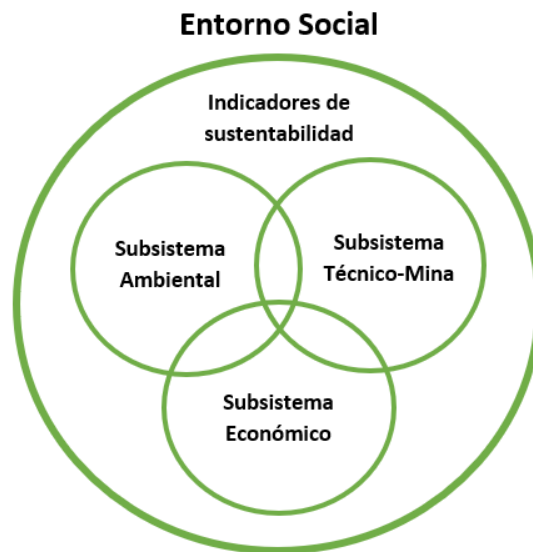


Figura 2.7: Modelo del sistema de indicadores de sustentabilidad  
(Valencia, 2005)

- Subsistema Ambiental: el indicador de gestión ambiental permite integrar el nivel de desempeño de la empresa en base a tres aspectos para determinar la respuesta de las organizaciones o entidades ante sus responsabilidades ambientales, los cuales son:
  - El grado de desarrollo y cumplimiento del plan de manejo ambiental.
  - El estado de legalidad ambiental de las actividades de la empresa, en términos de la obtención de los permisos y las autorizaciones requeridas para el desarrollo del proyecto.
  - El nivel de control de los impactos ambientales derivados de sus actividades.
  
- Subsistema Técnico: los indicadores técnicos de la explotación minera se clasifican en dos grupos: de producción y rendimiento y de consumos unitarios.  
En el caso de los indicadores de producción y rendimiento de una explotación minera, se tiene:
  - Capacidad de producción mina (t/d).
  - Capacidad de producción planta (t/d).

- Personal Empleado (H).
- Rendimiento personal en mina (t/HT).
- Rendimiento personal en planta de beneficio (t/HT).
- Rendimiento de personal en perforación (m/HT).
- Metros de perforación requeridos (m/t).
- Rendimiento de avance de galerías (m/HT).
- Disponibilidad de la planta (%).

En el caso de los indicadores de consumos unitarios para una explotación minera se tiene, los siguientes:

- Consumo unitario de energía eléctrica en mina (kWh/t).
- Consumo unitario de energía eléctrica en planta de beneficio (kWh/t).
- Consumo de energía eléctrica en servicios auxiliares (kWh/t).
- Consumo de aire comprimido (m<sup>3</sup>/t).
- Consumo de explosivos (kg/t).
- Consumo de acero en planta de beneficio (kg/t).
- Consumo de barras de perforación (piezas/1000m).
- Consumo de combustible en generación de energía (g/kWh).

Estos indicadores pueden cambiar según el tipo de proyecto que se esté realizando

- Subsistema Económico: Se clasifican los indicadores de costos en dos categorías: clases de costos y centros de costos.

En la tabla 2.1 se presenta un resumen de los indicadores de costos de acuerdo con esta clasificación.

Tabla 2.1: Indicadores de costos (Valencia, 2005)

Centro de costos	Clases de costos
Exploración, desarrollo y preparación	Mano de obra
Explotación	Materiales e insumos
Transporte mina a planta	Energía eléctrica
Transporte planta a centro de consumo	Capital
Costos generales en mina	Impuestos
Costos generales en planta	Otros
Cosos de venta	Relación mano de obra/insumos/capital
Costos de administración	Relación mano de obra/insumos
Costos de regalías e impuestos	Costo básico por tarea trabajada
Costos de capital	Cargas sociales por tarea trabajada

### 2.5.2 Construcción de criterios de sustentabilidad

González & Carvajal (2007) pretendieron ir más allá y propusieron indicadores cualitativos de sustentabilidad, simples de evaluar, pero definitorios del estado de sustentabilidad de la industria extractiva y con validez universal para cualquiera que sea el proyecto que este en evaluación. La metodología desarrollada se basa en la realización de una prueba de sustentabilidad a la empresa minera objetivo. El soporte de la prueba son indicadores de sustentabilidad, cada uno de los cuales se evalúa con respuestas, sí o no, a una serie de preguntas que tratan sobre acciones claves por parte de la empresa minera. A partir de dicha prueba se define la ecuación 2.1 de índice de sustentabilidad global (ISG):

$$ISG(\%) = \frac{(IGM+CE+IC+D)*100}{Total Acciones} \quad (2.1)$$

- Indicador geológico minero (IGM): este indicador expone de forma breve y concisa las principales características geológicas del yacimiento, constituyendo un marco referencial para la proyección de la explotación de este. El indicador ofrece asimismo varios criterios que permiten la cuantificación o cualificación de las condiciones geológicas y parámetros de las labores mineras que influyen en la eficiencia y eficacia de la explotación minera.



- Indicador de crecimiento económico (CE): los indicadores de crecimiento en este caso ofrecen los costos en toneladas o en metros cúbicos realizados durante las distintas actividades de la mina, incluyendo la fuerza de trabajo, mantenimiento, combustibles, la ganancia de la empresa, entre otros. Este indicador debe medir, incluso, el aporte económico de la empresa al PIB y a la comunidad en la cual se encuentra enclavado el yacimiento.
- Indicador de compensación (IC): los indicadores de compensación se tienen en cuenta en el sentido de compensar el impacto ambiental, patrimonial y cultural causado por la actividad minera y las vías de solución para mitigar estos impactos negativos en el medio, así como en la creación de actividades alternativas que sustentarán las comunidades después de que se agoten los recursos minerales.
- Indicador de desarrollo (D): el indicador de desarrollo se utilizará para medir el grado de mejoramiento del bienestar social de los trabajadores de las empresas mineras y de la población que vive en las zonas de desarrollo minero, así como el grado de la relación existente entre el gobierno, la comunidad y las empresas, incluyendo la participación de las instituciones científicas en el desarrollo comunitario.

Cada componente del ISG se puede calcular por separado e integrarlos a la ecuación global cuando se tengan sus resultados. Asimismo, cada acción que se describe en los indicadores depende del trabajo en cuestión de la empresa que lo realice, es así que las acciones requeridas por las empresas mineras van a variar unas de otras.

Si el ISG > 50%, la actividad extractiva se encontraría en el campo de la sustentabilidad cuanto más se aproximará a 100. Si el ISG < 50% la actividad extractiva entraría en el campo de la no sustentabilidad y por tanto la empresa minera debería de revisar a fondo todas las acciones que lleva a cabo. En la tabla 2.2 se muestran los indicadores de sustentabilidad propuestos por el autor.

Tabla 2.2: Disposición de indicadores y acciones para la prueba de sustentabilidad (González & Carvajal, 2007)

Nombre del indicador	Tipo de acción	Cumple la acción	
		SI	NO
Indicador geológico minero (IGM)	¿Se conoce el modelo genético del yacimiento?		
	¿Existe una planificación del uso y gestión de las reservas?		
	¿Existe una caracterización geomecánica de la explotación y su entorno?		
	¿Existe un sistema de gestión integral del agua?		
	¿Existe un programa de prevención de riesgos laborales?		
	¿Existe un plan de ordenación del territorio minero?		
	¿Esta optimizado el método de explotación?		
	¿Se ha obtenido alguna certificación de gestión de calidad? (ISO 9000)		
	¿Existe plan de cierre de la actividad minera?		
	¿Existe plan de eficiencia energética?		
Indicador de crecimiento económico (CE)	¿Existe programa de seguimiento y control de emisiones?		
	¿Se ha obtenido alguna certificación de gestión ambiental? (ISO 14000)		
	¿Se cumple el plan de restauración minera?		
	¿Ha tenido la empresa minera alguna auditoría ambiental?		
	¿Se sigue algún programa de minimización? (vertido cero)		
	¿Existe un plan de minimización de daños ambientales?		
Indicador de compensación (IC)	¿Se conoce el grado de cumplimiento de la normativa y legislación ambiental?		
	¿Se cumplen los requisitos administrativos, fiscales y laborales?		
	¿Ha previsto la empresa algún fondo de garantía de sus actividades?		

Nombre del indicador	Tipo de acción	Cumple la acción	
		SI	NO
Indicador de desarrollo (D)	¿Hay transparencia informativa por parte de la empresa minera?		
	¿Existe compromiso y responsabilidad social de la empresa con sus empleados?		
	¿Se han comprendido actuaciones de protección y valorización del patrimonio?		
	¿Existen programas de formación continua y capacitación para el empleo?		
	¿Existen mecanismos de participación ciudadana en las decisiones de empresa?		
	¿Existe un estudio de demanda social del producto minero?		
	¿Existe un estudio sobre repercusiones de la actividad minera en la población?		
<b>Sumatoria</b>			

El sistema de indicadores propuesto permite medir el grado de desarrollo sustentable en el sector minero, teniendo en cuenta el estado técnico y organizativo de la minera y las dimensiones ambiental, económica y social. Estos indicadores permiten medir la sustentabilidad de las empresas mineras.

## 2.6 Valorización económica de un botadero de estériles

En general, un botadero de estériles se puede valorizar dentro de un mismo proyecto minero. La mejor manera de valorar un activo minero en una compañía es construir un modelo de Flujo de Fondos Descontados (DCF por sus siglas en inglés) que tome en cuenta un plan minero producido en un informe técnico (estudio de factibilidad) (Gerens, 2018). Para efecto de este informe se va a utilizar el análisis con un flujo de caja con su correspondiente VAN para saber si este proyecto será o no rentable de hacer, además de otras variables de valorización económica.

### 2.6.1 Flujo de caja

El Flujo de caja es la cantidad de dinero líquido que tiene una compañía. Este concepto se usa en el área financiera para medir la capacidad monetaria y de pago de una empresa. Los flujos líquidos de dinero aportan información crucial del estado financiero de una entidad y permiten tener un balance de entradas y gastos, a lo que se le conoce como flujo de caja neto. Dicho flujo de caja se mide en periodos determinados según la necesidad de la empresa (Sapag, 2007). En la ecuación 2.2 se indica como se calcula:

$$\text{Flujo de caja neto} = \text{Ingresos} - \text{Egresos} \quad (2.2)$$

Además de brindar la información aproximada de la rentabilidad de una institución, es una herramienta de uso sencillo que permite identificar fraudes y/o desfalcos de caja, ya que permite tener un acceso inmediato a los ítems que representan tanto ingresos como egresos, también da la posibilidad de medir el valor de proyectos de inversión calculando el flujo líquido de caja neto y el valor interno de retorno. Existe una variabilidad de flujos líquidos que pueden considerarse o dividirse en:

- Flujos de caja de operaciones: el cual está vinculado al movimiento de efectivo relacionado a los ingresos o egresos de las actividades económicas de la compañía.
- Flujos de caja de inversión: el cual se limita a las inversiones, como maquinaria y/o elementos de uso productivo.
- Flujo de caja financiero: son los movimientos de dinero producto de inversiones financieras tales como pagos de créditos y/o reembolso de acciones.

Los anteriores flujos permiten un espectro de herramientas útiles a la hora de clarificar y ordenar la liquidez de una compañía con el fin de obtener un uso eficiente del dinero. Estos están basados en la medición del volumen de dinero, la rentabilidad, la capacidad de producir valores líquidos capitalizables y los estimados de flujos líquidos de dinero a futuro. La evaluación de un proyecto compara, mediante distintos instrumentos, si el flujo de caja proyectado permite al inversionista obtener la rentabilidad deseada, además de recuperar la inversión.

## 2.6.2 Instrumentos para la evaluación de proyectos

### 2.6.2.1 Valor actual neto (VAN)

El VAN es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión. También se conoce como valor neto actual (VNA), valor actualizado neto o valor presente neto (VPN) (Sapag, 2007). Para ello trae todos los flujos de caja al momento presente descontándolos a un tipo de interés determinado. El VAN va a expresar una medida de rentabilidad del proyecto en términos absolutos netos, es decir, en número de unidades monetarias. En la ecuación 2.3 se aprecia la fórmula del VAN

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \quad (2.3)$$

Donde:

- $F_t$ : Flujos de dinero en cada periodo  $t$
- $I_0$ : Inversión realizada en el momento inicial ( $t = 0$ )
- $n$ : es el número de periodos de tiempo
- $K$ : es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión

El VAN sirve para generar dos tipos de decisiones: en primer lugar, ver si las inversiones son efectuales y, en segundo lugar, ver qué inversión es mejor que otra en términos absolutos. Los criterios de decisión van a ser los siguientes:

- $VAN > 0$ : El valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generará beneficios.
- $VAN = 0$ : El proyecto de inversión no generará ni beneficios ni pérdidas, siendo su realización, en principio, indiferente.
- $VAN < 0$ : El proyecto de inversión generará pérdidas, por lo que deberá ser rechazado.

### 2.5.2.2 Tasa interna de retorno (TIR)

La TIR es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. La TIR muestra una medida relativa de la rentabilidad, es decir, va a venir expresada en tanto por ciento. El principal problema radica en su cálculo, ya que el número de periodos dará el orden de la ecuación a resolver. Para resolver este problema se puede acudir a diversas aproximaciones, utilizar una calculadora financiera o un programa informático (Sapag, 2007). En la ecuación 2.4 se aprecia la fórmula de la TIR:

$$TIR = \sum_{t=0}^n \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad (2.4)$$

En donde:

- $F_n$ : Flujos de dinero en cada periodo t.
- i: Inversión realizada en el momento inicial (t = 0).
- n: Es el número de periodos de tiempo.

El criterio de selección será donde k es la tasa de descuento de flujos elegida para el cálculo del VAN:

- Si  $TIR > k$ : El proyecto de inversión será aceptado. En este caso, la tasa de rendimiento interno es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.
- Si  $TIR = k$ : Situación similar a la que se producía cuando el VAN es igual a cero. En esta situación, la inversión podrá llevarse a cabo si mejora la posición competitiva de la empresa y no hay alternativas más favorables.
- Si  $TIR < k$ : El proyecto debe rechazarse. No se alcanza la rentabilidad mínima de inversión.

# METODOLOGÍA

## 3.1 Antecedentes generales y recopilación de información del área de estudio

### 3.1.1 Localización

El proyecto minero Spence de la empresa BHP Pampa Norte se ubica sobre 1.750 m.s.n.m. en la comuna de Sierra Gorda en la Provincia de Antofagasta, Región de Antofagasta a aproximadamente 50 km al suroeste de Calama, 150 km al noreste de Antofagasta y a 5 km de Sierra Gorda y está en operación desde el 2006. El acceso principal al Proyecto se realiza a través de la ruta 25, a la altura del kilómetro 50, ubicado al Noreste de la localidad de Sierra Gorda. La inversión total de proyecto es de US\$ 3.100 millones (Arcadis, 2015). En la figura 3.1 se puede ver la localización del proyecto.

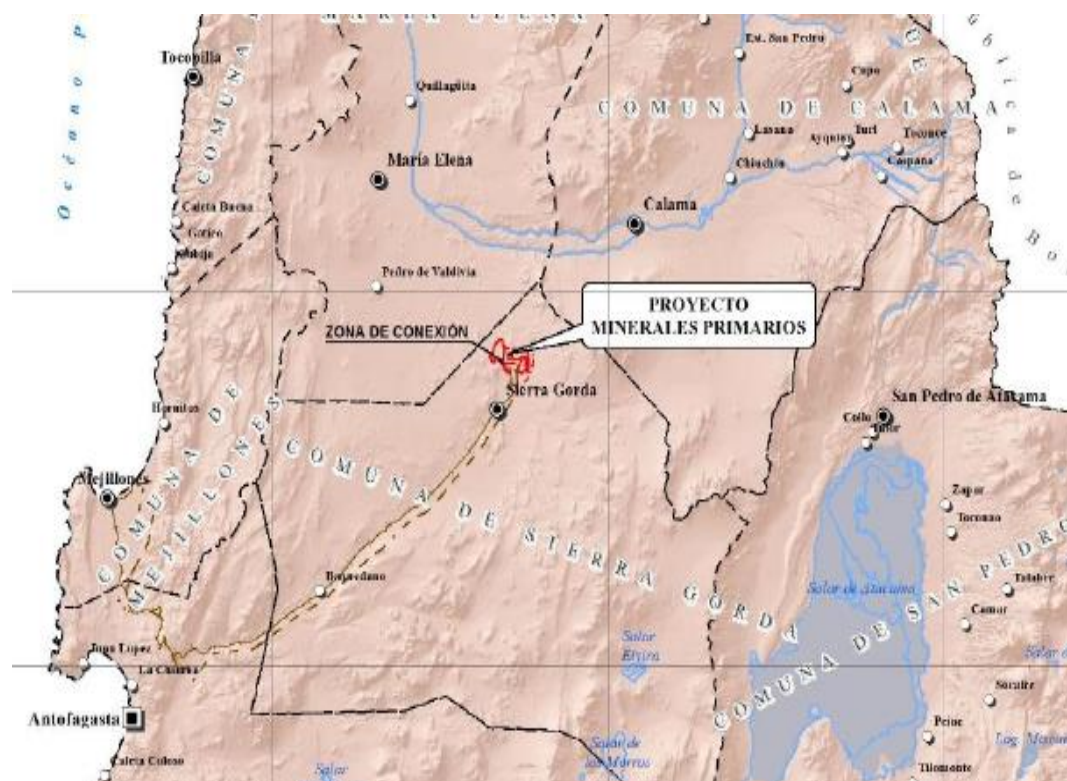


Figura 3.1: Ubicación faena minera Spence (Arcadis, 2015)

### **3.1.2 Recopilación de información y descripción del proyecto**

La explotación de mina Spence consta de dos proyectos de explotación hoy en día. El primero corresponde al original presentado en el año 2002 por Riochilex S.A, una compañía perteneciente a BHP Billiton y el segundo presentado por BHP Billiton en el año 2015, que busca la prolongación de la vida útil del yacimiento.

#### *3.1.2.1 Proyecto Original*

El proyecto es presentado en el año 2002 e inicia su explotación en el año 2005, con una vida útil estimada de 17 años. El proyecto es desarrollado por Compañía Minera Riochilex S.A. (CMR), una compañía chilena perteneciente a la compañía internacional BHP-Billiton y el nombre Spence es un homenaje a Colin Spence, un geólogo de la compañía quien falleció mientras trabajaba en Las Filipinas (Riochilex S.A, 2002).

Los aspectos principales de las instalaciones explotación del mineral incluyen una mina a rajo abierto, dos áreas de almacenamiento de estéril, un área de lixiviación en pilas, dos áreas para depósitos de ripios, una planta de procesamiento de minerales, piscinas de almacenamiento de soluciones y agua, una piscina de evaporación, edificios administrativos y campamentos. El desarrollo del proyecto contempla la explotación de una mina de cobre, usando el sistema a rajo abierto, chancado, transporte mediante correas, lixiviación en pilas, extracción por solventes y electro-obtención para producir cátodos de cobre de alta calidad, destinados a la exportación. El proyecto estima una explotación diaria de 50.000 a 60.000 toneladas, llegando a una explotación anual superior a 200.000 toneladas de cátodos de cobre requiriendo una inversión aproximada de 800 millones de dólares (Riochilex S.A, 2002). La mina utilizará los medios de transporte y las instalaciones portuarias disponibles en la región y además contempla la relocalización de la ruta 25 Ch, la cual se encontraba ubicada sobre el lugar donde se proyecta la construcción del rajo. En la figura 3.2 se puede ver la relocalización de la ruta CH-25.



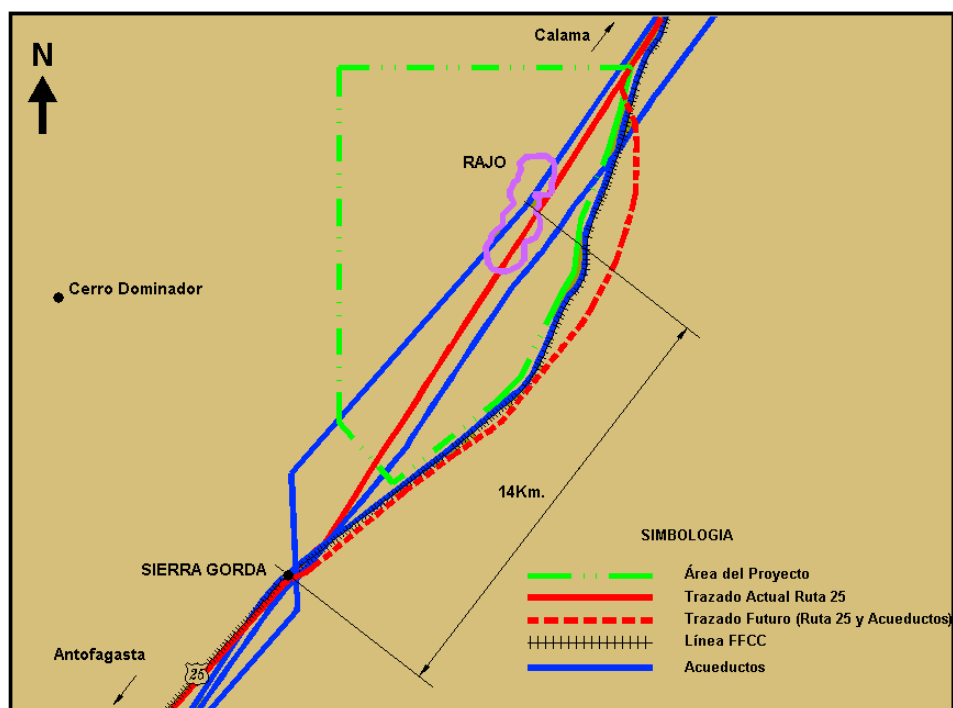


Figura 3.2: Relocalización Ruta 25  
(Riochilex S.A, 2002)

### 3.1.2.2 Proyecto de expansión minerales primarios

Este proyecto inicia su ejecución en el año 2015 a cargo BHP Billiton, siendo diseñado por Arcadis, y contempla la construcción de una planta concentradora y una planta desalinizadora de agua teniendo el potencial de extender la vida útil de Minera Spence en 50 años. La inversión total del proyecto fue de US\$ 3.100 millones y el inicio de la construcción del proyecto se inició en diciembre del 2017 (Arcadis, 2015).

El Proyecto considera la construcción y operación de las siguientes obras e infraestructura:

- Chancador primario.
- Correa de transporte de mineral grueso.
- Acopio cubierto para mineral grueso.
- Planta concentradora de cobre y molibdeno.
- Concentraducto.

- Planta de filtros.
- Depósito de relaves mediante el método de crecimiento del muro aguas abajo con arena ciclonada.
- Acopio de concentrado de cobre.
- Líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica con sus subestaciones eléctricas asociadas.
- Transporte de concentrados mediante camiones y/o ferrocarril hacia Mejillones para su embarque.
- Infraestructura para el manejo de residuos.
- Estanque de almacenamiento de agua desalinizada.

La extracción en mina continuará siendo mediante el método convencional a cielo abierto. Se contempla una tasa de extracción de material del orden de 455.000 t/día, dentro de las cuales aproximadamente 95.000 toneladas corresponderán a mineral hipógeno y 360.000 toneladas a material estéril, el que será transportado mediante camiones y dispuesto en el botadero de estériles. Para el procesamiento del mineral, el Proyecto contempla la operación de una planta concentradora de cobre y de molibdeno, la que se emplazará aproximadamente a 5 km al Oeste del rajo. Esta planta tendrá una capacidad de diseño para producir aproximadamente 2.500 t/día de concentrado de cobre y alrededor de 21 t/día de concentrado de molibdeno. En la planta concentradora se llevarán a cabo los procesos de molienda de mineral, flotación colectiva del concentrado, remolienda, espesamiento y almacenamiento de concentrados, flotación selectiva de molibdeno y espesamiento de concentrado de cobre. El concentrado será conducido a la planta de filtros a través del concentraducto, mientras que los relaves serán clasificados y conducidos al depósito de relaves. El transporte de concentrado de cobre se realizará por medio de camiones y/o ferrocarril, a través de rutas existentes (camino enrolado y/o trazado férreo de Ferrocarril de Antofagasta (FCAB)), hasta las garitas del Complejo Portuario Mejillones (Arcadis, 2015).

### **3.1.3 Caracterización del yacimiento**

El yacimiento Spence corresponde a un sistema mineralizado del tipo pórfido cuprífero de la edad del Paleoceno (57 Ma). Presenta un perfil de mineralización típico de depósitos porfídicos: bajo una zona de mineralización oxidada de Cu, presenta un horizonte de enriquecimiento secundario de calcosina y covelina con una ley promedio 1% Cu, el cual se ha generado a partir de la exhumación de mineralización hipógena, principalmente calcopirita. Se han reconocido una serie de fases porfídicas responsables de la mineralización del sistema (pórfidos cuarzo-feldespáticos) que intruyen a una secuencia sedimentaria de la edad Jurásica (Moreno et al, 2012).

## **3.2 Construcción de criterios de sustentabilidad Mina Spence**

En esta sección se aborda la metodología de Carvajal y González (2007) y Valencia (2005) para construir y determinar los índices de sustentabilidad de minera Spence, por medio de un cuestionario que aborda los subsistemas indicados por los autores. Este cuestionario fue elaborado por el alumno memorista y con la ayuda de su profesor guía siguiendo la metodología de los autores citados.

### **3.2.1 Encuesta de criterios de sustentabilidad**

Los criterios de sustentabilidad de minera Spence apuntan al desarrollo en la Región de Antofagasta como un instrumento de planificación para el territorio regional, que provee un marco orientador para la gestión en orden a avanzar hacia el desarrollo de la región. Se señala que esta estrategia permitirá fortalecer un desarrollo sustentable, velando por los beneficios del crecimiento económico que la región experimenta lleguen a todos sus habitantes. Asimismo, se indica que su construcción obedece al compromiso del Gobierno Regional de profundizar los avances logrados, incorporando una perspectiva de largo plazo que sirva para la asignación eficiente de inversiones y recursos públicos, para definir políticas, planes y programas que aporten al desarrollo regional (Arcadis, 2015).

La construcción de los criterios permite obtener un subíndice de sustentabilidad para cada indicador y un índice de sustentabilidad global (ISG) en base a todos los indicadores. Si el

ISG>50% la minera se encontraría en el campo de la sustentabilidad y sería tanto más sustentable cuanto más se aproxime a 100 %. Por el contrario, si el ISG<50% la actividad extractiva entraría en el campo de la no sustentabilidad y, por tanto, la minera debería de revisar a fondo las acciones que lleva a cabo. Se proponen cuatro indicadores de sustentabilidad, en base a lo propuesto por Valencia (2005):

- 1) Indicador geológico minero.
- 2) Indicador de crecimiento económico.
- 3) Indicador de compensación.
- 4) Indicador de desarrollo.

Los índices de sustentabilidad pueden ser evaluados de acuerdo con la ecuación propuesta por Carvajal y González (2005). Este cuestionario en que cada uno de los indicadores de sustentabilidad se evalúan con respuestas sí o no a una serie de preguntas sencillas que responden a acciones claves por parte de la empresa minera.

1) Indicador geológico minero (ICM): en la tabla 3.1 se puede ver las preguntas que componen este indicador

Tabla 3.1: Indicador geológico minero (Elaboración propia)

Indicador	Preguntas	Cumple la acción	
		Sí	No
GC	¿Se ha obtenido alguna certificación de gestión de calidad?		
ESE	¿Los elementos del sistema de explotación obedecen los factores a tener en cuenta en su proyección?		
GR	¿Se tiene planificación del uso y gestión de las reservas de mineral?		
ME	¿Esta optimizado el metodo de explotación?		
AM	¿Se cumple con algunas medidas de protección de las áreas minadas y su configuración final?		
CV	¿Se ha determinado la capacidad anual de producción y vida útil del proyecto?		

## Criterios del indicador

- GC: Se refiere a que si dentro del proyecto se cuenta con normas internacionales que garantizan su calidad.
- ESE: El sistema de explotación de la mina establece el cumplimiento del dimensionamiento idóneo de este proceso.
- GR: Se refiere a un plan que permita continuar con el proyecto sin extracción.
- ME: El método de explotación se encuentra optimizado para el máximo rendimiento.
- AM: Topografía final estructuralmente estable con mínimo riesgos de deslizamiento o colapso de los taludes y garantía del drenaje natural de las aguas superficiales.
- CV: Apunta a anticipar cuanto material se puede extraer durante un año y por cuanto años se podrá realizar.

2) Indicador de crecimiento económico (CE): en la tabla 3.2 se puede ver las preguntas que componen este indicador.

Tabla 3.2: Indicador de crecimiento económico (Elaboración propia)

Indicador	Preguntas	Cumple la acción	
		Sí	No
CO	¿Se conoce el costo de operación por actividad?		
NT	¿Se invierte en nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia del proyecto?		
AA	¿Existen proyectos para la ejecución de actividades alternativas que ofrezca la empresa?		
CP	¿Se conoce el costo de producción de la materia prima?		
M	¿La tendencia en la demanda anual es favorable?		
AF	¿El aporte fiscal de la empresa es aceptable?		

## Criterios del indicador

- CO: La cantidad invertida en \$US por las distintas operaciones del proyecto.
- NT: Utilización de tecnologías nuevas o adecuadas a las condiciones de las canteras para minimizar los impactos ambientales negativos.

- AA: Se refiere a actividades alternativas en la región que ofrezca la empresa con beneficio económico.
- CP: El costo de la producción establece la relación entre el costo total de la empresa y el total de mineral producido.
- M: La tendencia del mercado establece la cantidad de toneladas en metros cúbicos vendidos en un periodo determinado de tiempo comparativamente al periodo anterior.
- AF: El aporte fiscal de la empresa establece el cumplimiento de todos los compromisos fiscales de la empresa hacia el estado para el incremento de PIB.

3) Indicador de compensación (IC): en la tabla 3.3 se puede ver las preguntas que componen este indicador.

Tabla 3.3: Indicador de compensación (Elaboración propia)

Indicador	Preguntas	Cumple la acción	
		Sí	No
CF	¿Cuenta con plan de cierre de faenas?		
EIA	¿Se ha realizado estudios de impacto ambiental?		
CV	¿Cuenta con compromisos voluntarios?		
PPC	¿Se tiene elaborado un plan de prevención de contingencias?		
ER	¿Existe un plan de reducción de emisiones y reutilización y reciclado de residuos sólidos?		

#### Criterios del indicador

- CF: La elaboración de plan de cierre de faena establece un conjunto de medidas llevadas a cabo durante y/o finalizada la actividad minera, con el objetivo de evitar en un largo plazo un grado de impacto ambiental significativo.
- EIA: La evaluación de impacto ambiental establece la identificación, pronóstico y prevención de las alteraciones producidas por las actividades extractivas, desde la investigación y explotación minera hasta el procesamiento de las sustancias a beneficiar.
- CV: Se refiere si en alguna etapa del proyecto asume compromisos voluntarios que no sean obligados por leyes.

- PPC: Como medidas precautorias, a modo de evitar o disminuir la probabilidad de manifestación de las potenciales contingencias identificadas en el EIA.
- ER: Los planes de medidas para los impactos significativos negativos y los no significativos del proyecto.

4) Indicador de desarrollo (D): en la tabla 3.4 se puede ver las preguntas que componen este indicador.

Tabla 3.4: Indicador de desarrollo (Elaboración propia)

Indicador	Preguntas	Cumple la acción	
		Sí	No
RP	¿Existe un estudio sobre repercusiones de la actividad minera en la población?		
SS	¿El porcentaje de las inversiones que se realiza para la prevención y salud de los empleados es favorable?		
I+D	¿Existen profesionales de la empresa que se dedican a la actividad I+D?		
ES	¿Existen infraestructuras con fines sociales construidas por la empresa?		
CM	¿Las comunidades han tenido participación en la toma de decisiones de la empresa?		

#### Criterios del indicador

- RP: La repercusión de la actividad minera provocaría un daño a las comunidades cercanas al proyecto.
- SS: La tasa de gastos por servicio de salud establece el porcentaje de las inversiones que se realiza para la prevención de la salud de los empleados.
- I+D: La tasa de investigación y desarrollo en el sector establece la cantidad de profesionales dedicados a la actividad I+D.
- ES: La empresa contempló la construcción de estructuras que vayan en beneficio de las comunidades cercanas.
- CM: Se refiere a la participación de las comunidades cercanas al proyecto o que se vean afectados por este siendo consideradas en la toma de decisiones del proyecto.

### **3.2.2 Aspectos críticos de los criterios de sustentabilidad**

Los puntos que se analizarán a continuación pueden presentar algún grado de dificultad a futuro, por lo cual se les clasifica como aspectos críticos dentro de la sustentabilidad minera. Estos puntos pueden presentar algún grado de dificultad a futuro si es que la industria minera no les hace un continuo seguimiento.

#### *3.2.2.1 Relación con las comunidades*

Si bien las relaciones de las comunidades cercanas a mina Spence están en buenos términos, un estudio elaborado por Ernst & Young (2016) y presentado por Alianza Valor Minero (AVM) evidencia que en las comunidades existe una preocupación y que ésta considera la labor de las compañías mineras en respecto a la otorgación de puestos de trabajo a la gente de Baquedano y Sierra Gorda (54%), preocupación de que existan médicos en la centro médico principal, ayudar al consultorio para cuidar la salud de la población (19%) y establecer un lugar donde la juventud se pueda entretener (19%), lo que se puede solucionar mediante la entrega de una cancha de patinaje o la instalación de una sala de cine en la zona. El estudio muestra de manera empírica la valoración que hacen las comunidades al aporte social del sector minero. El análisis realizado en Sierra Gorda incluyó 133 entrevistas a habitantes y líderes locales. Esta comuna está fuertemente ligada a la industria del cobre y en su entorno operan cinco empresas mineras y ocho faenas: Spence (BHP Billiton), Sierra Gorda (KGHM), Centinela (Antofagasta Minerals), Lomas Bayas (Glencore) y Gaby (Codelco).

La recomendación que entrega el estudio para las compañías es conocer de primera fuente las preocupaciones y la visión de futuro que tiene la comunidad. Otras de las conclusiones relevantes del estudio es la distinta visión que tiene la comunidad y los dirigentes comunales respecto de las iniciativas de inversión social de las empresas. Por ejemplo, el estudio muestra que para los líderes sociales, la principal preocupación que ven en Sierra Gorda es la falta de trabajo (53%) seguido de la contaminación del aire; mientras que para la comunidad, el tema primordial es la contaminación del aire debido a las faenas mineras



(69%), seguido de la falta de trabajo y el aumento de la cesantía (63%) y la mala calidad del agua potable (41%).

Si bien ahora no existen conflictos entre la comunidad y las empresas mineras, esto no significa que en el futuro continuará el mismo escenario. Es por esto que las empresas mineras deben crear instancias de dialogo con las comunidades. Las instancias de diálogo son un conjunto de herramientas que los moderadores de conflictos utilizan y recomiendan para la gestión de estos. Por ello, deben de cumplir ciertas condiciones para su conformación y funcionamiento analizando información objetiva, realizar compromisos hacia la comunidad y colaboración entre los actores implicados. Según Kopp (2015) las condiciones de una comunidad a otra pueden variar, sin embargo todas requieren disponer de las siguientes condiciones mínimas:

- Voluntad política: para generar y promover espacios participativos y facilitar las condiciones para el diálogo. Además, los actores políticos, junto con el resto de los actores deben participar de manera voluntaria y comprometida.
- Incorporación de los actores de la sociedad civil: en especial la de los más vulnerables debe de ser eficaz. Esto, dado que son los principales interesados y afectados, positiva o negativamente, son actores estratégicos para la implantación de acciones y búsqueda de soluciones alternativas.
- Autonomía: es decir, la no dependencia o subordinación de los actores entre ellos o desde actores del exterior.
- Acceso a la información: con el fin de que la participación sea útil y eficaz. Los actores tienen que estar informados por lo que esta ha ser clara y de fácil entendimiento. Que los propios actores sean quienes participan en recolectar y entregar la información, puede ser un buen ejercicio para interiorizarla.

### 3.2.2.2 Plan de cierre

En la fase de cierre para el Proyecto Spence se contemplan las medidas que permitan garantizar la seguridad pública correspondientes a estabilizar las estructuras mineras desde el punto de vista geotécnico, recuperar el paisaje para asegurar la estabilidad geomorfológica, es decir, minimizar los sedimentos y la erosión; proteger la calidad del agua; restaurar el terreno a una condición similar a la previa a la instalación de la mina y prevenir efectos socioeconómicos adversos en las comunidades locales durante la transición desde la fase de operación al cierre y post-cierre. Las principales actividades de cierre contemplan el desmantelamiento, desenergización y retiro de las instalaciones, estabilización de taludes, cierre de accesos e instalación de señalética (Riochilex S.A, 2002). En la etapa de cierre se reúnen todas las actividades de reacondicionamiento del terreno, desmovilización de equipos y demolición de instalaciones. El abandono corresponde al estado del área del proyecto una vez concluidas todas las actividades de cierre (Arcadis, 2015).

El objetivo principal del cierre es prevenir efectos adversos en el medio ambiente y en la seguridad pública una vez completada la vida, mitigar impactos ambientales que puedan ocurrir durante actividades de cierre y recuperar las condiciones originales del sitio. Las actividades de remediación contemplan intervenir las siguientes obras:

- Rajo.
- Depósitos de estéril, canchas de lixiviación y ripios.
- Pilas de lixiviación.
- Edificios principales y unidades de producción
- Línea eléctrica
- Caminos
- Residuos sólidos industriales
- Residuos domésticos

Si bien no existe una fórmula única para llevar a cabo los planes de cierre de faena minera, si hay factores comunes que tienen las faenas mineras los cuales van a tener que ser abarcados para poder cumplir con la normativa. Dentro de estos factores unos de los más

relevantes son el control del drenaje ácido y el control de la movilidad de los metales en el suelo, ya sea el polvo movido por el viento, o por migración a las aguas subterráneas.

### *3.2.2.3 Medio Ambiente*

La explotación y aprovechamiento de los recursos minerales debe contar con una política global de desarrollo industrial y, a la vez, de conservación del medio ambiente. Los proyectos mineros van acompañados con la elaboración de estudios de impactos ambientales, que tienen por objetivo identificar, predecir y prevenir las alteraciones ambientales producidas por las actividades mineras desde su exploración hasta su cierre (ITGE, 1989). En el mundo de hoy, la industria minera ha mostrado un compromiso con el entorno. Los factores medioambientales son importantes en la sociedad por lo que cualquier inversión de esta naturaleza es una inversión en su propio futuro y la rentabilidad de su negocio. La preocupación de la industria minera mundial por este tema data de los años 80. A comienzos de la década de 1990, junto al pujante desarrollo del sector, la industria minera se abocó a diagnosticar, evaluar y resolver aspectos susceptibles de mejorar (Betancour, 2017).

En este aspecto, minera Spence elaboró un informe de línea base siguiendo las metodologías, requerimientos y estándares establecidos en el reglamento del sistema de evaluación de impacto ambiental de la ley N.º 19.300 sobre bases generales del medio (Arcadis, 2015). De esta forma, el estudio de la línea base correspondió a un análisis integrado de información bibliográfica y de terreno. El proyecto generará un total de 26 impactos ambientales durante sus etapas de construcción, producción y cierre. De estos 26 impactos, 4 son clasificados como medio/alto afectando directamente a la fauna silvestre y la calidad del aire. Sin embargo, a pesar de que el proyecto esté cumpliendo las leyes, se considera el medio ambiente como punto crítico ya que es parte de la responsabilidad social y empleo de buenas prácticas que deben plasmar en las ciudades donde se encuentren las empresas mineras.

### 3.3 Propuesta de reprocesamiento y rehabilitación para el botadero de estériles de Mina Spence

El botadero que se analizará en esta sección corresponderá al que se encuentra en el informe que la empresa BHP Billiton encargó realizar a la consultora Arcadis en el año 2015. En esta sección se busca realizar una propuesta teórica de reprocesamiento y rehabilitación del botadero final de mina Spence con el objetivo de aplicar la economía circular en este para así transformar un pasivo ambiental en un activo económico y social.

#### 3.3.1 Características del botadero de estériles

El Proyecto considera al final de su vida útil unificar tres botaderos (Este, Norte, Noreste), existentes y aprobados ambientalmente. Los botaderos proyectan una capacidad máxima de 1.353 Mt ocupando una superficie total aproximada de 1.210 ha, en una, una altura final máxima de 180 m de estéril siendo construido mediante el emplazamiento de quebrada.(Arcadis, 2015).

El volumen del material estéril obtenido en la explotación del rajo será transportado mediante camiones y dispuesto en los botaderos de estériles. El llenado del botadero se realizará mediante un sistema de vertido por fases adosadas, las cuales han sido diseñadas considerando los parámetros que se señalan en la tabla 3.5.

Tabla 3.5: Parámetros geométricos del botadero de estériles (Arcadis, 2015)

<b>Parámetros</b>	<b>Valor proyectado</b>
Superficie (ha)	1.210
Capacidad (Mt)	1.353
Longitud media (N-S)	6.285
Ancho medio (E-W)	1.811
Cota máxima (m.s.n.m)	1.880
Número de niveles	4
Altura máxima (m)	180
Ancho berma (m)	50 – 60
Angulo de reposo del material (°)	37
Ángulo global de inclinación (°)	26

En la figura 3.3 se muestra la ubicación del botadero de estériles y el área que abarca:



Figura 3.3: Ubicación botadero de estériles  
(Arcadis, 2015)

### 3.3.2 Mineralización del botadero de estériles

El proyecto de minera Spence solicitó a la empresa Golder Associates S.A. en el año 2012 evaluar el potencial generador de ácido y la lixiviación de metales de los desechos mineros obtenidos. Como parte de esta evaluación, Golder realizó un programa preliminar de caracterización geoquímica de 165 muestras de estériles provistas por BHP. La selección de muestras se realizó basada en los criterios mostrados a continuación:

- Litología: las muestras fueron seleccionadas para ser representativas de los tipos de roca dominantes en los estériles ubicados alrededor del mineral.
- Volumen de materiales: el volumen de los diferentes materiales litológicos en el depósito se determinó a partir del modelo de bloque y del cálculo de las proporciones relativas.

- Localización en el área de la mina: las muestras fueron seleccionadas para proveer una distribución espacial a lo largo de la mineralización y a través del área de mina propuesta.

La tabla 3.6 muestra los resultados obtenidos en las 165 muestras de estériles. Se calcularon valores, máximos, mínimos y promedios para cada metal. En general, las concentraciones de los elementos en las muestras de estériles son similares o inferiores a la abundancia en la corteza, con la excepción de plata, arsénico, bismuto, cadmio, cobre, molibdeno, antimonio estroncio, uranio, talio y zinc. Los elementos arsénicos, cobre, y molibdeno son las que en mayor cantidad se encuentra en estas muestras. En el apéndice A se puede ver un mayor detalle sobre la totalidad de elementos presentes en el botadero.

Tabla 3.6: Mineralización del botadero (Golder, 2012)

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Promedio</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
Cu	mg/Kg	3.174	> 10.000	37
Mo	mg/Kg	98	2.810	1
As	mg/Kg	34	631	5

La ley de cobre promedio es de 3.174 mg/kg equivalente a una ley aproximada de 0,32%.

El proyecto de recuperación de cobre de Minera Valle Central desde los relaves antiguos de El Teniente se realiza con una ley de cobre del 0,12% y la empresa minera Pucobre realiza recuperación de mineral de cobre desde los antiguos botaderos de la mina Venado Sur con una ley de cobre del 0,2%. Si se compara la ley de cobre con ambos proyectos de recuperación de cobre con ley de cobre que se obtuvo de las muestras de los estériles de mina Spence se puede ver una posibilidad de aplicar la economía circular en los botaderos de minera Spence, a través de la recuperación del cobre remanente en estos botaderos.

### **3.3.3 Diseño botadero de estériles**

El botadero considera un ángulo de reposo de 37° y de 2 a 4 pisos de 50 m de altura, con desacoples de 50 m, y una altura máxima aproximada de 180 m a la cota 1.880 msnm. En la figura 3.4 se pueden ver los distintos pisos del botadero.



Figura 3.4: Diseño botadero de estériles  
(Arcadis, 2015)

El botadero se emplaza sobre una cobertura de gravas con una profundidad que sobrepasa los 100 m, por lo que se ha considerado como suelo de fundación las gravas superiores, cuyas propiedades constan de un ángulo de fricción de  $38^\circ$ , cohesión de 60 KPa y una densidad de  $2 \text{ t/m}^3$  (SRK Consulting, 2011).

El botadero se construye en forma de pilas de material. Luego se nivela y compacta para progresivamente aumentar la elevación del depósito hasta alcanzar una altura adecuada para proseguir con el tradicional sistema de volteo del material, directo al frente del botadero y conformando las tortas de material (Arcadis, 2015).

Para la construcción del botadero se realizará en siete perfiles, los cuales se irán construyendo en orden ascendente, siendo diferenciados entre sí. La figura 3.5 muestra la ubicación en planta de los perfiles, los cuales buscan representar la geometría de diseño en cada caso.

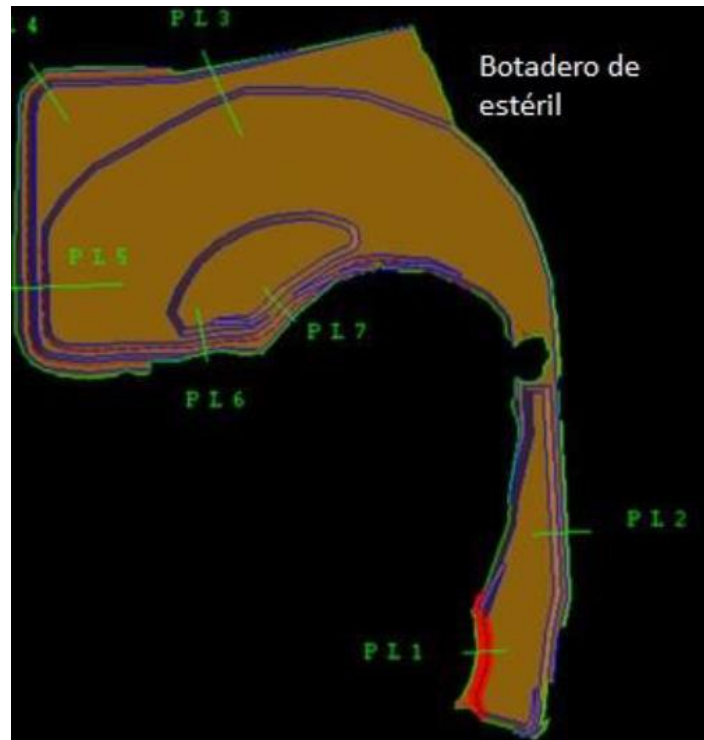


Figura 3.5: Perfiles del botadero de estériles (Arcadis, 2015)

### 3.3.4 Planificación de operaciones de rehabilitación y reprocesamiento

El aprovechamiento de los botaderos de esa faena minera constituye una iniciativa ligada a la economía circular, donde no solo se reutilizan los residuos mineros generados, también optimiza el incremento de los porcentajes de recuperación que obtiene la industria.

En esta sección se mostrará una planificación para la rehabilitación del botadero de mina Spence en base a distintos proyectos como fuentes bibliográficas para la elaboración de este. Las fuentes corresponden a: BHP Billiton. (2015), Martínez, M. (2020) y Pucobre (2018). El detalle de esta propuesta se encuentra en el Capítulo 4 de Resultados.

Se considera utilizar las mismas dependencias del actual proyecto en la mina.



### **3.4 Valorización económica del proyecto**

En esta sección se detallarán todos los beneficios y costos, que están asociados al proyecto. El proyecto de remediación del botadero de Mina Spence se estima realizarlo en el plazo de 11 años, para eso se busca mover en este periodo de tiempo un tonelaje correspondiente a 1.353 Mt, el cual es el total de material depositado en el botadero. Se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- Tonelaje total del Botadero: 1.353 Mton.
- Vida útil proyecto: 11 años.
- En el año 0 del proyecto se va a adquirir la maquinaria necesaria.
- En el año 11 del proyecto la maquinaria será liquidada.
- Los costos asociados a producción serán asumidos por un contratista.
- El valor de desecho del proyecto será contable.
- El capital de trabajo será un 30% del valor anual para el costo de concentración.
- Se solicita un préstamo del 70% del valor anual para el costo de concentración.

#### **3.4.1 Beneficios del proyecto**

##### ***3.4.1.1 Precio del Cobre***

En esta sección se verán cuáles son los beneficios que se pueden obtener del proyecto, el cual corresponderá a la venta de concentrado de cobre. Para la determinación del precio del cobre en un plazo de 10 años se utilizan datos del precio de años anteriores y proyecciones de COCHILCO, los cuales se indican en la tabla 3.7:

Tabla 3.7: Proyección de precios del Cobre (COCHILCO, 2019)

<b>Precio del Cobre</b>	<b>USD/lb</b>
2021	\$3,30
2022	\$3,00
2023	\$2,93
2024	\$2,77
2025	\$2,71
2026	\$2,84
2027	\$3,00
2028	\$3,05
2029	\$3,12
2030	\$3,00
2031	\$2,95

### **3.4.1.2 Valor del contenido de cobre**

Los minerales se pueden comercializar ya sea en forma de concentrados o refinados. Los concentrados son comercializados mediante transacciones más complejas, entre las empresas mineras, comercializadores, refinerías y fundiciones para su posterior transformación a metal. Al vender un concentrado se toman en cuenta tres variables (Mercado, 2011):

- El peso del concentrado, el cual se mide en toneladas métricas secas.
- El precio del metal fijado en la bolsa de metales.
- La calidad y la presencia de otros elementos en el concentrado, los que serán pagables o penalizables dependiendo del caso.

Para el cálculo final de los ingresos por venta del contenido pagable de cobre que se encuentra en el concentrado, se realiza una serie de descuentos para calcular el valor de del metal. Estos descuentos se desglosan en:

- Humedad: los concentrados tienen un porcentaje de humedad producto de los procesos a los que fueron sometidos.

- Merma: es la pérdida del material producto del transporte del producto que asume el vendedor.
- Ley de concentrado: corresponde al contenido metálico presente en el concentrado.
- Factor de recuperación: corresponde a cuando se somete el concentrado a la fundición o refinación donde se obtiene menor contenido del metal presente, por lo cual el vendedor asume las pérdidas por este proceso.

En la tabla 3.8 se pueden ver los valores de los parámetros del proyecto.

Tabla 3.8: Parámetros utilizados para el cálculo pagable del cobre (Arcadis, 2015)

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>
Humedad del concentrado	9%
Merma	1%
Ley del Concentrado	30%
Factor de recuperación	85%

A todo este cálculo se le conoce como la formula pagable, y determina el volumen final al que debe aplicarse a la cotización.

### **3.4.2 Costos del proyecto**

En esta sección se pretende abordar una aproximación cercana a los costos reales que se manejan anualmente en la minería. No existe un pronóstico a largo plazo en costos para la minería con datos exactos, por lo que para la proyección de costos, estos se basarán en datos históricos de años anteriores y también las últimas tendencias en el mercado. Para esto se tiene datos de fuentes oficiales de: COCHILCO (2015, 2017, 2018 y 2019).

#### *3.4.2.1 Contrato de prestación de servicios*

El contratista, cuyo giro principal es la prestación de servicios para carguío y transporte del material, ofrece un servicio altamente eficiente a través de personal técnico

especializado, por lo que está debidamente calificado para prestar los servicios. El contratista prestará los siguientes servicios al proyecto de mina Spence:

- Servicios de soporte operacional: el contratista llevará su propia maquinaria y equipos para realizar las operaciones del proyecto.
- Servicios de mantenimiento: el contratista se encargará de realizar el mantenimiento a toda maquinaria y equipos utilizado en el proyecto.

#### *3.4.2.2 Costo de Maquila*

Es el costo del proceso de fundición y/o refinación al que se debe someter el concentrado para obtener el metal y que se descuenta de los valores pagables del concentrado. Este costo se negocia entre el comprador y el vendedor. Este costo se aplica a la totalidad del concentrado (en este caso al anual) que pasará por los procesos de fundición y refinación. Para el proyecto se utiliza el supuesto que el costo de maquila para el año 2021 es de 150 USD/ton (COCHILCO, 2020), y en los años posteriores, este costo sufrirá un aumento anual de un 3%.

#### *3.4.2.3 Energía eléctrica*

La minería es un proceso industrial intensivo en requerimiento energético, tanto de electricidad como de combustible. Su incidencia en el gasto es relevante, pues el consumo en energía eléctrica representa entre 15 y 20% (COCHILCO, 2019). En base a datos de, se sabe que el costo de energía eléctrica tiende a la baja desde el año 2013 con un gasto de 3.084 MUSD comparado al gasto de 1.546 MUSD en el año 2018.

#### *3.4.2.4 Costo de procesamiento de minerales*

Dentro del punto principal de la rehabilitación de botaderos consiste en la recuperación de minerales con interés económico de estos, por lo cual en este proyecto se recupera

cobre. El costo de concentración de minerales se obtiene del informe mensual de Encuesta Gasto Proveedores (2018), el cual se calcula según un valor en USD/lb multiplicado por la cantidad de libras de cobre explotadas anualmente.

#### 3.4.2.5 Recursos humanos

Para este ítem de costo se realiza en base a COCHILCO (2018), en la cual el precio promedio de gasto en recursos humanos es de 25 a 30 USD/hr, dependiendo del cargo de la persona. En la tabla 3.11 se puede ver en detalle el personal necesario para el proyecto, la cantidad requerida y su remuneración.

Tabla 3.9: Costos por personal requerido en el proyecto (Cochilco, 2018)

<b>Recursos humanos</b>		
<b>Cargo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Remuneración (USD/hr)</b>
Chofer camión aljibe	4	26
Chofer Motoniveladora	2	26
Supervisor de operaciones	2	30
Supervisor de planta	2	30
Prevencionista de riesgos	2	28
Funcionarios de oficina	8	25
Administrador de finanzas	2	25

En los años de duración del proyecto, este costo aumenta según el IPC de cada año. En este caso se utiliza el supuesto de que el aumento porcentual anual del IPC corresponderá a un 3%.

#### 3.4.2.6 Servicios medioambientales y administrativos

Estos valores corresponden a COCHILCO (2019), y para el proyecto se utilizarán los mismos valores durante toda su duración al no tener más información sobre el futuro de estos. Las definiciones de estos servicios son las siguientes:

- Servicios medioambientales: gestión de permisos ambientales, gestión de residuos, monitoreo de variables ambientales, calidad del agua, calidad del aire y biodiversidad, iniciativas de conservación, mitigación, reparación y compensación ambiental y otros servicios o asesorías ambientales.
- Servicios administrativos: considera servicios y asesorías administrativas, legales, auditorías, comunicacionales, computacionales, salud, alimentación, aseo, mantención áreas verdes, capacitación, hotelería, telecomunicaciones y seguros propios de la mina ante eventuales problemas.

El valor de estos costos son los siguientes:

- Servicios medioambientales: \$75 MUSD.
- Servicios administrativos: \$215 MUSD.

### **3.4.3 Flujos de caja del proyecto**

#### *3.4.3.1 Capital de trabajo*

Para el proyecto se considera incluir un capital propio que consiste en un 30% del valor de costo del concentrado durante los 11 años del proyecto. El costo total de concentración corresponde a \$1.334.867 MUSD, por lo que el 30% correspondería a \$400.460 MUSD.

#### *3.4.3.2 Préstamo*

Se utilizará un préstamo para el proyecto que será al equivalente al 70% del valor de costo para el concentrado durante los 11 años del proyecto. El costo total de concentración corresponde a \$1.334.867 MUSD, por lo que el 70% correspondería a \$934.406,97 MUSD.

### *3.4.3.3 Construcción del flujo de caja*

Finalmente, con todos los ingresos y costos ya analizados con anterioridad, se puede construir el flujo de caja del proyecto. Para el ítem de costos se hacen algunas distinciones de estos, los cuales corresponderían a:

- Costos administrativos: Costo de recursos humanos, servicios administrativos y servicios medioambientales.
- Costos operacionales: Costo electricidad, costo maquila y costo del contratista.

En lo que respecta a ingresos, corresponden a la venta de concentrado de cobre. Esta ganancia, en MUSD, se ve afectada anualmente por la variación del precio de este.

También, para la elaboración del flujo de caja, se consideran las siguientes indicaciones:

- El impuesto aplicado será de un 21%
- La Tasa de Rendimiento Mínima Aceptable (TREMA) para el proyecto será de un 10%.
- En el año cero del proyecto se realiza una inversión de 1,003 MUSD.

# RESULTADOS

## 4.1 Resultados obtenidos

### 4.1.1 Criterios de sustentabilidad en el botadero en estudio

El cuestionario elaborado con anterioridad para los criterios de mina Spence fue respondido con la ayuda de Mauricio Domcke González, Gerente de Estudios de la empresa BHP Billiton,

Los resultados obtenidos a partir de la encuesta son los siguientes:

El índice de sustentabilidad geológico minero (IGM, en porcentaje) se calcula como:

$$\text{IGM (\%)} = \frac{(\text{GC}+\text{ESE}+\text{GR}+\text{ME}+\text{AM}+\text{CV})\cdot 100}{6} = \frac{(1+1+1+1+1+1)\cdot 100}{6} = 100\% \quad (4.1)$$

El índice de sustentabilidad de crecimiento económico (CE, en porcentaje) se calcula como:

$$\text{CE (\%)} = \frac{(\text{CO}+\text{NT}+\text{AA}+\text{CP}+\text{M}+\text{AF})\cdot 100}{6} = \frac{(1+1+1+1+1+1)\cdot 100}{6} = 100\% \quad (4.2)$$

El índice de sustentabilidad de compensación (IC, en porcentaje) se calcula como:

$$\text{IC (\%)} = \frac{(\text{CF}+\text{EIA}+\text{CV}+\text{PPC}+\text{ER})\cdot 100}{5} = \frac{(1+1+1+1+1)\cdot 100}{5} = 100\% \quad (4.3)$$

El índice de sustentabilidad del desarrollo (D, en porcentaje) se calcula como:

$$\text{D (\%)} = \frac{(\text{RP}+\text{SS}+\text{ID}+\text{ES}+\text{CM})\cdot 100}{5} = \frac{(1+1+1+1+1)\cdot 100}{5} = 100\% \quad (4.4)$$

Finalmente, el Índice de sustentabilidad global final (ISG) sería la ponderación de todos los índices que los componen:

$$\text{ISG (\%)} = \frac{(\text{IGM}+\text{CE}+\text{IC}+\text{D})\cdot 100}{22} = 100\% \quad (4.5)$$



#### **4.1.2 Propuesta de rehabilitación y reutilización para el botadero en estudio**

La propuesta presentada a continuación considera que para el proyecto se tenga una fase de construcción con una duración dos años, una fase de operación con una duración de siete años y una fase de cierre con una duración de dos años. Este proyecto no considera interrumpir el plan de explotación actual de mina Spence, con excepción de la fase de construcción. Su puesta en marcha se realiza una vez finalizada la vida útil del actual proyecto.

##### *4.1.2.1 Fase de construcción*

Esta etapa si se puede realizar mientras el actual proyecto se encuentra en funcionamiento, ya que el lugar donde se realiza corresponde lugares del botadero que ya se encuentra cerrados y a su capacidad máxima de almacenamiento. Las etapas de esta fase son las siguientes:

1) Acondicionamiento de terreno: Las obras de preparación de la superficie requerirán actividades de movimiento de tierra desde la cota más alta del botadero hasta sus cimientos. La explotación del botadero comenzará desde el perfil número siete y de manera descendente hasta llegar al perfil número uno, por lo que previo a su explotación, el terreno será nivelado por una Motoniveladora Cat 140/140 AWD. También se usará un camión aljibe Volvo FMX 480 para regar el terreno y evitar el levantamiento de polvo.

2) Habilidad de caminos preexistentes: La actividad de habilitación de caminos preexistentes se desarrollará a través del uso de la misma motoniveladora y camión aljibe para el riego. Como la explotación inicia desde el perfil número siete, se utilizará un camino ya existente de 4,31 km. de extensión hasta llegar a la planta de procesamiento de minerales. Este mismo camino se utilizará para la explotación de los perfiles 3, 4, 5 y 6. Por el contrario, para la explotación de los perfiles 1 y 2 se realizará por otro camino ya existente de 6,1 km de extensión hasta llegar a la planta de procesamiento de minerales. En la figura 4.1 se puede visualizar los caminos señalados. El camino de color rojo será usado para la explotación de los perfiles 3, 4, 5, 6 y 7, mientras que el camino de color azul

será usado para la explotación de los perfiles 1 y 2. En verde corresponde a la zona del botadero.



Figura 4.1: Rutas de explotación del botadero de estériles (Google Earth, 2021)

#### 4.1.2.2 Fase de operación

En esta fase se utilizarán las mismas dependencias para el procesamiento de minerales y almacenamiento de concentrado del actual proyecto.

1) Suavizamiento de superficies: La instalación de suelo sobre el botadero requiere que las superficies presenten condiciones adecuadas para que los equipos puedan trabajar sobre éste. Este no es el caso de las zonas donde, por motivos operacionales, las palas hidráulicas cargan los camiones tolva. La tarea de suavizamiento de estas superficies se realiza mediante bulldozer D10-T.

2) Extracción, carguío y transporte desde botadero hacia área procesos: La extracción del material desde el botadero se llevará a cabo por etapas, según se muestra en la figura 4.1,

se iniciará la explotación en el perfil de mayor altura, correspondiente al perfil número siete, hasta llegar al perfil número uno. La extracción del material desde los botaderos se llevará a cabo por cargadores frontales Komatsu P&H L-1350 y palas hidráulicas 6050/6050 FS. El transporte se realizará con camiones tolva Komatsu 930E, los que transportarán el material a la zona de procesamiento de minerales, donde serán depositados directamente en el buzón de alimentación del chancador.

3) Chancado y harneado: El material extraído en el botadero tendrá de destino el chancador primario giratorio que reducirá el tamaño del material bajo ocho pulgadas y a una razón aproximada de 3.000 ton/h. El material chancado será almacenado en una tolva con capacidad de 500 toneladas y será conducido hasta una correa transportadora de 700 m de longitud, llegando hasta un acopio de mineral grueso con una capacidad de 17.000 toneladas.

El mineral grueso alimentará a dos harneros. El sobre tamaño de los harneros caerá directamente a las correas alimentadoras de los chancadores secundarios de cono, reduciendo el material bajo tres pulgadas. El producto de este chancador será enviado a los harneros terciarios.

El material con sobre tamaño de los harneros terciarios se enviará por correas transportadoras a los chancadores terciarios de tipo cono. El material que pasa a través de los harneros tendrá un tamaño de media pulgada, el cual se depositará en un acopio de finos en silos de concreto con una capacidad de 8.000 ton.

4) Molienda: Con el fin de disminuir su tamaño, el mineral proveniente del acopio de gruesos alimentará a una línea de molienda compuesta por un molino SAG y dos molinos de bolas.

El mineral molido en el molino SAG será procesado en los molinos de bolas, para disminuir su tamaño, y serán enviados al cajon de alimentación de ciclones donde se adiciona agua en cascada, para ser impulsado mediante bombas centrífugas a dos baterías de hidrociclones que operarán en circuito cerrado. El material fino que se obtenga será transportado hasta el distribuidor de alimentación del circuito de flotación colectiva, mientras que el material grueso del ciclón se reenviará a los molinos de bolas.

5) Flotación de concentrado colectivo y remolienda (Cu-Mo): El producto del circuito de molienda será alimentado a la flotación primaria *Rougher*, compuesta por cuatro líneas de siete celdas de flotación. El concentrado de las celdas *Rougher* se recolectará en canaletas, desde las cuales será conducido al estanque de alimentación del circuito de hidrociclones de remolienda. El producto de los molinos de remolienda junto con el rebalse de la batería de hidrociclones será alimentado al cajón de primera limpieza.

La primera limpieza será alimentada al circuito de flotación *Scavenger* desde donde saldrá el concentrado *Scavenger* el cual será enviado al estanque de alimentación de ciclones de remolienda, mientras que los relaves *Scavenger* junto con los relaves *Rougher* conformarán el relave integral de la planta concentradora, los que serán transportados gravitacionalmente a los espesadores de relaves.

El concentrado de primera limpieza será bombeado a la etapa de segunda limpieza. El concentrado de segunda limpieza constituirá el concentrado de Cu-Mo, el cual será alimentada a la planta de flotación selectiva de molibdeno, mientras que el relave de la segunda limpieza será retornado a la etapa de flotación de primera limpieza. En esta etapa se utilizarán los siguientes reactivos: cal, colector primario/secundario, NaSH y espumante.

6) Flotación selectiva de molibdeno: Las celdas de flotación selectiva de molibdeno recibirán y procesarán el concentrado de Cu-Mo mediante un proceso selectivo, extrayendo el molibdeno desde el mismo concentrado. La pulpa proveniente de la flotación colectiva se almacenará en un estanque de acondicionamiento, en el cual se le adicionarán los reactivos necesarios para el proceso, para luego pasar a través de un circuito de celdas de flotación selectiva, proceso que se llevará a cabo en dos etapas:

- Flotación primaria: donde se extrae el concentrado de cobre
- Flotación de limpieza: proceso de etapas sucesivas de limpieza del concentrado de molibdeno

El concentrado de Mo será enviado a un espesador para reducir su contenido de agua y luego pasará por un proceso de filtrado y secado. El agua recuperada será recirculada al proceso.

En esta etapa se adicionan los siguientes reactivos a la pulpa sulfhidrato de sodio (NaSH), ácido sulfúrico y petróleo diésel.

7) Filtrado y acopio de concentrado de cobre: La pulpa final del concentrado de cobre se procesará en un espesador convencional, para después ser enviado a un estanque agitado para ser bombeado a través del concentrado hasta la planta de filtros. Por su parte el agua recuperada será impulsada hasta piscinas de agua recuperada de la planta concentradora. En esta etapa se utilizará floculante para contribuir con el espesamiento de las pulpas.

La filtración del concentrado de Cu se llevará a cabo en la planta de filtros, donde se realizarán los procesos de espesamiento y filtración del concentrado de Cu proveniente de la planta concentradora, el cual será transportado a través de un concentrado 3 km de longitud, hasta la planta de filtros. En cada filtro a presión se llevará a cabo la separación sólida/líquido de la pulpa de concentrado, para la obtención de un concentrado final con la humedad definida para su despacho.

8) Almacenamiento de concentrado: Se utilizará un edificio de acopio de concentrado de Cu, el cual será completamente cerrado con una capacidad de almacenamiento de 15.000 ton. El edificio será alimentado a una tasa de diseño de 2.500 t/día. Asimismo, la recuperación y carguío del material se efectuará utilizando dicha maquinaria, tanto para la opción camiones como ferrocarriles, para su posterior envío a Mejillones.

9) Espesamiento de relaves: Se estima que los relaves generados en la planta concentradora, a una tasa de procesamiento de 95.000 t/día, serán en promedio 87.900 t/día de relaves de sólidos 52 a 55% peso en peso de sólidos. Posterior al espesamiento se enviarán los relaves al cajón de bajoflujo del espesador, previo envío al depósito a través de descarga gravitacional hasta un pozo de bombeo con bombas centrífugas, de modo de impulsar el relave hasta el cajón de distribución del depósito de relaves.

En lo que respecta al depósito de relaves, se evaluará si se puede utilizar el mismo que utiliza el actual proyecto o se deberá construir uno nuevo para depositar todo lo proveniente del botadero de estériles.

#### *4.1.2.3 Fase de cierre*

En el marco de las actividades de cierre del Proyecto, se considera desarrollar actividades de nivelación como medida tendiente a restaurar la geoforma o morfología del terreno en los lugares donde se realiza la explotación del botadero. También se procederá y dismantelar todas las instalaciones y estructuras requeridas en la fase de construcción y fase de operación. Con respecto a

El depósito de relaves utilizado en la fase de operación contemplará las siguientes medidas:

- Evaluación de estabilidad frente a eventos sísmicos.
- Evaluación la estabilidad física de largo plazo manejando las aguas de relaves y las de la cuenca aportante en forma controlada para evitar el exceso de filtraciones y erosión.
- Evaluación de estabilidad química.
- Evaluación de los accesos al tranque de relaves.
- Determinación de efectos en la calidad del aire.

#### **4.1.3 Valorización económica del botadero en estudio**

En esta sección los datos utilizados son en base a supuestos ya que no se tiene con exactitud análisis a futuro en cuanto a la evolución de estos datos. Además, se considera como datos de partida del proyecto (año 2021), a COCHILCO.

##### *4.1.3.1 Valor del contenido de cobre*

En la tabla 4.1 se puede ver el detalle para cada año del valor del contenido del cobre.

Tabla 4.1: Ingresos anuales por venta de cobre (Elaboración propia)

Ingresos	Año										
	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Movimiento anual (Mton)	120	120	117,14	114	113,55	114,24	114	114	115	115	114
Concentrado seco (Mton)	109,2	109,2	106,59	103,74	103,33	103,96	103,74	103,74	104,65	104,65	103,74
Concentrado neto (Mton)	108,11	108,11	105,53	102,70	102,30	102,92	102,70	102,70	103,60	103,60	102,70
Finos de Cobre (Mton)	32,43	32,43	31,66	30,81	30,69	30,88	30,81	30,81	31,08	31,08	30,81
Cobre Pagable (Mton)	27,57	27,57	26,91	26,19	26,09	26,25	26,19	26,19	26,42	26,42	26,19
Cobre Pagable (Mlb)	60.775	60.775	59.324	57.736	57.510	57.861	57.736	57.736	58.243	58.243	57.736
Venta de Cobre (MUSD)	\$200.559	\$182.326	\$173.821	\$159.930	\$155.854	\$164.327	\$173.210	\$176.097	\$181.718	\$174.729	\$170.323

#### 4.1.3.2 Contrato de prestación de servicios

En la tabla 4.2 se puede apreciar los ítems que serán asumidos por el proyecto y el contratista, siendo en su mayoría gastos asociados al contratista, lo que facilitaría la labor de administración de gastos para las maquinarias a utilizar y su mantención, el personal y el combustible.

Tabla 4.2: Aportes por el proyecto y el Contratista (Elaboración propia)

<b>Ítem</b>	<b>Proyecto</b>	<b>Contratista</b>
Camionetas y combustible		X
Petróleo para la maquinaria		X
Lubricantes y mantención de maquinarias		X
Transporte del personal hacia la faena		X
Transporte del personal dentro de faena		X
Equipos de comunicación		X
Mantenimiento y limpieza en áreas de trabajo del contratista		X
Todas las herramientas necesarias para la correcta ejecución de los servicios		X
Equipos de seguridad y equipos de protección personal	X	
Contenedor para uso del contratista	X	
Alimentación personal del contratista		X
Horas extras personal del contratista		X
Alojamiento para personal de contratista		X

En la tabla 4.3 se puede ver el detalle del costo total por año (en MUSD) que el proyecto pagará al contratista por los servicios que prestará. El costo promedio anual de los servicios de empresas contratista que prestan a la minería fue obtenido por un informe emitido por COCHILCO (2019) correspondiente al año 2018, para los otros años estos costos se infirieron en base a costos históricos de esta área.



Tabla 4.3: Costos por pago a la empresa contratista (Elaboración propia)

<b>Contratista</b>	<b>Año</b>										
	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>2030</b>	<b>2031</b>
Cobre Pagable (Mlb)	60.775	60.775	59.324	57.736	57.510	57.861	57.736	57.736	58.243	58.243	57.736
Costo promedio anual (USD/lb)	\$1,28	\$1,22	\$1,16	\$1,10	\$1,06	\$1,15	\$1,13	\$1,09	\$1,04	\$1,12	\$1,16
Costo total (MUSD)	\$77.793	\$74.146	\$68.816	\$63.510	\$60.961	\$66.541	\$65.242	\$62.933	\$60.573	\$65.232	\$66.974

#### 4.1.3.3 Costo de maquila

Los costos finales de maquila para cada año se encuentran en la tabla 4.4, los cuales fueron obtenidos en la COCHILCO (2018). Estos costos sufren un incremento anual del 3%, lo cual fue inferido por gastos históricos del mismo costo de maquila.

Tabla 4.4: Proyección costos de maquila (Elaboración propia)

<b>Costo de Maquila</b>			
<b>Año</b>	<b>Costo Maquila (USD/ton)</b>	<b>Concentrado neto (Mton)</b>	<b>Costo Maquila (MUSD)</b>
2021	\$150,00	108,11	\$16.216
2022	\$154,50	108,11	\$16.703
2023	\$159,14	105,53	\$16.793
2024	\$163,91	102,70	\$16.834
2025	\$168,83	102,30	\$17.271
2026	\$173,89	102,92	\$17.898
2027	\$179,11	102,70	\$18.395
2028	\$184,48	102,70	\$18.947
2029	\$190,02	103,60	\$19.686
2030	\$195,72	103,60	\$20.277
2031	\$201,59	102,70	\$20.704

#### 4.1.3.4 Costo energía eléctrica

La estimación del gasto de energía para el proyecto se puede apreciar en la tabla 4.5. También fue elaborada a base de datos históricos del costo de energía eléctrica según la COCHILCO (2018), la cual presenta una fuerte caída desde el año 2013.

Tabla 4.5: Proyección costos energía eléctrica (Elaboración propia)

<b>Electricidad</b>	
<b>Año</b>	<b>Costo anual (MUSD)</b>
2021	\$1.546,00
2022	\$1.515,08
2023	\$1.484,78
2024	\$1.455,08
2025	\$1.425,98
2026	\$1.397,46
2027	\$1.369,51
2028	\$1.342,12
2029	\$1.315,28
2030	\$1.288,97
2031	\$1.263,19

#### 4.1.3.5 Costo de procesamiento de minerales

En la tabla 4.6 se puede ver en detalle del costo de concentración de minerales para cada año de duración del proyecto.

Tabla 4.6: Costos de concentración del proyecto (Elaboración propia)

<b>Concentración</b>	<b>Año</b>										
	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>2030</b>	<b>2031</b>
Cobre pagable (Mlb)	60.775	60.775	59.324	57.736	57.510	57.861	57.736	57.736	58.243	58.243	57.736
Promedio anual (cUSD/lb)	\$197	\$201	\$205	\$210	\$208	\$204	\$203	\$214	\$217	\$214	\$209
Costo total (MUSD)	\$119.727	\$122.158	\$121.615	\$121.246	\$119.622	\$118.037	\$117.205	\$123.556	\$126.387	\$124.640	\$120.669

#### 4.1.3.6 Recursos humanos

En la tabla 4.7 se puede ver el detalle de gasto anual por cada personal que se requiere en el proyecto.

Tabla 4.7: Costos del personal requerido (Elaboración propia)

Personal	Año										
	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Chofer camión algabe (USD)	\$911.040	\$938.371	\$966.522	\$995.518	\$1.025.384	\$1.056.145	\$1.087.829	\$1.120.464	\$1.154.078	\$1.188.701	\$1.224.362
Chofer Motoniveladora (USD)	\$455.520	\$469.186	\$483.261	\$497.759	\$512.692	\$528.073	\$543.915	\$560.232	\$577.039	\$594.350	\$612.181
Supervisor de operaciones (USD)	\$525.600	\$541.368	\$557.609	\$574.337	\$591.567	\$609.314	\$627.594	\$646.422	\$665.814	\$685.789	\$706.362
Supervisor de planta (USD)	\$525.600	\$541.368	\$557.609	\$574.337	\$591.567	\$609.314	\$627.594	\$646.422	\$665.814	\$685.789	\$706.362
Prevencionista de riesgos (USD)	\$490.560	\$505.277	\$520.435	\$536.048	\$552.130	\$568.693	\$585.754	\$603.327	\$621.427	\$640.070	\$659.272
Funcionarios de oficina (USD)	\$1.752.000	\$1.804.560	\$1.858.697	\$1.914.458	\$1.971.891	\$2.031.048	\$2.091.980	\$2.154.739	\$2.219.381	\$2.285.963	\$2.354.541
Administrador de finanzas (USD)	\$438.000	\$451.140	\$464.674	\$478.614	\$492.973	\$507.762	\$522.995	\$538.685	\$554.845	\$571.491	\$588.635

#### 4.1.3.7 Capital de trabajo

En la tabla 4.8 se ve el detalle del capital de trabajo para cada año, el cual se desprende del 30% del valor de concentración.

Tabla 4.8: Capital de trabajo para el proyecto (Elaboración propia)

<b>Capital de trabajo</b>	
<b>Año</b>	<b>Capital de trabajo (MUSD)</b>
2021	\$35.918,26
2022	\$36.647,57
2023	\$36.484,51
2024	\$36.374,08
2025	\$35.886,74
2026	\$35.161,61
2027	\$35.161,61
2028	\$37.066,92
2029	\$37.916,25
2030	\$37.392,06
2031	\$36.200,87

#### 4.1.3.8 Préstamo

En la tabla 4.9 se pueden ver los detalles del préstamo y en el apéndice C el desglose de los intereses, amortización y saldo que esto conlleva.

Tabla 4.9: Características del préstamo bancario (Elaboración propia)

Costo proyecto concentración (MUSD)	\$1.334.867
Monto préstamo (MUSD)	\$934.406,97
Cuota (MUSD)	\$112.492,22
Tasa (%)	5
Periodo (años)	11

#### 4.1.3.10 Construcción flujo de caja

En la tabla 4.10 se ve el detalle final de costos, recordando que los tanto los costos operacionales como administrativos engloban los otros costos vistos con anterioridad.

Tabla 4.10: Compilación de costos administrativos y operacionales (Elaboración propia)

<b>Año</b>	<b>Costos operacionales (MUSD)</b>	<b>Costos administrativos (MUSD)</b>	<b>Costos Totales (MUSD)</b>
2021	\$95.555	\$295	\$95.850
2022	\$92.364	\$295	\$92.659
2023	\$87.094	\$295	\$87.389
2024	\$81.799	\$296	\$82.095
2025	\$79.659	\$296	\$79.954
2026	\$85.836	\$296	\$86.132
2027	\$85.007	\$296	\$85.302
2028	\$83.222	\$296	\$83.517
2029	\$81.574	\$296	\$81.870
2030	\$86.798	\$297	\$87.095
2031	\$88.941	\$297	\$89.238

A continuación, se pueden ver los resultados de la evaluación del proyecto en la tabla 4.11:

Tabla 4.11: Resultados evaluadores económicos (Elaboración propia)

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Beneficios	\$1.912.598 MUSD
Costos	\$1.254.112 MUSD
Razón B/C	1,53
VAN	\$957.633 MUSD
TIR	-14%
PRI	3,07 años

En el Apéndice C se puede ver el cálculo del flujo de caja del proyecto en su totalidad.

## **4.2 Discusión de resultados**

### **4.2.1 Criterios de sustentabilidad en el botadero en estudio**

En lo que respecta a los criterios de sustentabilidad, hay dudas en ellos, ya que según lo indicado por el Gerente de Estudios de la empresa BHP Billiton, estos criterios se cumplen

en un 100% en cada aspecto de estos. Por ejemplo, se aborda la relación de la mina Spence con las comunidades en su entorno. La empresa indica que la relación por las comunidades es buena, pero por otro lado, la comunidad de Sierra Gorda indica que tienen preocupación en lo que respecta a la contaminación del aire (Ernst & Young, 2016).

Si bien actualmente no existen conflictos entre la comunidad y las empresas mineras, esto no significa que no estén presentes o latentes, esto dependerá de los individuos de la comunidad y su percepción respecto a la labor que desempeña la minería. Es por esto que las empresas mineras deben crear instancias de diálogo con las comunidades como un conjunto de herramientas que los expertos en moderación de conflictos recomiendan para la gestión de estos. Por ello, deben de cumplir ciertas condiciones para su conformación y funcionamiento analizando información objetiva, realizar compromisos hacia la comunidad y colaboración entre los actores implicados (Pontificia Universidad Católica de Chile [PUCC], 2018).

Sin embargo, no solo basta con la creación de instancias de dialogo, sino que estas deben ser fructíferas. De esta manera, es posible abordar un conflicto desde una visión transformativa. El dialogó es el espacio en el cual las personas se reúnen para construir un entendimiento mutuo más allá de sus diferencias, con el objetivo de generar resultados positivos a través de la conversación. Además, promueve valores de respeto y tolerancia, y requiere de habilidades para escuchar y comunicar efectivamente (PUCC, 2018). Entendiendo todo esto, los atributos de un dialogo genuino deben ser los siguientes:

- Liberador para ambas partes.
- Constructivo para ambas partes.
- Constructor de relaciones y vínculos.
- Proceso de mutuo enriquecimiento personal o institucional.
- Inscrito en una perspectiva de sostenibilidad.

#### **4.2.2 Propuesta de rehabilitación y reutilización para el botadero en estudio**

La propuesta de reprocesamiento y rehabilitación del botadero Spence considera transformar un pasivo ambiental minero en un activo con valor económico al recuperar cobre de este. A modo referencia de otros proyectos, se tiene al proyecto de Mina Venado Sur en 2018, la cual realiza la explotación de un antiguo botadero de estériles con una ley promedio de cobre de 0,2%. También, se tiene a minera Valle Central, la cual recupera cobre de antiguos depósitos de relaves con un ley promedio de 0,12%. Además, el proyecto de Mina Los Bronces plantea la recuperación de antiguos depósitos de estériles de cobre a lo largo de 25 años con un botadero de capacidad de 1.235 millones de toneladas, capacidad inferior de 100 millones de toneladas aproximadamente, en comparación al botadero de mina Spence.

Si se compara las leyes de cobre de estos proyectos con la encontrada en los botaderos de mina Spence (0,32%). podría indicarse que este proyecto es favorable de realizar. Sin embargo, como esta propuesta es elaborada teóricamente, no se puede saber en mayor exactitud que dificultades se puedan ir encontrando para su elaboración. A modo de ejemplo, no se cuentan con los datos de estabilidad física y química del botadero, lo cual afecta la preparación del terreno en la fase de construcción del proyecto.

Esta propuesta se construyó en base a datos propios actuales de la mina y múltiples autores para guiar, en lo posible, una rehabilitación del que se ajustó con la transformación de este botadero de estériles.

#### **4.2.3 Valorización económica del botadero en estudio**

Para comprender cómo funciona el mercado minero y analizar el estado de la industria en determinado momento. es necesario analizar los cuatro pilares sobre los que recae: el precio del cobre, la cantidad de mineral producido, la inversión realizada y los costos de producción.

Recordando que el estudio del proyecto es a nivel de perfil, se ha logrado obtener un VAN positivo y una TIR negativo, lo cual es suficiente para que el proyecto sea rentable para ser realizado. Sin embargo, una TIR negativa preocupa, ya que esto señala que la inversión destinada al proyecto no es la suficiente para asegurar un rentabilidad del proyecto. Para



una siguiente etapa se podría discutir maneras de aumentar la inversión o sensibilizar el proyecto para determinar factores críticos de rentabilidad, y así obtener una evaluación total del proyecto que sea favorable.

En lo que respecta a la maquinaria a utilizar, se cree que hay varios factores que pueden afectar el resultado en comparación a la realidad. como la utilización de factores operacionales diferentes, las velocidades utilizadas, las pendientes distintas, caminos distintos, entre otros. Pero el factor que más cambios puede producir sería el factor económico, el que es fundamental a la hora de elegir cuantos equipos se deberán destinar a las distintas operaciones.

## CONCLUSIONES

En faenas de gran minería existe una interesante oportunidad de mejora, ya que la magnitud de los procesos es tan grande, que es muy difícil tener cada aspecto de los criterios de sustentabilidad analizados en cada proceso al 100% de eficiencia y efectividad.

De esta forma, el resultado obtenido se cuestiona ya que representa un panorama ideal de la empresa. Sin embargo, en los aspectos críticos de estos criterios, se logra evidenciar que existen preocupaciones latentes a nivel de la comunidad de Sierra Gorda en cuanto al impacto que genera la empresa en su localidad. También, se evidencia que a nivel ambiental el proyecto genera cuatro impactos de riesgo mediano a alto, lo cual puede significar un impacto negativo en la imagen de la empresa. Es por esto que los criterios deberían ser abordados incorporando a más actores para una mayor globalización de los resultados, integrando más campos de análisis como lo son la comunidad, el medio ambiente y los mismos trabajadores de la empresa.

El proyecto de rehabilitación del botadero cumple los criterios definidos de la economía circular, ya que transforma un pasivo ambiental en un activo económico optimizando el uso de los recursos al existir una nueva rotación de los que ya existen en el botadero de la mina y fomenta la eficacia del sistema al dar nuevo valor económico al cobre que se encuentra depositado en el botadero, lo que permitiría mayor optimización de la utilización del cobre.

Se diseñó un programa de rehabilitación del botadero considerando criterios económicos, y con la configuración actual de flujo de caja, el proyecto resulta rentable ya que el VAN es positivo, lo cual es suficiente por sí solo para dar beneficios al proyecto en base a la tasa de descuento elegida.

Como recomendación, el análisis económico debiese considerar los costos fijos, relacionados con la adquisición inicial del equipo, como depreciación, impuestos y seguros, de manera tal de obtener resultados más reales. Además, se sugiere realizar un análisis modificando la disponibilidad de equipos para entender cómo afectan los tiempos

y los costos de operación. Finalmente, es importante destacar la presencia de más factores a considerar en los trabajos de rehabilitación de botaderos de estériles dentro de la planificación minera. Esto permitiría aumentar la certidumbre para la toma de decisiones al conocer previamente los costos involucrados tanto en operación como en compras de equipos óptimos y eficientes para cada labor. Además, esto evitaría manejar reiteradamente el mismo material, como ocurre frecuentemente en el lugar de estudio y permitiría llevar un seguimiento exhaustivo de la disponibilidad de los recursos indispensables.

## REFERENCIAS

- Álvarez. S. & Castillo. K. (2020). *Estrategias colaborativas para el abordaje de conflictos: espacios de diálogo en México. Perú. Colombia y Guatemala.*
- Arcadis (2015). *Estudio de Impacto Ambiental: "Minerales primarios Minera Spence".*
- Betancour. M. (2017). *Compromiso de la minería con el medio ambiente.*
- BHP Billiton. (2015). *Ficha del Proyecto: Minerales primarios Minera Spence.*
- CIPER. (2011). Minas abandonadas: una amenaza letal para miles de chilenos. Recuperado de: <https://ciperchile.cl/2010/10/26/minas-abandonadas-una-amenaza-letal-para-miles-de-chilenos/>
- COCHILCO. (2015). *Caracterización de los costos de la gran minería del cobre.*
- COCHILCO. (2017). *Productividad en la Gran Minería del Cobre.*
- COCHILCO. (2018). *Encuesta de participación de empresas proveedoras en las operaciones y proyectos mineros.*
- COCHILCO. (2019). *El control de costos en momentos de incertidumbre del mercado del cobre.*
- De Giorgis. V. (2016). *Competitividad de la industria minera Análisis de las problemáticas de la minería chilena.*
- Disputada Las Condes. (1999). *Recuperación de Cobre de Mineral de Baja Ley.*
- Ernst & Young. (2016). Mineras al debe en su relación con las comunidades. Recuperado de: <https://www.terram.cl/2017/01/mineras-al-debe-en-surelacion-con-las-comunidades/>
- Gerens. (2018). Descubre los métodos de valoración de proyectos mineros. Recuperado de <https://gerens.pe/blog/metodos-valoracion-proyectos-mineros/>
- Golder Associates. Inc. (2012). *Memorando Técnico: Metodología Para la Selección de Muestras de Estériles.*

González. A. & Carvajal. D. (2007). *Indicadores de sostenibilidad en la industria extractiva Española*.

Instituto Tecnológico GeoMinero de España. (1989). *Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería*.

Instituto Tecnológico GeoMinero de España (1987). *Criterios geoambientales para la restauración de canteras, graveras y explotaciones a cielo abierto en la Comunidad de Madrid*.

Kopp. C. (2015). *Espacios de diálogo como estrategia para integrar el derecho a la alimentación en municipios rurales de América Latina*.

Márquez. M.J., López Jimeno. C., Aduvire . O., García. P., Diaz. I (2015). *Guía para el diseño y construcción de escombreras*.

Martínez. M. (2020). *Planificación de operaciones para rehabilitación de botaderos de estériles en explotación de carbón en isla Riesco. Mina Invierno* (Tesis de pregrado). Universidad de Concepción, Concepción.

Mcarthur. E. (2015). *Hacia una economía circular: Motivos económicos para una transición acelerada*. Recuperado de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition>

Mercado. J. (2011). *¿Cómo se calcula el valor de los concentrados de minerales?*

Minera Valle Central. (2021). *Minera Valle Central S.A.* Recuperado de <https://mineravallecentral.cl/>

Minería Chilena. (2016). *Normas de control ambiental: Legislación necesaria para la regulación del sector*.

Ministerio de Minería & Consejo Minero. (2002). *Guía metodológica cierre de faenas*.

- Montero. J. (2005). *Los indicadores de sustentabilidad en la minería*.
- Moreno. L., Sanhueza. A., Fajardo. J., Guzmán. R., Lagos. M., Nava. M., Ruggiero. A. (2012). *Mineralización Hipógena del Pórfido Paleoceno Spence*.
- Pontificia Universidad Católica de Chile. (2018). *Curso 1 Conflictividad socioambiental: Reconociendo las miradas del conflicto*. Santiago, Chile: Centro de Políticas Públicas.
- Pucobre. (2018). *Ficha del Proyecto: Recuperación de mineral de cobre desde botaderos Venado Sur*.
- Riochilex S.A. (2002). *Estudio de Impacto Ambiental, Resumen Ejecutivo*.
- Romero. H., Videla. A., & Gutiérrez. F. (2017). *Explorando conflictos entre comunidades indígenas y la industria minera en Chile: las transformaciones socioambientales de la región de Tarapacá y el caso de Lagunillas*.
- Sapag. N. (2007). *Proyecto de Evaluación: Formulación y Evaluación 1º edición Sapag*.
- SEIA. (2019). *Permiso para botaderos de estériles o acumulación de mineral*.
- SERNAGEOMIN. (2007). *Catastro de faenas mineras abandonadas o paralizadas*.
- SERNAGEOMIN. (2012). *Ley 20.551 Regula el Cierre de Faena e Instalaciones Mineras*.
- SERNAGEOMIN. (2014). *Descripción de Proyectos de Explotación. Tratamiento de Minerales y Cierre de Faenas*.
- SKR Consulting. (2011). *Evaluación de estabilidad stock y botadero de lastre hipógeno*.
- Strohmayr. P. (1999) *Soil Stockpiling for Reclamation and Restoration activities after Mining and Construction*. Restoration and Reclamation Review. Student On-Line Journal (Hort 5015/5071). University of Minnesota. St. Paul. Minnesota (USA). Department of Horticultural.

Sorting. T. (2020). ¿Cómo alcanzar una economía circular en la clasificación de minerales?. Recuperado de <https://www.interempresas.net/Mineria/Articulos/307963-Como-alcanzar-una-economia-circular-en-la-clasificacion-de-minerales.html>

Vadillo Fernández. L.; López Jimeno. C.; González Cañibano. J.; González Santos. A.; Navarro Morente. E.; Vázquez García. A. (1995). *Manual de reutilización de residuos de la Industria Minera. Siderometalúrgica y Termoeléctrica*. ITGME. Serie: Ingeniería Geoambiental.

Valencia. J. (2005). *Indicadores de Sostenibilidad para la Industria Extractiva. Propuesta para la minería aurífera de Colombia*.

## APÉNDICE

Apéndice A: Análisis químico del botadero.

Parámetro	Unidad	Promedio	Máximo	Mínimo
Al	%	11,6	11,6	4,4
Ca	%	3,6	3,6	0,03
Fe	%	19,4	19,4	1,4
K	%	5,2	5,2	0,8
Mg	%	2,4	2,4	0,1
Na	%	2,9	2,9	0,1
S	%	17	17	0,1
Ti	%	0,5	0,5	0,1
Ag	mg/Kg	1,6	15,7	0,5
As	mg/Kg	34	631	5
Ba	mg/Kg	451	1.120	70
Be	mg/Kg	2,1	3,7	0,7
Bi	mg/Kg	2,8	36	2
Cd	mg/Kg	0,9	7,8	0,5
Co	mg/Kg	21,9	89	1
Cr	mg/Kg	40,7	74	3
Cu	mg/Kg	3.174	>10.000	37
Ga	mg/Kg	20,8	30	10
Hg	mg/Kg	0,02	0,8	0,01
La	mg/Kg	25	60	10
Mn	mg/Kg	668	20.300	9
Mo	mg/Kg	98	2.810	1
Ni	mg/Kg	33,5	99	2
P	mg/Kg	771	1.560	170
Pb	mg/Kg	23,4	539	2
Sb	mg/Kg	9	268	5
Sc	mg/Kg	14	22	3
Sr	mg/Kg	165	1.010	14
Th	mg/Kg	25	70	20
Tl	mg/Kg	10	10	10
U	mg/Kg	13	60	10
V	mg/Kg	102	157	25
W	mg/Kg	58	6.150	10
Zn	mg/Kg	382	8.450	9



Apéndice B: Préstamo

	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>2030</b>	<b>2031</b>
Valor a pagar (MUSD)	\$934.407	\$868.635	\$799.575	\$727.061	\$650.922	\$570.976	\$487.032	\$398.892	\$306.344	\$209.169	\$107.135
Cuota (MUSD)	\$112.492	\$112.492	\$112.492	\$112.492	\$112.492	\$112.492	\$112.492	\$112.492	\$112.492	\$112.492	\$112.492
Interés (MUSD)	\$46.720	\$43.432	\$39.979	\$36.353	\$32.546	\$28.549	\$24.352	\$19.945	\$15.317	\$10.458	\$5.357
Amortización (MUSD)	\$65.772	\$69.060	\$72.513	\$76.139	\$79.946	\$83.943	\$88.141	\$92.548	\$97.175	\$102.034	\$107.135
Resto a pagar (MUSD)	\$868.635	\$799.575	\$727.061	\$650.922	\$570.976	\$487.032	\$398.892	\$306.344	\$209.169	\$107.135	\$0

Apéndice C: Flujo de caja

Flujo de caja	Año					
	0	1	2	3	4	5
Ingresos		\$200.559	\$182.326	\$173.821	\$159.930	\$155.854
Ventas						
Costos Administrativos		-\$295	-\$295	-\$295	-\$296	-\$296
Costos Operacionales		-\$95.555	-\$92.364	-\$87.094	-\$81.799	-\$79.659
Interés por préstamo		-\$46.720	-\$43.432	-\$39.979	-\$36.353	-\$32.546
Valor libro						
Depreciación		-\$0,111	-\$0,111	-\$0,111	-\$0,111	-\$0,111
Utilidad	\$0	\$57.989	\$46.235	\$46.452	\$41.482	\$43.354
Impuesto	\$0	-\$12.178	-\$9.709	-\$9.755	-\$8.711	-\$9.104
Utilidad neta	\$0	\$45.811	\$36.526	\$36.697	\$32.771	\$34.250
Valor libro						
Depreciación		\$0,111	\$0,111	\$0,111	\$0,111	\$0,111
Capital de trabajo	\$35.918	\$36.648	\$36.485	\$36.374	\$35.887	\$35.411
Inversión	-\$1,00274					
Amortización		-\$65.772	-\$69.060	-\$72.513	-\$76.139	-\$79.946
Préstamo	\$934.407					
Valor de desecho						
Flujo neto	\$970.324	\$16.687	\$3.950	\$558	-\$7.481	-\$10.285
Saldo inversión	\$970.324	\$987.011	\$990.961	\$991.519	\$984,038	\$973.753

	<b>Año</b>					
<b>Flujo de caja</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
Ingresos	\$164.327	\$173.210	\$176.097	\$181.718	\$174.729	\$170.323
Ventas						\$0.0667
Costos Administrativos	-\$296	-\$296	-\$296	-\$296	-\$297	-\$297
Costos Operacionales	-\$85.836	-\$85.007	-\$83.222	-\$81.574	-\$86.798	-\$88.941
Interés por préstamo	-\$28.549	-\$24.352	-\$19.945	-\$15.317	-\$10.458	-\$5.357
Valor libro						
Depreciación	-\$0,111	-\$0,111	-\$0,111	-\$0,111	\$0,000	\$0,000
Utilidad	\$49.646	\$63.555	\$72.634	\$84.530	\$77.176	\$75.728
Impuesto	-\$10.426	-\$13.347	-\$15.253	-\$17.751	-\$16.207	-\$15.903
Utilidad neta	\$39.220	\$50.209	\$57.381	\$66.779	\$60.969	\$59.825
Valor libro						
Depreciación	\$0.111	\$0.111	\$0.111	\$0.111	\$0.000	\$0.000
Capital de trabajo	\$35.162	\$37.067	\$37.916	\$37.392	\$36.201	\$0
Inversión						
Amortización	-\$83.943	-\$88.141	-\$92.548	-\$97.175	-\$102.034	-\$107.135
Préstamo						
Valor de desecho						\$0.02082
Flujo neto	-\$9.561	-\$865	\$2.750	\$6.996	-\$4.864	-\$47.310
Saldo inversión	\$964.191	\$963.326	\$966.076	\$973.072	\$968.208	\$920.898