

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO AL PLAN DE EXTRACCIÓN EN
MINERA CATEMU

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Técnico Universitario en
Minería y Metalurgia.

Alumno:
Constanza Velásquez Rowlinson

Profesor Guía:
Ing. Marcelo Rojas

2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE
MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía: ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Propuesta de Mejoramiento al Plan de Extracción en Minera CATEMU

Nombre del candidato(a): Constanza Sabina Velásquez Rowlinson

Carrera / Grado: Técnico Universitario en Minería y Metalurgia

Campus: Sede José Miguel Carrera Departamento: Departamento de Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Marcelo Rojas V., en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente DEJO CONSTANCIA que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo NO contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo CONTIENE información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por (marcar una opción):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 11/12/2025

Firma: [Firma]

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 10/12/2025

Firma: [Firma]

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

AGRADECIMIENTOS

Constanza Velásquez Rowlinson

Quiero comenzar agradeciendo a mis padres, Magaly y Héctor, agradecerles por los largos de más de 20 años de enseñanza, amor y responsabilidad, por la cual se sometieron a la prueba más difícil que es criar y formar a una mujer independiente.

El camino ha sido agotador, pero motivante donde cada muestra de apoyo y preocupación ha sido determinante en el logro de mis metas y triunfos durante la vida, además de sentir el apoyo incondicional de mi familia tanto mis padres, abuela, tío, hermanos, que en este largo caminar han estado entregándome el apoyo y consejos correctos para encauzar mi futuro.

Por último, gracias, mamá por estar siempre ayudándome desde el colegio a la universidad, entregándome sabiduría y responsabilidad, estando siempre a mi lado en cada paso que doy, aunque cometa un error, saber arreglarlo y superar todo tipo de obstáculo en la vida.

RESUMEN

La investigación se orienta a proponer mejoras en el plan de extracción en Minera Catemu, mediante la consulta de fuentes primarias ofrecidas por el Servicio Nacional de Minería y Geología (SERNAGEOMIN) para la selección de datos metalógenicos que permitan elevar su producción, a través de la recopilación de los antecedentes generales del proceso de extracción minera para la selección de los elementos críticos, mediante la utilización del Diagrama Jack Knife, a fin de determinar las prioridades, la explicación a través de un Diagrama SIPOC los límites, el punto de inicio y final del proceso de extracción minera a mejorar, mediante el análisis Causa- Raíz visualizando los impactos que provocan en el proceso de extracción, para finalmente desarrollar la propuesta de mejoras en el plan de extracción en Minera Catemu, mediante la consulta de fuentes primarias ofrecidas por el Servicio Nacional de Minería y Geología (SERNAGEOMIN). . A través del análisis Causa- Raíz se visualizaron los impactos que provoca en el proceso de extracción, la ausencia de la aplicación de la Ley Mínima de Corte que produce el desconocimiento de la tasa de producción de la Cantera y la disposición de Minerales marginales incurriendo en incumplimiento de la norma ambiental, conforman las fallas principales en el proceso de extracción minera. Se desarrolló una propuesta de mejora en base a mejores prácticas en el plan de extracción en Minera Catemu, basadas en exploración efectiva y disposición del sitio, rompimiento efectivo de rocas, transporte eficiente, clasificación eficaz del mineral y procesamiento selectivo, gestión eficaz de la capa superior del suelo y medidas de seguridad.

Descriptores: Mejoras, Plan de Extracción, Minera Catemu, SERNAGEOMIN.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
ÍNDICE DE FIGURAS	4
INDICE DE TABLAS.....	4
SIGLAS Y SIMBOLOGÍA	5
OBJETIVOS.....	6
Objetivo General	6
Objetivos específicos	6
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES.....	7
1. ANTECEDENTES	8
1.1 PRESENTACION DEL TEMA	8
1.1.1 Descripción del problema que se pretende resolver.....	8
1.1.2 Propuesta a desarrollar.....	8
1.2. ANTECEDENTES DEL PROYECTO	9
1.2.1 Proceso de explotación minera.....	9
1.3 CONTEXTO EN QUE SE DESARROLLA EL PROYECTO.....	9
1.3.1 Contexto	9
1.3.2 Misión de la Empresa	11
1.3.3 Impacto del proyecto	12
1.4 ASPECTOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS	12
1.4.1 Explotación Minera a Cielo Abierto.....	12
1.4.2 Legislación en seguridad minera	13
1.4.2.3 Análisis de Causa Raíz	17
1.4.2.4 Aplicación del Análisis Causa Raíz	18
1.4.2.5 Niveles del Análisis de Causa Raíz	18
1.4.2.6 Diagrama SIPOC	19
1.5 Diagrama Jack Knife.....	20
CAPÍTULO II ANÁLISIS	21
2.1 Recopilar los antecedentes generales del proceso de extracción minera para la selección de los elementos críticos, mediante la utilización del Diagrama Jack Knife, a fin de determinar las prioridades	22
2.2 Explicar a través de un Diagrama SIPOC los límites, el punto de inicio y final del proceso de extracción minera a mejorar, mediante el análisis Causa- Raíz visualizando los impactos que provocan en el proceso de extracción.....	25
2.2.1 Aplicación del Análisis Causa Raíz.....	27
CAPÍTULO III PROPUESTA DE MEJORAMIENTO AL PLAN DE EXTRACCIÓN EN MINERA CATEMU	31

3.1 Propuesta de mejoras en el plan de extracción en Minera Catemu, mediante la consulta de fuentes primarias ofrecidas por el Servicio Nacional de Minería y Geología (SERNAGEOMIN). 32

3.1.1 Definición del mineral y su separación a partir de una ley mínima de corte 32

3.1.2 Disposición de minerales marginales..... 34

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 41

BIBLIOGRAFÍA..... 43

INTRODUCCIÓN

En Chile, la minería ha cubierto la atención a nivel industrial, puesto que es una actividad vital para el desarrollo económico y social, contribuyendo al ingreso nacional, a la recaudación del gobierno, a crear oportunidades laborales, empresariales y, en definitiva, al crecimiento del país. La producción chilena en 2020 fue de 5.732 millones de Toneladas Métricas (TM) de cobre, cubriendo una participación mundial del 28%, 32.03 TM de oro, con participación mundial de 1%, 1473.88 TM de plata, con una participación mundial de 6%, 59.381 TM de molibdeno, con una participación mundial de 20% y 8.4 millones de TM, cubriendo una participación mundial de 0.5% (Consejo Minero a partir de información del Servicio Geológico de EE.UU., de Sernageomin y de Cochilco, 2020).

Así, la explotación de la minería a cielo abierto se caracteriza por presentar un proceso de ingeniería y de aprobación de la inversión de extensa duración. Esto se debe principalmente a las características intrínsecas de un proyecto con esas particularidades, puesto que para su elaboración se necesita una base minera robusta, para predecir las situaciones de riesgo de desprendimiento, en orden a garantizar la seguridad de personas y bienes en el desarrollo de las labores de explotación, a tal fin, se requiere del desarrollo de campañas de sondajes con fines geometalúrgicos, hidrogeológicos, además de análisis químicos, ensayos de muestras, pruebas metalúrgicas y estudios geomecánicos, los cuales al unísono permite identificar los factores de control de la mineralogía y definir de mejor manera la distribución superficial y en profundidad de los recursos minerales, constituyéndose en pasos fundamentales para su plan de explotación, tanto a nivel macro (escala yacimiento) como a nivel de detalle (bloques mineralizados).

Por tanto, los estudios geomecánicos representan en la minería un factor importante a considerar, puesto que comprende el estudio de las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la tierra, tomando en cuenta las fuerzas naturales e inducidas como resultado del desarrollo de excavaciones a rajo abierto, solucionando el problema de potenciales inestabilidades en las labores.

Siendo estos estudios geomecánicos costosos, existe una alternativa para que la pequeña minería que no pueden invertir cuantiosamente disponga de estos para dar inicio, continuidad o cierre de sus operaciones mineras y esta es ofrecida por el Servicio Nacional de Minería y Geología (SERNAGEOMIN) quien cumple un rol fundamental, puesto que tiene sistematizada la información de exploración entregada por las Entidades Informantes de acuerdo con lo establecido en el reglamento, de forma de consolidar los antecedentes y datos técnicos obtenidos de las actividades de

exploración realizadas en Chile. La institución recibe, revisa y pone a disposición del público, mediante sus plataformas y sitios web, toda la información proporcionada por las Entidades Informantes, las que incluyen bases de datos de sondajes, geoquímica, geocronología y geofísica, en formatos editables para que puedan ser reprocesadas y analizadas por los interesados. Además, se pueden descargar mapas geológicos, estudios de mineralogía y petrografía, y documentos complementarios a la información geológica básica, clasificada según el artículo 7 del Reglamento 104¹.

Toda esta información es de gran utilidad para la pequeña minería, ya que otorga las herramientas necesarias para saber de ubicaciones físicas donde es potencialmente posible iniciar operaciones que proyecten una ganancia a mediano plazo, sin tener que necesariamente realizar inversiones mayores en la evaluación. Además, este Servicio otorga los lineamientos necesarios para el inicio de una operación, informando las cartillas que se deben completar por los interesados, dependiendo del tamaño de la operación, los requisitos centralizados, lo que propende a optimizar los tiempos de entrada en operación.

Dada la información metalogénica y de suelos de fundación de que dispone Sernageomin, es posible definir una alternativa de mejoramiento de la explotación de la minera Catemu ubicada en la región de Valparaíso, en la Provincia de San Felipe, Comuna de Catemu, específicamente, en el cerro La Carpa, donde se emplaza la Minera, en la cual subyace un yacimiento relativamente no tan profundo, en forma principalmente simple, masiva, y mayoritariamente horizontal.

El método de explotación del yacimiento a cielo abierto es tipo Cantera. Específicamente, en forma descendente, se ejecutan bancos horizontales en ladera, para la extracción del cuarzo y arcilla. Para la explotación se utiliza maquinaria pesada, sin embargo, también se realizan tronaduras. Al respecto, se utilizan al menos el 50% del mineral y estéril que sería extraído, por lo que éste no necesitaría ser tronado. Luego, la frecuencia de las tronaduras dependería de la cantidad de mineral y/o estéril a remover. La maquinaria y la tronadura permiten un trabajo favorable dentro de la minera, cada uno de ellos cumple una función esencial para el transporte y extracción del mineral. La tronadura es contada desde que se iniciaría el carguío de explosivos y accesorios, hasta que culminase la etapa de voladura de rocas, a pesar de esto se considera puede mejorar el método de explotación.

Actualmente la Minera presenta problemas para la definición del mineral y su separación a partir de una ley mínima de corte, la disposición de minerales marginales,

¹ Decreto 104, Reglamento que regula la entrega de información de carácter general obtenida de los trabajos de exploración geológica básica, Ministerio de minería, <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1103231>, 2021

que comprometen su producción a corto y mediano plazo, su dinámica operativa se encuentra enmarcada en el Código de Minería, Ley 18248².

Por tanto, los datos ofrecidos por SERNAGEOMIN resultarían útiles, porque posibilitaría abordar las problemáticas expresadas, en el desarrollo del proceso de extracción minera a cielo abierto, de manera óptima, con la finalidad de aumentar su tasa de producción ya que en los últimos meses, siendo una cantera artesanal, en su explotación de arcilla (Bauxítica, Caolin y Bentonita), utilizadas en la fabricación de insumos y productos finales destinados a la construcción habitacional y las obras civiles, principalmente en mercados internos y explotación de cuarzo utilizado en la producción de cargas, filtrantes, fundentes metalúrgicos, pigmentos, absorbentes, aislantes, abrasivos, colorantes, enmiendas y fertilizantes, destinados casi exclusivamente a mercados nacionales y cobre participan escasamente en un 1,2% de la producción nacional en estos minerales.

A tal fin el propósito de este estudio consiste en proponer mejoras en el plan de extracción en Minera Catemu, mediante la consulta de fuentes primarias ofrecidas por el Servicio Nacional de Minería y Geología (SERNAGEOMIN) para la selección de datos metalógenicos que permitan elevar su producción. Lo que constituirá para Minera Catemu, una base para aplicar estudios y proyecciones que contribuyan al crecimiento del sector durante los próximos años, de manera sustentable en el tiempo y compatible con la seguridad de las personas que trabajan allí.

² <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=29668>, consultado julio 2021

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Vista de la ubicación topográfica, Minera Catemu..... 10

Figura 1-2 Vista ubicación geográfica de la mina Catemu 11

Figura 1-3 Árbol lógico de fallas 17

Figura 1-4 Diagrama SIPOC 19

Figura 2-1 Minera Catemu 22

Figura 2-2 Geolocalización Cerro Carpa..... 23

Figura 2-3 Formula LCC 24

Figura 2-4 Diagrama Jack Knife 25

Figura 2-5 Diagrama SIPOC 26

Figura 2-6 Causa Raíz de aplicación de la Ley Mínima dde Corte..... 28

Figura 2-7 Causa Raíz de la disposición de Minerales Marginales..... 29

Figura 2-8 Procedimiento lógico 30

Figura 3-1 Formula ley de corte 32

Figura 3-2 Pilas de minerales marginales..... 35

Figura 3-3 Ciclo del sistema Shovel-Truck..... 37

INDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Costos Diseño Mina 32

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

SIGLAS

SERNAGEOMIN: Servicio Nacional de Geología y Minería.

EE.UU: Estados Unidos de América.

COCHILDO: Comisión de Energía Nuclear.

SIPOC: Acrónimo en inglés de Suppliers, Inputs, Process, Output, Customers; también conocida como COPIS.

RCA: Análisis de Causa Raíz.

LCC: Ley de Corte Crítica.

GPR: Radar de Penetración Terrestre.

SIMBOLOGÍA

TM: Toneladas Métricas.

US\$/Ton: Dólares por Tonelada de material.

US\$/Lb: Dólares por Libra de material.

Km: Kilómetros.

C.M.: Costo Mina.

OBJETIVOS

Objetivo General

Proponer mejoras en el plan de extracción en Minera Catemu, mediante la consulta de fuentes primarias ofrecidas por el Servicio Nacional de Minería y Geología (SERNAGEOMIN) para la selección de datos metalógenicos que permitan elevar su producción.

Objetivos específicos

1. Recopilar los antecedentes generales del proceso de extracción minera para la selección de los elementos críticos, mediante la utilización del Diagrama Jack Knife, a fin de determinar las prioridades.
2. Explicar a través de un Diagrama SIPOC los límites, el punto de inicio y final del proceso de extracción minera a mejorar, mediante el análisis Causa- Raíz visualizando los impactos que provocan en el proceso de extracción.
3. Desarrollar la propuesta de mejoras en el plan de extracción en Minera Catemu, mediante la consulta de fuentes primarias ofrecidas por el Servicio Nacional de Minería y Geología (SERNAGEOMIN).

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

1. ANTECEDENTES

1.1 PRESENTACION DEL TEMA

1.1.1 Descripción del problema que se pretende resolver

A través de las primeras experiencias en el mundo laboral, el Técnico Universitario en Minería y Metalurgia estará capacitado para desempeñarse en cualquier actividad relacionada tanto en Minería (Perforación y Tronadura, Carguío y Transporte y Servicios a la Minería), como Metalurgia (Conminución y Concentración de Minerales) tanto metálica como no metálica, así como también en actividades relacionadas con áridos. La compañía minera Catemu pase por un momento complejo debido a que en su proceso de extracción a cielo abierto (un rajo) conjugan procesos de la perforación y tronadura para separar el mineral de la roca, y el carguío y transporte para llevarlo a planta.

Por aspectos geológicos los óxidos (arcilla y cuarzo) se encuentran más cerca de la superficie, y por tanto tienden a ser los primeros en explotarse, mientras que los sulfuros (cobre) se encuentran a una mayor profundidad y, por ende, en general, se explotan en yacimientos de mayor edad. En ambos procesos se requiere estudios metalogénicos y de suelos de fundación de muy alto costo para ser asumido por esta Minera artesanal, lo que la suprime a seguir con una producción disminuida al no contar con proyecciones y datos para tal fin.

1.1.2 Propuesta a desarrollar

Cuando una faena es de pequeñas dimensiones (Pequeña Minería) como Minera Catemu, generalmente las posibilidades de uso de última tecnología se ven mermada, tanto por temas logísticos, personal cualificado, como de capacidad de inversión en su implementación y mantención, el capital es escaso, por lo que se decantan por métodos más bien artesanales, tanto en la exploración, como en perforación y tronadura. Por tanto, la propuesta a considerar comprende la recopilación de los antecedentes generales del proceso de extracción minera para la selección de los elementos críticos, la explicación de los puntos críticos del proceso de extracción minera a mejorar, visualizando los impactos que provocan en el proceso de extracción y la propuesta de mejoras en el plan de extracción en Minera Catemu, mediante la consulta de fuentes primarias ofrecidas por el Servicio Nacional de Minería y Geología. (SERNAGEOMIN)

1.2. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

1.2.1 Proceso de explotación minera

La extracción es el proceso por el cual se retira el material desde el macizo rocoso que forma el yacimiento. Esta etapa comprende tres importantes subprocesos:

- Perforación: Una vez elegido la zona a explotar y utilizando una perforadora, se taladra la roca y se deposita el material explosivo en la cavidad generada.
- Tronadura: Corresponde al proceso durante el cual se hace explotar el explosivo depositado en la etapa anterior y se logra separar el material a extraer del resto del macizo rocoso.
- Carguío: El material dinamitado es sacado de la zona de explotación utilizando una pala y cargado en el sistema de transporte de la faena como camiones de gran tonelaje para el caso de minería a cielo abierto.

Conjuntamente, el material cargado debe ser transportado al lugar de destino correspondiente. Puede ser a la etapa de chancado, en el caso del mineral sobre ley de corte, a botaderos de lixiviación, en caso de sulfuros de baja ley, o a botaderos en caso de ser considerado material estéril. Una última variante se genera al transportar el mineral hacia stocks temporales, cuando alguna situación operacional lo amerita. (Rojas,2009)

1.3 CONTEXTO EN QUE SE DESARROLLA EL PROYECTO

1.3.1 Contexto

La minera Catemu se ubica en la región de Valparaíso, en la Provincia de San Felipe, Comuna de Catemu. Específicamente, en el cerro La Carpa que se ubica al interior de la propiedad minera, posee 10,3 [Km] al Norte de la localidad de Catemu, y que, a su vez, se emplaza en el Lote B, de la Hacienda Los Cerrillos. La cuenca está influenciada en el sector alto, por rocas sulfuradas, materiales volcánicos vítreos de texturas gruesas ubicados en los sectores de mayores pendientes en la Cordillera de los Andes. En el sector de río Aconcagua, localidad de San Felipe, existe influencia de rocas ácidas. En sectores próximos a la desembocadura, existe influencia mixta de rocas sulfuradas y de caliza. Las formaciones corresponden a:

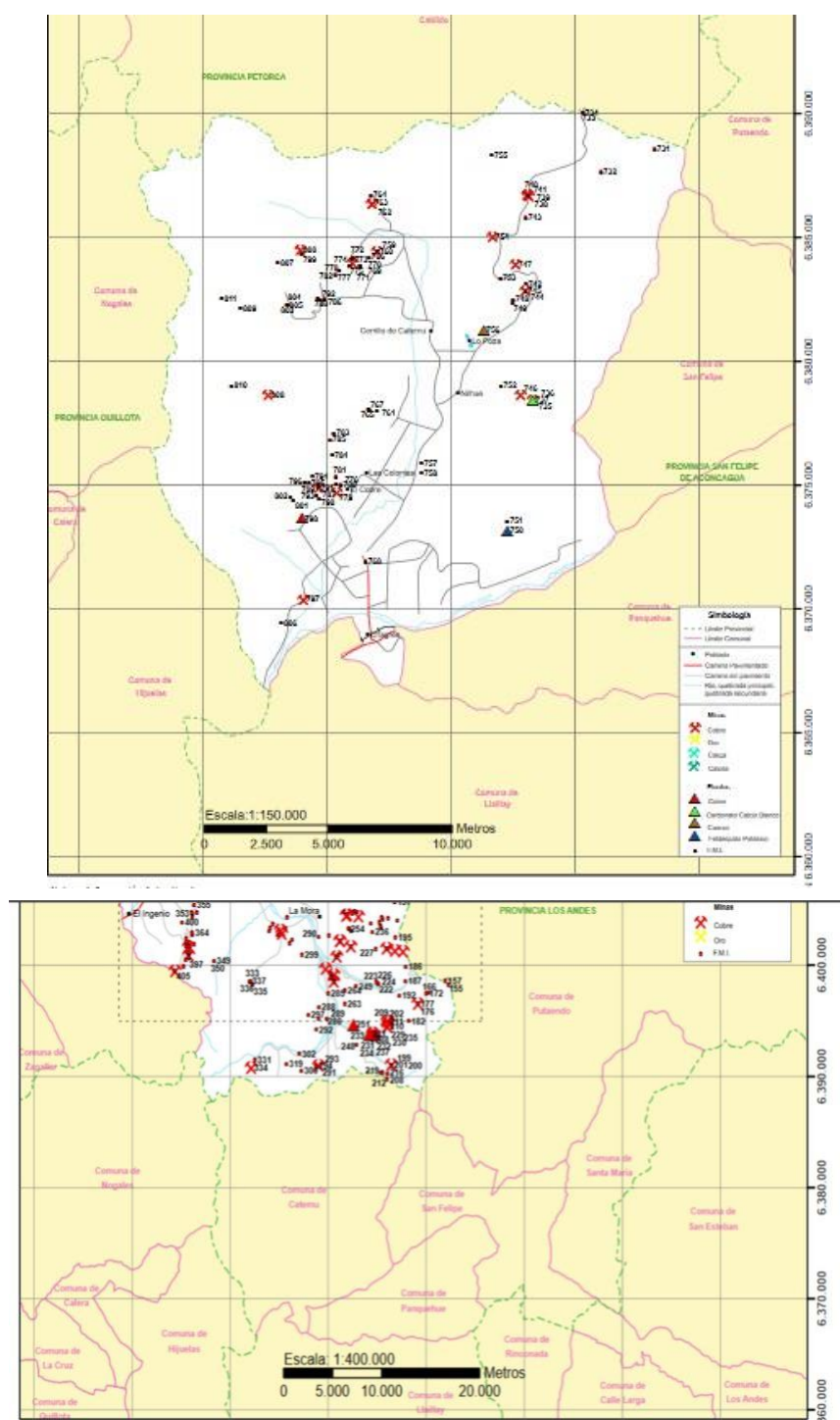


Figura 1-1 Vista de la ubicación topográfica, Minera Catemu

- Rocas Sedimentarias del Pleistoceno-Holoceno; Depósitos fluviales; gravas, arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas subactuales y llanuras de inundación.
- Rocas Volcánicas del Mioceno Inferior-medio; Complejos volcánicos parcialmente erosionados y secuencias volcánicas, lavas, brechas, domos y rocas piroclásticas andesíticos-basálticas a dacíticas.

- Rocas volcano-sedimentarias del cretácico inferior-Cretácico Superior. Secuencias sedimentarias y volcánicas continentales, con escasas intercalaciones marinas: brechas sedimentarias y volcánicas, lavas andesíticas, ocoitas, conglomerados, areniscas, linolitas calcáreas lacustres con flora fósil; localmente calizas fosilíferas marinas en la base.

La localidad rural más próxima al área de emplazamiento de la explotación de mineral, se encontraría a 3,8 [Km] y correspondería al poblado Los Cerrillos de Catemu, de la comuna de Catemu.

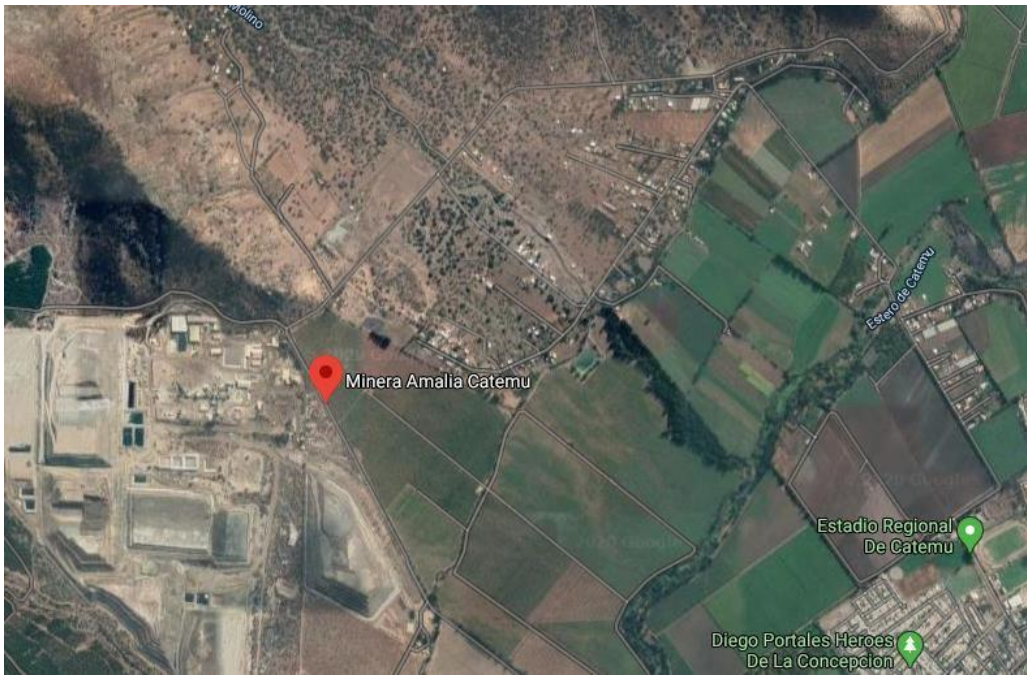


Figura 1-2 Vista ubicación geográfica de la mina Catemu

El acceso al área de emplazamiento del proyecto se ejecutaría desde la Planta Catemu hasta Mina Uva, por camino de enlace que tiene una extensión de 13 [Km]. Luego, se continuaría por un camino privado de enlace de la Mina Uva con Mina Cardenilla, de 7 [Km] de extensión, que llegaría directamente hasta el área de ejecución del proyecto. Ambos caminos se encuentran construidos.

1.3.2 Misión de la Empresa

Según, Manual de Calidad (2010) de la Empresa Minera Catemu, la Misión y políticas de la Empresa se enfocan en:

“Realizar nuestro trabajo con altos estándares de salud ocupacional y seguridad, siendo efectivos y eficientes en generar las mejores condiciones de seguridad y salud ocupacional, para todos los trabajadores, propios y contratistas”.

1.3.3 Impacto del proyecto

El impacto del proyecto se circunscribe en que los equipos operen sin averías y fallos, eliminar toda clase de pérdidas, mejorar la fiabilidad y disponibilidad de los equipos y emplear verdaderamente la capacidad industrial instalada, reduciendo los costes de mantenimiento y eliminar pérdidas que afectan la productividad de la Minera. Lo que sin duda redundará en el fortalecimiento del trabajo en equipo, incremento en la moral del trabajador, crear un espacio donde cada persona pueda aportar lo mejor de sí, todo esto, con el propósito de hacer del sitio de trabajo un entorno creativo, seguro, productivo y donde trabajar sea realmente grato y satisfactorio.

1.4 ASPECTOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS

1.4.1 Explotación Minera a Cielo Abierto

La elección de un método de explotación de un yacimiento mineral se basa principalmente en una decisión económica la cual está relacionada con múltiples factores propios del yacimiento tales como ubicación, tamaño, topografía superficial, profundidad del cuerpo mineral, tipo de mineral, calidad y distribución de la mineralización y características de la roca. Toda esta información proviene de una exploración geológica desarrollada previamente. La explotación de minas es el conjunto de actividades y operaciones necesarias para separar físicamente los minerales desde su ambiente natural y transportarlos hasta las instalaciones de procesamiento. En Chile, el 85% de la producción de cobre proviene de faenas que explotan el recurso a rajo abierto, mientras que sólo el 15% restante lo hace a través de métodos de explotación subterráneos. (Ortiz, 2015)

La explotación a Cielo Abierto (u Open Pit) se utiliza cuando los yacimientos presentan una forma regular y están ubicados en la superficie o cerca de ésta, de manera que el material estéril que lo cubre pueda ser retirado a un costo tal que pueda ser absorbido por la explotación de la porción mineralizada. Las ventajas de este sistema de extracción es que permite utilizar equipos de grandes dimensiones, ya que el espacio no está restringido como en el caso de las minas subterráneas, sin embargo, su operación puede estar limitada por el clima como es el caso de las minas ubicadas en la alta cordillera o la zona central del país. (Rojas, 2009)

1.4.2 Legislación en seguridad minera

Las operaciones industriales en distintos ámbitos del quehacer humano, y especialmente la actividad minera, tanto subterránea como a cielo abierto, tiene su propia legislación vigente, y en el presente trabajo nos referiremos a dos reglamentos, el DS. 132 y el DS. 594, los cuales tienen como objetivo el resguardo de las personas que trabajan en la minería, el entorno y el cuidado del terreno donde se emplazan las distintas labores. Por una parte, se ve el DS. 132, que, pese a que a lo largo de los años ha sufrido ciertas modificaciones, nunca ha dejado el foco de la seguridad en la industria minera. Por su parte el Decreto Supremo 594, aunque es útil para toda industria, es especialmente aprovechable por la minería, debido a sus reglas claras en cuanto a ventilación y operación.

DS. 132:

El presente decreto supremo es el que establece los principales lineamientos reglamentarios para todas las operaciones mineras en Chile, sean a cielo abierto como subterráneas, siempre centrando el foco en las personas y las instalaciones. Este reglamento dispone las principales normas para la apertura de proyectos, modificaciones o actualizaciones de estos, como del cierre de una faena, desglosando detalladamente como debe llevarse a cabo cada parte de la operación. En lo que respecta al establecimiento de un método de explotación o el cambio de este durante la vida del proyecto, este reglamento indica:

En su título II de Normas Generales, Capítulo Primero De las Obligaciones de las empresas:

“Artículo 21: Toda empresa minera que inicie o reinicie obras o actividades, deberá previamente informarlo por escrito al Servicio, señalando su ubicación, coordenadas UTM, el nombre del Propietario, del Representante Legal, y del Experto o Monitor de Seguridad si procediera, indicando su número de registro y categoría, a lo menos con quince (15) días de anticipación al inicio de los trabajos”.

“Artículo 22: Previo al inicio de sus operaciones, la empresa minera presentará al Servicio, para su aprobación, el método de explotación o cualquier modificación mayor al método aceptado, con el cual originalmente se haya proyectado la explotación de la mina y el tratamiento de sus minerales. Asimismo, se deberá presentar un proyecto de plan de cierre de las faenas mineras o cualquier modificación mayor que sufra a

consecuencia de los cambios del método de explotación o del tratamiento de sus minerales, y sólo podrá operar después de obtener la conformidad del Servicio, el que deberá pronunciarse dentro de los 60 días siguientes a la presentación. Se entiende por modificación mayor, a cambios importantes de ritmos de explotación, de tecnología y diseño en los métodos de explotación, ventilación, fortificación o de tratamiento de minerales determinados y nuevos lugares de ubicación, ampliación o forma de depositación de residuos mineros, por alteraciones en el tipo de roca, leyes o calidad de los minerales, como también, adelantos tecnológicos, que impliquen más que una simple ampliación de tratamiento para copar las capacidades de proyecto de sus instalaciones. Las Empresas Mineras deberán enviar, a petición del Servicio, una descripción de sus faenas, incluyendo datos o estimaciones acerca de las reservas de minerales clasificadas, capacidades instaladas y proyectos de ampliación. De igual forma se deberá proceder con los botaderos de estériles, relaves y rípios de lixiviación.”

En su Título III y Título IV, trata de Minería Subterránea y Cielo Abierto, respectivamente. El Título III, Capítulo Primero, respecto a los métodos de explotación indica:

"Artículo 95.- En las minas cuyo método de explotación pudiere generar hundimientos o cráteres que alcancen hasta la superficie y en que exista la posibilidad de que personas ajenas a la faena, o sin el conocimiento necesario, puedan transitar por la zona de hundimiento, se deberán colocar barreras de protección y señalización para advertir el peligro existente en dicha zona, incluyendo toda la zona de posible subsidencia."

En el Título IV, Capítulo Primero, en su artículo 237 indica la norma:

“Artículo 237.- Las minas a rajo abierto ya sean de minerales metálicos o no metálicos, deben ser explotadas mediante un sistema de "graderías" o "bancos", cuyo ancho, alto y ángulos de taludes, serán determinados de tal forma que garanticen los mejores estándares de seguridad para las operaciones, tomando en consideración, entre otros aspectos, factores tales como comportamientos geomecánicos de la roca, envergadura de los equipos de trabajo, planificación de expansiones, carpetas de rodados.”

“Artículo 242.- Cuando se requiera explotar a rajo abierto cerca o sobre explotaciones subterráneas abandonadas, se deberá contar con planos que indiquen la ubicación de las labores y caserones explotados, conocer el método de explotación subterráneo usado y mediante sondajes, determinar el límite de su socavamiento y posible presencia de agua.”

DS. 594:

Este decreto establece los lineamientos generales acerca de las condiciones Sanitarias y Ambientales, para toda industria en el territorio nacional, sea en una oficina, como en una fábrica, lo que incluye las faenas mineras. A lo largo de este reglamento se puede ver como instruye, sugiere u ordena a las distintas empresas o faenas, como debe mantenerse la ventilación o cuanto tiempo de exposición a sustancias químicas tolera la legislación, entre otras.

Así, dichos lineamientos quedan determinados de manera inicial en su Título I, artículos 1, 2 y 3: “Artículo 1º: El presente reglamento establece las condiciones sanitarias y ambientales básicas que deberá cumplir todo lugar de trabajo, sin perjuicio de la reglamentación específica que se haya dictado o se dicte para aquellas faenas que requieren condiciones especiales. Establece, además, los límites permisibles de exposición ambiental a agentes químicos y agentes físicos, y aquellos límites de tolerancia biológica para trabajadores expuestos a riesgo ocupacional.

Artículo 2º: Corresponderá a los Servicios de Salud, y en la Región Metropolitana al Servicio de Salud del Ambiente, fiscalizar y controlar el cumplimiento de las disposiciones del presente reglamento y las del Código Sanitario en la misma materia, todo ello de acuerdo con las normas e instrucciones generales que imparta el Ministerio de Salud.

Artículo 3º: La empresa está obligada a mantener en los lugares de trabajo las condiciones sanitarias y ambientales necesarias para proteger la vida y la salud de los trabajadores que en ellos se desempeñan, sean estos dependientes directos suyos o lo sean de terceros contratistas que realizan actividades para ella.

En su Título Tercero se encarga de establecer las instrucciones respecto a ventilación:

Artículo 32: Todo lugar de trabajo deberá mantener, por medios naturales o artificiales una ventilación que contribuya a proporcionar condiciones ambientales confortables y que no causen molestias o perjudiquen la salud del trabajador.

Artículo 33: Cuando existan agentes definidos de contaminación ambiental que pudieran ser perjudiciales para la salud del trabajador, tales como aerosoles, humos, gases, vapores u otras emanaciones nocivas, se deberá captar los contaminantes desprendidos en su origen e impedir su dispersión por el local de trabajo.

Con todo, cualquiera sea el procedimiento de ventilación empleado se deberá evitar que la concentración ambiental de tales contaminantes dentro del recinto de trabajo exceda los límites permisibles vigentes.

En su Título Cuatro, el reglamento se encarga de ahondar en las temáticas de Contaminantes y como tratar con éstos en ambientes laborales, faenas y fábricas.

Artículo 55: Los límites permisibles de aquellos agentes químicos y físicos capaces de provocar efectos adversos en el trabajador serán, en todo lugar de trabajo, los que resulten de la aplicación de los artículos siguientes.

Los límites de tolerancia biológica, así como los límites permisibles para agentes químicos y físicos deberán ser revisados cada 5 años.

Artículo 58: Se prohíbe la realización de trabajos, sin la protección personal correspondiente, en ambientes en que la atmósfera contenga menos de 18% de oxígeno. Sin embargo, deberá considerarse que la disponibilidad real de oxígeno depende de la presión parcial de esta sustancia.

Artículo 58 bis. -Toda actividad que implique corte, desbaste, torneado, pulido, perforación, tallado y, en general, fracturamiento de materiales, productos o elementos que contengan sílice, deberá realizarse aplicando humedad a la operación u otro método de control si no es factible la humectación.

El actual reglamento ahonda aún más en lo contaminantes ambientales y define los Límites aplicables dependiendo el caso.

Artículo 59: Para los efectos de este reglamento se entenderá por:

- a) Límite Permisible Ponderado: Valor máximo permitido para el promedio ponderado de las concentraciones ambientales de contaminantes químicos existente en los lugares de trabajo durante la jornada normal de 8 horas diarias, con un total de 45 horas semanales.
- b) Límite Permisible Temporal: Valor máximo permitido para el promedio ponderado de las concentraciones ambientales de contaminantes químicos en los lugares de trabajo, medidas en un período de 15 minutos continuos dentro de la jornada de trabajo. Este límite no podrá ser excedido en ningún momento de la jornada.
- c) Límite Permisible Absoluto: Valor máximo permitido para las concentraciones ambientales de contaminantes químicos medida en cualquier momento de la jornada de trabajo.

1.4.2.3 Análisis de Causa Raíz

El análisis de causa raíz (RCA) es un método cualitativo de análisis de falla que utiliza la lógica sistemática para lograr identificar las causas responsables de una falla. También permite identificar la mejor solución para corregir la causa identificada y como realizar su seguimiento, esta metodología se basa en el árbol lógico de falla (Ver Figura 1-4), la deducción y verificación de los hechos para encontrar el origen de una falla, permite aprender de las fallas y eliminar las causas, en lugar de corregir los síntomas.

Por su estructura, el RCA es un proceso que consume recursos y una gran cantidad de tiempo por lo tanto se debe establecer desde un principio si el problema requiere realizar o no un estudio de RCA. Con el fin de saber si una falla requiere de un RCA, se debe evaluar basado en sus consecuencias, por ejemplo: fallas que involucren la integridad de las personas, las inversiones o infraestructura, los equipos o la combinación de varias o todas las anteriores. El objetivo es determinar el origen de las causas físicas, humanas y latentes de una falla, la frecuencia con que apareció y el impacto que genera, por medio de un estudio minucioso de los factores, circunstancias y diferentes elementos que podrían mitigar o eliminar por completo la falla una vez tomadas las acciones correctivas que sugiera el análisis mejorando la seguridad, confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los equipos de la organización.

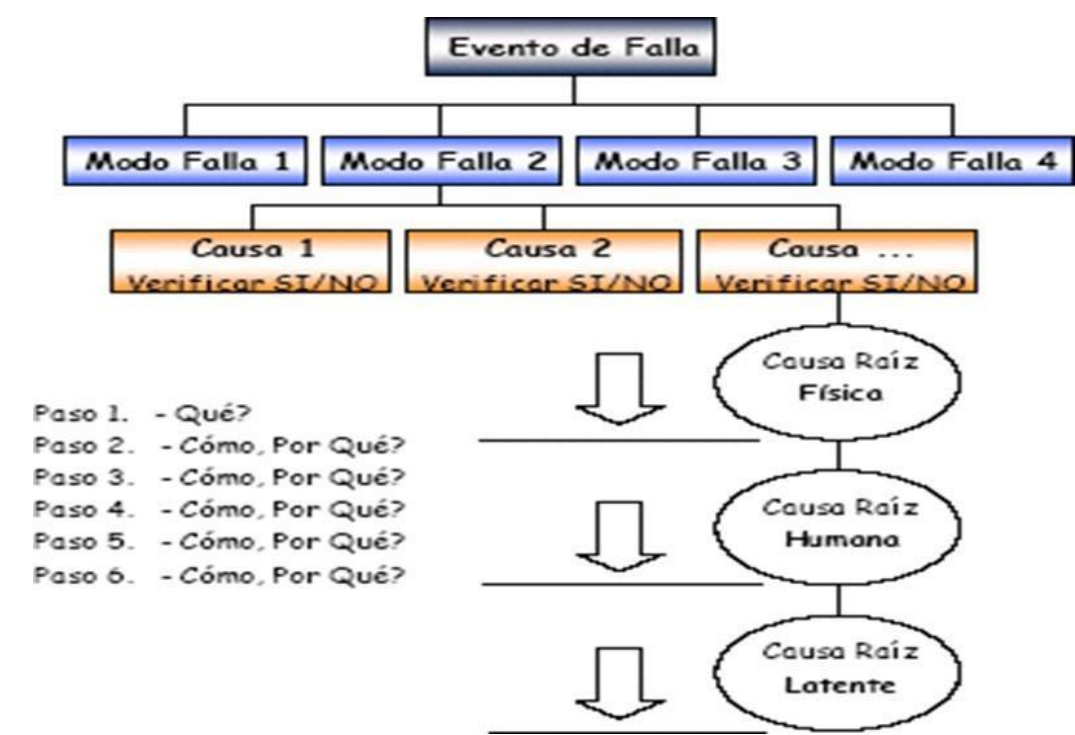


Figura 1-3 Árbol lógico de fallas

Fuente: ECOPETROL S.A. Manual para la Aplicación de la Metodología de Análisis de Causa Raíz para la Solución de Problemas

Se debe ir más allá de los componentes físicos de la falla o raíces físicas y analizar las acciones humanas que desataron la cadena de causa-efecto que llevo a la causa física, lo cual implica analizar por qué hicieron esto, si se debió a procedimientos incorrectos, especificaciones equivocadas o a falta de capacitación, lo cual puede sacar a la luz raíces latentes, es decir deficiencias en el gerenciamiento, que, de no corregirse, pueden hacer que la falla se repita nuevamente.

1.4.2.4 Aplicación del Análisis Causa Raíz.

En la aplicación del análisis de causa raíz consta de cuatro etapas básicas que se definirán a continuación.

1. Definición del problema: Esta etapa consiste en identificar cual es el problema o situación que se desea solucionar, en este punto se decide la aplicación de la herramienta ACR en busca de mejoras para el funcionamiento de los equipos o erradicar problemas complejos.
2. Análisis del problema: Costa del análisis preliminar y el desarrollo en pleno de la herramienta y definición de los pasos para la aplicación del RCA, los cuales son:
 - Recolectar datos de la falla
 - Ordenar el análisis (equipo multidisciplinario)
 - Analizar los datos (El equipo toma cada pieza del rompecabeza y la pone en su lugar)
3. Identificar soluciones efectivas: Esta etapa está ligada a los hallazgos y conclusiones obtenidas a lo largo de la aplicación del análisis causa raíz al problema estudiado, donde ya localizadas las causas de fondo se identifican las correcciones que se deberían realizar para asegurar la no ocurrencia del fallo.
4. Implementar soluciones: Cuando se realizan las correcciones propuestas a eliminar la falla, basadas en el plan de seguimiento propuesto a las recomendaciones emitidas en el informe RCA. (Latino,2002)

1.4.2.5 Niveles del Análisis de Causa Raíz

Para solucionar definitivamente un problema se debe llegar a la verdadera causa que lo está generando; es por esto que el análisis de causa tiene tres niveles de posibles causas.

- Causa Raíz Física: Reúne toda las situaciones o manifestaciones de origen físico que afectan directamente la continuidad operativa de los equipos o planta. En este nivel no se encontrará la causa raíz de la falla, sino un punto de partida para localizarla.
- Causa Raíz Humanas: Aquí se encuentran todos los errores cometidos por el factor humano y que inciden directa o indirectamente en la ocurrencia de la falla, esta es una de las categorías en la que se podía encontrar la causa raíz.
- Causa Raíz Latente: Todos aquellos problemas que, aunque nunca hayan ocurrido son factibles su ocurrencia, entre ellos: falta de procedimiento para arranque o fuera de servicio, personal de mantenimiento sin capacitación, inapropiados procedimientos de operación entre otros. (Latino,2002)

1.4.2.6 Diagrama SIPOC

Un diagrama SIPOC es una herramienta usada por un equipo de trabajo para identificar todos los elementos relevantes de un proceso al que se quiere mejorar. El nombre de esta herramienta proviene de las siglas en inglés, considera que se deben identificar los Proveedores (Suppliers) del proceso, las Entradas (input) al proceso, el Proceso (Process) a mejorar, las Salidas (Outputs) del proceso y quienes son los Clientes (Customers) que reciben las salidas del proceso. En algunos casos, se pueden anexar los requerimientos de los clientes al final del diagrama para más detalles. Este diagrama es muy útil cuando no hay claridad en: ¿Quiénes son los proveedores de las entradas del proceso?, ¿Que especificaciones para las entradas?, ¿Quiénes son los verdaderos clientes del proceso?, ¿Cuáles son los requerimientos de los clientes?

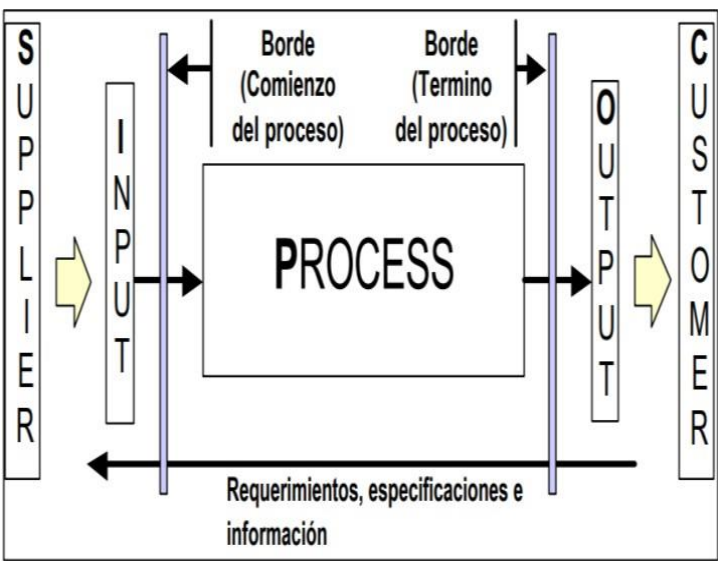


Figura 1-4 Diagrama SIPOC

1.5 Diagrama Jack Knife

Es un método para analizar el tiempo de inactividad o indisponibilidad de equipos o sistemas usando diagramas de dispersión. La elaboración de este diagrama preserva el esquema de clasificación de los histogramas de Pareto, y a su vez aporta contenidos adicionales con respecto a las frecuencias de fallas y tiempo medio de reparación, mediante la aplicación de valores límites, los diagramas de dispersión puede ser dividido en cuatro cuadrantes que permitan que las fallas sean clasificadas en: agudos, crónico, agudo/crónico y bajo control. Además, permiten fácilmente la identificación de los problemas que afectan a la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del sistema o equipos.

CAPÍTULO II ANÁLISIS

2.1 Recopilar los antecedentes generales del proceso de extracción minera para la selección de los elementos críticos, mediante la utilización del Diagrama Jack Knife, a fin de determinar las prioridades

El proyecto se encuentra en la región de Valparaíso, Provincia de San Felipe, Comuna de Catemu. Específicamente, en el cerro La Carpa que se ubica al interior de la propiedad minera Catemu posee, a 10,3 (Km.) al Norte de la localidad de Catemu, y que, a su vez, se emplaza en el Lote B, de la Hacienda Los Cerrillos. Es una cantera artesanal con explotación de arcilla (Bauxítica, Caolin y Bentonita). El botadero de estériles se ubicaría próximo al área de explotación, en la ladera del cerro mencionado, con un relieve suave de exposición Este – Oeste.

Figura 2.1 Minera Catemu



Figura 2-1 Minera Catemu

Dada la información metalogénica y de suelos de fundación de que dispone Sernageomin, es posible definir una alternativa de mejoramiento de la explotación de la minera Catemu ubicada en la región de Valparaíso, en la Provincia de San Felipe, Comuna de Catemu, específicamente, en el cerro La Carpa,(Ver figura 1) donde se emplaza la Minera, en la cual subyace un yacimiento relativamente no tan profundo, en forma principalmente simple, masiva, y mayoritariamente horizontal, con ángulos que varían entre 0° a 10°.

El método de explotación del yacimiento a cielo abierto es tipo Cantera, las labores se inician en forma de trinchera, hasta alcanzar la profundidad del primer nivel, específicamente, en forma descendente, se ejecutan bancos horizontales en ladera, para

la extracción del cuarzo y arcilla. Para la explotación se utiliza maquinaria pesada, sin embargo, también se realizan tronaduras utilizando para estos últimos explosivos Booster Pentolita de 450 g y Anfo Normal, para lo cual se toman medidas previas de seguridad que consisten en aislar convenientemente el área a tronar, desde el momento en que se inicien los preparativos de carguío, colocando las señalizaciones de advertencia que corresponda y suspendiendo toda actividad ajena en el sector comprometido. Sólo se permite en el área aislada al personal autorizado e involucrado en la manipulación del explosivo.

Figura 2.2 Geolocalización Cerro Carpa



Figura 2-2 Geolocalización Cerro Carpa

En conversaciones con las autoridades de la minera artesanal, manifiestan varios problemas descritos a continuación:

a) Definición del mineral y su separación a partir de una ley mínima de corte

La Ley de Corte se puede definir como la concentración mínima que debe tener un elemento en un yacimiento para ser explotable, es decir, la concentración que hace posible pagar todos los costos involucrados en el proceso minero (extracción más tratamiento más comercialización). El resto, se considera estéril o lastre y debe ser enviado a botaderos. Alfaro (2009) expresa que en minería a rajo abierto la política o estrategia de leyes de corte define el perfil de leyes de corte a utilizar en el programa de producción minero y el destino final del material. La ley de corte es el criterio empleado normalmente en minería para discriminar entre mineral y estéril. La

determinación de la ley de corte depende de factores económicos: precio de los metales, costo mina, flete, costos fijos, tasa de interés, etc., y de factores metalúrgicos: tipo de producto, proceso, capacidad, recuperación, impurezas, subproductos, etc. En conclusión, la ley de corte crítica es el parámetro económico en la planificación minera cuya finalidad es separar, es decir, a partir de esta se determina qué bloque de material se debe extraer del depósito y cuál no, y/o establecer que proporción de mineral minado es destinado para el procesamiento y cual para los botaderos. A continuación, se presentan las ecuaciones (1) y (2) que indican la manera tradicional de cálculo de la LCC. La primera se refiere a las LCC del pit final y la segunda a la LCC de procesamiento, llamadas como las leyes de corte critica de equilibrio.

$$LCC\ del\ pit\ final = \frac{m + c}{(s - r) * y} \tag{1}$$

$$LCC\ de\ procesamiento = \frac{c}{(s - r) * y} \tag{2}$$

Dónde:
 m = Costo de minado
 c = Costo de procesamiento
 s = Precio del producto
 r = Costo de venta
 y = Recuperación

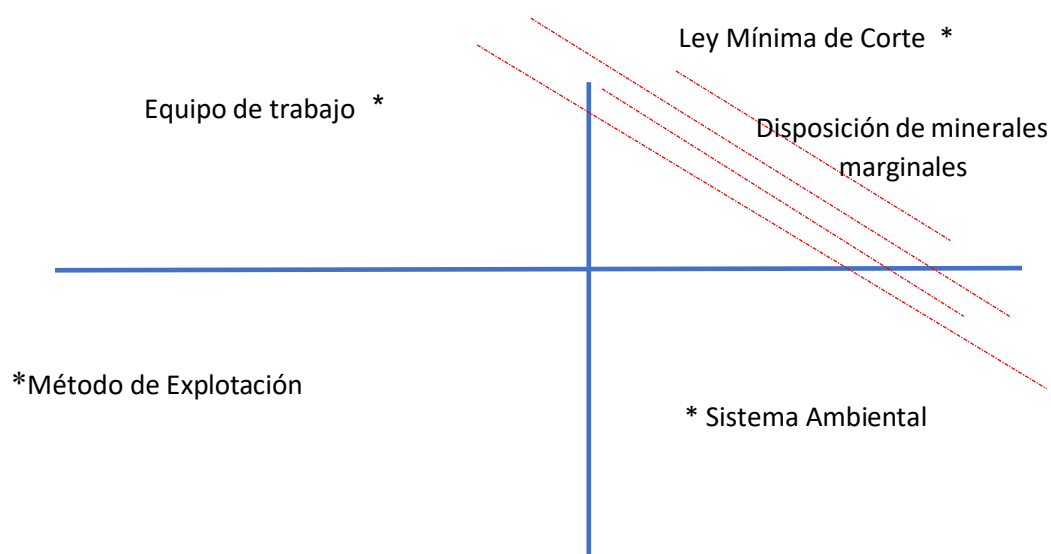
Figura 2-3 Formula LCC

b) La disposición de minerales marginales

El botadero de estériles se ubica próximo al área de explotación, en la ladera del cerro mencionado, con un relieve suave de exposición Este - Oeste. La localidad rural más próxima al área de emplazamiento de la explotación de mineral, se encuentra a 3,8 (Km.) y correspondería al poblado Los Cerrillos de Catemu, de la comuna de Catemu. Según certificado de la Dirección de Obras de la I. Municipalidad de Catemu, el área donde se emplaza el proyecto se encuentra fuera del límite urbano conforme a lo que se estipula en el Plano Regulador Comunal vigente.

La disposición de estéril se realiza normalmente por descarga desde el camión cerca de una quebrada, la cual está ubicada en las proximidades de la minera, lo que representa el botadero de estéril de la mina, el cual nunca se planificó, por lo que su llenado a provocado problemas topográficos y desniveles que ponen en riesgo la estabilidad del camión mientras descarga el material estéril, aunado a lo anterior expuesto la empresa minera incurre en un problema ambiental, puesto que su área de escurrimiento natural de aguas está en la proximidad de la Quebrada Los Cóndores, pudiendo ser objeto de sanciones por la Dirección Nacional de Aguas según Artículo 129.

Figura 2-4 Diagrama Jack Knife



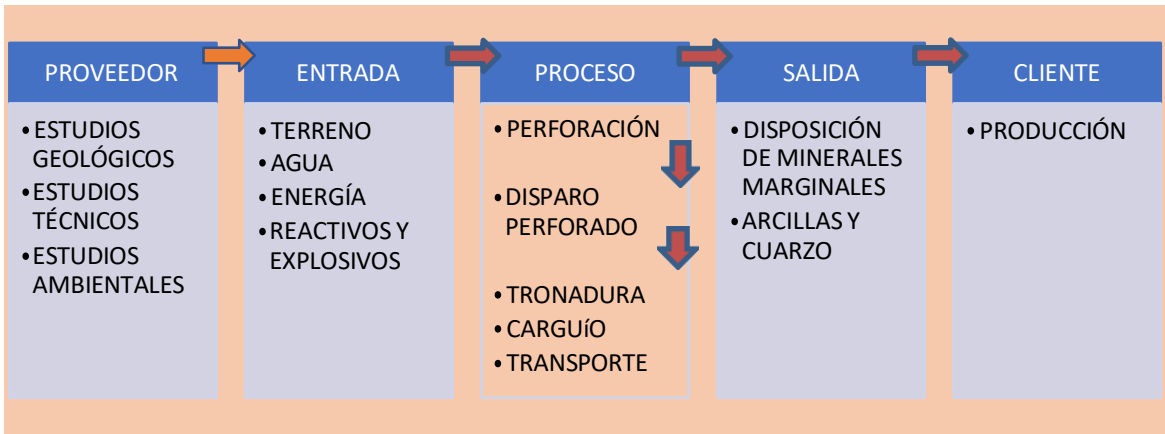
Fuente: Elaboración propia

Dentro del gráfico Jack Knife, para el proceso de extracción minera para la selección de los elementos críticos, se puede distinguir que dentro de las fallas crónicas agudas se destacan la Ley Mínima de Corte, aspecto imprescindible ya a través de dicha Ley se puede determinar qué bloque de material se debe extraer del depósito y cuál no, y/o establecer que proporción de mineral minado es destinado para el procesamiento y cual para la disposición de minerales marginales, que reviste otro aspecto critico puesto que esta disposición se realiza cerca de la quebrada Los Cóndores, incurriendo en una violación ambiental.

2.2 Explicar a través de un Diagrama SIPOC los límites, el punto de inicio y final del proceso de extracción minera a mejorar, mediante el análisis Causa- Raíz visualizando los impactos que provocan en el proceso de extracción.

A través del diagrama SIPOC ayuda a observar de forma sintética cuales son las entradas, proveedores, actividades, salidas y los clientes que involucran el proceso de extracción minera a mejorar.

Figura 2-5 Diagrama SIPOC



En el diagrama SIPOC en el subproceso de PROVEEDORES se encuentran los elementos que aportan recursos al proceso, así para el proceso de extracción minera los estudios geológicos aportan aplicación de principios geológicos y técnicos en el comportamiento de suelos, rocas y aguas subterráneas, además del estudio de las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la tierra, por su parte los estudios ambientales, puesto que una pequeña minería responsable con el medioambiente debe conocer y mitigar el impacto que genera sobre los cuerpos de agua, toda vez que puedan medirse parámetros de calidad de las aguas residuales y de los ríos que las reciben, para hacer recomendaciones técnicas sobre los sistemas de tratamiento a la minera, en cuyo proceso se cuenta con una debilidad al no poder determinar qué bloque de material se debe extraer del depósito y cuál no, y/o establecer qué proporción de mineral ha de minarse.

Seguidamente el diagrama ofrece información sobre cuáles son los elementos de ENTRADA, es decir los recursos necesarios para que se lleve a cabo el proceso de extracción minera, terreno, agua, energía, reactivos y explosivos.

En cuanto al subproceso PROCESO este consta de 4 elementos:

Perforación: se refiere a las primeras operaciones de producción, que tienen por finalidad el arranque del mineral o estéril desde el macizo rocoso. Con estas operaciones se generan excavaciones o bancos, según se trate de minería subterránea o a rajo abierto. En cualquier caso, una buena operación de perforación y tronadura permite obtener un material tronado de tamaño adecuado para facilitar la posterior operación de transporte, pero además permite minimizar el consumo de explosivos.

Disparo perforado: es la operación que se realiza con la finalidad de abrir tiros en el macizo rocoso, con una distribución y geometría adecuada, en donde se alojarán cargas explosivas.

Tronadura: es la que se realiza directamente en el macizo rocoso para separar y fragmentar parte de éste.

Carguío: Se refiere específicamente a la carga de material mineralizado del yacimiento.

Transporte: refiere al retiro del material tronado de la frente y transportarlo adecuadamente a su lugar de destino.

El subproceso SALIDA, refiere a la disposición de minerales marginales, en este concepto se agrupan materiales naturales, que por no cumplir los requisitos necesarios son llevados a vertedero, así como, residuos procedentes de la actividad industrial a los que se les puede dar este uso y, otros productos artificiales que en caso en estudio van dispuesto a cercanías de la Quebrada Los Cóndores, correspondiente a un curso de agua.

El subproceso CLIENTE, refiere a quien son dados finalmente los resultados, AL Departamento de Producción.

2.2.1 Aplicación del Análisis Causa Raíz

El Análisis Causa Raíz (ACR) consistió en analizar y determinar cuáles son los problemas y/o fallas recurrentes del proceso de extracción minera. La Caja Superior del árbol especifica el problema identificado, y todos los modos o causas principales que han producido el problema. Dentro de la Caja Superior, los modos observados están ubicados en la segunda línea, directamente debajo del evento. Una vez determinado el problema e identificado las causas principales se comienza a bajar en el árbol de lógica a través de la realización de preguntas específicas de “¿Cómo puede ocurrir?” que ayudan a identificar y definir la causa del problema que se observa en la caja de arriba. En cada nivel del árbol se debe realizar dicha pregunta hasta llegar al punto de intervención humana inapropiada. A partir de este momento, la lógica cambia y se comienza a preguntar “¿Por qué?” puede ocurrir la intervención humana inapropiada. Bajando el árbol, se descubren los problemas latentes (o las causas raíz) del problema estudiado. Para realizar el árbol lógico fue necesario conformar un equipo de trabajo que identificó las formas en que puede presentarse el problema (modos de fallas), las causas probables del problema (Hipótesis), verificar las causas (demostración de las hipótesis) y buscar soluciones de las causas verdaderas del problema. A continuación, se muestra el resultado obtenido por el equipo de trabajo:



Figura 2-6 Causa Raíz de aplicación de la Ley Mínima dde Corte

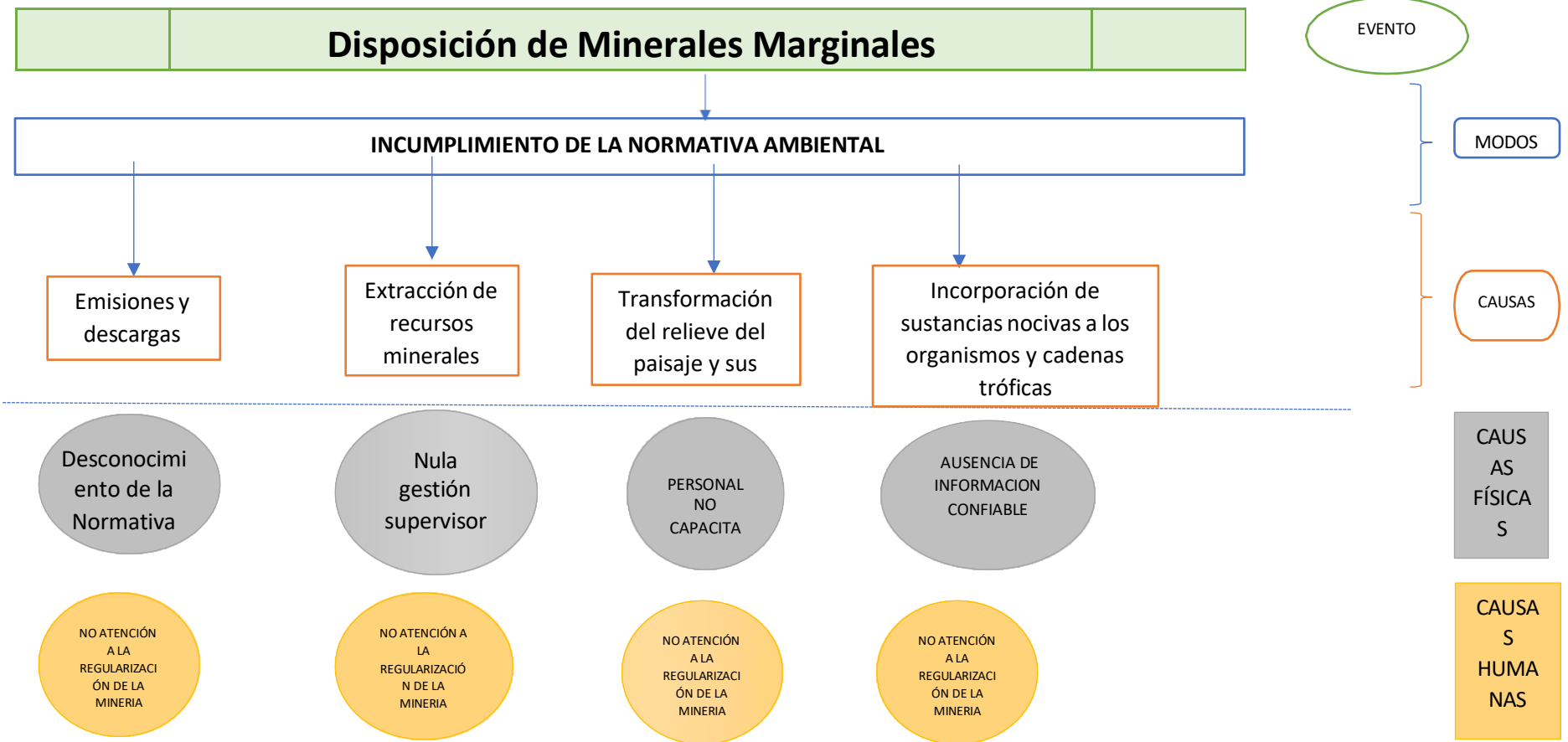


Figura 2-7 Causa Raíz de la disposición de Minerales Marginales

La ausencia de la aplicación de la Ley Mínima de Corte que produce el desconocimiento de la tasa de producción de la Cantera y la disposición de Minerales marginales incurriendo en incumplimiento de la norma ambiental, conforman las fallas principales en el proceso de extracción minera. Una vez identificados los elementos que fallan en este proceso de manejo, se revisa en el plan de manejo la existencia o no de estrategias que se hagan cargo de los modos de fallas detectados para cada componente que falla. Para esto se realiza un procedimiento lógico que sigue la siguiente estructura:

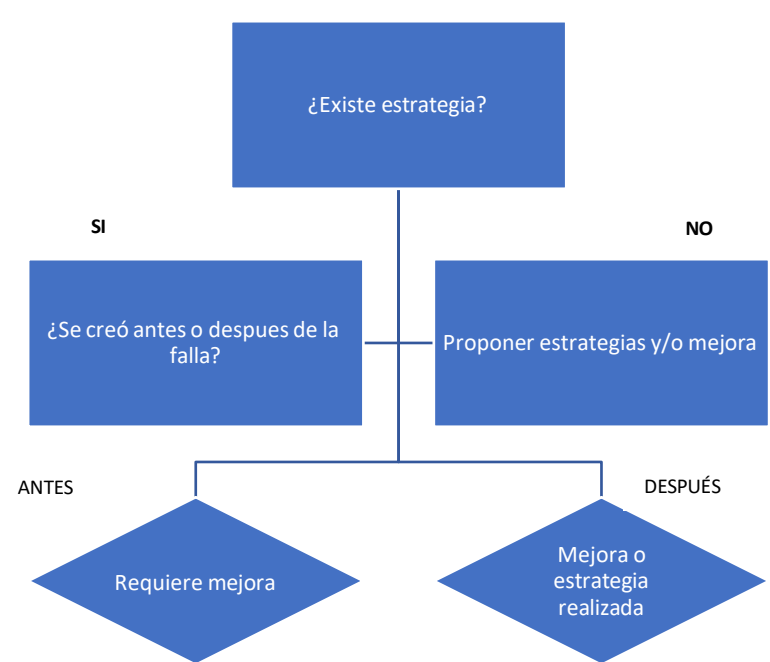


Figura 2-8 Procedimiento lógico

La minera Catemu en sus informes considera que al mejorar el proceso extractivo se mejoraría la producción y por ende la utilidad de la mina.

CAPÍTULO III PROPUESTA DE MEJORAMIENTO AL PLAN DE EXTRACCIÓN EN MINERA CATEMU

3.1 Propuesta de mejoras en el plan de extracción en Minera Catemu, mediante la consulta de fuentes primarias ofrecidas por el Servicio Nacional de Minería y Geología (SERNAGEOMIN).

En la Pequeña Minería y Minería Artesanal predomina la organización productiva y económica en torno a la persona natural, por sobre la organización como empresas (societaria o individualmente constituidas), y por sobre formas asociativas.

3.1.1 Definición del mineral y su separación a partir de una ley mínima de corte

Para calcular la Ley de Corte se toma en cuenta tanto el costo mina como el costo planta, los cuales generalmente varían durante la vida útil de explotación, ya que las distancias para el transporte del mineral como del estéril varían, además el tratamiento de la planta cambia dependiendo de las características del mineral alimentado. Estas pueden variar dependiendo de la profundidad que se explote, por lo que en ambos casos se debe ocupar la mejor estimación posible. Por tanto, en función de los costos estimados para la extracción de un bloque del yacimiento, existe una ley que permite discriminar un bloque como mineral o estéril, la cual es la Ley de Corte la expresión para calcular la ley de corte se define de la siguiente manera:

$$LEY\ DE\ CORTE = \frac{(CostoMina + CostoPlanta) * 100}{[(Precio - Costo\ Re\ fino) * RM * 2200]}$$

Figura 3-1 Formula ley de corte

Entre los costos que se necesitan para realizar el cálculo de la Ley de Corte están los que se producen en la explotación misma de la mina y de todo aquello que lo rodea, ya sea lo concerniente al transporte, al carguío, a la extracción misma, a la compra de equipos, al traslado de estos, etc. También se tienen costos en la planta ya sea por tratamiento del mineral y por el tratamiento del concentrado en la refinería. Todos estos datos fueron facilitados por la planta. La clasificación de los ítemes de los costos se especifican a continuación dependiendo del sector en que se encuentran, estos son:

Tabla 3-1 Costos Diseño Mina

COSTOS 1		
COSTOS DIRECTOS MINA		US\$/Ton material
Costo de Perforación	0.07	US\$/Ton material

Costo de Tronaduras	0.09	US\$/Ton material
Costo de Carguío	0.12	US\$/Ton material
Costo de Transporte	0.30	US\$/Ton material
Costo de Servicio	0.18	US\$/Ton material
Costo de Administración Mina, Prevención de Riesgos; Recursos Humanos, Administración, Servicios Médicos	0.20	
TOTAL, COSTO MINA	0.96	US\$/Ton material
Depreciación de los equipos	0.50	US\$/Ton material
TOTAL, COSTOS 1	1.46	US\$/Ton material
Costos de tratamiento del mineral	4.20	US\$/Ton material
Costo administración central	0.90	US\$/Ton material
TOTAL, COSTOS 2	5.1	US\$/Ton material
	COSTOS 3	
Costos de transporte, créditos, seguros, tratamiento	0.39	US\$/Lb material
TOTAL COSTOS 3	0.39	US\$/Lb material

Aparte de los costos, la recuperación metalúrgica entregada por la planta Catemu corresponde a un 95%, se usará un valor para el precio del cuarzo de 48 y de la arcilla 37 (\$/Lb). Por lo tanto, la Ley de Corte para minera Catemu es:

$$LEY\ DE\ CORTE_{cuarzo} = \frac{(1.46+5.1)*100}{[(0.48-0.39)*0.95*2200]}=0.34\%$$

88 ----- 0.64

$$LEY\ DE\ CORTE_{arcilla} = \frac{(1.46+5.1)*100}{[(0.37-0.39)*0.95*2200]}=0.26\%$$

Se concluye entonces que según la ley de corte aplicada el cuarzo factible de extraer es de 99.66% obteniendo beneficio económico porque representa un mineral útil aprovechable, y el estéril que va al botadero es de 0.34%, para la arcilla lo aprovechable 99.74% y lo estéril 0.26%. La Ley marginal también conocida como ley operacional es aquella que está bajo la ley de corte, pero sobre el material estéril. El material marginal es llevado a botadero de estériles el cual se ubica próximo al área de explotación, en la ladera del cerro La Carpa. Para el cálculo de la ley marginal se tiene la misma fórmula que se usó en el cálculo de la ley de corte, pero con la diferencia de que el costo de mina se iguala a cero. (C.M = 0)

$$LEY\ MARGINAL = \frac{(CostoPlanta) * 100}{[(Precio - Costo\ Re\ fino) * RM * 2200]}$$

Por tanto, la Ley Marginal es:

$$LEY\ MARGINAL = \frac{(CostoPlanta) * 100}{[(Precio - Costo\ Re\ fino) * RM * 2200]}$$

$$LEY\ MARGINAL_{cuarzo} = \frac{(5.1) * 100}{[(0.48 - 0.39) * 0.95 * 2200]} = 0.27\%$$

$$LEY\ MARGINAL_{arcilla} = \frac{(5.1) * 100}{[(0.37 - 0.39) * 0.95 * 2200]} = 0.20\%$$

3.1.2 Disposición de minerales marginales

Existe una amplia variedad de diseños de sistemas in situ entre los que seleccionar el más apropiado para un sitio determinado. El criterio principal para la selección, de un diseño sobre otro es la protección de la salud pública mientras se previene la degradación ambiental. Los criterios secundarios son el costo y la facilidad, de operar y mantener el sistema. El destino de los eventuales residuos resultantes del sistema de tratamiento y disposición debe ser considerado en el proceso de selección.

Son las propuestas de mitigación las que determinan la realización de estudios para desarrollar estudios de impactos en la vegetación local y se enfatizan los relacionados con el medio antrópico, especialmente los relacionados con el impacto del transporte aéreo de partes de material particulado fino de las pilas de relaves en las inmediaciones de la planta de procesamiento que se observan en la figura 3-1 y los relacionados con cambios en el paisaje. Si el polvo de filita (material de menor granulometría) no sufre una constante humectación de su superficie o no está cubierta por malla para evitar su transporte por el viento, tiende a estar suspendido en la atmósfera y puede ser absorbido, a través de la respiración, por los empleados.



Figura 3-2 Pilas de minerales marginales

Las siguientes prácticas se enfocan en la gestión de recursos aplicada en el sector extractivo que puede jugar un papel central en la Economía Circular.

Mejor práctica 1: Exploración efectiva y disposición del sitio

Las prácticas de manejo de materiales extractivos (incluidos los desechos) comienzan en la fase de diseño de la operación de la mina. La optimización de la extracción de minerales y la minimización de la generación de residuos pueden ser logrados mediante el fortalecimiento de los primeros pasos del ciclo de vida de las industrias extractivas, tales como exploración, caracterización y diseño de operaciones. Los esfuerzos de exploración son la base para un proyecto minero. Un método de exploración a utilizar en la minera Catemu es el radar de penetración terrestre (GPR) o diferentes formas de sísmica se utilizan con miras a:

- Optimizar el uso posterior de la investigación invasiva (perforación)
- Mejorar la calidad y comerciabilidad del producto, aprendiendo de antemano sus características
- Optimizar la extracción de minerales a través de la localización de áreas

El modelado del depósito y la caracterización cuidadosa del recurso pueden resultar en la minimización la extracción de materiales no deseados y no comercializables, minimizando así la generación de residuos extractivos. Además, la planificación anticipada de la operación mejora la eficiencia de la extracción, evitando la esterilización de recursos y reduciendo la cantidad de extracción innecesaria (uso eficiente de los recursos).

Mejor práctica 2: Rompimiento efectivo de rocas

Tradicionalmente, el desprendimiento de rocas se realiza con excavadoras mecánicas y mediante perforación y voladura. Una selección óptima de revestimientos de paredes mecanizados y máquinas de minería depende de las condiciones geológicas y geotécnicas esperadas, lo que conduce a una extracción más específica y, en consecuencia, a la producción eficiente y la reducción de residuos. El mismo principio se aplica a la estrategia y técnica de voladura. La variación de las propiedades de las rocas y sus diferentes el comportamiento mecánico afecta la excavación por perforación y voladura.

La optimización del proceso de perforación y voladura en el diseño y la fase de operación de la mina conduce a la reducción de residuos extractivos y desperdicio de tiempo de perforación y explosivos. Para ambos enfoques, ya sea con la selección del equipo apropiado o un diseño de voladura, la clave es investigar el depósito a través de una exploración en el tajo, y tratar de minimizar el mineral/estéril con simulaciones por computadora para realizar una extracción más específica. Se aconseja el preacondicionamiento de la roca con chorros de agua, impulsos térmicos, impulsos explosivos u otras técnicas son tecnologías prometedoras para el debilitamiento de la roca, lo que facilitaría el corte mecánico posterior.

Mejor práctica 3: Transporte eficiente

Los materiales de extracción se transportan hasta un sitio apropiado para el tratamiento o deposición que en ningún momento puede ser en las inmediaciones de algún curso de agua, como en este caso de la minera Catemu. Una red de transporte bien diseñada y mantenida es la clave para minimizar los peligros del transporte y costos, y aumentar la productividad. Sin embargo, el diseño de la red también debe tener en cuenta las condiciones locales y la seguridad. El transporte eficiente es una parte esencial de todo el proyecto de extracción de minerales ya que una infraestructura vial mal diseñada y construida puede necesitar mantenimiento repetido (consumo de materias primas) y puede provocar accidentes. Cada componente del camino, por lo tanto, la infraestructura debe abordarse adecuadamente en la etapa de diseño.

Actualmente, el sistema más común para la etapa de carga y acarreo en tajo abierto la minería es el sistema Shovel-Truck (ST). Esto se compone de una pala de carga volada material en un camión, que transporta el material desde el frente de excavación hasta un destino (pila de acopio, basurero o chancador primario) donde se descarga. Luego, el camión regresa a la pala y el ciclo se repite, como se muestra en la Figura 3-2. Este ha sido el pilar de la minería a cielo abierto minería durante muchos años. Este sistema

es simple y fácil de implementar en operaciones mineras y se considera muy fiable, flexible y eficaz. Una de las principales ventajas de este sistema es su versatilidad ya que solo necesita caminos aptos para el movimiento de camiones sin necesidad de infraestructuras más complejas como cintas transportadoras. El sistema pala-camión se convierte en una limitación en cualquier expansión de producción minera. El sistema Shovel-Truck ha sufrido múltiples mejoras a lo largo del tiempo. Una de estas mejoras implica la optimización de la ruta de viaje. La ruta para el sistema se selecciona a través de la producción y el análisis topográfico. Esto reduce tiempo de ciclo, costo de transporte y aumenta la productividad del sistema.

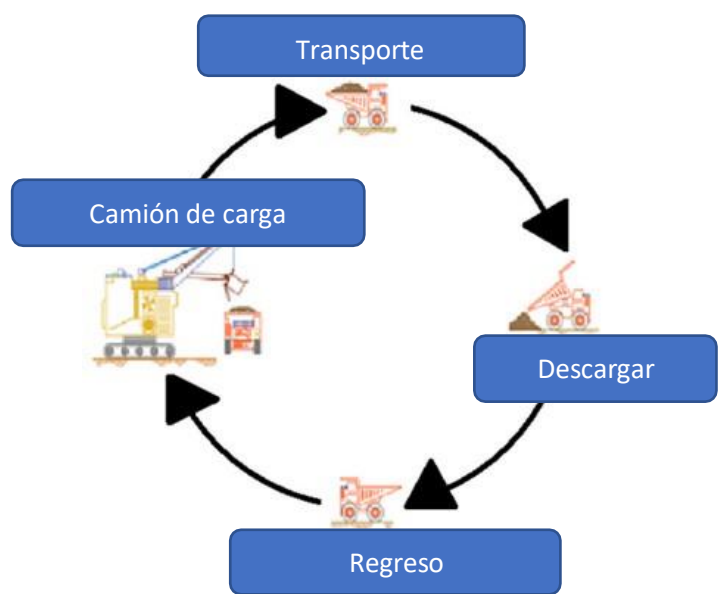


Figura 3-3 Ciclo del sistema Shovel-Truck

Aunque el sistema Shovel-Truck ha demostrado su funcionalidad a lo largo de los años y algunos aspectos de seguridad permanecen. Las diversas interacciones entre la pala y el camión, también carecen de un control preciso sobre el factor de llenado del camión. El factor de llenado del camión depende completamente de la pala y de la cantidad de material que pueda cargar en la misma, camión. Esto genera tres escenarios posibles. La primera es cuando el camión excede su carga útil (overfill), lo que genera un aumento del riesgo asociado al transporte de materia. Por ello, el sistema de medición embarcado busca evitar esto y corta rápidamente el suministro de material del transportador de transferencia. el segundo escenario es cuando ocurre lo contrario y el camión se carga con menos de su carga útil (llenado insuficiente). Este escenario es el más común y provoca una disminución en la productividad diseñada del camión. El tercer escenario es donde el camión se carga con su capacidad

de carga útil exacta. Este escenario es óptimo, pero debido a diferentes factores como la capacidad de carga de la pala o la competencia del operador, es muy difícil de obtener.

Mejor práctica 4: Clasificación eficaz del mineral y procesamiento selectivo del mineral

La separación de las fracciones de procesamiento maximiza la eficiencia del beneficio y puede, en algunos casos, reducir la nocividad de los residuos extractivos producidos. Una mejor separación in situ del mineral de los desechos extractivos ocasionalmente significa la prevención de desechos generación y una mejor gestión de los residuos extractivos. En ciertos casos, las prácticas de separación pueden crear oportunidades para identificar y comercializar subproductos. Además, esta práctica evita dejar sin extraer material mineralizado en sitio (esterilización de recursos)

Mejor Práctica 5: Gestión eficaz de la capa superior del suelo

Se eliminó toda la capa superior del suelo durante la construcción y la preparación para la minería y tuvieron que almacenarse en lugares separados y en condiciones que perjudicaran lo menos posible su funcionalidad. Por lo que resulta de vital importancia fomentar la reutilización de la capa superior del suelo con actividades de remediación, fomentando la reutilización tan pronto como sea posible. Durante la fase operativa, el suelo se amontonado vegetará por sucesión libre, lo que les proporciona una protección contra la erosión y el polvo ayudando a mantener su fertilidad.

La contaminación por sílice de la minería de cuarzo ocurre a través de una variedad de vías que se pueden distinguir a través de escalas de tiempo de operación y los impactos relacionados en los ecosistemas. El drenaje ácido lento pero sostenido de la mina existe como resultado de fallas instantáneas. Durante el transporte, los metales ligados a los sedimentos se depositan en sumideros topográficos ubicados en las áreas mineras o en el escurrimiento natural de aguas más próximo el cual es la Quebrada Los Cóndores. Luego podrían ser removilizados por cualquier tipo de proceso erosivo. El grado de carga de la Quebrada por metales también está influenciado por el almacenamiento y la erosión, lo que subraya la complejidad de la dispersión, el almacenamiento y la removilización de contaminantes en el área minera de Catemu.

Al ingresar al sistema fluvial de la Quebrada, los contaminantes pueden afectar la fauna y la flora acuáticas a nivel individual, comunitario o de ecosistema. Incluso en sitios donde no se han liberado sílice del cuarzo, podrían informarse cambios significativos

en las comunidades de peces debido a la importación fluvial de sedimentos afectados por la minería. La contaminación por sílice también pone en peligro la salud humana, particularmente en áreas donde las tierras de cultivo o los suministros domésticos de agua se ven afectados. Los inventarios de las fuentes de contaminación y las conexiones entre la erosión superficial y los procesos fluviales proporcionan una base necesaria para la evaluación de riesgos ambientales, la planificación minera y la identificación de medidas de mitigación.

En lugar de agregar tierra vegetal, el terreno se puede restaurar utilizando tecnosoles fabricados que son desechos mineros enmendados con materiales orgánicos, como estiércol, lodos de depuradora, desechos de fábricas de papel o compost de desechos verdes. Este enfoque es relativamente económico y no es destructivo para los entornos circundantes en comparación con el uso de la capa superficial del suelo que se extrae y se trae de sitios cercanos. La enmienda de suelos con residuos orgánicos es un método efectivo para aumentar la calidad del suelo sin necesidad de mucho tratamiento antes de la aplicación.

El uso de compost vegetal puede aumentar la actividad microbiana y proteger contra la erosión ya que el compost disminuye la concentración de contaminación dentro del suelo y crea un entorno de crecimiento más adecuado para las plantas. Los tecnosoles fabricados con la adición de materiales orgánicos pueden aumentar la capacidad de retención de agua y las concentraciones de nutrientes. La aplicación de compost y/o piedra caliza en tecnosoles degradados ha demostrado ser más eficaz para reducir la absorción de metales pesados y sus impactos negativos en la fecundidad de las plantas, así como en la mejora de los rendimientos de los cultivos futuros en la zona si fuera el caso.

Mejor práctica 5 Medidas de Seguridad

- Las medidas generales de seguridad son las siguientes: • El borde del botadero de estéril debe estar implementado con un cordón de seguridad del mismo material estéril, de una altura correspondiente al 50% de la altura del neumático del equipo o vehículo que realiza la descarga.
- El piso cercano al borde del botadero debe inspeccionarse frecuentemente, para verificar que el sector donde se está trabajando no esté quebrado. Si así fuera, se debe informar al responsable de la Faena para realizar trabajos de compactación y cambiar el punto de descarga.

- El piso del botadero se mantendrá lo más parejo y compacto posible, de tal forma que no queden desniveles pronunciados que puedan producir el volcamiento del camión o cargador mientras maniobran y vacían la carga.
- Al llegar al sector del botadero, el conductor debe hacerlo a una velocidad prudente y teniendo como Guía el cordón de seguridad, que en todo caso no debe usarse como freno.
- La operación de descarga (levantando y girando el balde del cargador, o levantando la tolva del camión), debe hacerse de manera lenta hasta la descarga total del material estéril. Con posterioridad se debe bajar la tolva del camión o el balde del cargador antes de trasladarse nuevamente al lugar de carguío u otro lugar de destino.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

En función de los objetivos específicos se concluye:

1. Se recopilaron antecedentes generales del proceso de extracción minera seleccionando como elementos críticos, mediante la utilización del Diagrama Jack Knife, , se puede distinguir que dentro de las fallas crónicas agudas se destacan la Ley Mínima de Corte, aspecto imprescindible ya a través de dicha Ley se puede determinar qué bloque de material se debe extraer del depósito y cuál no, y/o establecer que proporción de mineral minado es destinado para el procesamiento y cual para la disposición de minerales marginales, que reviste otro aspecto crítico puesto que esta disposición se realiza cerca de la quebrada Los Cóndores, incurriendo en una violación ambiental.
2. A través del análisis Causa- Raíz se visualizaron los impactos que provoca en el proceso de extracción, la ausencia de la aplicación de la Ley Mínima de Corte que produce el desconocimiento de la tasa de producción de la Cantera y la disposición de Minerales marginales incurriendo en incumplimiento de la norma ambiental, conforman las fallas principales en el proceso de extracción minera.
3. Se desarrolló una propuesta de mejora en base a mejores prácticas en el plan de extracción en Minera Catemu, basadas en exploración efectiva y disposición del sitio, rompimiento efectivo de rocas, transporte eficiente, clasificación eficaz del mineral y procesamiento selectivo, gestión eficaz de la capa superior del suelo y medidas de seguridad.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda al material rocoso suelto, mal acopiado, se sume a la construcción de caminos.
2. Una medida preventiva corresponde a un mayor control y fiscalización sobre la actividad minera de manera que esta se realice de la forma más segura posible.
3. Se aconseja además retirar de la orilla de los caminos los bloques de rocas más grandes y en situación de mayor inestabilidad.
4. Se recomienda realizar labores tendientes a la prevención y generación de planes de evacuación de la población que puede estar expuesta a cualquier peligro en labores de detonación.
5. Se sugiere la vigilancia y control de labores de remediación y tener muy presente la fiscalización ambiental necesaria para no incurrir en la violación de normativas ambientales, como la Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales.
6. Hacer de la política ambiental un conocimiento generalizado entre los trabajadores y terceros que tuviesen relación con el proyecto. Para ello, se le publicaría en los murales del campamento, en el manual de prácticas ambientales y en el reglamento interno.

BIBLIOGRAFÍA

Decreto 104, Reglamento que regula la entrega de información de carácter general obtenida de los trabajos de exploración geológica básica, Ministerio de minería,

<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1103231>, 2021

ECOPETROL S.A. Manual para la Aplicación de la Metodología de Análisis de Causa Raíz para la Solución de Problemas

<http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/mineria/seguridad/Normativa%20de%20Seguridad%20Minera.pdf>. REGLAMENTO DE SEGURIDAD MINERA

<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/la-cultura-de-la-confiabilidad-operacional>
<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=29668>, consultado julio 2021

Rojas Cornejo, M. (2009). Descripción cuantitativa de los procesos de extracción y reducción de mineral en la minería de cobre a cielo abierto.

www.cochilco.cl