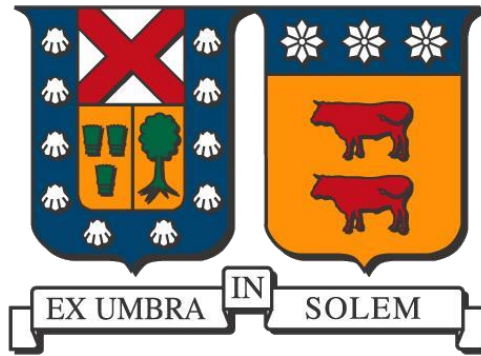


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y DE MATERIALES
SANTIAGO – CHILE



**ESTUDIO DE IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES NO
CONVENCIONALES EN PEQUEÑA MINERÍA**

AUTOR

BÁRBARA BELÉN URTUBIA PAVEZ

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL DE MINAS

PROFESOR GUÍA

VICTOR ENCINA MONTENEGRO

PROFESOR CO-REFERENTE

TATIANE MARIN

OCTUBRE 2024

Resumen

El presente trabajo es una investigación detallada respecto de tecnologías de energías renovables no convencionales que tengan el potencial de aplicarse en las operaciones de pequeña minería en Chile. Este estudio abarca una evaluación de las diversas tecnologías disponibles en el mercado para este sector, que aún se encuentra rezagado en la integración de fuentes de energía limpia a sus actividades extractivas y de procesos.

Actualmente, las operaciones en pequeña minería dependen en gran parte de fuentes de energía convencionales, las cuales no solo tienen impacto ambiental, sino también implican mayores costos operativos y menor eficiencia energética.

Ante esta situación, la Sociedad Nacional de Minería está interesada en recopilar y actualizar información sobre las oportunidades de incorporación de energías alternativas a modo de actuar como un puente entre los avances tecnológicos y las necesidades que enfrenta la pequeña minería, promoviendo y orientando la adopción de energías limpias en busca de una transición hacia prácticas más sostenibles.

El desafío de implementar energías renovables no convencionales en la pequeña minería requiere de un enfoque integral basado principalmente en la recopilación de datos provenientes de diversos productores del sector, mediante un análisis detallado de los actuales consumos energéticos en el proceso de extracción.

Con esta investigación, se pretende identificar si existe algún tipo de energía renovable no convencional que sea capaz de satisfacer de manera eficiente los requerimientos energéticos de la pequeña minería. Se trata de encontrar soluciones que no solo sean sostenibles desde la perspectiva medioambiental, sino también que sean rentables desde un punto de vista económico, de manera que aseguren su viabilidad a largo plazo.

Abstract

The present work is a detailed investigation regarding non-conventional renewable energy technologies that have the potential to be applied in small mining operations in Chile. This study evaluates the various technologies available for this sector, which is still delayed in integrating clean energy sources into its extractive and mineral processing activities.

Currently, small-scale mining operations largely depend on conventional energy sources, which have an environmental impact and imply higher operating costs and lower energy efficiency.

Given this situation, the National Mining Society is interested in collecting and updating information on the opportunities for incorporating alternative energies. Its goal is to act as a bridge between technological advances and the needs faced by small-scale mining, promoting and guiding the adoption of clean energies in search of a transition towards more sustainable practices.

Implementing non-conventional renewable energies in small-scale mining requires a comprehensive approach based mainly on collecting data from various sector producers and analyzing current energy consumption in the extraction process.

This research aims to identify any type of non-conventional renewable energy capable of efficiently satisfying the energy requirements of small-scale mining. It is about finding solutions that are not only sustainable from an environmental perspective but also profitable from an economic point of view to ensure their long-term viability.

Agradecimientos

Quiero agradecer profundamente a mi familia, cuyo apoyo ha sido fundamental a lo largo de estos años. A mis hermanos, por motivarme siempre y sacarme sonrisas en momentos donde más lo necesité. A mi madre y padre, les agradezco por su amor, sus enseñanzas y todos los sacrificios que han hecho para educarme y convertirme en la persona que hoy en día soy. También les agradezco por su paciencia y comprensión durante todos los momentos difíciles, ya que me brindaron la fuerza necesaria para seguir adelante cuando ni yo misma creía en mí. Este logro es tan mío como de ustedes y estaré eternamente agradecida por todo lo que han hecho y siguen haciendo por mí.

Agradezco también a todas esas personas que conocí en este camino y que me ayudaron de una u otra forma. En especial, agradezco a mi amiga Sofía, quien ha estado a mi lado desde el primer día de universidad, donde en todo este camino fue y sigue siendo un pilar fundamental. Tu constante apoyo, tus consejos y tu inquebrantable fe en mis capacidades me brindaron la motivación necesaria para superar todos los obstáculos que se presentaron en el camino y sin duda todo este proceso no hubiese sido el mismo sin ti.

Por último, quiero agradecer al profesor Víctor Encina por creer en mí y por darme su apoyo, confianza y orientación en este proceso, donde su experiencia y dedicación han sido fundamentales para el desarrollo y culminación de esta memoria

Tabla de contenido

Resumen	I
Abstract	II
Agradecimientos.....	III
Tabla de contenido.....	IV
Índice de figuras	VII
Índice de tablas.....	VIII
Índice de ecuaciones.....	XI
Glosario	XII
1 Introducción	1
1.1 Objetivos.....	2
1.1.1 Objetivo general	2
1.1.2 Objetivos específicos.....	2
1.2 Alcances.....	2
1.3 Justificación	2
2 Marco teórico	3
2.1 Pequeña minería en Chile	3
2.1.1 Producción.....	3
2.1.2 Importancia en los territorios.....	6
2.1.3 Regulación	7
2.1.4 Factores diferenciadores	8
2.2 Operaciones unitarias	10
2.2.1 Perforación.....	10
2.2.2 Tronadura.....	10
2.2.3 Carguío	11
2.2.4 Transporte	11
2.3 Minería subterránea	12
2.4 Minería metálica	12
2.5 Métricas financieras.....	12
2.5.1 Diferencial de costos	13
2.5.2 Valor actual neto	13
2.5.3 Tasa de retorno de inversión.....	13
2.5.4 Retorno de la inversión.....	14
2.6 Equipos mineros	14
2.6.1 Equipos diésel.....	14

2.6.2	Equipos eléctricos.....	15
2.7	Energías renovables no convencionales	16
2.7.1	Energía solar fotovoltaica.....	18
2.7.2	Energía eólica	20
2.7.3	Energía hidroeléctrica.....	22
2.7.4	Energía geotérmica	23
2.7.5	Biomasa	24
2.7.6	Energía mareomotriz	25
2.7.7	Hidrógeno verde	25
2.8	Estado del arte	26
2.8.1	Políticas y regulaciones	27
2.8.2	Proyectos e iniciativas existentes	28
2.8.3	Impacto socioeconómico y ambiental	29
2.8.4	Tendencias y avances.....	29
2.8.5	Limitaciones técnicas	30
2.8.6	Limitaciones económicas	31
2.8.7	Limitaciones sociales.....	31
3	Metodología	32
3.1	Investigación.....	33
3.1.1	Antecedentes.....	33
3.2	Encuesta y recopilación de datos.....	33
3.2.1	Segmentación	33
3.3	Análisis geográfico	36
3.3.1	Ventajas y desventajas de cada ERNC	36
3.3.2	Análisis FODA	39
3.3.3	Parámetros, supuestos y estimaciones	42
3.4	Naturaleza de gastos	44
3.4.1	Equipos mineros	44
3.5	Mina genérica	46
3.5.1	Diseño	46
3.5.2	Diagrama de procesos.....	49
3.5.3	Estructura de costos	51
3.6	Viabilidad técnica y económica.....	54

3.6.1	Ciclo de carguío y transporte.....	54
3.6.2	Métricas financieras.....	57
4	Resultados	60
4.1	Estructura de costos mina genérica	60
4.2	Viabilidad técnica y económica.....	64
5	Propuesta de implementación	67
6	Conclusiones	70
6.1	Recomendaciones	71
7	Referencias.....	72
8	Anexos.....	74

Índice de figuras

Figura 1: Producción de cobre fino por regiones

Figura 2: Producción de oro por regiones

Figura 3: Producción de plata por regiones

Figura 4: Productos de la pequeña minería

Figura 5: Trabajo de perforación manual

Figura 6: Tiros para tronadura

Figura 7: Tipos de carguío

Figura 8: Proceso de transporte

Figura 9: Sistema solar fotovoltaico

Figura 10: Sistema fuera de red

Figura 11: Componentes de un aerogenerador

Figura 12: Componentes de una central hidroeléctrica

Figura 13: Diagrama de flujo central geotérmica

Figura 14: Esquema energía mareomotriz

Figura 15: Generación eléctrica anual según tipo de energía primaria

Figura 16: Diagrama de procesos mina genérica diésel

Figura 17: Diagrama de procesos mina genérica eléctrica

Figura 18: Ciclo de carguío y transporte

Índice de tablas

Tabla 1: Cifras de empleo en explotación de minas y canteras trimestre mayo – julio 2023

Tabla 2: Participación del empleo directo de la pequeña minería a nivel regional

Tabla 3: Límites establecidos para pequeña minería

Tabla 4: Factores diferenciadores entre pequeña minería, mediana minería y gran minería

Tabla 5: Aplicabilidad de las ERNC en la pequeña minería

Tabla 6: Métodos de generación de energía a partir de la biomasa

Tabla 7: Nuevos proyectos en operación mes de marzo 2022

Tabla 8: Cantidad de productores por tramo según encuesta

Tabla 9: Tipo de extracción según encuesta

Tabla 10: Energía solar en faena según encuesta

Tabla 11: Total de faenas activas por región

Tabla 12: Equipos actualmente utilizados en pequeña minería

Tabla 13: Balance entre beneficios y limitaciones energía solar

Tabla 14: Balance entre beneficios y limitaciones energía eólica

Tabla 15: Balance entre beneficios y limitaciones energía hidroeléctrica

Tabla 16: Balance entre beneficios y limitaciones energía geotérmica

Tabla 17: Balance entre beneficios y limitaciones energía de la biomasa

Tabla 18: Balance entre beneficios y limitaciones energía mareomotriz

Tabla 19: Balance entre beneficios y limitaciones hidrógeno verde

Tabla 20: Matriz FODA energía solar fotovoltaica

Tabla 21: Matriz FODA energía eólica

Tabla 22: Matriz FODA energía hidroeléctrica

Tabla 23: Matriz FODA energía geotérmica

Tabla 24: Matriz FODA energía de la biomasa

Tabla 25: Matriz FODA energía mareomotriz

Tabla 26: Matriz FODA hidrógeno verde

Tabla 27: Datos utilizados para la creación de minas genéricas

Tabla 28: Precios de capital u operación de equipos

Tabla 29: Especificaciones generales de equipos diésel a utilizar

Tabla 30: Especificaciones generales de equipos eléctricos a utilizar

Tabla 31: Vida útil equipos mineros

Tabla 32: Diseño mina genérica para producción de 600 toneladas mensuales

Tabla 33: Diseño mina genérica para producción de 2000 toneladas mensuales

Tabla 34: Diseño mina genérica para producción de 5000 toneladas mensuales

Tabla 35: Resumen de diseño minas genéricas

Tabla 36: Variables ciclo de carguío y transporte mina genérica 600 toneladas

Tabla 37: Variables ciclo de carguío y transporte mina genérica 2000 toneladas

Tabla 38: Variables ciclo de carguío y transporte mina genérica 5000 toneladas

Tabla 39: Factores de venta de activos

Tabla 40: Consumo mensual de diésel por equipo

Tabla 41: Consumo mensual de diésel para cada mina genérica

Tabla 42: Costo diésel mensual para cada mina genérica

Tabla 43: Consumo y costo de agua mensual perforadora para cada mina genérica

Tabla 44: Transporte de mineral para cada mina genérica

Tabla 45: Repuestos para cada equipo

Tabla 46: Mantenciones para cada equipo

Tabla 47: Consumo y costo energético mensual mina genérica 600 toneladas

Tabla 48: Consumo y costo energético mensual mina genérica 2000 toneladas

Tabla 49: Consumo y costo energético mensual mina genérica 5000 toneladas

Tabla 50: Costo paneles solares necesarios para cada mina genérica

Tabla 51: Turbinas eólicas necesarias para cada mina genérica

Tabla 52: Tiempos ciclo de carguío y transporte

Tabla 53: Ciclos diarios por equipo

Tabla 54: Tiempo de utilización por equipo

Tabla 55: Inversión inicial equipos diésel

Tabla 56: Inversión inicial equipos eléctricos

Tabla 57: Inversión inicial equipos energías renovables

Tabla 58: Inversión inicial total sistema de energías renovables

Tabla 59: Ingresos para cada mina genérica

Tabla 60: Métricas financieras para cada mina genérica con energía solar

Tabla 61: Métricas financieras para cada mina genérica con energía eólica

Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Fórmula consumo diario diésel

Ecuación 2: Fórmula consumo mensual diésel

Ecuación 3: Fórmula consumo mensual agua

Ecuación 4: Fórmula costo de flete

Ecuación 5: Fórmula repuestos

Ecuación 6: Fórmula mantenciones equipos diésel

Ecuación 7: Fórmula mantención equipos eléctricos

Ecuación 8: Fórmula energía requerida por equipo

Ecuación 9: Fórmula consumo energético

Ecuación 10: Fórmula cantidad de equipos energía solar

Ecuación 11: Fórmula cantidad de equipos energía eólica

Ecuación 12: Fórmula tiempo de carga y descarga ciclo de carguío y transporte

Ecuación 13: Fórmula tiempo de ida ciclo de carguío y transporte

Ecuación 14: Fórmula tiempo de regreso ciclo de carguío y transporte

Ecuación 15: Fórmula tiempo de viaje ciclo de carguío y transporte

Ecuación 16: Fórmula tiempo de ciclo de carguío y transporte

Ecuación 17: Fórmula ciclos diarios de carguío y transporte

Ecuación 18: Fórmula tiempo de utilización de equipos de carguío y transporte

Ecuación 19: Fórmula valor venta de activos

Ecuación 20: Fórmula depreciación

Ecuación 21: Fórmula valor residual

Ecuación 22: Fórmula Valor Actual Neto

Ecuación 23: Fórmula inversión inicial equipos eléctricos

Ecuación 24: Fórmula tarifa de compra ENAMI

Ecuación 25: Fórmula ingresos de un proyecto minero

Ecuación 26: Fórmula tasa interna de retorno

Ecuación 27: Fórmula retorno de inversión

Glosario

CLP/ton: Pesos chilenos por tonelada

COP26: Conferencia de las naciones unidas sobre el cambio climático

ENAMI: Empresa Nacional de Minería

ERNC: Energías renovables no convencionales

GEI: Gases de efecto invernadero

GWh: Giga watts hora

KW: Kilo watts

KWh: Kilo watts hora

LME: Bolsa de metales de Londres

MW: Mega watts

SEN: Sistema Eléctrico Nacional

SERNAGEOMIN: Servicio Nacional de Geología y Minería

SII: Servicio de Impuestos Internos

SONAMI: Sociedad Nacional de Minería

1 Introducción

La pequeña minería en Chile se encuentra sujeta a la regularización de distintas entidades, lo cual refleja la diversidad y complejidad de aspectos legales y normativos que la rigen. Entre ellas se encuentran el Servicio Nacional de Geología y Minería y la Empresa Nacional de Minería. Estas organizaciones desempeñan un papel fundamental en el control y supervisión de la actividad minera, estableciendo los límites específicos dentro de los cuales debe operar la pequeña minería. Además, la pequeña minería se rige por el Código de Minería, que establece todas las normas y procedimientos legales para la explotación de los recursos minerales que posee el país, y por la Ley de impuesto a la renta, que se encarga de regular los aspectos fiscales que se encuentran relacionados a las actividades mineras.

Estas instituciones y normativas aseguran operaciones responsables y sostenibles, abordando temas como la seguridad laboral, la viabilidad económica y la protección del medio ambiente.

Cada entidad reguladora establece diferentes límites de extracción en base a distintos parámetros, dependiendo de los fines de cada una de ellas.

La pequeña minería se dedica mayoritariamente a la minería metálica mediante operaciones subterráneas que utilizan preferentemente energía de combustibles diésel, por lo que explorar la posibilidad de migrar al uso de ERNC le permitirán mejorar tanto su rendimiento económico como el impacto ambiental que generan estas actividades.

La incorporación de ERNC no solo tiene implicancias técnicas y económicas, sino también involucra aspectos éticos, legales y sociales. La adopción de estas tecnologías responde a la urgente necesidad de reducir las emisiones de GEI y mitigar el cambio climático. En este sentido, la pequeña minería tiene la responsabilidad de buscar alternativas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Desde una perspectiva social, el uso de estas energías puede mejorar las condiciones laborales, volviéndolas más saludables y seguras. Por lo tanto, la transición hacia las energías renovables no solo representa un gran avance tecnológico, sino también un compromiso ético con el bienestar ambiental y social.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Evaluar el potencial de uso de energías renovables no convencionales en pequeña minería para mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar las principales barreras y desafíos en la implementación de ERNC en la pequeña minería.
- Cuantificar los consumos energéticos de la pequeña minería y buscar alternativas para reemplazar el uso de combustibles.
- Evaluar la viabilidad en la implementación de ERNC en pequeña minería, considerando aspectos sociales, ambientales y económicos.

1.2 Alcances

Esta memoria es un estudio exploratorio del potencial uso de distintas fuentes de energía renovable no convencional en la pequeña minería chilena. En él se desarrolla un análisis económico y financiero para generar una propuesta de implementación concreta de migración del sector pequeño minero hacia una actividad sostenible.

1.3 Justificación

La realización de esta memoria se justifica porque la pequeña minería enfrenta desafíos significativos en términos de sostenibilidad y eficiencia energética, los que podrían amenazar su viabilidad a largo plazo. La adopción de ERNC ofrece un potencial de soluciones innovadoras para reducir los costos operativos y minimizar el impacto ambiental. Además, esta iniciativa se alinea con las políticas nacionales de energía, que buscan fomentar la transición hacia una matriz energética sustentable.

Esto no solo beneficia a los pequeños mineros, sino que también apoya los objetivos estratégicos de SONAMI, que tiene un compromiso con la promoción de prácticas mineras responsables y sostenibles, proporcionando las bases técnicas y económicas que sean necesarias para impulsar el cuidado del planeta en la minería.

2 Marco teórico

2.1 Pequeña minería en Chile

2.1.1 Producción

En 2022, la producción de cobre en Chile alcanzó las 5.376.631 toneladas, donde la pequeña minería contribuyó con 48.797 toneladas, representando así un 0,9% de la producción total, reflejando una disminución del 7,7% respecto al año anterior. Este mismo año, las regiones con mayor producción de cobre fino fueron Atacama y Antofagasta, registrando el 50% y 26% del total de la producción del país respectivamente (Véase Figura 1).

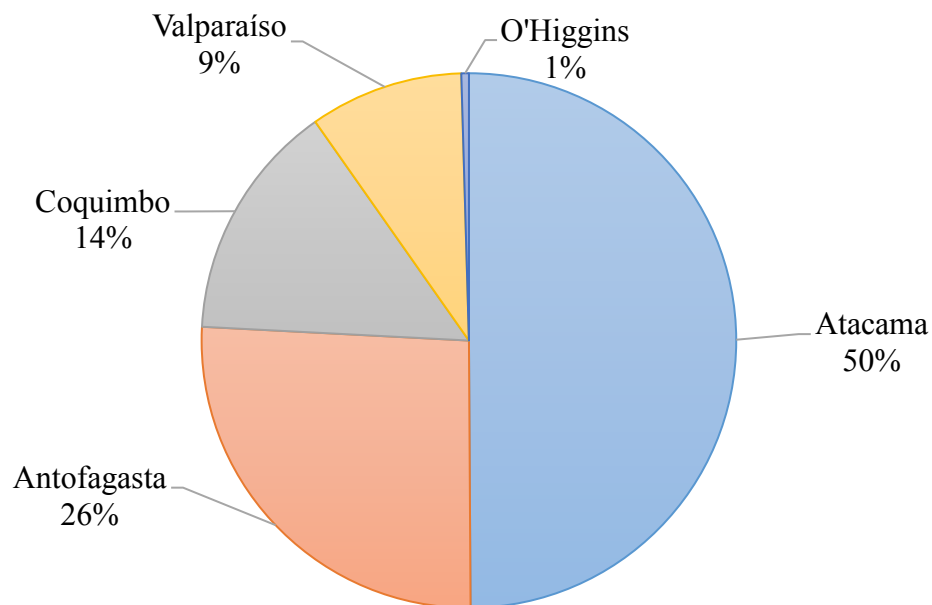


Figura 1: Producción de cobre fino por regiones (Comisión Chilena del Cobre , 2023).

La producción de oro en 2022 alcanzó los 1.394 kg, aumentando en 0,3% la producción del año anterior. Las regiones con mayor contribución fueron Atacama y O'Higgins, registrando el 41% y 20% respectivamente (Véase Figura 2).

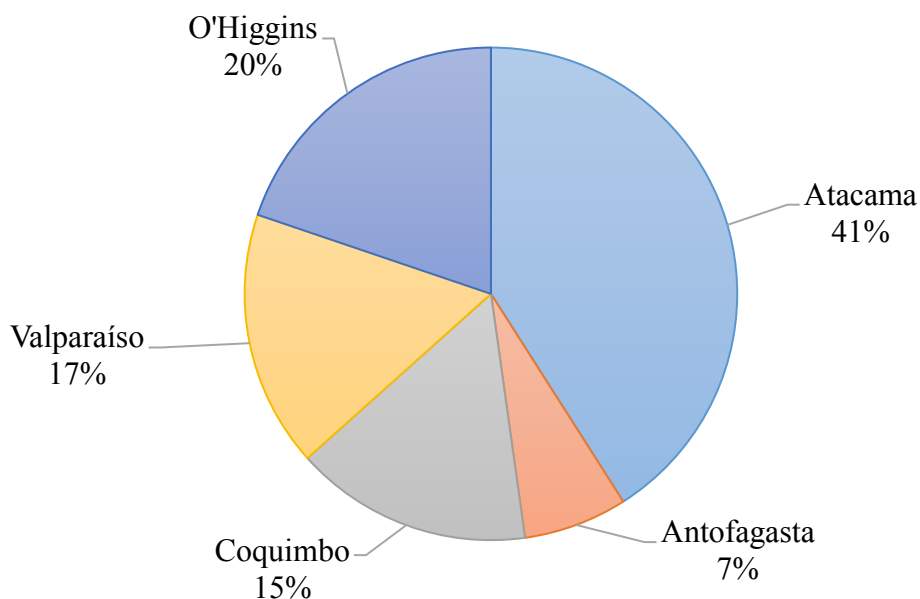


Figura 2: Producción de oro por regiones (Comisión Chilena del Cobre , 2023).

En cuanto a la producción de plata, esta registró una fluctuación entre 9.084 y 10.896 kg en los últimos 3 años, concentrándose en las regiones de Atacama, Coquimbo y Valparaíso (Véase Figura 3).

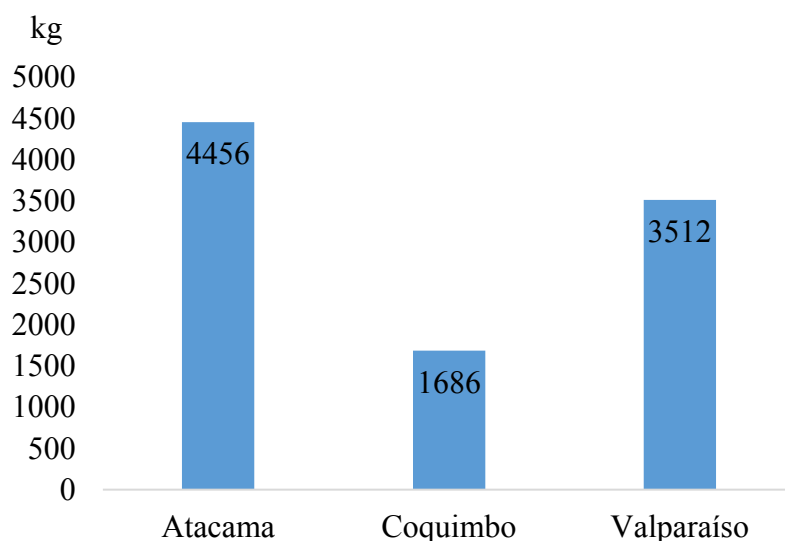


Figura 3: Producción de plata por regiones (Comisión Chilena del Cobre , 2023).

Entre los minerales que se producen en la pequeña minería, destacan los concentrados de cobre, los minerales de lixiviación y de concentración, sumando en total un 97% de la producción (Véase Figura 4).

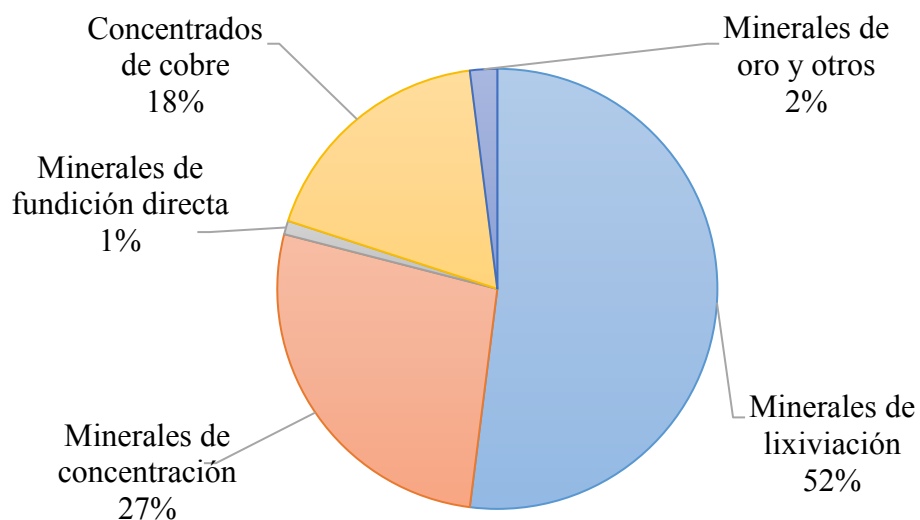


Figura 4: Productos de la pequeña minería (Comisión Chilena del Cobre , 2023).

2.1.2 Importancia en los territorios

Según la encuesta nacional de empleo (ENE), se observó que el empleo nacional alcanzó a 9.028.647 en el trimestre mayo – julio 2023, donde el sector minero de explotación de minas y canteras adjudica un total de 276.167, teniendo una subdivisión para clasificar el tamaño de las empresas (Véase Tabla 1).

Tabla 1: Cifras de empleo en explotación de minas y canteras trimestre mayo – julio 2023
(Comisión Chilena del Cobre , 2023)

Subdivisión	Nº Trabajadores
Menos de 5 personas	3653
5 - 10 personas	2111
11 - 49 personas	13208
50 - 199 personas	49675
200 y más personas	196523
No sabe/No especifica	10997
Total	276167

El empleo directo e indirecto es un factor común en todas las empresas, por lo que, según un estudio de productividad realizado a la minería del cobre, se estima que, por cada empleo directo dentro de este rubro, existen al menos dos empleos indirectos en otros sectores. Es por esto por lo que, la pequeña minería beneficia laboralmente a cerca de 56 mil personas entre Tarapacá y Magallanes (Véase Tabla 2).

Tabla 2: Participación del empleo directo de la pequeña minería a nivel regional (Comisión Chilena del Cobre , 2023).

Región	Total ocupados	Ocupados directos	Ocupados indirectos	D	D + I
Tarapacá	185240	876	2628	0,5%	1,4%
Antofagasta	348513	2180	6540	0,6%	1,9%
Atacama	147428	3176	9528	2,2%	6,5%
Coquimbo	374460	4376	13127	1,2%	3,5%
Valparaíso	901023	1319	3957	0,1%	0,4%
O'Higgins	417620	1884	5651	0,5%	1,4%
Maule	488641	985	2955	0,2%	0,6%
Biobío	686267	760	2281	0,1%	0,3%
Araucanía	413921	573	1719	0,1%	0,4%
De los lagos	352170	394	1182	0,1%	0,3%
Aysén	56918	34	101	0,1%	0,2%
Magallanes	94613	69	206	0,1%	0,2%
Metropolitana	4057815	1905	5715	0,0%	0,1%
Ñuble	179708	187	560	0,1%	0,3%

2.1.3 Regulación

Actualmente, en Chile no existe una normativa que establezca parámetros uniformes para caracterizar la pequeña minería, lo que conlleva a que esta actividad se subdivide en dos segmentos: la pequeña minería y la pequeña minería artesanal. El primero se refiere a pequeños emprendimientos mineros y el segundo al trabajo artesanal de personas independientes sin una estructura empresarial, lo que lo hace ser el sector más informal y precario.

Esta falta de definición clara y uniforme genera considerables confusiones en cuanto a la clasificación y regulación de las actividades mineras de este sector, de modo que, en la práctica no se cuenta con bases legales claramente establecidas, para facilitar la implementación de políticas y medidas de apoyo para cada uno de estos segmentos.

Tabla 3: Límites establecidos para pequeña minería (Cochilco, 2022).

Sernageomin	Definición en base a trabajadores y horas trabajadas (D.S 132)	Menor a 80 trabajadores o menor a 200.000 horas
Código de Minería	Definición en base a trabajadores	Menor a 12 trabajadores
Ley de impuesto a la renta (Minería Artesanal)	Definición en base a trabajadores	Menor a 5 trabajadores
Decreto 40	Definición en base a Producción	Capacidad de extracción menos a 5.000 ton/mes
ENAMI	Definición en base a Producción	Hasta 10.000 toneladas mensuales
Ley 20.551	Regula el cierre de faenas e instalaciones mineras	Capacidad de extracción menor a 10.000 ton/mes

2.1.4 Factores diferenciadores

Existen diversos factores que diferencian la pequeña minería de la mediana y gran minería. Entre estos destaca el menor nivel de uso de tecnologías, el arriendo de propiedades mineras y la incapacidad de ampliación, debido a que se opera mayoritariamente mediante arriendo de la mina.

Tabla 4: Factores diferenciadores entre pequeña minería, mediana minería y gran minería
(Comisión Chilena del Cobre , 2023)

Variables	Pequeña minería	Mediana minería	Gran minería
Operaciones unitarias	Perforación - Tronadura Carguío – Transporte	Perforación - Tronadura Carguío - Transporte	Perforación - Tronadura Carguío - Transporte
Precio Cu referente	LME	LME	LME
Reservas conocidas	No	Si, proyectos evaluados	Si, proyectos evaluados
Tecnologías de punta	No	Si, mejoramiento continuo de procesos	Si, mejoramiento continuo de procesos
Ampliaciones de capacidad	No	Si, mejoramiento de productividad	Si, mejoramiento de productividad
Gestión profesionalizada	No	Si, de primer nivel	Si, de primer nivel
Propiedad minera	70% arrenda	Propia	Propia

2.2 Operaciones unitarias

Las actividades de producción se organizan en operaciones unitarias independientes, cada una de las cuales desempeña un papel fundamental en la explotación y desarrollo de un depósito mineral. Estas operaciones incluyen una serie de etapas diseñadas para maximizar la eficiencia y optimizar la extracción de recursos (Rojas, 2009).

2.2.1 Perforación

En pequeña minería, el sistema usual de perforación es el de rotopercusión, que emplea energía neumática y cuyos componentes principales son la perforadora manual, que es la fuente de energía mecánica; las barras, que son el medio de transmisión de esa energía a partir de la acción de un pistón; el bit, que recibe la energía y es el elemento cortante de la roca, y el fluido de barrido que efectúa la limpieza y evacuación del detritus producido (Sernageomin, 2014).



Figura 5: Trabajo de perforación manual (Sernageomin, 2014).

2.2.2 Tronadura

Es la operación cuyo fin es el arranque del mineral desde el macizo rocoso, aprovechando de la mejor manera posible la energía liberada por el explosivo colocado en los tiros realizados en la etapa de perforación. El mejor aprovechamiento se obtiene al aplicar la energía justa y necesaria para generar una buena fragmentación del mineral (Sernageomin, 2014).

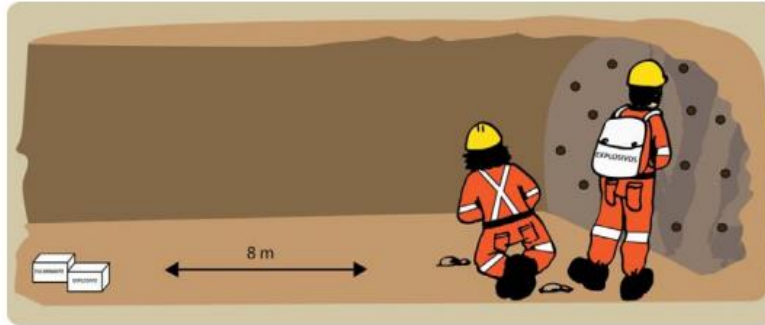


Figura 6: Tiros para tronadura (Sernageomin, 2014).

2.2.3 Carguío

El proceso de carguío es parte de la etapa de extracción en minería subterránea y minería a rajo abierto, y su propósito consiste en retirar el material tronado de la frente y depositarlo en máquinas de transporte. El inicio de este proceso se efectúa una vez finalizado el proceso de tronadura y luego de haber verificado que la operación es posible ejecutarla de manera segura (se identifican tiros quedados, zonas de posibles derrumbes, entre otros) (González, 2017).



Figura 7: Tipos de carguío (Sernageomin, 2014).

2.2.4 Transporte

El proceso de transporte en pequeña minería abarca desde el momento en que se extrae el material hasta ser cargado en un vehículo que lo lleva a acopios o botaderos fuera de la mina.



Figura 8: Proceso de transporte (Sernageomin, 2014).

2.3 Minería subterránea

La minería subterránea se utiliza cuando la explotación mediante minería a cielo abierto no es viable, ya sea por razones ambientales o económicos. Este tipo de explotaciones comienzan con el descubrimiento de un depósito mineral bajo tierra, que posee un valor económico suficiente que justifique la construcción y operación de una mina.

Todas las minas subterráneas comparten componentes esenciales, entre los cuales se incluyen los ejes de ventilación y rutas de escape para garantizar la seguridad en interior mina. También poseen vías de acceso, túneles de transporte de mineral, piques de extracción que suben el mineral extraído a la superficie y sistemas de comunicación que facilitan el intercambio de información (Ingeoexpert , 2019).

2.4 Minería metálica

La minería metálica engloba la actividad dedicada a la extracción de sustancias naturales que contienen elementos metálicos, los cuales se clasifican en cuatro categorías principales:

- Básicos: incluyen minerales que contienen cobre, plomo, zinc o estaño.
- Ferrosos: comprenden minerales con hierro, manganeso, molibdeno, cobalto, tungsteno, titanio o cromo.
- Preciosos: engloban minerales que contienen oro, plata o platino.
- Radioactivos: consisten en aquellos minerales que poseen plutonio, uranio, radio o torio.

Históricamente, el desarrollo minero en Chile ha estado centrado principalmente en la producción de minerales metálicos, con especial énfasis en cobre, oro, plata, zinc y plomo, en ese orden de importancia. (Consejo Minero, 2019).

2.5 Métricas financieras

Una métrica financiera corresponde a una medida cuantitativa utilizada para evaluar y comparar el rendimiento financiero de un proyecto o inversión, la cual proporciona información sobre la rentabilidad, la eficiencia y la solvencia de estos. En esta investigación se utilizan principalmente el valor actual neto, la tasa de retorno de la inversión y el retorno de inversión, las cuales se detallan a continuación:

2.5.1 Diferencial de costos

El análisis de costos forma parte de la evaluación de proyectos, la cual permite identificar y cuantificar los recursos necesarios para la implementación y operación de una inversión. En este contexto, surge el concepto de diferencial de costos, que consiste en la variación existente de costos entre dos o más alternativas de inversión o a lo largo del ciclo de vida de un proyecto. Esto se utiliza principalmente en la comparación de alternativas para determinar la viabilidad económica mediante herramientas como el Valor Actual Neto.

El diferencial de costos consiste en la diferencia de costos relevantes entre diferentes alternativas de un proyecto o frente a escenarios futuros. Estos costos incluyen tanto los costos iniciales de inversión como los costos operativos y otros asociados a la vida útil del proyecto. El análisis de este diferencial permite enfocar la evaluación de todos esos costos que realmente cambian entre las opciones, descartando aquellos que se mantienen constantes o invariantes para la toma de decisiones.

2.5.2 Valor actual neto

El valor actual neto, también llamado VAN, calcula el valor presente de los flujos de efectivo futuros que se esperan de un proyecto, descontando estos flujos de efectivo a una tasa de descuento apropiada, es decir, corresponde a la diferencia entre el dinero que ingresa a una empresa y el monto que se invierte en un mismo proyecto, cuyo objetivo se centra en conocer si el proyecto da realmente beneficios. Para que un proyecto resulte atractivo financieramente, el valor del VAN debe ser mayor a 0.

2.5.3 Tasa de retorno de inversión

La tasa interna de retorno, también llamada TIR, es un indicador financiero utilizado para la evaluación de proyectos de inversión. Se define como la tasa de descuento que convierte al Valor Actual Neto (VAN) en cero. En términos simples, la TIR representa la tasa de rendimiento que un proyecto debe alcanzar para recuperar su inversión inicial y generar el monto suficiente para igualar los flujos de caja futuros descontados.

2.5.4 Retorno de la inversión

El retorno de inversión, comúnmente conocido por sus siglas en inglés ROI, es un indicador financiero que se utiliza para evaluar la eficiencia de una inversión o para comparar la eficiencia de distintas inversiones. En términos simples, el ROI mide el retorno o ganancia que genera una inversión en relación con su inversión inicial, expresándose generalmente como un porcentaje, que facilita la comparación entre inversiones sin importar la naturaleza o el tamaño de estas.

Un ROI positivo indica que la inversión ha generado más valor del que costó, mientras que un valor negativo sugiere que la inversión no ha sido rentable.

Esta métrica puede ser aplicada a diversas situaciones, desde el análisis de la rentabilidad de cualquier proyecto hasta la implementación de nuevas tecnologías. Esto la convierte en una métrica adaptable a las necesidades específicas de cada organización.

2.6 Equipos mineros

Para realizar un análisis exhaustivo sobre la implementación de energías renovables en Chile, es necesario evaluar el consumo energético de los equipos utilizados en las operaciones de pequeña minería. En este estudio, se consideran ejemplos representativos de los equipos más utilizados en la actualidad.

2.6.1 Equipos diésel

En la pequeña minería, uno de los equipos más utilizados es el minicargador. Este equipo ha sido diseñado específicamente para realizar tareas de carga, transporte y descarga de volúmenes reducidos de material a velocidades controladas y seguras. Su tamaño compacto y su capacidad para maniobrar en espacios reducidos lo convierten en una herramienta útil para operar en minas de menor escala. Además, su versatilidad permite su uso en diferentes etapas del proceso minero, que va desde la remoción de material hasta el transporte de este mismo.

Otro equipo utilizado en la pequeña minería es el dumper, un vehículo autopropulsado que generalmente cuenta con tracción en las cuatro ruedas. Este equipo está diseñado específicamente para el transporte de material, siendo capaz de operar en terrenos irregulares.

Aunque no todos los pequeños productores cuentan con un dumper, su inclusión es relevante para este estudio. Su capacidad para mover grandes cantidades de material mejora la producción y reduce los tiempos de transporte en la mina.

En lo que respecta a las actividades de perforación en la pequeña minería, estas se realizan predominantemente de manera manual. Este método requiere que los trabajadores se adapten a las limitaciones y condiciones de cada sitio, operando usualmente en galerías y túneles con dimensiones de 2.5 metro de altura por 2.5 metros de ancho. Estas dimensiones permiten un equilibrio entre la estabilidad de las estructuras y la operatividad de los equipos.

Para realizar labores de perforación, se debe contar con un sistema de aire comprimido eficiente, que permita el correcto funcionamiento de las herramientas de perforación manual. El equipo más comúnmente utilizado es el compresor diésel, que destaca por su movilidad y capacidad operativa en lugares remotos.

2.6.2 Equipos eléctricos

En el contexto de la pequeña minería existe un interés en reemplazar los equipos tradicionales, que funcionan con motores diésel, por alternativas eléctricas más sostenibles. Esta transición no solo responde a las necesidades operativas y económicas, sino también a la reducción de la huella ambiental de las actividades mineras. Equipos como minicargadores, dumpers y compresores, que históricamente han dependido de combustibles fósiles, están siendo gradualmente sustituidos por versiones eléctricas que ofrecen ventajas significativas en términos de eficiencia energética y reducción de gases de efecto invernadero.

El uso de equipos eléctricos, en lugar de los equipos tradicionales, trae consigo una serie de beneficios operativos y ambientales. En primer lugar, los motores eléctricos son generalmente más eficientes y requieren menos mantenimiento, actuando a través de baterías, lo que reduce los costos operativos a largo plazo. Además, la eliminación de emisiones de gases de escape mejora la calidad de aire en las minas, especialmente en espacios reducidos.

Para alimentar estos equipos eléctricos, se busca el uso de ERNC, que han mostrado un gran potencial para transformar la matriz energética en la minería. Estas fuentes de energía no solo disminuyen la dependencia de los combustibles fósiles, sino que también ayudan a mitigar el impacto ambiental de las operaciones mineras, alineándose con las tendencias globales hacia la sostenibilidad y responsabilidad ambiental.

2.7 Energías renovables no convencionales

Las energías renovables son fuentes de energía que se regeneran naturalmente y no se agotan. Chile tiene un enorme potencial para el desarrollo de energías renovables no convencionales, donde destacan la energía solar y eólica por las condiciones geográficas y climáticas que posee el país (Comisión Nacional de Energía, 2022). La estrategia nacional de energía 2050, promovida por el Ministerio de Energía de Chile, establece objetivos ambiciosos en el fomento de ERNC, con la finalidad de reducir la dependencia actual de combustibles fósiles y disminuir las emisiones de carbono (Ministerio de Energía, 2022).

Las energías renovables están destinadas a convertirse en la fuente de electricidad más rentable para el planeta y el desarrollo económico. Mediante la creación del valor compartido, los enfoques de economía circular y el compromiso con los objetivos del desarrollo sostenible que tiene la ONU, las energías renovables refuerzan su respuesta ante la incógnita sobre cuál será la energía del futuro. Producir cada vez más energía renovable y abandonar las fuentes convencionales es una necesidad que se comparte en todas partes del mundo. Según los datos del informe de la Agencia Internacional de Energías Renovables, en 2022 hasta el 83% de toda la capacidad eléctrica añadida provenía de fuentes renovable (IRENA, 2022).

Tabla 5: Aplicabilidad de las ERNC en la pequeña minería.

Energía Renovable no Convencional	Descripción	Aplicabilidad a la pequeña minería de Chile
Solar Fotovoltaica	Conversión de la radiación solar en electricidad mediante paneles fotovoltaicos.	Muy alta, especialmente en zonas con alta irradiación solar como el Desierto de Atacama.
Eólica	Aprovechamiento del viento para generar electricidad a través de aerogeneradores.	Alta, especialmente en zonas con buenos recursos eólicos como zona norte y la costa.
Geotérmica	Aprovechamiento del calor del subsuelo para generar energía eléctrica o térmica.	Media, depende de la ubicación de las fuentes geotérmicas accesibles.
Biomasa	Conversión de la materia orgánica en energía a través de procesos de combustión o digestión anaeróbica.	Baja, debido a la disponibilidad limitada de biomasa en zonas mineras.
Hidroeléctrica	Aprovechamiento de pequeños recursos de agua para generar electricidad.	Media, limitada por la disponibilidad de recursos hídricos en las zonas mineras.
Hidrógeno Verde	Producción de hidrógeno mediante electrólisis del agua usando energía renovable.	Media, con potencial futuro, pero aún en fase de desarrollo y con altos costos de implementación.
Mareomotriz	Generación de energía a partir del movimiento de las mareas y corrientes marinas.	Baja, debido a la necesidad de ubicación costera y la complejidad técnica.

2.7.1 Energía solar fotovoltaica

Este tipo de energía es el resultado de la radiación solar, que es la medida de la cantidad que llega de esta a la superficie terrestre, la cual se expresa en Watts por metro cuadrado y posee un valor aproximado de 1367 W/m^2 , conocido globalmente como constante solar (Enel Green Power, s.f.). La generación de energía se produce en las células solares de un panel, las cuales convierten la radiación solar en electricidad a través del efecto fotoeléctrico, el cual ocurre cuando los fotones de luz estimulan a los electrones que se encuentran presentes en el silicio de la célula, generando así la corriente eléctrica mediante el conocido efecto fotovoltaico.

La planta solar fotovoltaica consiste en la interconexión de las células en serie, formando módulos que se ensamblan para la creación de paneles solares mediante una unidad integrada. Estos paneles se organizan mediante cadenas conectadas en paralelo, dando lugar al generador fotovoltaico.

La generación de corriente en un sistema fotovoltaico se logra en la parte posterior de cada panel solar, donde se encuentra la caja de conexiones, la cual facilita las conexiones entre las metalizaciones eléctricas del panel y los cables externos, permitiendo la conexión entre múltiples paneles, los cuales se encuentran dispuestos en hileras que se conectan a través de un inversor encargado de transformar la corriente continua en corriente alterna utilizable.

Para garantizar un suministro constante de energía renovable, la corriente generada se envía a la red de distribución mediante un transformador que reduce la intensidad y aumenta la tensión.

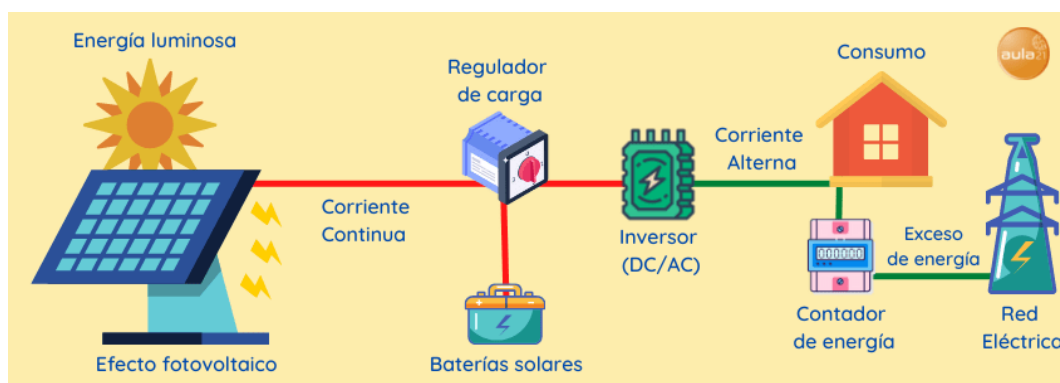


Figura 9: Sistema solar fotovoltaico.

➤ Método fuera de red o desconectado de la red

Corresponde a un sistema eléctrico autónomo que no se encuentra conectado a la red eléctrica principal. En lugar de depender de la electricidad suministrada por una empresa de servicios públicos, estos sistemas generan, almacenan y consumen su propia electricidad de forma independiente. La energía se almacena en baterías o en otros dispositivos de almacenamiento (Véase Anexo A), lo cual permite un suministro constante incluso cuando las condiciones climáticas no son favorables para realizar la generación de energía.



Figura 10: Sistema fuera de red.

2.7.2 Energía eólica

Esta energía se produce mediante turbinas eólicas o aerogeneradores que aprovechan la fuerza del viento. Estos dispositivos transforman la energía cinética del viento en electricidad. Una turbina eólica consta de varios componentes clave:

- Torre: estructura que sostiene la góndola y las palas de la turbina, con una altura promedio que varía entre 80 – 115 metros, permitiendo captar vientos a altitudes óptimas.
- Rotor: sección del aerogenerador que incluye un buje al cual se fijan las palas, con un diámetro medio de 90 – 150 metros, maximizando la captación de energía cinética del viento.
- Palas: similares a las alas de un avión, capturando y convirtiendo la energía del viento en movimiento rotatorio. Giran a velocidades entre 10 – 25 revoluciones por minuto, siendo fundamentales para la conversión de energía.
- Góndola: parte superior de la turbina eólica ubicada sobre la torre, donde alberga componentes clave como el generador y otros dispositivos que resultan esenciales para transformar la energía cinética del rotor en electricidad.

En conjunto, estos elementos trabajan de manera coordinada para captar y convertir la energía del viento en electricidad, desempeñando un papel fundamental en la generación sostenible de energía.

La producción de energía eólica inicia cuando el viento activa las palas de la turbina, comenzando así la rotación del rotor. Esta rotación genera electricidad cuando la velocidad del viento supera los 10 km/h, conocida como velocidad de arranque.

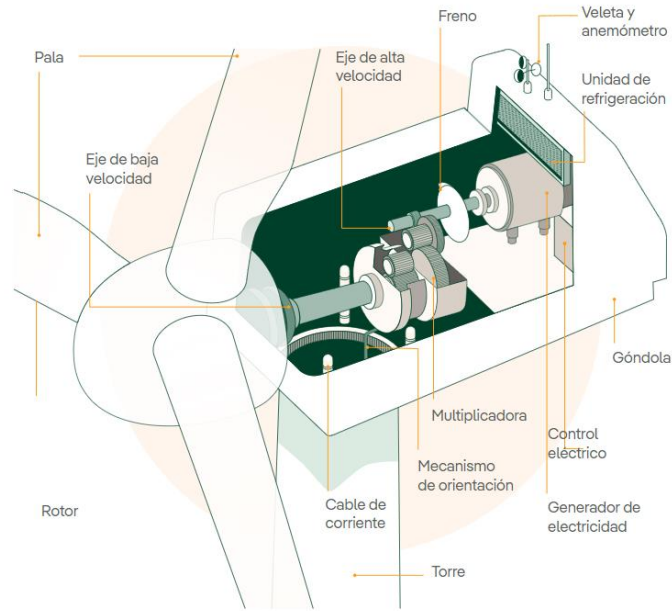


Figura 11: Componentes de un aerogenerador.

La energía producida por las turbinas eólicas se transfiere a través de cables ubicados dentro de la torre hacia un transformador que eleva la tensión de baja a media. Posteriormente, un transformador de mayor capacidad almacena la energía proveniente de todas las turbinas del parque eólico, elevando la tensión de media a alta para su posterior integración en la red eléctrica. Este transformador se conecta a la red de transmisión, operando a alta tensión para minimizar pérdidas durante la transmisión. La tensión se reduce a través de subestaciones de transformación, introduciendo la energía a la red de distribución, asegurando una transferencia eficiente y efectiva de la energía eólica generada hacia el suministro eléctrico general (Véase Anexo A).

2.7.3 Energía hidroeléctrica

La energía hidroeléctrica se genera al convertir la fuerza del agua en energía eléctrica. Para aprovechar este recurso renovable, exento de emisiones y autóctono, se desarrollan infraestructuras hidráulicas capaces de extraer su máximo potencial.

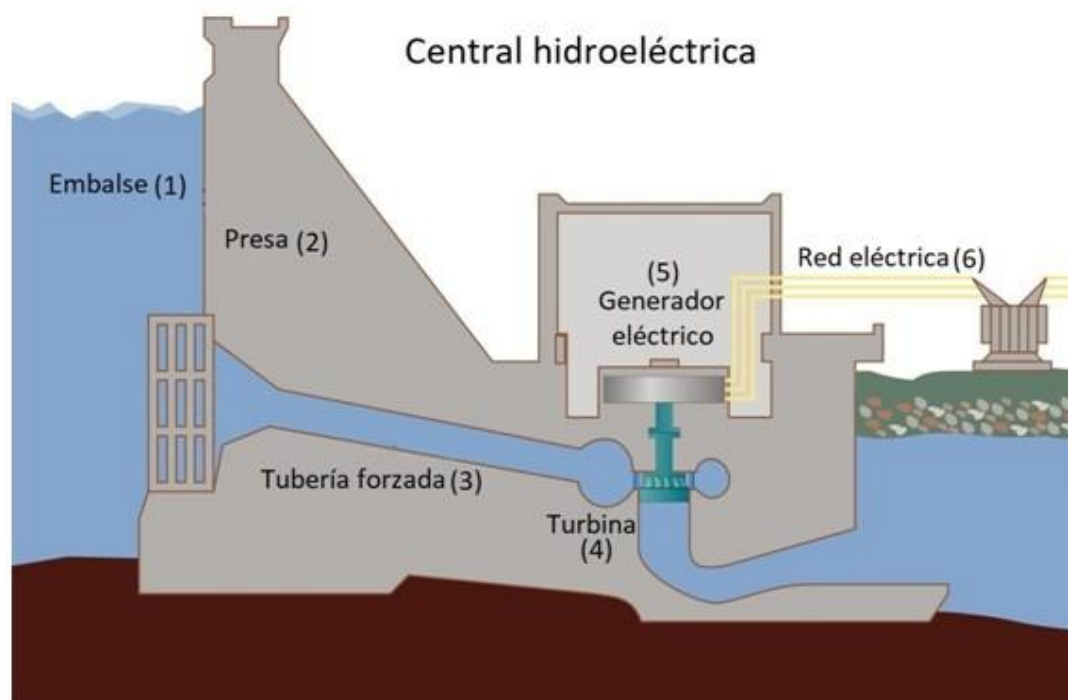


Figura 12: Componentes de una central hidroeléctrica (Ingeoexpert, s.f.).

Estas centrales aprovechan la diferencia de energía potencial presente en una masa de agua al moverla entre dos puntos ubicados a altitudes diferentes. Este proceso implica el paso de un caudal de agua a través de un circuito hidráulico, superando el desnivel entre dos puntos, conocido como salto. En este trayecto, el agua incrementa su velocidad a medida que la energía potencial se convierte parcialmente en energía cinética.

En el caso de las centrales hidroeléctricas de bombeo, que son reversibles, se lleva a cabo el proceso inverso, transformando la energía eléctrica en energía potencial al bombear agua hacia un embalse o depósito ubicado a mayor altura.

2.7.4 Energía geotérmica

La energía geotérmica se refiere a la utilización de depósitos subterráneos de vapor y agua caliente con el propósito de generar electricidad o para calentar y refrigerar directamente edificios. Este tipo de energía se almacena en las rocas y fluidos presentes bajo la corteza terrestre, encontrándose tanto en el suelo poco profundo como a varios kilómetros de profundidad, extendiéndose incluso hasta la roca fundida de alta temperatura conocida como magma. La generación de este tipo de energía implica la perforación de pozos, a menudo con profundidades de 1.6 km o más, en depósitos subterráneos. El vapor y el agua extremadamente caliente extraídos de estos depósitos impulsan turbinas conectadas a generadores eléctricos.

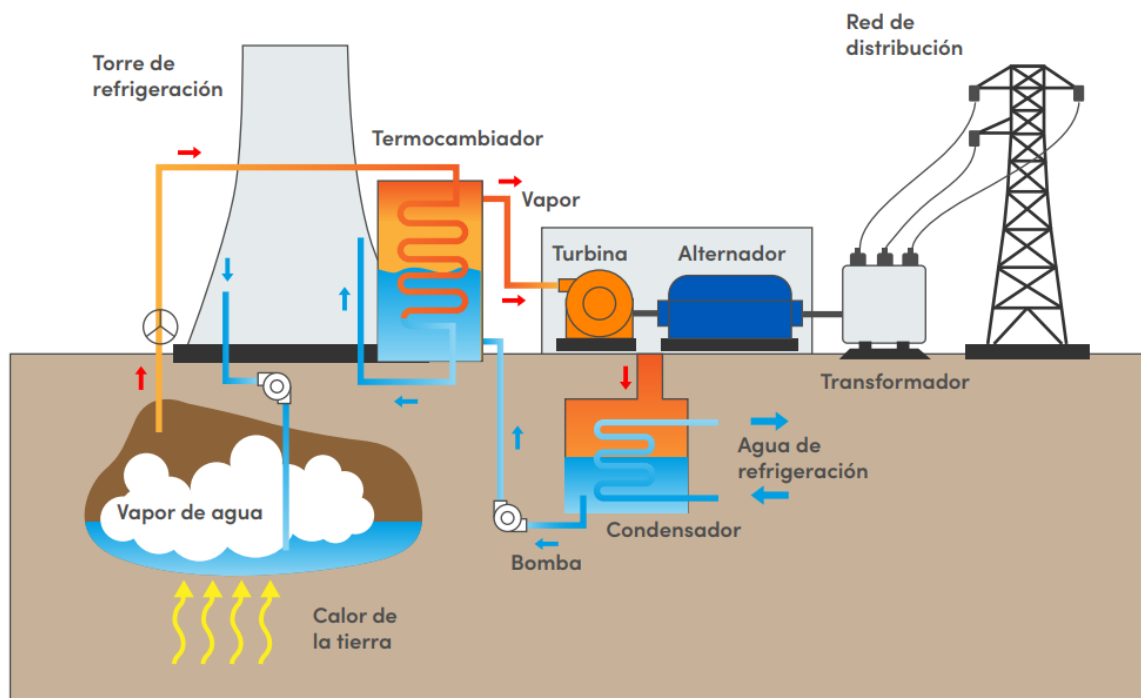


Figura 13: Diagrama de flujo central geotérmica.

2.7.5 Biomasa

Esta energía se obtiene mediante la combustión de materia orgánica, específicamente de la biomasa generada por diversos procesos biológicos. Esta fuente energética se origina a partir de distintas fuentes, abriendo un amplio abanico de posibilidades para su aprovechamiento y permitiendo la obtención de productos como carbón vegetal, combustibles líquidos y gases. La generación de energía se realiza a través de varios procesos que convierten la materia orgánica en energía útil, como electricidad, calor o biocombustibles.

Tabla 6: Métodos de generación de energía a partir de la biomasa

Método	Proceso
Combustión Directa	La biomasa se quema en calderas para producir calor, el cual genera vapor que acciona una turbina conectada a un generador eléctrico.
Gasificación	La biomasa se convierte en gas combustible a través del proceso que calienta la materia orgánica en un suministro limitado de oxígeno, generando electricidad o calor.
Pirólisis	La biomasa se descompone térmicamente en ausencia de oxígeno, produciendo una mezcla de sólidos, líquidos y gases, que son utilizados como combustibles.
Digestión Anaeróbica	La biomasa se descompone en ausencia de oxígeno por acción de bacterias anaeróbicas, produciendo biogás, el cual es quemado para generar electricidad y calor, o se purifica para ser usado como gas natural.
Fermentación	La biomasa rica en almidones se fermenta mediante microorganismos para producir etanol, un biocombustible líquido.

2.7.6 Energía mareomotriz

La energía marina, actualmente subutilizada, representa una vasta reserva con un potencial prácticamente inagotable. Este potencial se deriva de las corrientes de agua horizontales generadas por la variación vertical del nivel de agua, vinculada con las mareas. Estas corrientes impactan áreas donde las mareas operan en direcciones opuestas durante el ciclo de pleamar y bajamar, alterando la dirección del flujo conforme cambia el nivel de la marea. En este contexto, la fuente primaria de energía proviene de las corrientes horizontales de agua, siguiendo un principio similar al aprovechamiento de la energía eólica.

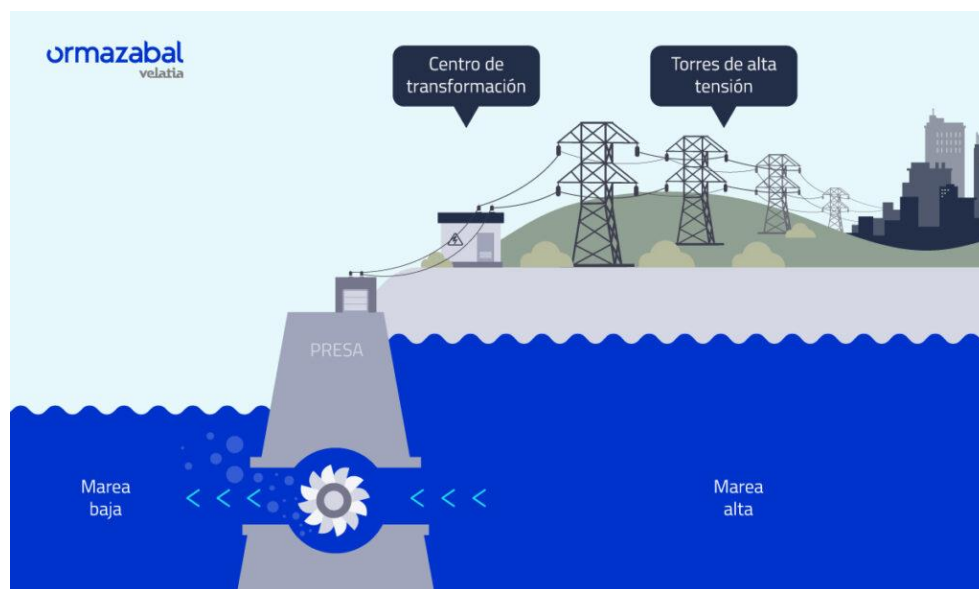


Figura 14: Esquema energía mareomotriz.

2.7.7 Hidrógeno verde

El hidrógeno verde se produce mediante el uso de energías renovables, lo que hace que se posicione como un combustible limpio y sostenible con índice de contaminación cero. Este tipo de hidrógeno no tan solo es utilizado como vector energético, sino también lo es como materia prima. Su papel en la lucha contra el cambio climático reside en su capacidad para reemplazar a los combustibles fósiles en sectores y aplicaciones previamente desafiantes de descarbonizar. Además, este tipo de hidrógeno muestra un potencial como sistema de almacenamiento de energía.

El hidrógeno verde se obtiene a través de un proceso de electrólisis impulsado por fuentes de energía renovable, como la energía solar o la energía eólica, con emisiones de gases de efecto

invernadero nulas o muy bajas. Esta electrólisis implica el uso de corriente eléctrica que cumple el rol de descomponer, mediante electrodos, la molécula del agua en oxígeno e hidrógeno, lo cual surge como un elemento esencial para apoyar la transición energética y descarbonización de la economía (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2021).

Cuando se requiere convertir el hidrógeno almacenado en tanques especializados en energía, se canaliza hacia una pila de combustible. En este punto, el hidrógeno se combina nuevamente con oxígeno tomado del aire, generando energía eléctrica como resultado. De esta manera, el único subproducto del proceso es agua, lo que configura un proceso limpio y sostenible en el cual no se emite ni un ápice de CO₂ para la producción de energía.

2.8 Estado del arte

La implementación de las energías renovables no convencionales (ERNC) en la pequeña minería de Chile surge como una solución viable y prometedora al momento de abordar los desafíos energéticos y ambientales que enfrenta este sector. En el contexto actual donde la sostenibilidad y eficiencia energética destacan por ser prioridades globales, la adopción de las ERNC en la minería de menor escala representa una oportunidad significativa al momento de reducir la dependencia de combustibles diésel y, del mismo modo, minimiza el impacto ambiental que se encuentra asociado a las actividades mineras tradicionales.

Con esto, se ofrece una revisión detallada y exhaustiva de la literatura existente sobre este tema, para proporcionar una visión integral de todos los avances de los cuales se tiene conocimiento hasta la fecha. Mediante un análisis minucioso, se permite identificar las principales tendencias en la implementación de este tipo de energías, destacando las tecnologías más utilizadas, como lo son la energía solar fotovoltaica, la energía eólica y sus respectivas soluciones de almacenamiento energético.

Además, se muestran los vacíos en cuanto al conocimiento y las áreas que requieren un mayor desarrollo e investigación, incluyendo la necesidad de realizar estudios con mayor profundidad sobre la viabilidad económica a largo plazo, así como identificar las barreras técnicas y regulatorias que eventualmente podrían limitar u obstaculizar la adopción de alguna de estas energías renovables, destacando la importancia de las políticas públicas y los incentivos gubernamentales existentes en la promoción de estas tecnologías.

2.8.1 Políticas y regulaciones

El marco regulatorio en Chile ha experimentado una significativa evolución en el incentivo del uso de ERNC. La ley 20.257 de energías renovables no convencionales, promulgada en 2008, establece un marco legal diseñado para fomentar la inversión en el sector energético, específicamente en las energías renovables. Esta legislación es fundamental en la creación de condiciones favorables para la inserción de energías limpias en la matriz energética del país (Comisión Nacional de Energía, 2009).

Adicionalmente, en conjunto con la actualización del marco legal del sector de distribución de energía eléctrica, el Ministerio de Energía reconoce la necesidad de corregir y actualizar el marco reglamentario referente al programa de Pequeños Medios de Generación Distribuida (PMDG) y los Pequeños Medios de Generación (PMG), lo cual ha facilitado significativamente la integración de proyectos de ERNC a la red eléctrica. Esta nueva reglamentación trata las siguientes temáticas:

- Mejora de los mecanismos de estabilización de precios: ajustes en los mecanismos de estabilización de precio aplicables al costo marginal, permitiendo a los medios de generación con excedentes de potencia de hasta 9.000 kW acceder a condiciones más claras y seguras para dotar certeza a los agentes de mercado.
- Optimización de los procedimientos de interconexión: perfeccionamiento en los procedimientos de interconexión, energización y puesta en servicio de dichos medios de generación, así como modernizar las exigencias operacionales y coordinación de estos para una operación eficiente y segura.

Estas actualizaciones buscan promover y facilitar la adopción de las energías renovables en el país, asegurando que tanto pequeñas como medianas instalaciones puedan tener una integración efectiva y eficiente a la red eléctrica nacional (Ministerio de Energía, 2019).

Además, el estado de Chile mediante el Ministerio de minería, promulgó la Ley N°21.455, conocida como Ley marco de cambio climático, la cual se publicó en junio de 2022 con el objetivo de “hacer frente a los desafíos que presenta el cambio climático, transitar hacia un desarrollo bajo en emisiones de gases de efecto invernadero y otros forzantes climáticos, hasta alcanzar y mantener la neutralidad de emisiones de gases de efecto invernadero al año 2050, adaptarse al cambio climático, reduciendo la vulnerabilidad y aumentando la resiliencia a los efectos adversos del cambio climático, y dar cumplimiento a los compromisos internacionales

asumidos por el Estado de Chile en la materia” (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2022).

2.8.2 Proyectos e iniciativas existentes

Varios proyectos han sido implementados en la pequeña minería chilena para evaluar la efectividad de las ERNC. Durante el mes de marzo de 2022, 7 nuevas centrales iniciaron operaciones (véase tabla 7), sumando una capacidad de energía instalada neta equivalente a 345 MW. Los proyectos más significativos en términos de potencia instalada corresponden a la central hidroeléctrica Alto Maipo – Las Lajas, con 267 MW en la región Metropolitana y la extensión del parque eólico Cabo Leones I, con 60 MW en la región de Atacama.

Tabla 7: Nuevos proyectos en operación mes de marzo 2022 (Ministerio de Energía, 2022).

Nombre	Titular	Región	Sistema	Tecnología	Capacidad MW neto
Alto Maipo Las Lajas	AES Andes	Metropolitana	SEN	Hidroeléctrica	267,0
Extensión parque eólico Cabo Leones I	Ibereólica	Atacama	SEN	Eólica	60,0
Nueva central solar fotovoltaica Pachira	El Naranjal SpA	Maule	SEN	Solar	9,0
PMGD FV Salermo	PMGD Salermo SpA	Metropolitana	SEN	Solar	2,8
El Monte Solar	Callaqui de Verano SpA	Metropolitana	SEN	Solar	2,8
PMGD FV Puelche	Puelche Flux Sphera SpA	Bíobio	SEN	Solar	2,6
PMGD Lo Boza	Rizoma IC Energy SpA	Metropolitana	SEN	Solar	0,8

2.8.3 Impacto socioeconómico y ambiental

Se habla de una política energética sustentable, debido al impacto que tienen las diferentes fuentes de energía en la naturaleza. A esto, se adiciona las discusiones respecto a la mitigación de los gases de efecto invernadero.

Chile destaca como un país bastante limpio en producción energética y de bajo impacto ambiental en comparación con los países de la OCDE, ya que, de las emisiones mundiales totales, Chile solo representa el 0,25%, gracias a una matriz eléctrica limpia donde la mayor cantidad de energía es producida por plantas hidráulicas. Sin embargo, en algunos sectores surge preocupación debido a que en los últimos años se han incrementado las emisiones de gases de efecto invernadero, con un promedio de 3,67% entre 1990 y 2007 (Jiménez, 2011). En este contexto, la integración de ERNC en la pequeña minería no solo contribuye a reducir la huella de carbono del sector, sino que también proporciona beneficios económicos al disminuir los costos energéticos.

2.8.4 Tendencias y avances

La creciente adopción de ERNC en la pequeña minería chilena refleja una tendencia hacia la sostenibilidad y la eficiencia energética. La innovación tecnológica y el apoyo gubernamental han sido cruciales para este avance.

Durante el año 2021, las energías renovables no convencionales representaron aproximadamente un 22% de la generación total del Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Este cambio en la matriz energética es notable respecto a la situación de hace una década. En el año 2010, la contribución de este tipo de energías era prácticamente inexistente, con un total de solo 318 GWh producidos. En contraste, en 2021 la generación de energía a partir de estas fuentes de energía alcanzó un total de 17.843 GWh, representando un aumento de 5,5%.

De este modo, la generación eléctrica en parques fotovoltaicos y eólicos en el año 2010 representaba solo el 0,5% del total anual, aumentando más de 20 puntos porcentuales a lo largo de una década, alcanzando el 22,5% de la generación nacional en 2021 (Véase Figura 15).

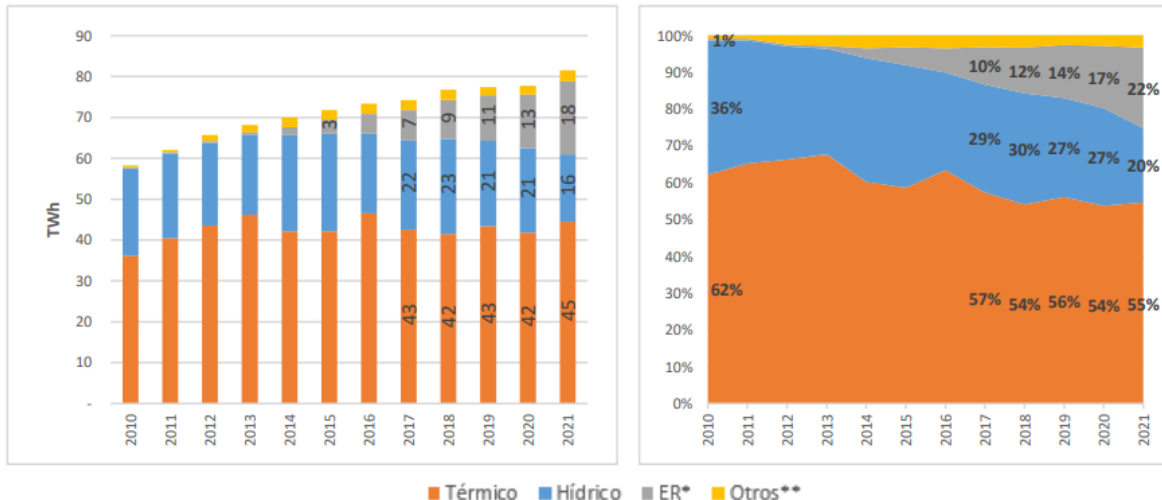


Figura 15: Generación eléctrica anual según tipo de energía primaria (Comisión Chilena del Cobre , 2022).

Es importante destacar que este incremento en la generación de energías renovables no convencionales se debe en gran parte al avance tecnológico desarrollado en la última década. La mejora en la competitividad de estas energías ha sido fundamental para este crecimiento. Además, el Estado de Chile muestra un compromiso firme a nivel internacional al presentar una estrategia climática de largo plazo durante la COP26, con el objetivo de abordar el cambio climático de manera global, estableciendo metas de temperaturas adaptadas a las capacidades y circunstancias particulares de cada país.

2.8.5 Limitaciones técnicas

Incertidumbre sobre requerimientos técnicos para ERNC: los sistemas interconectados son una integración de tecnologías con diferentes características, sin embargo, durante la operación, y en particular frente a perturbaciones del sistema, se espera que todas las tecnologías existentes actúen coordinadamente para que los efectos de dicha perturbación no se expandan. En este sentido no existen los requerimientos normativos para tecnologías como la generación solar fotovoltaica, mareomotriz y muchas otras tecnologías de energías renovables no convencionales, teniendo que resolver estos requerimientos con equipos adicionales, pero con un costo menor respecto al proyecto (Silva & Villena, 2014).

Ausencia de información pública sobre localización y dimensionamiento de fuentes ERNC: a modo de ejemplo, Chile cuenta con amplios datos asociados a cursos de agua, pero no así

al recurso eólico y solar, donde solamente existen mediciones aisladas y modelos predictivos, que no son suficientes para darle soporte a las inversiones requeridas por los proyectos de generación. Un tema similar ocurre con los potenciales geotérmicos, donde la prospección ha sido una barrera permanente a los desarrolladores de proyectos, provocando atrasos debido a la falta de información y haciendo levemente más caro el desarrollo de estas energías. (Silva & Villena, 2014)

2.8.6 Limitaciones económicas

Dificultad de proyectos ERNC para obtener financiamiento: en general, los mercados financieros locales y extranjeros tienden a mostrar resistencia a tecnologías nuevas debido a la incertidumbre que genera su rendimiento y operación, por la no existencia de un registro histórico. Esto se percibe en Chile, dado los pocos proyectos de ERNC, distintos a biomasa e hidráulicos, que han sido financiados por la banca local. (Silva & Villena, 2014).

Necesidades de capital humano especializado para el desarrollo y aplicación de ERNC: se requiere desarrollar recursos humanos especializados tanto para la gestión, operación y mantenimiento de estas tecnologías como para la innovación y adaptación a condiciones locales (Silva & Villena, 2014).

2.8.7 Limitaciones sociales

Dificultad de los consumidores para distinguir las externalidades generadas por las distintas tecnologías para producir energía: las barreras culturales y sociales a la incorporación de estas energías pueden ser importantes, sin embargo, su estudio y análisis suele ser muy precario. (Silva & Villena, 2014).

El estado actual de la investigación muestra posibilidades para la implementación de ERNC en la pequeña minería de Chile, aunque persisten desafíos significativos por superar. Esta investigación se enfoca en abordar esas áreas, proporcionando perspectivas y soluciones para la adopción de este tipo de energías en el sector minero de baja escala.

3 Metodología

Para la implementación de ERNC en la pequeña minería chilena se requiere de un enfoque estructurado y sistemático que considere diferentes particularidades tecnológicas y operativas de este sector. Para esto se abordan aspectos como la evaluación de consumos energéticos actuales para un análisis de viabilidad técnica y económica que las energías disponibles. Para ello, la ejecución de la secuencia de trabajo comprende las siguientes áreas:

- Investigación, basada en la revisión de la literatura relacionada con ERNC y su potencial uso en la industria minera, específicamente en pequeña minería.
- Encuesta y recopilación de datos sobre los consumos energéticos actuales, los tipos de energía utilizados y todos los gastos asociados al proceso de extracción.
- Naturaleza de gastos de energía que facilite la presentación de los resultados obtenidos mediante el análisis de los actuales consumos energéticos, detallando los gastos en cada proceso.
- Análisis geográfico según los datos recopilados para identificar el potencial de recursos renovables disponibles para distintas ubicaciones, analizando aspectos como radiación solar, patrones de vientos y accesibilidad a fuentes de agua
- Evaluación de la viabilidad técnica mediante análisis FODA para desarrollar estrategias efectivas, con la finalidad de determinar cuáles son las ERNC adecuadas para la gran parte de las faenas.
- Evaluación de la viabilidad económica en la implementación de ERNC mediante métrica VAN y TIR para determinar la rentabilidad de la inversión.
- Generar propuesta de implementación que permita conocer las condiciones básicas necesarias para la implementación de ERNC para minería de pequeña escala.
- Presentación de las recomendaciones específicas para la exitosa implementación de energías, incluyendo acciones a nivel técnico, económico y normativo.

3.1 Investigación

Para la realización de este estudio, se llevó a cabo una investigación previa que abarcó tanto el análisis del sector de la pequeña minería en Chile como la revisión de literatura existente sobre las tecnologías de energías renovables no convencionales que se busca implementar. Esto permitió conocer las particularidades y desafíos que enfrenta el sector minero, así como las soluciones tecnológicas más avanzadas y adecuadas a este contexto.

3.1.1 Antecedentes

Para la realización de la encuesta sobre la que se fundamentaron los análisis posteriores, se consideró información previa y antecedentes relevantes de este sector minero. Estos datos incluyeron estudios previos, estadísticas de producción aproximada, prácticas operativas y desafíos comunes, que sirvieron como base para el diseño de la encuesta. La incorporación de estos datos garantizó que las preguntas estuvieran enfocadas en los aspectos más críticos, de modo que se obtuvieran resultados significativos y representativos.

3.2 Encuesta y recopilación de datos

Los datos utilizados para el desarrollo de este proyecto se obtienen a partir de una encuesta realizada a diversos productores del sector. Esta encuesta permitió recopilación sobre necesidades, capacidades y desafíos enfrentados por la pequeña minería, utilizado para orientar las decisiones técnicas y estratégicas. La información obtenida proporciona una base sólida para garantizar que las soluciones propuestas sean adecuadas y efectivas en el contexto operativo real de los productores (Véase Anexo B).

3.2.1 Segmentación

Dado el complejo escenario que puede enfrentar la pequeña minería, la segmentación de este sector se presenta como un concepto esencial para comprender la diversidad inherente de esta actividad. Esto no solo refleja las variaciones existentes, sino también expone las diferentes realidades que enfrenta el sector.

El análisis segmentado que se presenta a continuación busca entablar la pequeña minería en tramos cuantitativos, se acuerdo con un estudio realizado por la Empresa Nacional de Minería, definiendo estos tramos de la siguiente manera:

Tabla 8: Cantidad de productores por tramos según encuesta (ENAMI, 2023).

Tramo en TMS	Cantidad	Porcentaje
1 a 50	351	38%
51 a 100	148	16%
101 a 300	185	20%
301 a 10.000	185	20%
no entrega	55	6%

Siguiendo esta misma línea, según los resultados obtenidos, la extracción subterránea se establece como la actividad predominante dentro de este sector, abarcando el 82.3%, dentro de los cuales solo un 36% posee algún tipo de energía renovable en sus instalaciones, como se especifica en las siguientes tablas.

Tabla 9: Tipo de extracción según encuesta (ENAMI, 2023).

Tipo	Porcentaje
Subterránea	82,3%
Rajo abierto	13,6%
Ambas	4,1%

Tabla 10: Energía solar en faena según encuesta (ENAMI, 2023).

Región	Posee energía solar	No posee energía
Antofagasta	57	65
Arica y Parinacota	0	1
Atacama	150	131
Coquimbo	41	199
O'Higgins	8	30
Metropolitana	1	6
Tarapacá	2	2
Valparaíso	15	56
Vacías	0	1
Total	274	491

En el marco de la minería en Chile, resulta esencial comprender la disposición de las faenas a lo largo de las distintas regiones del país. La siguiente tabla ofrece un análisis de la cantidad de faenas presentes en cada región, resaltando tanto la diversidad geográfica como la relevancia económica que caracteriza a esta actividad a nivel regional.

Tabla 11: Total de faenas activas por región (ENAMI, 2023).

Región	Faenas Activas
Antofagasta	153
Arica y Parinacota	2
Atacama	367
Coquimbo	258
O'Higgins	54
Metropolitana	9
Tarapacá	4
Valparaíso	73
Vacías	4
Total	924

En el marco del mismo estudio, se ha realizado un análisis exhaustivo de los equipos que se utilizan predominantemente en las operaciones de pequeña minería. A continuación, se detallan los equipos más empleados en este sector, acompañados por el porcentaje de utilización correspondiente, que permite una comprensión clara de su prevalencia y relevancia dentro del rubro, donde abarcan un total de 87.6% de la totalidad de equipos que se emplean:

Tabla 12: Equipos actualmente utilizados en pequeña minería (ENAMI, 2023).

Equipo	Porcentaje de utilización
Perforadora	29,2%
Compresor	19,5%
Minicargador	15,4%
Camioneta	14,6%
Dumper	8,9%
Total	87,6%

3.3 Análisis geográfico

3.3.1 Ventajas y desventajas de cada ERNC

Para llevar a cabo una evaluación precisa de las energías, se debe comprender tanto los beneficios como los inconvenientes de su implementación. Para esto, se tienen los siguientes cuadros comparativos para cada una de las energías renovables no convencionales en estudio:

➤ **Energía solar**

Tabla 13: Balance entre beneficios y limitaciones energía solar

Ventajas	Desventajas
Cero emisiones contaminantes	Elevada inversión inicial
Disponibilidad en todo lugar	Dependencia del clima
No produce ruido	Potencia limitada
Bajo mantenimiento	Requiere gran área de instalación

➤ **Energía eólica**

Tabla 14: Balance entre beneficios y limitaciones energía eólica

Ventajas	Desventajas
Adaptable a casi cualquier espacio	Implica un impacto medioambiental
Rápida instalación	Requiere gran área de instalación
Disponibilidad en casi todo lugar	Limitantes en la velocidad del viento

➤ **Energía hidroeléctrica**

Tabla 15: Balance entre beneficios y limitaciones energía hidroeléctrica

Ventajas	Desventajas
Reutilización del agua empleada	Cambio en los patrones de migración y poblaciones piscícolas
Larga vida útil	Bajos niveles de oxígeno disuelto en el agua
Disminución de los gases de efecto invernadero	
Bajos costos de explotación	
Regula el caudal de agua para evitar crecidas peligrosas	

➤ **Energía geotérmica**

Tabla 16: Balance entre beneficios y limitaciones energía geotérmica

Ventajas	Desventajas
Extracción sin quemar algún combustible fósil	Liberación de sulfuro de hidrógeno
Disponibilidad los 365 días del año	Eliminación de algunos fluidos geotérmicos
Bajos costos	

➤ Biomasa

Tabla 17: Balance entre beneficios y limitaciones energía de la biomasa

Ventajas	Desventajas
Muy barata y rentable	Posibilidad de sobreexplotación
Favorece la reutilización gracias a economía circular	Menor rendimiento que otras energías renovables
Contribuye al mantenimiento de espacios naturales	Pone en riesgo zonas forestales

➤ Energía mareomotriz

Tabla 18: Balance entre beneficios y limitaciones energía mareomotriz

Ventajas	Desventajas
Predecible y gestionable	Tecnología cara en vías de desarrollo
Eficiente a bajas velocidades	Degradación de paisajes y ecosistemas
Larga vida útil	

➤ Hidrógeno verde

Tabla 19: Balance entre beneficios y limitaciones hidrógeno verde

Ventajas	Desventajas
Solo genera agua como residuo	Elevado costo de producción
Es inagotable	Requiere importantes inversiones
Es almacenable	
Es transportable	

3.3.2 Análisis FODA

Para realizar una evaluación precisa de las energías renovables disponibles, es fundamental comprender tanto sus beneficios como sus posibles inconvenientes. Esta es crucial para una toma de decisiones informada y estratégica sobre la posible implementación de estas energías. Con este propósito, se ha elaborado un análisis FODA para cada una de las energías renovable no convencionales en estudio, lo cual permite identificar fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, proporcionando una visión que facilite la evaluación y comparación de cada una de las opciones.

El análisis FODA aplicado a cada una de las energías renovables revela un escenario diverso y prometedor al evaluar todas las opciones que se encuentran disponibles. Entre las fortalezas se destaca la capacidad de fuentes como la hidroeléctrica y la biomasa para generar energía constante, mientras que la energía geotérmica ofrece una fuente constante y confiable. Sin embargo, se identifican debilidades, como lo son la dependencia geográfica en el caso de la energía geotérmica y los impactos ambientales asociados a la energía hidroeléctrica. Las oportunidades estratégicas, como el desarrollo tecnológico y la creciente conciencia ambiental, se presentan como impulsores positivos en algunas energías.

A pesar de esta diversidad, el análisis destaca la energía solar y eólica como elecciones finales preferentes para la implementación en la pequeña minería. La energía solar, con su accesibilidad global y la reducción constante de costos, y la energía eólica, aprovechando vientos constantes, representan la combinación óptima para abordar las debilidades identificadas y capitalizar las oportunidades, liderando así la transición hacia un futuro energético más sostenible y limpio.

Tabla 20: Matriz FODA energía solar fotovoltaica

Fortalezas	Oportunidades
Renovable y sostenible	Tecnología en constante evolución
Baja huella ambiental	Incentivos gubernamentales
Reducción de costos	Demanda en crecimiento
Independencia energética	
Debilidades	Amenazas
Dependencia de condiciones climáticas	Competencia con energías convencionales
Almacenamiento de energía	Impacto ambiental de producción
	Inestabilidad política

Tabla 21: Matriz FODA energía eólica

Fortalezas	Oportunidades
Renovable y sostenible	Tecnología en evolución
Reducción de GEI	Capacidad de almacenamiento de energía
Alta disponibilidad geográfica	Incentivos gubernamentales
Descentralización	
Debilidades	Amenazas
Variabilidad del viento	Competencia con energías convencionales
Impacto ambiental local	Desafíos en la integración de la red
Elevada inversión inicial	Oposición comunitaria

Tabla 22: Matriz FODA energía hidroeléctrica

Fortalezas	Oportunidades
Fuente estable de energía	Modernización de infraestructura
Bajas emisiones de GEI	Desarrollo de centrales hidroeléctricas
Beneficios en almacenamiento de agua	
Debilidades	Amenazas
Dependencia geográfica	Cambio en patrones climáticos
Impacto ambiental local	Competencia con energías renovables
	Oposición comunitaria

Tabla 23: Matriz FODA energía geotérmica

Fortalezas	Oportunidades
Fuente de energía constante	Desarrollo de nuevas tecnologías
Bajas emisiones de GEI	Aprovechamiento de recursos
Independencia de condiciones externas	
Debilidades	Amenazas
Limitada disponibilidad geográfica	Posibles impactos ambientales
Infraestructura específica	Competencia con energías renovables

Tabla 24: Matriz FODA biomasa

Fortalezas	Oportunidades
Reducción residuos orgánicos	Desarrollo de tecnologías avanzadas
Disponibilidad global	Producción sostenible
Debilidades	Amenazas
Emisiones de GEI	Uso ineficiente de suelos
Competencia con otras industrias	Competencia con energías renovables

Tabla 25: Matriz FODA energía mareomotriz

Fortalezas	Oportunidades
Previsibilidad de las mareas	Desarrollo tecnológico
Bajas emisiones de GEI	Integración de otras fuentes de energía
Impacto ambiental limitado	
Debilidades	Amenazas
Localización geográfica específica	Impacto ambiental local
Costos iniciales elevados	Competencia con energías renovables

Tabla 26: Matriz FODA hidrógeno verde

Fortalezas	Oportunidades
Sostenibilidad ambiental	Desarrollo tecnológico
Versatilidad de uso	Apoyo gubernamental
Descarbonización de sectores	
Potencial almacenamiento de energía	
Debilidades	Amenazas
Eficiencia del proceso de electrólisis	Volatilidad de precios
Costos iniciales elevados	Competencia con energías renovables
Infraestructura limitada	Recepción del mercado

3.3.3 Parámetros, supuestos y estimaciones

Para el estudio de costos de la implementación de energías renovables no convencionales se consideró evaluar los costos asociados al uso de combustibles tradicionales. En este contexto, el precio de diésel fue estimado, basándose en el precio promedio por región (Véase Anexo C). Este valor se utilizó como referencia al momento de comparar los costos operativos entre el uso de diésel y la adopción de tecnologías más limpias, lo cual dio paso a una evaluación económica integral.

Para el análisis de viabilidad se realizó un supuesto clave respecto a la disponibilidad de los recursos solares. En el diseño de las minas genéricas se consideró que se tienen ciertas horas al día de sol, lo que influye directamente en la generación de energía solar fotovoltaica. Además, se asumió que las operaciones dentro de estas minas se llevan a cabo durante una cantidad determinada de días al mes. Este supuesto permitió calcular con mayor precisión la cantidad de energía que se debía generar mensualmente para cumplir con todos los requerimientos energéticos de los distintos equipos que se utilizan para el proceso de extracción.

En el estudio de costos de las operaciones mineras, se estimó el flete necesario para el transporte de materiales desde la mina hasta la planta de procesamiento. Se consideró una distancia y un costo de transporte. Esta optimización es necesaria para reducir los costos

operativos, liberando presupuesto que puede ser reinvertido en otras áreas, en este caso, en la adopción de energías renovables.

En el análisis económico se determinó el precio del mineral extraído en base a la tarifa de compra de ENAMI. Para este estudio, se estimó una ley mínima para todo el mineral proveniente de las minas genéricas, ya que es la ley sobre la cual ENAMI realiza compras de mineral.

En la evaluación de la viabilidad técnica de implementar equipos eléctricos, se estimó que la autonomía de las baterías de estos equipos es conforme a las especificaciones proporcionadas por los fabricantes. Este periodo de operación sin necesidad de recarga de baterías garantiza que los equipos puedan funcionar eficientemente durante este intervalo de tiempo.

A continuación, se presentan los supuestos, estimaciones y parámetros considerados en el análisis, los cuales fueron utilizados para la evaluación económica y técnica de la implementación de energías renovables no convencionales en el contexto de la pequeña minería de Chile (Véase Anexo C).

Tabla 27: Datos utilizados para la creación de minas genéricas.

Parámetro, Supuesto o Estimación	Valor	Unidad
Precio diésel	\$ 1.056	CLP/L
Precio energía	\$ 394,05	CLP/kWh
Precio agua	\$ 1.121	CLP/m ³
Horas de sol diarias	6	horas
Días de operación al mes	20	días
Distancia mina – planta	40	km
Costo de transporte	\$ 4.000	CLP/ton
Costo de producción	\$ 52.562	CLP/ton
Ley base del mineral	2.5	%
Autonomía de baterías	4	horas
Tasa de descuento	10	%
Porcentaje de material que se vende	80	%

3.4 Naturaleza de gastos

Para la implementación de este proyecto minero, se utilizan diversos equipos y tecnologías, seleccionados en función de sus especificaciones técnicas y su respuesta ante las necesidades operativas de la pequeña minería. Los detalles completos sobre las características técnicas de estos equipos y tecnologías, así como las cotizaciones obtenidas, se encuentran en los anexos de este documento, donde se detalla que, según la información obtenida, los equipos eléctricos poseen un valor de 5 millones de pesos por sobre el valor de un equipo diésel. Esta información garantiza que los equipos seleccionados cumplen con los requerimientos de eficiencia, seguridad y costo, optimizando las operaciones mineras (Véase Anexo E).

Tabla 28: Precios de capital u operación de equipos

	Diésel	Eléctrico	Solar	Eólico	
Compresor	\$19.447.129	\$23.669.903	-	-	CLP
Perforadora	\$534.310	-	-	-	CLP
Minicargador	\$30.940.000	\$36.890.000	-	-	CLP
Dumper	\$33.995.325	\$39.945.325	-	-	CLP
Sistema de energía	-	-	\$4.748.100	\$15.000.000	CLP

3.4.1 Equipos mineros

La siguiente tabla presenta una selección de equipos utilizados en la pequeña minería, específicamente aquellos que son impulsados por motores diésel. Estos equipos, que incluyen minicargador, dumper, compresor y perforadora, son los utilizados para llevar a cabo diversas operaciones de manera eficiente. La información proporcionada permite una evaluación comparativa de las capacidades y prestaciones de cada equipo, facilitando la selección adecuada según las necesidades específicas de cada mina genérica (Véase Anexo D).

Tabla 29: Especificaciones generales de equipos diésel a utilizar

Equipos diésel	Minicargador	Dumper	Compresor	Perforadora	
Potencia	49	23	62	-	HP
Capacidad de carga	800	1.500	-	-	Kg
Consumo de aire	-	-	-	50 – 85	L/s
Presión de trabajo	-	-	-	0,4 – 0,63	MPa
Velocidad de perforación	-	-	-	300 – 480	mm/min
Capacidad de aire	-	-	180	-	CFM
Presión	-	-	7	-	Bar

La siguiente tabla muestra una serie de equipos eléctricos, a excepción de la perforadora que es de uso manual, con un enfoque en la eficiencia energética y la reducción de emisiones. Esta tabla permite una comparación detallada de las características técnicas de cada equipo, facilitando la toma de decisiones en la selección de maquinaria adecuada para operaciones sostenibles (Véase Anexo D).

Tabla 30: Especificaciones generales de equipos eléctricos a utilizar

Equipos eléctricos	Minicargador	Dumper	Compresor	Perforadora	
Potencia	53,5	10	25	-	kW
Capacidad de carga	608	1.000	-	-	Kg
Consumo de aire	-	-	-	50 – 85	L/s
Presión de trabajo	-	-	-	0,4 – 0,63	MPa
Velocidad de perforación	-	-	-	300 – 480	mm/min
Capacidad de aire	-	-	135 – 180	-	CFM
Presión	-	-	7 – 10	-	Bar

Del mismo modo, se tiene la siguiente información basada en los lineamientos del Servicio de Impuestos Internos (SII) que detalla la vida útil estimada de diversos equipos utilizados en la pequeña minería. Esta información es utilizada para el cálculo de depreciaciones, en este caso depreciación acelerada de activos, valores contables y planificación de la reposición de activos, lo que impacta en la evaluación económica y tributaria de proyectos mineros (Servicio de Impuestos Internos, 2002).

Tabla 31: Vida útil de equipos mineros

Equipo	Vida útil	Depreciación acelerada	
Minicargador	9	3	años
Dumper	9	3	años
Compresor	9	3	años

3.5 Mina genérica

3.5.1 Diseño

La creación de una mina genérica requiere de una planificación detallada y una cuidadosa selección de equipos para asegurar la eficiencia y productividad. Para lograr estos objetivos, se establecen tres minas genéricas, cada una con una capacidad de producción mensual diferente. Estas minas se encuentran equipadas con equipos como compresores, dumpers, perforadoras y minicargadores. Además, el traslado de material se terceriza para optimizar el proceso logístico.

Cada una de estas minas genéricas presenta una variada capacidad de producción, como respuesta a una adaptación ante las distintas necesidades y demandas del mercado. Las capacidades de producción de estas minas oscilan entre las 600 y las 5.000 toneladas mensuales, abarcando las diferentes operaciones unitarias que se llevan a cabo. Estos tonelajes se evalúan debido a que, al existir economías de escala, los costos por tonelada disminuyen a medida que aumenta la producción, lo que lleva a optar por estos rangos para maximizar las posibilidades. Esta decisión se sustenta en base a datos obtenidos de encuestas, permitiendo así la evaluación de distintas tecnologías que además se suplir requerimientos energéticos optimicen la producción.

A continuación, se detallan los diseños específicos y las capacidades de producción de cada una de estas minas mediante la adecuada planificación y selección de equipos, ya sea del tipo diésel como del tipo eléctrico.

Tabla 32: Diseño mina genérica para producción de 600 toneladas mensuales

Producción	600	ton
Compresor	1	ud
Dumper	1	ud
Perforador	1	ud
Cargador	1	ud
Hrs Compresor	3	hrs/día
Hrs Dumper	4	hrs/día
Hrs Minicargador	4	hrs/día
Hrs Perforador	3	hrs/día
Distancia a planta	40	km
Material enviado a planta	480	ton

Tabla 33: Diseño mina genérica para producción de 2000 toneladas mensuales

Producción	2.000	ton
Compresor	2	ud
Dumper	2	ud
Perforador	2	ud
Cargador	2	ud
Hrs Compresor	3	hrs/día
Hrs Dumper	4	hrs/día
Hrs Minicargador	4	hrs/día
Hrs Perforador	3	hrs/día
Distancia a planta	40	km
Material enviado a planta	1.600	ton

Tabla 34: Diseño mina genérica para producción de 5000 toneladas mensuales

Producción	5.000	ton
Compresor	4	ud
Dumper	4	ud
Perforador	4	ud
Cargador	4	ud
Hrs Compresor	3	hrs/día
Hrs Dumper	4	hrs/día
Hrs Minicargador	4	hrs/día
Hrs Perforador	3	hrs/día
Distancia a planta	40	km
Material enviado a planta	4.000	ton

Tabla 35: Resumen de diseño minas genéricas

Producción	600	2.000	5.000	ton
Compresor	1	2	4	unidad
Dumper	1	2	4	unidad
Perforadora	1	2	4	unidad
Minicargador	1	2	4	unidad
Material enviado a planta	480	1.600	4.000	ton

3.5.2 Diagrama de procesos

➤ Mina genérica con equipos diésel

El proceso inicia con el suministro de diésel, fuente de energía principal para varios equipos del sistema, como lo son el compresor, minicargador y dumper.

Una vez que el compresor recibe el diésel, produce el aire comprimido necesario para operar la perforadora manual, la cual utiliza este aire para realizar agujeros en el terreno, los cuales son posteriormente llenados con explosivos para llevar a cabo la tronadura, que actúa fragmentando el material en la mina. Luego de esto, el material tronado es transportado por el minicargador hasta la entrada del túnel, donde lo transfiere al dumper, el cual lo transporta hasta el área de acopio. En esta etapa, el material es almacenado temporalmente antes de ser enviado a planta mediante camiones de flete para ser comercializado.

Una vez en la planta, el material es comercializado a través del poder comprador, que en este caso es la Empresa Nacional de Minería (ENAMI), quien adquiere el material de acuerdo con diversas condiciones preestablecidas, que incluyen factores como el tipo de mineral, su ley y volumen, asegurando la continuidad del proceso de comercialización dentro del marco regulatorio establecido para la pequeña minería.

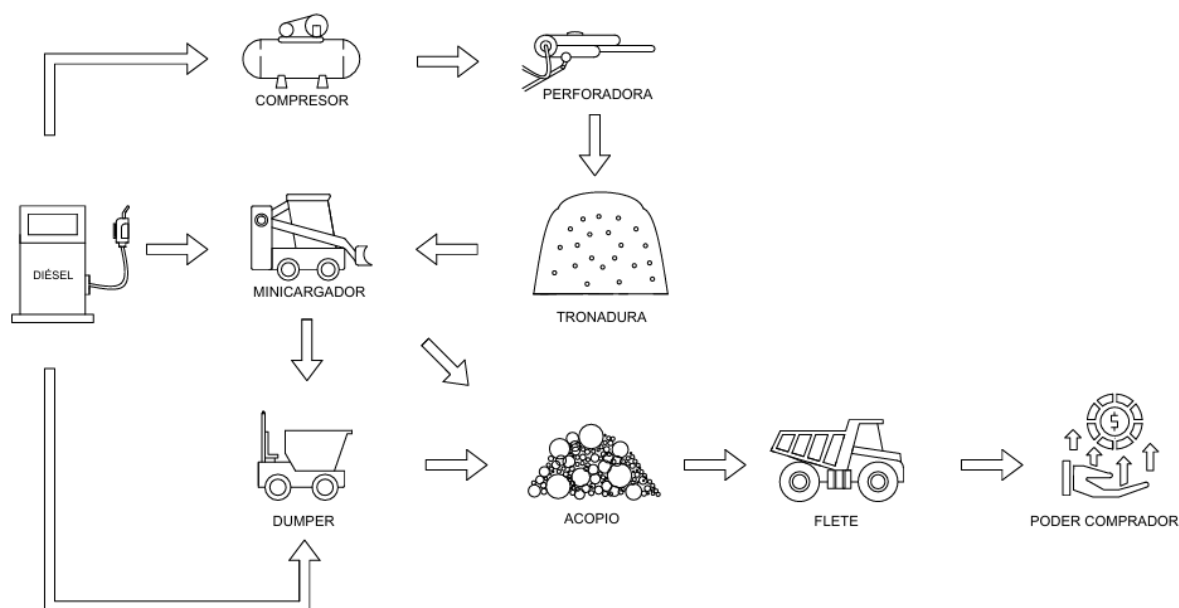


Figura 16: Diagrama de procesos mina genérica diésel

➤ Mina genérica con equipos eléctricos

Para una mina operada mediante equipos eléctricos, el proceso se adapta del diagrama de procesos de una mina genérica diésel. La mayor diferencia es que este proceso comienza con un enfoque en sostenibilidad mediante el uso de energía renovable. El proceso de extracción en esta mina genérica inicia con el suministro de baterías cargadas mediante energía solar o eólica, las cuales son la fuente de energía para los equipos de la mina, sustituyendo el diésel tradicional.

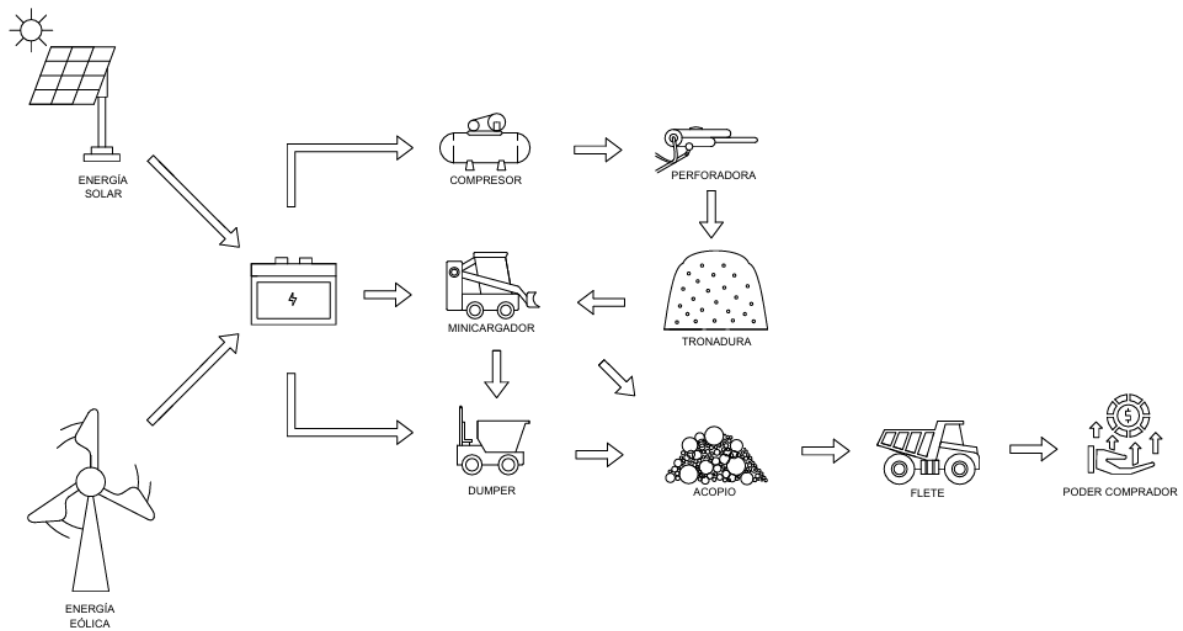


Figura 17: Diagrama de procesos mina genérica eléctrica

3.5.3 Estructura de costos

➤ Consumo de diésel

Para calcular los consumos de diésel de un equipo en un día respecto a su potencia, es necesario considerar varios factores, entre ellos la potencia del motor, las horas de operación y la carga de trabajo o más bien conocido como el consumo de combustible por hora que, generalmente un motor diésel consume 0.2 litros por hora por cada kilovatio.

Por lo tanto, para obtener el consumo de diésel diario de un equipo se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo diario} = \text{Potencia (kW)} \cdot \text{Consumo por hora} \left(\frac{\text{litros}}{\text{kWh}} \right) \cdot \text{Horas de operación} \quad (1)$$

- Tener en consideración que la potencia se encuentra expresada en HP, por lo cual este valor debe ser multiplicado por **0.7457** para dejarlo expresado en kW como se indica en la ecuación anterior.

Como se consideran tres equipos diésel para cada mina tipo, se realiza sumatoria de consumo mensual para cada una de ellas según la siguiente fórmula:

$$\text{Costo mensual} = \sum \text{Consumo diario} \cdot \text{precio diésel} \cdot \text{días trabajados} \quad (2)$$

➤ Consumo de agua

El consumo de agua se ha determinado a partir de los resultados de la encuesta realizada, la cual indica que una perforadora posee un consumo diario aproximado de 200 litros. Debido a esto, se tiene que el consumo mensual de agua se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Costo mensual agua} = \text{Consumo de agua} \cdot \text{Precio agua} \cdot \text{días trabajados} \quad (3)$$

➤ Transporte

Para el transporte de mineral a la planta, se utiliza un servicio de flete tarifado por tonelada transportada. Este costo específico, es obtenido desde la encuesta realizada a pequeños mineros (Véase Tabla 27).

Para conocer el costo total del transporte se utiliza la siguiente fórmula:

$$Flete = Mineral\ enviado\ a\ planta\ (ton) \cdot Precio\ por\ tonelada \quad (4)$$

➤ Repuestos

Se conoce que los costos de los repuestos de un equipo diésel se encuentran asociados directamente al precio de adquisición del equipo y a su vida útil, cuyo valor para estos efectos se considera mensual. De este modo, los costos asociados a repuestos de un equipo diésel se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$Repuestos = \frac{Precio\ adquisición}{Vida\ útil\ (horas)} \quad (5)$$

➤ Mantenciones

El costo de mantenimiento de los equipos diésel se calcula en función del valor de adquisición, estableciendo que representa entre el 5% - 10% del costo inicial de cada equipo. Al aplicar este criterio, se puede prever el presupuesto necesario para mantener los equipos en condiciones óptimas. Para efectos de este estudio se considera la opción menos favorable, por lo que el valor asociado a mantenciones para un año de trabajo se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Mantenición\ diésel = Valor\ de\ adquisición \cdot 10\% \quad (6)$$

El porcentaje de reducción en los costos de mantenimiento de un equipo eléctrico varía según diversos factores del equipo y entorno en que opera. Sin embargo, es posible estimar una reducción de alrededor del 40% para equipos eléctricos en comparación con equipos diésel.

Debido a esto, el valor de las mantenciones de un equipo eléctrico se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Mantenición eléctrica} = 40\% \cdot \text{Mantenición equipo diésel} \quad (7)$$

➤ Consumo energético

Al calcular la energía requerida, es fundamental considerar diversos factores, como la capacidad nominal de los equipos y las condiciones en que se trabaja. Asimismo, es importante aplicar un factor de utilización para cada uno de los equipos eléctricos que se describen en las minas tipo. Para esto se sigue la siguiente fórmula:

$$\text{Energía (kW)} = \text{Potencia motor (kW)} \cdot \text{Horas de uso diarias} \cdot \text{Factor de utilización} \quad (8)$$

Donde se tiene en consideración lo siguiente:

- Factor de utilización = 0,66; el cual indica la fracción de capacidad del sistema que se está utilizando durante la utilización máxima del equipo.

El consumo energético mensual se conoce mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo energético} = \text{Potencia utilizada mensual} \cdot \text{Valor kWh} \quad (9)$$

➤ Equipos de energía solar

Para conocer cuántos paneles solares se necesitan para abastecer el requerimiento energético, se debe seguir la siguiente fórmula, despejando la variable correspondiente a N° de paneles.

$$\text{Energía (kW)} = \text{N° paneles} \cdot \text{Capacidad panel (kW)} \cdot \text{Horas de sol} \cdot \text{Días trabajados} \quad (10)$$

➤ Equipos de energía eólica

Para conocer cuántos generadores eólicos se necesitan para abastecer el requerimiento energético, se debe seguir la siguiente fórmula, considerando que un generador trabaja 24 horas al día con un 25% de su capacidad, en un total de 20 días por mes.

$$\text{Energía (kW)} = \text{N° generadores} \cdot \text{Capacidad generador (kW)} \cdot \text{Factor capacidad} \cdot \text{Horas de operación} \quad (11)$$

Es relevante mencionar que en el desarrollo de este proyecto se ha tenido en cuenta un factor de eficiencia. Este factor sirve como medida para evaluar la efectividad en el uso de los

recursos energéticos, indicando cuánta energía se convierte en trabajo útil en relación con la energía total. En este caso, se ha considerado un factor de eficiencia del 85%, el cual se aplica a la capacidad de generación de energía de cada panel solar y turbina. Este enfoque asegura la operación de los equipos dentro de límites óptimos, evitando sobrecargas y así prolongando su vida útil.

3.6 Viabilidad técnica y económica

3.6.1 Ciclo de carguío y transporte

Un ciclo de carguío y transporte es la secuencia de actividades que se llevan a cabo para extraer el material de un yacimiento y así transportarlo a un lugar específico, ya sea dentro o fuera de la mina. En este caso, este ciclo comienza con el minicargador que se encarga de extraer el material desde la frente de trabajo en el interior de un túnel de 100 metros hasta la entrada de este, donde vierte su carga al dumper, el cual se desplaza hacia el área de acopio, cuya ubicación se encuentra a 50 metros fuera de la mina, donde descarga el material que será enviado a planta. Este ciclo se repite continuamente hasta completar la cantidad de material que se explota diariamente.

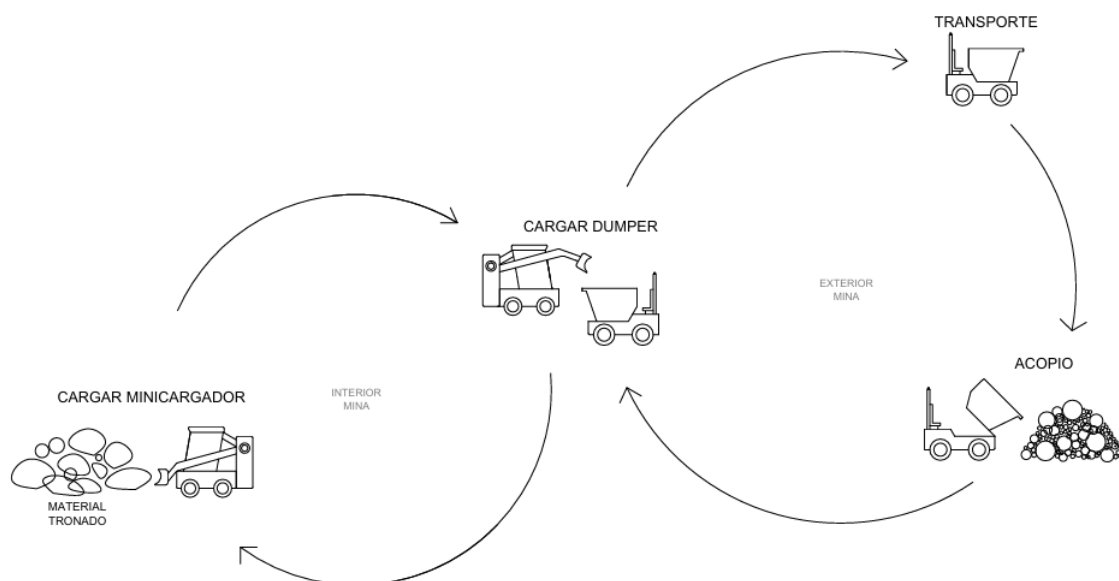


Figura 18: Ciclo de carguío y transporte

Para calcular este ciclo, se deben seguir las siguientes fórmulas:

$$Tf = \text{Tiempo carga (min)} + \text{Tiempo descarga (min)} \quad (12)$$

$$\text{Tiempo ida} = \frac{\text{Distancia (m)} \cdot 60}{\text{Velocidad ida} \left(\frac{\text{km}}{\text{h}} \right) \cdot 1000} \quad (13)$$

$$\text{Tiempo regreso} = \frac{\text{Distancia (m)} \cdot 60}{\text{Velocidad regreso} \left(\frac{\text{km}}{\text{h}} \right) \cdot 1000} \quad (14)$$

$$Tv = \text{Tiempo ida} + \text{Tiempo regreso} \quad (15)$$

$$\text{Tiempo ciclo} = Tf + Tv \quad (16)$$

$$\text{Ciclos diarios} = \frac{\text{Material por cargar diariamente (kg)}}{\text{Capacidad (kg)}} \quad (17)$$

$$\text{Tiempo utilización} = \text{Tiempo ciclo} \cdot \text{Ciclos diarios} \quad (18)$$

Para esto, se deben tener las siguientes especificaciones, considerando una eficiencia operativa de 90% en la capacidad de carga de cada equipo:

Tabla 36: Variables ciclo de carguío y transporte mina genérica 600 toneladas

	Minicargador	Dumper	
Capacidad	547.2	900	kg
Velocidad ida	11,4	11,9	km/h
Velocidad vuelta	14,8	15	km/h
Material por cargar diariamente	30.000	30.000	kg
Distancia recorrida por viaje	200	100	m
Tiempo de carga	12	12	s
Tiempo de descarga	12	12	s

Tabla 37: Variables ciclo de carguío y transporte mina genérica 2000 toneladas

	Minicargador	Dumper	
Capacidad	547,2	900	kg
Velocidad ida	11,4	11,9	km/h
Velocidad vuelta	14,8	15	km/h
Material por cargar diariamente	100.000	100.000	kg
Distancia recorrida por viaje	200	100	m
Tiempo de carga	12	12	s
Tiempo de descarga	12	12	s

Tabla 38: Variables ciclo de carguío y transporte mina genérica 5000 toneladas

	Minicargador	Dumper	
Capacidad	547,2	900	kg
Velocidad ida	11,4	11,9	km/h
Velocidad vuelta	14,8	15	km/h
Material por cargar diariamente	250.000	250.000	kg
Distancia recorrida por viaje	200	100	m
Tiempo de carga	12	12	s
Tiempo de descarga	12	12	s

3.6.2 Métricas financieras

➤ Diferencial de costos

Para llevar a cabo un diferencial de costos se debe evaluar la venta del activo utilizado actualmente para realizar un cambio de activos, lo que se realiza siguiendo el siguiente factor:

Tabla 39: Factores de venta de activos

Años de uso	Factor
1 – 5 años	0,2
6 años o más	0,1

Con esto, se fija un precio base del 50% del valor del activo y se suma el factor según la utilización del equipo, calculando el valor de venta mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Valor de venta activo} = (0,5 + \text{factor}) \cdot \text{costo adquisición} \quad (19)$$

Luego, se debe obtener la depreciación para cada activo de la siguiente manera:

$$\text{Depreciación} = \frac{\text{costo adquisición}}{\text{vida útil acelerada}} \quad (20)$$

Teniendo esto es posible conocer el valor residual que posee cada activo, según lo siguiente:

$$\text{Valor residual} = \text{costo adquisicion} - \text{vida proyecto} \cdot \text{depreciación} \quad (21)$$

➤ Valor Actual Neto

Para obtener el valor actual neto se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \quad (22)$$

Donde:

- F_t : Flujos de efectivo de cada periodo
- I_0 : Inversión inicial
- n : Número de periodos de tiempo
- k : tasa de descuento

Para obtener un cálculo del VAN es necesario conocer la inversión inicial, la cual se encuentra compuesta por:

$$\text{Inversión inicial} = \text{Inversión equipos} + \text{Inversión energía} \quad (23)$$

Para calcular los ingresos, es necesario utilizar la tarifa de compra proporcionada por ENAMI. Para este propósito, se considera la tarifa vigente en mayo 2024 (Véase Anexo F). La fórmula aplicable para estos cálculos es la siguiente:

$$\text{Tarifa de compra ENAMI} = \$145.840 + \$73.453 \cdot (\text{Ley mineral} - \text{Ley base}) \quad (24)$$

Se debe considerar que, para efectos de este proyecto, se considera una ley base de 2,5%.

Siguiendo esto, se tienen las siguientes ecuaciones para calcular los valores asociados a los ingresos, egresos y flujo de efectivo neto de cada mina tipo.

$$\text{Ingresos} = \text{Material enviado a planta} \cdot \text{Tarifa de compra ENAMI} \quad (25)$$

➤ Tasa Interna de Retorno

Para obtener la tasa interna de retorno se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = 0 \quad (26)$$

Esta métrica se rige bajo el siguiente criterio de selección, donde "k" corresponde a la tasa de descuento de flujos elegida para calcular el VAN:

- Si $TIR > k$: el proyecto de inversión es aceptado.
- Si $TIR < k$: el proyecto genera pérdidas.

Por lo tanto, para determinar la viabilidad de la inversión, se lleva a cabo un análisis utilizando el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) para cada una de las minas genéricas diseñadas.

➤ Retorno de la Inversión

Para obtener el retorno de inversión se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$ROI = \frac{\text{Ingresos} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}} \cdot 100 \quad (27)$$

4 Resultados

4.1 Estructura de costos mina genérica

➤ Consumo de diésel

A continuación, se presentan los resultados que se obtuvieron para los consumos de diésel por equipo:

Tabla 40: Consumo mensual de diésel por equipo

	Dumper	Minicargador	Compresor	
Consumo diario	13,7	29,2	27,7	L
Consumo mensual	274,4	584,6	554,8	L

Tabla 41: Consumo mensual de diésel para cada mina genérica

	Dumper	Minicargador	Compresor	Total	
600 toneladas	274,4	584,6	554,8	1.413,8	L
2000 toneladas	548,8	1.169,3	1.109,6	2.827,7	L
5000 toneladas	554,8	2.338,5	2.219,2	5.112,5	L

Tabla 42: Costo diésel mensual para cada mina genérica

	600 toneladas	2000 toneladas	5000 toneladas	
Costo de diésel mensual	\$1.493.023	\$2.986.045	\$5.972.091	CLP

➤ Consumo de agua

A continuación, se presentan los resultados que se obtuvieron para los consumos de agua de la perforadora neumática:

Tabla 43: Consumo y costo de agua mensual perforadora para cada mina genérica

	600 toneladas	2000 toneladas	5000 toneladas	
Consumo de agua diario	200	400	800	L
Consumo de agua mensual	4.000	8.000	16.000	L
Costo de agua mensual	\$4.484	\$8.968	\$17.936	CLP

➤ Transporte

Los resultados que se obtuvieron para el valor del transporte, el cual fue tercerizado, son:

Tabla 44: Transporte de mineral para cada mina genérica

	600 toneladas	2000 toneladas	5000 toneladas	
Mineral enviado a planta	480	1.600	4.000	ton
Costo Flete	\$ 4.000	\$ 4.000	\$ 4.000	CLP/ton
Total	\$ 1.920.000	\$ 6.400.000	\$ 16.000.000	CLP

➤ Repuestos

Los valores obtenidos para los repuestos necesarios para cada equipo diésel son:

Tabla 45: Repuestos para cada equipo

	Dumper	Minicargador	Compresor	
Vida útil	5.000	5.000	10.000	horas
Costo adquisición	\$ 33.995.325	\$ 30.940.000	\$ 19.447.129	CLP
Costo Repuestos	\$ 6.799	\$ 6.188	\$ 1.945	CLP

➤ Mantenciones

El costo de las mantenciones se encuentra ligado al valor de adquisición de cada equipo, cuyo valor se muestra a continuación:

Tabla 46: Mantenciones para cada equipo

	Dumper	Minicargador	Compresor	
Costo Mantenimiento diésel	\$ 3.399.533	\$ 3.094.000	\$ 1.944.713	CLP
Costo Mantenimiento eléctrica	\$ 1.359.813	\$ 1.237.600	\$ 777.885	CLP

➤ Consumo energético

El consumo energético de cada mina genérica se expresa de la siguiente manera:

Tabla 47: Consumo y costo energético mensual mina genérica 600 toneladas

	Dumper	Minicargador	Compresor	
Potencia diaria	26,4	141,24	49,5	kW
Cantidad de equipos	1	1	1	unidad
Consumo energético mensual	528	2.825	990	kW
Costo energético mensual	\$ 280.058	\$ 1.113.112	\$ 390.110	CLP

Tabla 48: Consumo y costo energético mensual mina genérica 2000 toneladas

	Dumper	Minicargador	Compresor	
Potencia diaria	26,4	141,24	49,5	kW
Cantidad de equipos	2	2	2	unidad
Consumo energético mensual	1.056	5.650	1.980	kW
Costo energético mensual	\$ 417.117	\$ 2.226.225	\$ 780.219	CLP

Tabla 49: Consumo y costo energético mensual mina genérica 5000 toneladas

	Dumper	Minicargador	Compresor	
Potencia diaria	26,4	141,24	49,5	kW
Cantidad de equipos	4	4	4	unidad
Consumo energético mensual	2.112	11.299	3.960	kW
Costo energético mensual	\$ 832.234	\$ 4.452.450	\$ 1.560.438	CLP

➤ Equipos de energía solar

La cantidad de equipos de energía solar de cada mina genérica se expresa de la siguiente manera:

Tabla 50: Costo Paneles solares necesarios para cada mina genérica

	600 toneladas	2000 toneladas	5000 toneladas	
Paneles solares necesarios	78	155	310	unidad
Capacidad panel	0,47	0,47	0,47	kW
Costo equipos	\$ 52.907.400	\$ 105.136.500	\$ 210.273.000	CLP

➤ Equipos de energía eólica

La cantidad de equipos de energía eólica de cada mina genérica se expresa de la siguiente manera:

Tabla 51: Turbinas eólicas necesarias para cada mina genérica

	600 toneladas	2000 toneladas	5000 toneladas	
Turbinas eólicas necesarias	5	9	18	un
Capacidad turbinas	8,5	8,5	8,5	kW
Factor de capacidad	0,25	0,25	0,25	
Costo equipos	\$ 75.000.000	\$ 135.000.000	\$ 270.000.000	CLP

4.2 Viabilidad técnica y económica

➤ Ciclo de carguío y transporte

Se obtuvo lo siguiente para el ciclo de carguío y transporte para cada mina genérica:

Tabla 52: Tiempos ciclo de carguío y transporte

	Minicargador	Dumper	
Tf	0,2	0,2	s
Tiempo ida	1,05	0,50	s
Tiempo regreso	0,81	0,40	s
Tv	1,86	0,90	s
Tiempo ciclo	2	1	s

Tabla 53: Ciclos diarios por equipo

	600 toneladas	2000 toneladas	5000 toneladas
Minicargador	55	183	457
Dumper	55	183	457

Tabla 54: Tiempo de utilización por equipo

	600 toneladas	2000 toneladas	5000 toneladas	
Minicargador	1.9	3.1	3.9	horas
Dumper	1.0	1.7	2.1	horas

➤ Métricas financieras

A continuación, se presenta la inversión requerida para los equipos y la energía implementada en cada una de ellas (Véase ecuación 20):

Tabla 55: Inversión inicial equipos diésel

	600 toneladas	2000 toneladas	5000 toneladas	
Inversión equipos diésel	\$ 84.916.764	\$ 169.833.528	\$ 339.667.055	CLP

Tabla 56: Inversión inicial equipos eléctricos

	600 toneladas	2000 toneladas	5000 toneladas	
Inversión equipos eléctricos	\$ 101.039.538	\$ 202.079.077	\$ 404.158.153	CLP

A continuación, se presenta la inversión requerida para las energías implementadas en cada mina genérica (Véase ecuación 20):

Tabla 57: Inversión inicial equipos energías renovables

	600 toneladas	2000 toneladas	5000 toneladas	
Inversión energía solar	\$ 52.907.400	\$ 105.136.500	\$ 210.273.000	CLP
Inversión energía eólica	\$ 75.000.000	\$ 135.000.000	\$ 270.000.000	CLP

Tabla 58: Inversión inicial total sistema de energías renovables

	600 toneladas	2000 toneladas	5000 toneladas	
Inversión sistema solar	\$ 153.946.938	\$ 302.215.577	\$ 614.431.153	CLP
Inversión sistema eólico	\$ 176.039.538	\$ 337.079.077	\$ 674.158.153	CLP

La tarifa de compra establecida por ENAMI debe ser calculada en base a la ley que posee el mineral (Véase ecuación 24 y Anexo F).

Tabla 59: Ingresos para cada mina genérica

	600 toneladas	2000 toneladas	5000 toneladas	
Ingreso mensual	\$ 158.146.800	\$ 527.156.000	\$ 1.317.890.000	CLP

Con toda esta información se calcularon los flujos de caja para cada una de las minas genéricas y energías seleccionadas (Véase Anexo G).

Teniendo esto, se obtuvo que las métricas financieras para cada mina genérica fueron las siguientes:

Tabla 60: Métricas financieras para cada mina genérica con energía solar

	600 toneladas	2000 toneladas	5000 toneladas	
VAN	\$ 5.903.523	\$ 12.197.681	\$ 24.395.362	CLP
TIR	11	12	12	%
ROI	62	172	239	%

Tabla 61: Métricas financieras para cada mina genérica con energía eólica

	600 toneladas	2000 toneladas	5000 toneladas	
VAN	\$ -6.819.658	\$ -5.000.780	- \$ 10.001.559	CLP
TIR	9	9	9	%
ROI	32	135	194	%

5 Propuesta de implementación

Se llevó a cabo una evaluación exhaustiva de las inversiones necesarias para cada una de las minas genéricas de tipo eléctrico descritas, con el objetivo de determinar su viabilidad financiera y generar una acertada propuesta de implementación. Este análisis incluyó el cálculo de indicadores financieros clave que son fundamentales para evaluar cualquier proyecto de inversión, como lo son el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Retorno de la inversión (ROI). Según esto, se presentan los resultados detallados de la evaluación para cada uno de estos casos:

➤ **Mina genérica 600 toneladas con implementación de energía solar:**

- Inversión: \$ 97.392.055
- Valor Actual Neto: \$ 5.903.523
- Tasa de descuento: 10%
- Tasa Interna de Retorno: 11%
- Retorno de la inversión: 62%

➤ **Mina genérica 600 toneladas con implementación de energía eólica:**

- Inversión: \$ 119.484.655
- Valor Actual Neto: \$ - 6.819.658
- Tasa de descuento: 10%
- Tasa Interna de Retorno: 9%
- Retorno de la inversión: 32%

➤ **Mina genérica 2000 toneladas con implementación de energía solar:**

- Inversión: \$ 194.105.810
- Valor Actual Neto: \$ 12.197.681
- Tasa de descuento: 10%
- Tasa Interna de Retorno: 12%
- Retorno de la inversión: 172%

➤ **Mina genérica 2000 toneladas con implementación de energía eólica:**

- Inversión: \$ 223.969.310
- Valor Actual Neto: \$ - 5.000.780
- Tasa de descuento: 10%
- Tasa Interna de Retorno: 9%
- Retorno de la inversión: 135%

➤ **Mina genérica 5000 toneladas con implementación de energía solar:**

- Inversión: \$ 388.211.619
- Valor Actual Neto: \$ 24.395.362
- Tasa de descuento: 10%
- Tasa Interna de Retorno: 12%
- Retorno de la inversión: 239%

➤ **Mina genérica 5000 toneladas con implementación de energía eólica:**

- Inversión: \$ 447.938.619
- Valor Actual Neto: \$ - 10.001.559
- Tasa de descuento: 10%
- Tasa Interna de Retorno: 9%
- Retorno de la inversión: 194%

Las dos opciones de implementación de energías renovables no convencionales, energía solar y energía eólica presentan indicadores financieros sólidos en las minas genéricas de mayor tonelaje que fueron propuestas. Sin embargo, el análisis detallado de los resultados obtenidos revela que la implementación de energía eólica no es viable ni rentable para ninguno de los casos estudiados, tanto en producciones bajas como en grandes volúmenes de mineral. En consecuencia, la energía solar emerge como la única solución viable por distintas razones, entre las cuales destacan la tasa interna de retorno y el retorno de la inversión.

La implementación de energía solar requiere una menor inversión inicial en comparación con la energía eólica, lo que reduce significativamente el riesgo financiero y permite una

recuperación más acelerada de los costos. Además, el Valor Actual Neto de esta energía se presenta positivo en todos los análisis realizados, indicando la generación de un valor adicional considerable en el largo plazo.

La Tasa Interna de Retorno también es más alta en el caso de la energía solar, siempre superando a la de la energía eólica, que presenta valores por debajo de la tasa de descuento, lo que hace que la implementación de energía eólica no sea rentable. Esto confirma que el proyecto no solo es viable, sino que es altamente rentable siempre y cuando la energía a implementar sea la del tipo solar. Para este tipo de energía los retornos esperados superan crecientemente el costo de capital o tasa de descuento, convirtiéndola en una opción financieramente atractiva. Del mismo modo, el retorno de la inversión de la energía solar es superior, destacando su eficiencia y rentabilidad, lo cual la consolida como la opción ideal de implementación para maximizar el retorno financiero y minimizar los costos iniciales del proyecto.

Por otro lado, si bien la energía eólica podría considerarse para grandes producciones de mineral, el hecho de que requiera de una mayor inversión inicial y muestre indicadores financieros inferiores a los de energía solar la hace menos atractiva incluso en estos escenarios.

Es importante señalar que la elección entre estas opciones de energía no debe basarse únicamente en los indicadores financieros, ya que factores externos como las condiciones específicas del sitio, la disponibilidad de recursos naturales y las estrategias de los operadores mineros juegan un papel crucial al momento de tomar una decisión. En sectores donde el recurso solar es abundante, la energía solar resulta ser la opción más práctica y rentable. En contraste, en regiones donde se tienen vientos fuertes y constantes, la energía eólica podría ofrecer ventajas operativas, aunque no lo suficiente para superar sus desventajas económicas en los casos estudiados.

Este estudio se encuentra centrado en la transición a energías más limpias mediante métodos de costos diferenciales y no considera todos los gastos asociados a un proyecto minero. Factores como infraestructura, costos de mantenimiento generales y posibles incentivos gubernamentales pueden influir fuertemente en la decisión final.

6 Conclusiones

La implementación de las energías renovables no convencionales en el sector minero presenta una perspectiva positiva para la sostenibilidad económica y financiera de cualquier proyecto, principalmente debido a su rápida recuperación de la inversión en el caso de la energía solar.

La extensión del periodo de recuperación de la inversión puede estar influenciada por la necesidad de explorar nuevas formas de cubrir costos iniciales asociados a la implementación de tecnologías renovables. Es importante considerar que los valores estimados son aproximaciones, ya que no se dispone de datos completamente certeros. Este margen de incertidumbre resalta la importancia de una planificación financiera robusta y flexible.

Si bien estas tecnologías traen beneficios ambientales significativos, como la reducción continua de gases de efecto invernadero, es fundamental analizar cuidadosamente cada opción en función de su viabilidad técnica y financiera. El análisis detallado realizado en este estudio revela que la energía eólica no es viable ni rentable en ninguno de los casos estudiados, debido a los elevados costos de infraestructura y su baja tasa de retorno, especialmente en proyectos de menor escala. Esto convierte a la energía solar en la única opción rentable y sostenible, con una recuperación de la inversión más rápida y un impacto positivo a largo plazo. Un enfoque estratégico y un análisis detallado de diversos factores económicos, tecnológicos, ambientales y sociales son esenciales para garantizar que la implementación de energías renovables sea positiva y sostenible en el contexto energético a largo plazo.

En conclusión, aunque tanto la energía solar como la energía eólica ofrecen beneficios ambientales, la energía solar se destaca como la única opción viable financieramente en todos los escenarios analizados. La energía eólica, debido a sus altos costos y baja rentabilidad, no resulta una alternativa adecuada a ninguno de los casos, lo que refuerza la ventaja de la energía solar para proyectos mineros que buscan sostenibilidad económica y ambiental. Además, incluso si la transición a energías renovables fuese obligatoria, la implementación de energía solar seguiría siendo rentable, permitiendo que la industria se mantenga sin sufrir cambios significativos. Esto asegura que los proyectos mineros puedan adaptarse a las exigencias de sostenibilidad sin comprometer su viabilidad financiera.

6.1 Recomendaciones

Es recomendable llevar a cabo una reevaluación de costos y eficiencia, ya que es posible que existan oportunidades de reducir costos y mejorar la eficiencia del proyecto. La naturaleza de una mina genérica no refleja a cabalidad las variaciones que se presentan en la pequeña minería, por lo que podrían surgir grandes cambios según el sector y las condiciones que se tengan al momento de implementar algún tipo de energía renovable.

Además, se recomienda evaluar la posibilidad de investigar sobre la disponibilidad de incentivos fiscales y subvenciones gubernamentales para proyectos que contemplen la implementación de estas energías, reduciendo significativamente los costos de inversión, consiguiendo mejoras en la rentabilidad del proyecto.

También, es importante monitorear los avances tecnológicos que puedan proporcionar nuevas tecnologías más eficientes y asequibles para el proceso de implementación. Mantenerse actualizado con estos desarrollos tecnológicos podría ofrecer oportunidades para optimizar el proceso y reducir costos.

Asimismo, se deben realizar análisis continuos de las posibles fluctuaciones en los precios de la energía convencional y combustibles, ya que esto ayudará a comprender cómo estos cambios pueden impactar en la rentabilidad del proyecto, permitiendo ajustar las estrategias de inversión y operación para asegurar la viabilidad financiera a largo plazo.

7 Referencias

- Acciona. (s.f.). Obtenido de https://www.acciona.com/es/hidrogeno-verde/?_adin=02021864894#3
- Agencia de sostenibilidad energética. (s.f.). Obtenido de www.energiaenmineria.cl/procesos/transporte/
- Aula 21. (s.f.). Obtenido de <https://www.cursosaula21.com/que-es-energia-solar-fotovoltaica/>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2021). *Industria del hidrógeno verde: Costos de producción*.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2022). *Ley 21.455*.
- Cochilco. (2014). *Monitoreo de la mediana y pequeña minería chilena*.
- Cochilco. (2022). *Monitoreo de variables e indicadores relevantes de la mediana y pequeña minería*.
- Cochilco. (2022). *Monitoreo de variables e indicadores relevantes de la mediana y pequeña minería chilena*.
- Comisión Chilena del Cobre . (2022). *Descarbonización e Hidrógeno Verde en la minería chilena: estado del arte y otros principales desafíos*.
- Comisión Chilena del Cobre . (2023). *Monitoreo de variables e indicadores relevantes de la mediana y pequeña minería chilena*.
- Comisión Nacional de Energía. (2009). *Las energías renovables no convencionales en el mercado eléctrico chileno*.
- Comisión Nacional de Energía. (2022). *Informe balance nacional de energía 2020*.
- Consejo Minero. (13 de Enero de 2019). Obtenido de <https://consejominero.cl/chile-pais-minero/aprende-de-mineria/mineria-metalica/>
- ECN. (s.f.). Obtenido de https://ecnautomation.com/index.php?mod=central_geotermica
- Emasa. (s.f.). *S130 conversión eléctrica*. Obtenido de www.emasa.cl
- ENAMI. (2023). *Caracterización de la pequeña minería*.
- Endesa. (10 de Enero de 2022). Obtenido de <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/centrales-electricas/energia-biomasa>
- Endesa. (10 de Enero de 2022). Obtenido de <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/centrales-electricas/energia-biomasa>
- Enel Green Power. (s.f.). Obtenido de <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-solar>
- Enel Green Power. (s.f.). Obtenido de <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-eolica>
- Enel Green Power. (s.f.). Obtenido de <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-marina>
- González. (2017). *Agencia de sostenibilidad energética*. Obtenido de <https://www.energiaenmineria.cl/procesos/carguio/#:~:text=Descripción,depositarlo%20en%20maquinarias%20de%20transporte>.
- Iberdrola. (s.f.). Obtenido de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/energia-eolica>
- Ingeoexpert. (s.f.). Obtenido de <https://ingeoexpert.com/2018/03/22/como-funciona-una-central-hidroelectrica/>
- Ingeoexpert . (2019). *La minería subterránea: ¿En qué consiste?*

- IRENA. (2022). *Estadísticas de capacidad renovable*.
- JCB. (s.f.). Obtenido de www.jcb.cl
- Jiménez, S. (2011). *Energía renovable no convencional: políticas de promoción en Chile y el mundo*.
- Kaeser. (s.f.). *Compresores móviles para obras*. Obtenido de www.kaeser.com
- Ministerio de Energía. (2019). *Reglamento de medios de generacion de pequeña escala*.
- Ministerio de Energía. (2022). *Reporte de proyectos en construcción e inversión en el sector energía mes de marzo de 2022*.
- Ministerio de Energía. (2022). *Transición energética de Chile. Política energética nacional*.
- Motorman. (2024). *Compresor Kaeser M50*.
- Motorman. (2024). *Dumper rígido AUSA D150RM 4x4*.
- Motorman. (2024). *Minicargador Forway WS50*.
- National Geographic. (s.f.). Obtenido de <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-es-la-energia-geotermica>
- Nunez, C. (26 de Mayo de 2022). *National Geographic*. Obtenido de <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/energia-hidroelectrica>
- Ormazabal Velatia. (s.f.). Obtenido de <https://www.ormazabal.com/energia-mareomotriz-que-es-y-como-funciona/>
- Política Nacional Minera . (2020). *Eje estratégico pequeña y mediana minería*.
- Rojas, M. (2009). *Descripción cuantitativa de los procesos de extracción y reducción de mineral en la minería de cobre a cielo abierto*.
- Sernageomin. (2014). *Guía de operación para la pequeña minería*.
- Servicio de Impuestos Internos. (2002). *Nueva tabla de vida útil de los bienes físicos del activo inmovilizado*.
- Silva, C., & Villena, M. (2014). *Desarrollo de la ERNC en Chile: Desafíos técnicos, regulatorios e institucionales*.
- Sociedad Nacional de Minería. (2014). *Caracterización de la pequeña y mediana minería en Chile*.

8 Anexos

Anexo A: Equipos necesarios para sistemas de energías renovables no convencionales

➤ **Sistema solar fotovoltaico por método fuera de red**

Paneles solares 550 W	Anclaje tipo L
Inversor de carga	Grapa intermedia
Baterías AGM Ultracell 12V – 200 Ah	Grapa final
Cable solar negro 4 mm ²	Pletina dentada para conexión panel – riel
Cable solar rojo 4 mm ²	Conector cable de tierra a riel
Par conector MC4 simple	Jumper tierra
Riel aluminio	DC circuit breaker polarity 2P 20A
Conector unión riel	Cable RV – K 35 mm ² para baterías
Terminal de ojo para baterías 35 mm ²	

➤ **Sistema generador eólico**

Torre de soporte	Ronda espigas protectoras
Turbina de viento	Pernos U hilo catenarío
Concentrador de placa	Clavijas angulares
Alambre catenarío para estancias	Tensores
Unidad rectificadora/reguladora	Inversor de potencia 48V (10.000 W)

Anexo B: Información proporcionada

Mina Vanessa

- 450 – 500 ton mensuales, 3.5 g de oro por tonelada mensual
- 5 trabajadores
- 3 socavones, pero solo se trabajan 2
- Distrito Chancón extrae 24 Kg de Oro por tonelada
- Perforadora YT27 de aire comprimido (200 Litros diarios), trabaja con agua y aire a través de un compresor y bomboneta
- 150 metros de túnel
- 2 minicargadores CAT 226 (600 L) capacidad aprox de 1,2 toneladas
- Ancho labor: 2,5 x 2,5 m
- 2 Dumper con capacidad 3 toneladas, dumper silla 4x4 articulado italiano
- 2 camionetas
- Hacia donde se gira la veta se extrae
- El oro de un metro a otro cambia
- Vetas tipo rosario (clavo minerales)
- La circulación de aire de la mina depende de la temperatura
- \$1.300.000 cada pedido de explosivos, se hacen 3 pedidos de ANFO mensuales, que contienen 700 fulles, 700 detonadores, 1500 metros de guía, 6 sacos ANFO de 25 Kg y Emultex 428
- Diésel: 1600 litros mensuales
- En promedio se echan 18 dumper a una batea
- Dumper: 10 litros diarios de diésel
- Minicargador: 20 litros diarios de petróleo
- Se echan 4 gatos a un dumper
- Cada 250 horas se realizan mantenciones
- El ciclo es estocada – chimenea – minicargador – dumper
- Valor minicargador: 35 – 40 M + IVA
- Valor dumper: 20 M + IVA
- Cada 10 metros se realiza una estocada, cada 10 metros una chimenea
- Se tienen 2 compresores
- Valor perforadora: \$480.000 + IVA
- Se realizan aprox 17 tiros de 1.20 – 1.60 metros
- Se usan 2 – 3 yacos al día (\$15.000 c/u)
- Barra: \$35.000 + IVA
- Para cada tiro se usan 2 metros de guía, 1 full y 400 g de ANFO
- No se deben hacer más de 22 – 25 tiros por frente
- Manguera de la perforadora dura de 1 a 2 años
- Barra de cobre de usa para sacar la electroestática del polvorín
- Se usa agua de vertiente para perforar
- Cuando los precios están altos la ley baja
- Sueldo perforador: \$900.000 + imposiciones
- Sueldo base: \$600.000 + imposiciones
- Se necesita de aproximadamente 7 meses para poner el primer explosivo
- Compresor eléctrico Kaeser (vale 5 millones más que el otro)
- La planta de ENAMI se encuentra a 20 km, el costo es de \$3.000 por tonelada

Anexo C: Parámetros, supuestos y estimaciones

➤ Precio diésel

Región	Precio promedio [\$/L]
Zona Norte	
Arica y Parinacota	1.022,1
Tarapacá	1.021,7
Antofagasta	1.043,1
Atacama	1.318,3
Coquimbo	1.035,4
Zona Centro	
Valparaíso	1.013,7
Del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	1.037,8
Del Maule	1.007,2
Ñuble	1.003,1
Del Biobío	1.006,9
Metropolitana	
Metropolitana de Santiago	999,2
Zona Sur	
De la Araucanía	1.034,5
De los Ríos	1.045,8
De los Lagos	1.052,7
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	1.134,3
Magallanes y de la Antártica Chilena	1.124,0

➤ Precio energía

Tarifa Trifásica Única	\$/KWH	Monto
Tarifa Industrial Única	\$/KWH	394,05

➤ **Precio agua**

Cargo Fijo		
Cargo Fijo	1.743	(\$/CL/mes)
Agua Potable	1.121,64	(\$/m3)
Alcantarillado con tratamiento	799,91	(\$/m3)
PERIODO PUNTA (01 de diciembre al 31 de marzo de cada año)		

➤ **Costos de producción**

Tabla resumen		
Descripción	CLP/mes	CLP/ton
Remuneraciones	\$4.224.500	\$9.150
EPP	\$350.854	\$760
Combustible	\$1.569.297	\$3.399
Perforación	\$148.533	\$322
Tronadura	\$2.143.026	\$4.642
Transporte	\$5.660.400	\$12.260
Administrativo	\$36.344	\$79
Capital	\$2.837.478	\$6.146
Mantenición	\$5.091.130	\$11.027
Imprevistos (10%)	\$2.206.156	\$4.778
Total	\$24.267.718	\$52.562

Anexo D: Especificaciones técnicas equipos mineros

➤ Compresor diésel

Modelo	Compresor				Motor diésel de 4 cilindros (enfriado por agua)				Equipo				
	Caudal		Presión de servicio		Marca	Modelo	Potencia nominal motor	Revoluciones a plena carga	Capac. tanque de aire comprimido	Peso en servicio ¹⁾	Nivel de potencia acústica ²⁾	Nivel de presión acústica ³⁾	Salida de aire comprimido
	m³/min	cfm	bar	PSI									
M43	4,2	150	7	100	Kubota	V1505-T	30,1	2800	80	730	≤98	69	2 x G¼
M50	5,0	180	7	100	Kubota	V1505-T	32,5	3000	80	735	≤98	69	2 x G¼ 1 x G½

➤ Compresor eléctrico

Model	Compresor				Electric motor (IE3) – 400V			Complete unit			
	Flow rate		Operating pressure		Make	Rated motor power	CEE power socket	Operational weight ¹⁾	Sound power level ²⁾	Sound pressure level ³⁾	Compressed air outlet
	m³/min	cfm	bar	PSI							
M27E	2.6	92	7	100	Siemens	15	32	530	≤ 97	63	2 x G ¼
M31E	3.15	110	7	100	Siemens	22	63	585	≤ 98	64	2 x G ¼
	2.6	92	10	145							
	2.3	81	12	175							
	1.9	67	14	200							
M50E	5.0	180	7	100	Siemens	25	63	690	≤ 98	62	2 x G ¼ 1 x G 1
	3.8	135	10	145							

➤ Minicargador diésel

MINICARGADOR FORWAY WS50

- Marca: Forway
- Modelo: WS50.
- Motor: Kubota V2403 Diesel.
- Tipo de aspiración: Natural
- Potencia: 49 Hp / 2.600 rpm
- Chasis: Rígido.
- Tercera función: Incluida.

- Transmisión: Hidrostática
- Bomba hidráulica: Sauer Danfoss.
- Altura total: 2.84 Mt.
- Altura levante: 3 Mt.
- Ancho total: 1,74 Mt
- Largo total con balde: 3,4 Mt.
- Capacidad de carga: 800 Kg.

- Capacidad del balde: 0,4 m³.
- Cabina: Rops - Fops cerrada
- Peso de la máquina: 3.000 Kg.

➤ **Minicargador eléctrico**

Especificaciones de la máquina	
Capacidad nominal estipulada (Bobcat)	608 kg
Carga de vuelco	1215 kg
Capacidad de la bomba (a 2825 rpm)	64.0 L/min – 91% de eficiencia
Presión de alivio en los acoples rápidos	18.27 – 18.96 MPa
Velocidad de desplazamiento (segunda velocidad, 1811 rpm)	14.8 km/h
Velocidad de desplazamiento (primera velocidad, 995 rpm)	11.4 km/h

➤ **Dumper diésel**

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	Sistema de descarga	Hidráulica frontal
	Chasis	Rígido
	Capacidad de la tolva agua	608 lt
	Rasa	868 lt
	Colmada	1.047 lt
	Motor	Kubota D902
	Potencia	23 hp
	Desplazamiento	900 cc
	Número de cilindros	3
	Velocidad nominal motor	2.500 RPM
	Tracción	Acoplamiento deslizante por discos múltiples
	Transmisión	Mecánica 4 velocidades adelante y 4 atrás
	Embrague	Monodisco en seco
	Arranque	Eléctrico 12 V
	Velocidad máxima	22,5 km/h
	Peso	900 kg
	Pendiente superable	35%
	Circuito hidráulico	Bomba de engranajes de 8 cc
	Presión de trabajo	115 bar
	Neumáticos delanteros	7.50x16
	Neumáticos traseros	145SR-13" / 6.5/ 80x12-4PR
	Dirección	Hidráulica.
	Capacidad de depósitos combustible	13.5 lt
	Capacidad de depósitos hidráulico	16.5 lt
	Freno de servicio	Hidráulico en eje delantero
	Freno de estacionamiento	Mecánico en eje delantero
	Cabina (Opcional)	ROPS/FOPS
	Tracción	4x2

➤ **Dumper eléctrico**

CAPACIDADES		
Carga útil	kg	1000
Peso operativo	kg	1625
Tipo de vuelco		Vuelco frontal – vuelco alto
Capacidad de la cuba (fluido)	L	307
Capacidad de la cuba (rasa)	L	454
Capacidad de la cuba (acumulada)	L	554

➤ **Perforadora**

ESPECIFICACIÓN DEL PERFORADOR DE ROCA DE PIE DE AIRE				
TIPO	YT24	YT27	YT28	YT29A
PESO (KG)	24	26	26	26,5
TAMAÑO DEL VÁSTAGO (MM)	22*108	22*108	22*108	22*108
DIÁMETRO DEL CILINDRO (MM)	70	80	80	82
CARRERA DEL PISTÓN (MM)	70	60	60	60
PRESIÓN DE TRABAJO (Mpa)	0.4~0.5	0.4~0.5	0.4~	0.5 0.4~0.5
FRECUENCIA DE IMPACTO (Hz)	34	36	36	37
CONSUMO DE AIRE (L/S)	55	85	75	65
DIÁMETRO INTERIOR DEL TUBO DE AIRE (MM))	19	25	25	25
DIÁMETRO DEL AGUJERO DE PERFORACIÓN EN ROCA (MM)	30~45	30~45	30~45	30~45
PROFUNDIDAD DEL AGUJERO DE PERFORACIÓN EN ROCA (M)	6	6	6	6

Anexo E: Cotizaciones

➤ Compresor diésel

CONDICIONES COMERCIALES	
PRECIO	\$18.750 Usd + IVA
FORMA DE PAGO	Contado
PLAZO DE ENTREGA	Inmediata
LUGAR DE ENTREGA	Bodegas de Motorman Santiago
GARANTÍA*	1 año o 1.200 horas, lo que se cumpla primero
ENTREGA TÉCNICA	Instalaciones de Motorman.
SERVICIO TÉCNICO	Red de Servicios Motorman SA
REPUESTOS	www.motorman.cl
VALIDEZ DE LA OFERTA	7 días desde la fecha de la cotización

➤ Minicargador diésel

CONDICIONES COMERCIALES	
PRECIO DE VENTA	\$ 26.000.000 + IVA
FORMA DE PAGO	Contado
PLAZO DE ENTREGA	01 unidad disponible
LUGAR DE ENTREGA	Bodegas de Motorman Santiago
GARANTÍA*	1 año o 1.200 horas, lo que se cumpla primero
ENTREGA TÉCNICA	En Instalaciones de Motorman para el o los operadores del equipo.
SERVICIO TÉCNICO	Red de Servicios Motorman SA
REPUESTOS	www.motorman.cl
VALIDEZ DE LA OFERTA	7 días desde la fecha de la cotización

➤ **Dumper diésel**

CONDICIONES COMERCIALES	
PRECIO	\$32.500 USD + Iva
FORMA DE PAGO	Contado
PLAZO DE ENTREGA	Inmediata, solo Importación 60 días Hábiles
LUGAR DE ENTREGA	Bodegas de Motorman Santiago
GARANTÍA*	1 año o 1.200 horas, lo que se cumpla primero
ENTREGA TÉCNICA	Instalaciones de Motorman.
SERVICIO TÉCNICO	Red de Servicios Motorman SA
REPUESTOS	www.motorman.cl
VALIDEZ DE LA OFERTA	7 días desde la fecha de la cotización

➤ **Perforadora**

Cantidad	Descripción	Códigos	\$ Unitario	\$ Total
1	PERFORADORA MANUAL NEUMATICA SHENGYANG MODELO CON EMBOLO, LUBRICADOR Y ACCESORIOS	YT27	449.000	449.000
VALIDEZ DE COTIZACION 5 DÍAS DESDE EMISIÓN				

Anexo F: Tarifa de Compra ENAMI

TARIFAS DE COMPRA - VALORES EN \$		ENTREGAS CORRESPONDIENTES AL MES DE				mayo de 2024			
Tarifas de Cobre, Plata y Oro									
		CUPRIFEROS				AURIFEROS		ARGENTIFEROS	
TARIFA		cobranza	otorgamiento	cobranza		TARIFA		TARIFA	
base	escala	Fondo Estabilización		crédito tar indiv		base	escala	base	escala
\$/tms	\$/tms.1%	\$/tms.1%	\$/tms.1%	\$/tms.1%		\$/tms	\$/tms.1 g/t	\$/tms	\$/tms.1 g/t
MINERALES DE FLOTACION: COBRE: BASE 2,5% CU INSOLUBLE - ORO: BASE 5 GR/T - PLATA: BASE 350 GR/T									
TARIFAS DEL MES									
tarifas nacionales excepto indicadas	145.840	73.453	5.524	0	1.841	189.740	45.558	135.546	496
tarifa cobre agencia Matta	149.552	73.453	5.524	0	1.841				
tarifa ganga caliza Cabildo - Rancagua	123.678	64.588	4.858	0	1.619				
tarifa equivalente	113.586	60.551	5.524	0	1.841	164.670	40.544		

Anexo G: Flujos de caja

➤ Mina genérica 600 toneladas con energía solar

Flujo de caja	Ahorro Anual	Depreciación	Utilidad neta	FC Operación	FC Cap. Trabajo	Inversión	Total
0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	-\$ 97,392,055	-\$ 97,392,055
1	\$ 17,740,800	-\$ 16,750,871	\$ 17,740,800	\$ 17,740,800	\$ -	\$ -	\$ 17,740,800
2	\$ 17,740,800	-\$ 16,750,871	\$ 17,740,800	\$ 17,740,800	\$ -	\$ -	\$ 17,740,800
3	\$ 17,740,800	-\$ 16,750,871	\$ 17,740,800	\$ 17,740,800	\$ -	\$ -	\$ 17,740,800
4	\$ 17,740,800	-\$ 16,750,871	\$ 17,740,800	\$ 17,740,800	\$ -	\$ -	\$ 17,740,800
5	\$ 17,740,800	-\$ 16,750,871	\$ 17,740,800	\$ 17,740,800	\$ -	\$ -	\$ 17,740,800
6	\$ 17,740,800	-\$ 16,750,871	\$ 17,740,800	\$ 17,740,800	\$ -	\$ -	\$ 17,740,800
7	\$ 17,740,800	\$ -	\$ 17,740,800	\$ 17,740,800	\$ -	\$ -	\$ 17,740,800
8	\$ 17,740,800	\$ -	\$ 17,740,800	\$ 17,740,800	\$ -	\$ -	\$ 17,740,800
9	\$ 17,740,800	\$ -	\$ 17,740,800	\$ 17,740,800	\$ 2,654,786	\$ -	\$ 20,395,586

➤ Mina genérica 600 toneladas con energía eólica

Flujo de caja	Ahorro Anual	Depreciación	Utilidad neta	FC Operación	FC Cap. Trabajo	Inversión	Total
0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	-\$ 119,484,655	-\$ 119,484,655
1	\$ 17,740,800	-\$ 16,750,871	\$ 17,740,800	\$ 17,740,800	\$ -	\$ -	\$ 17,740,800
2	\$ 17,740,800	-\$ 16,750,871	\$ 17,740,800	\$ 17,740,800	\$ -	\$ -	\$ 17,740,800
3	\$ 17,740,800	-\$ 16,750,871	\$ 17,740,800	\$ 17,740,800	\$ -	\$ -	\$ 17,740,800
4	\$ 17,740,800	-\$ 16,750,871	\$ 17,740,800	\$ 17,740,800	\$ -	\$ -	\$ 17,740,800
5	\$ 17,740,800	-\$ 16,750,871	\$ 17,740,800	\$ 17,740,800	\$ -	\$ -	\$ 17,740,800
6	\$ 17,740,800	-\$ 16,750,871	\$ 17,740,800	\$ 17,740,800	\$ -	\$ -	\$ 17,740,800
7	\$ 17,740,800	\$ -	\$ 17,740,800	\$ 17,740,800	\$ -	\$ -	\$ 17,740,800
8	\$ 17,740,800	\$ -	\$ 17,740,800	\$ 17,740,800	\$ -	\$ -	\$ 17,740,800
9	\$ 17,740,800	\$ -	\$ 17,740,800	\$ 17,740,800	\$ 24,747,386	\$ -	\$ 42,488,186

➤ Mina genérica 2.000 toneladas con energía solar

Flujo de caja	Ahorro Anual	Depreciación	Utilidad neta	FC Operación	FC Cap. Trabajo	Inversión	Total
0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	-\$ 194,105,810	-\$ 194,105,810
1	\$ 35,481,600	-\$ 33,501,743	\$ 35,481,600	\$ 35,481,600	\$ -	\$ -	\$ 35,481,600
2	\$ 35,481,600	-\$ 33,501,743	\$ 35,481,600	\$ 35,481,600	\$ -	\$ -	\$ 35,481,600
3	\$ 35,481,600	-\$ 33,501,743	\$ 35,481,600	\$ 35,481,600	\$ -	\$ -	\$ 35,481,600
4	\$ 35,481,600	-\$ 33,501,743	\$ 35,481,600	\$ 35,481,600	\$ -	\$ -	\$ 35,481,600
5	\$ 35,481,600	-\$ 33,501,743	\$ 35,481,600	\$ 35,481,600	\$ -	\$ -	\$ 35,481,600
6	\$ 35,481,600	-\$ 33,501,743	\$ 35,481,600	\$ 35,481,600	\$ -	\$ -	\$ 35,481,600
7	\$ 35,481,600	\$ -	\$ 35,481,600	\$ 35,481,600	\$ -	\$ -	\$ 35,481,600
8	\$ 35,481,600	\$ -	\$ 35,481,600	\$ 35,481,600	\$ -	\$ -	\$ 35,481,600
9	\$ 35,481,600	\$ -	\$ 35,481,600	\$ 35,481,600	\$ 4,631,272	\$ -	\$ 40,112,872

➤ Mina genérica 2.000 toneladas con energía eólica

Flujo de caja	Ahorro Anual	Depreciación	Utilidad neta	FC Operación	FC Cap. Trabajo	Inversión	Total
0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	-\$ 223,969,310	-\$ 223,969,310
1	\$ 35,481,600	-\$ 33,501,743	\$ 35,481,600	\$ 35,481,600	\$ -	\$ -	\$ 35,481,600
2	\$ 35,481,600	-\$ 33,501,743	\$ 35,481,600	\$ 35,481,600	\$ -	\$ -	\$ 35,481,600
3	\$ 35,481,600	-\$ 33,501,743	\$ 35,481,600	\$ 35,481,600	\$ -	\$ -	\$ 35,481,600
4	\$ 35,481,600	-\$ 33,501,743	\$ 35,481,600	\$ 35,481,600	\$ -	\$ -	\$ 35,481,600
5	\$ 35,481,600	-\$ 33,501,743	\$ 35,481,600	\$ 35,481,600	\$ -	\$ -	\$ 35,481,600
6	\$ 35,481,600	-\$ 33,501,743	\$ 35,481,600	\$ 35,481,600	\$ -	\$ -	\$ 35,481,600
7	\$ 35,481,600	\$ -	\$ 35,481,600	\$ 35,481,600	\$ -	\$ -	\$ 35,481,600
8	\$ 35,481,600	\$ -	\$ 35,481,600	\$ 35,481,600	\$ -	\$ -	\$ 35,481,600
9	\$ 35,481,600	\$ -	\$ 35,481,600	\$ 35,481,600	\$ 34,494,772	\$ -	\$ 69,976,372

➤ Mina genérica 5.000 toneladas con energía solar

Flujo de caja	Ahorro Anual	Depreciación	Utilidad neta	FC Operación	FC Cap. Trabajo	Inversión	Total
0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	-\$ 388,211,619	-\$ 388,211,619
1	\$ 70,963,200	-\$ 67,003,486	\$ 70,963,200	\$ 70,963,200	\$ -	\$ -	\$ 70,963,200
2	\$ 70,963,200	-\$ 67,003,486	\$ 70,963,200	\$ 70,963,200	\$ -	\$ -	\$ 70,963,200
3	\$ 70,963,200	-\$ 67,003,486	\$ 70,963,200	\$ 70,963,200	\$ -	\$ -	\$ 70,963,200
4	\$ 70,963,200	-\$ 67,003,486	\$ 70,963,200	\$ 70,963,200	\$ -	\$ -	\$ 70,963,200
5	\$ 70,963,200	-\$ 67,003,486	\$ 70,963,200	\$ 70,963,200	\$ -	\$ -	\$ 70,963,200
6	\$ 70,963,200	-\$ 67,003,486	\$ 70,963,200	\$ 70,963,200	\$ -	\$ -	\$ 70,963,200
7	\$ 70,963,200	\$ -	\$ 70,963,200	\$ 70,963,200	\$ -	\$ -	\$ 70,963,200
8	\$ 70,963,200	\$ -	\$ 70,963,200	\$ 70,963,200	\$ -	\$ -	\$ 70,963,200
9	\$ 70,963,200	\$ -	\$ 70,963,200	\$ 70,963,200	\$ 9,262,544	\$ -	\$ 80,225,744

➤ Mina genérica 5.000 toneladas con energía eólica

FLUJOS DE CAJA	Ahorro Anual	Depreciación	Utilidad neta	FC Operación	FC Cap. Trabajo	Inversión	Total
0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	-\$ 447,938,619	-\$ 447,938,619
1	\$ 70,963,200	-\$ 67,003,486	\$ 70,963,200	\$ 70,963,200	\$ -	\$ -	\$ 70,963,200
2	\$ 70,963,200	-\$ 67,003,486	\$ 70,963,200	\$ 70,963,200	\$ -	\$ -	\$ 70,963,200
3	\$ 70,963,200	-\$ 67,003,486	\$ 70,963,200	\$ 70,963,200	\$ -	\$ -	\$ 70,963,200
4	\$ 70,963,200	-\$ 67,003,486	\$ 70,963,200	\$ 70,963,200	\$ -	\$ -	\$ 70,963,200
5	\$ 70,963,200	-\$ 67,003,486	\$ 70,963,200	\$ 70,963,200	\$ -	\$ -	\$ 70,963,200
6	\$ 70,963,200	-\$ 67,003,486	\$ 70,963,200	\$ 70,963,200	\$ -	\$ -	\$ 70,963,200
7	\$ 70,963,200	\$ -	\$ 70,963,200	\$ 70,963,200	\$ -	\$ -	\$ 70,963,200
8	\$ 70,963,200	\$ -	\$ 70,963,200	\$ 70,963,200	\$ -	\$ -	\$ 70,963,200
9	\$ 70,963,200	\$ -	\$ 70,963,200	\$ 70,963,200	\$ 68,989,544	\$ -	\$ 139,952,744