

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Propuesta de implementación de plan de minado
subterráneo para la ejecución de la Unidad Minera El
Porvenir - Pasco**

Christian Aldair Lucas Mendoza
Jeyson Andrey Rosales Morales

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Faustino Anibal
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 9 de Mayo de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Propuesta de implementación de plan de minado subterráneo para la ejecución de la Unidad Minera El Porvenir - Pasco

Autores:

1. Christian Aldair Lucas Mendoza – EAP. Ingeniería de Minas
2. Jeyson Andrey Rosales Morales – EAP. Ingeniería de Minas

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**): 14 SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original

(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

ASESOR

Ing. Faustino Anibal Gutierrez Dañobeitia

DEDICATORIA

A mis padres, por su amor incondicional, su ejemplo constante de perseverancia y su incansable fe en mí, aún en los momentos en que ni yo mismo la tenía. A mi hermana Meylin, compañera de rutas y pausas, por su risa que siempre supo ser faro incluso en mis días más nublados. A quienes, con gestos sencillos pero inmensos, hicieron posible este recorrido. Y a esa versión de mí que, frente al cansancio y la duda, eligió seguir. A todos ustedes, dedico esta tesis.

Christian Aldair Lucas Mendoza

A Thiago, mi hijo, fuente inagotable de amor, inspiración y alegría. Que esta tesis sea un pequeño legado que algún día comprendas como el fruto del esfuerzo y la perseverancia. A Mayumi, mi esposa, por tu amor incondicional, paciencia y apoyo en cada paso de este camino. Gracias por ser mi compañera en los días buenos y, sobre todo, en los difíciles. Sin ustedes, este logro no tendría sentido.

Jeyson Andrey Rosales Morales

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser guía constante en cada paso, por darme fortaleza en los momentos de duda y serenidad cuando todo parecía detenerse. Por enseñarme que la fe también es una forma de disciplina.

A nuestra familia, por ser mi primer equipo y mi refugio incondicional. A mis padres, gracias por su amor firme, por enseñarme el valor del esfuerzo silencioso y por confiar en mí incluso cuando yo dudaba.

A mi universidad, por ofrecerme no solo un espacio de formación académica, sino un entorno donde pude crecer como persona, equivocarme, descubrir y redefinir mis metas.

A mis maestros y asesor, quienes con su entrega, exigencia y vocación marcaron huella más allá del aula. Gracias por compartir conocimiento, pero sobre todo por motivar la búsqueda crítica y el compromiso con el aprendizaje.

A cada persona que, con palabras, gestos o silencios, formó parte de este trayecto: Nuestra gratitud sincera.

INDICE DE CONTENIDO

ASESOR	ii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS	vi
INDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	15
1.1. Planteamiento y formulación del problema	15
1.2. Objetivos.....	16
1.3. Justificación e importancia	16
1.4. Delimitación del proyecto.....	17
1.5. Hipótesis y variables.....	17
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes de la investigación	19
2.2. Generalidades de la unidad minera Arcata	22
2.3. Bases teóricas.....	42
2.3.1. Planeamiento de minado a corto plazo.....	42
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	48
3.1. Métodos y alcances de la investigación 3.1.1. Método general	48
3.2. Población y muestra	49
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	49
3.4. Técnicas utilizadas en la recolección de datos.....	49
3.5. Instrumentos utilizados en la recolección de datos	49
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
4.1. Presentación de resultados.....	51
4.1.1. Planificación de minado a corto plazo.....	51
4.1.2. Valoración de los recursos minerales.....	52
4.1.3. Estimación de las posibles reservas potenciales	54
4.1.4. Ciclo de minado	60
4.1.5. Plan de utilización de materiales.....	64

4.1.6. Equipos principales	67
4.1.7. Plan de necesidad de equipos	68
4.1.8. Propuesta del equipo laboral.....	70
4.1.9. Propuesta de proveedores	70
4.1.10. Costos anuales.....	72
4.1.11. Ingresos anuales	73
4.1.12. Margen operativo	75
4.2. Contraste de hipótesis.....	77
4.3. Discusión de resultados	78
CONCLUSIONES	81
RECOMENDACIONES	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
ANEXOS.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación Rock Mass Rating (RMR89)	28
Tabla 2. Clasificación Rock Mass Rating El Porvenir (RMR89).....	28
Tabla 3. Celdas geotécnicas para la caracterización del macizo rocoso El Porvenir	30
Tabla 4. Resumen de calidades geotécnicas por unidad litológica (Modificado de INGEROC, 2018)	30
Tabla 5. Ensayos de resistencia a la compresión simple (MPa)	32
Tabla 6. Constantes elásticas del macizo rocoso	32
Tabla 7. Ensayo de corte directo.....	33
Tabla 8. Elementos para incrementar la capacidad de la unidad minera El Porvenir	52
Tabla 9. Inventario de recursos minerales de la unidad minera El Porvenir	53
Tabla 10. Costos del inventario de recursos minerales de la unidad minera El Porvenir.....	54
Tabla 11. Método de minado de la unidad minera El Porvenir	55
Tabla 12. Recuperación de minado de la unidad minera El Porvenir	55
Tabla 13. Inventario de posibles reservas de la unidad minera El Porvenir.....	56
Tabla 14. Plan de avances del proyecto de la unidad minera El Porvenir.....	56
Tabla 15. Plan de labores de la unidad minera El Porvenir.....	57
Tabla 16. Extracción de la unidad minera El Porvenir	57
Tabla 17. Plan de minado unidad minera El Porvenir.....	58
Tabla 18. Generación de desmonte de la unidad minera El Porvenir	59
Tabla 19. Distancia de traslado de desmonte de la unidad minera El Porvenir.....	60
Tabla 20. Materiales para perforación de la unidad minera El Porvenir.....	60
Tabla 21. Explosivos y accesorios de la unidad minera El Porvenir 4.5 m x 4.5 m	61
Tabla 22. Explosivos y accesorios de la unidad minera El Porvenir 4.0 m x 4.0 m	61
Tabla 23. Sostenimiento de la unidad minera El Porvenir	62
Tabla 24. Limpieza y carguío de la unidad minera El Porvenir	63
Tabla 25. Método de transporte de material de la unidad minera El Porvenir	63
Tabla 26. Tipo de relleno de la unidad minera El Porvenir.....	63
Tabla 27. Equipos para la unidad minera El Porvenir.....	64
Tabla 28. Plan de insumos de la unidad minera El Porvenir	64
Tabla 29. Plan de consumo de insumos de la unidad minera El Porvenir.....	66
Tabla 30. Descripción de scoomprom de la unidad minera El Porvenir	67
Tabla 31. Descripción de volquetes de la unidad minera El Porvenir	67
Tabla 32. Descripción de Sandvik de la unidad minera El Porvenir.....	67
Tabla 33. Descripción de equipos auxiliares de la unidad minera El Porvenir	68

Tabla 34. Plan necesidad de equipos de la unidad minera El Porvenir.....	68
Tabla 35. Frecuencia de viajes de la unidad minera El Porvenir	69
Tabla 36. Plan de consumo de energía de la unidad minera El Porvenir	69
Tabla 37. Plan de personal según propuesta de proveedores de la unidad minera El Porvenir	70
Tabla 38. Proveedores de la unidad minera El Porvenir	71
Tabla 39. Costos anuales planificado de la unidad minera El Porvenir	72
Tabla 40. Costos anuales reales de la unidad minera El Porvenir	73
Tabla 41. Ingresos anuales planificados de la unidad minera El Porvenir	74
Tabla 42. Ingresos anuales reales de la unidad minera El Porvenir.....	75
Tabla 43. Evaluación financiera del plan de producción propuesto de la unidad minera El Porvenir.....	76
Tabla 44. Evaluación financiera del plan de producción propuesto de la unidad minera El Porvenir.....	76
Tabla 45. Datos de la hipótesis general.....	77
Tabla 46. Datos de la hipótesis específica 1	77
Tabla 47. Datos de la hipótesis específica 2.....	78
Tabla 48. Indicadores clave del plan de minado propuesto de la unidad minera El Porvenir.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la unidad minera El Porvenir	22
Figura 2. Mapeo geomecánico de labores mineras (RMR, 1989).....	28
Figura 3. Ciclo de minado minado en Breasting	34
Figura 4. Ciclo de minado U.M. El Porvenir.....	35
Figura 5. Jumbo Sandvik DT821	36
Figura 6. Anfo Loader realizando el carguío en un frente en breasting	37
Figura 7. Cañas visibles	37
Figura 8. Mangas de ventilación que proporcionan aire fresco a los frentes de trabajo	38
Figura 9. Desatado con Scaler	40
Figura 10. Scoop Caterpillar.....	41
Figura 11. Planta de relleno hidráulico	42
Figura 12. Plan de laboreo de la unidad minera El Porvenir	56
Figura 13. Extracción de la unidad minera El Porvenir	58
Figura 14. Desmonte generado de la unidad minera El Porvenir	60
Figura 15. Frecuencia de viajes para la unidad minera El Porvenir.....	69

RESUMEN

El objetivo central de esta investigación es diseñar un plan de operación minera a corto plazo que permita incrementar la producción en la unidad minera El Porvenir, perteneciente a Nexa Resources. Para abordar este estudio, se utilizó el enfoque analítico con una orientación descriptiva-explicativa.

La investigación se llevó a cabo bajo un diseño preexperimental, lo cual permitió evaluar los resultados generados por la implementación del plan minero durante un periodo de 12 meses en el año 2024. La recopilación de información se basó en el análisis documental y en la obtención de datos relacionados directamente con las actividades de la unidad minera. Esta planificación ayudó a que la producción real de 2,237,810 t registró un aumento del 4 % sobre lo previsto de 2,148,297 t, además, los costos reales se situaron en \$ 315.72/t, lo que fue menos de lo previsto de \$ 314.02/t. Este aumento en la producción permitió el aumento de los finos de zinc, plomo, plata, cobre y oro, que produjeron ingresos superiores por las ventas de plata y oro equivalente, lo que resultó en un incremento del margen bruto operativo en \$ 518.250. Según el análisis económico comparativo entre la producción proyectada y la efectivamente obtenida en el año 2024, se evidencia un avance significativo en el volumen de toneladas extraídas, lo cual conllevó a una disminución de los costos operativos y un aumento en los ingresos. Asimismo, al aplicar una tasa de descuento del 10%, se efectuó una evaluación del flujo de caja tanto estimado como real. Como resultado, se obtuvo un incremento en el valor presente neto (VPN) de \$710,120 y una tasa interna de retorno (TIR) del 18%, lo que reflejó una mejora en la rentabilidad operativa de la unidad minera El Porvenir.

Palabras clave: plan de minado, producción, valoración de flujo

ABSTRACT

Developing a short-term mining plan to boost production at Nexa Resources' El Porvenir mining facility is the study's goal. The analytical approach, which takes a descriptive-explanatory stance, was selected to carry out the investigation.

The study was conducted in a pre-experimental manner, which allowed for the examination of the results of the implementation of the mining plan over a 12-month period in the year 2024. The procedure for collecting data was based on document review and the collection of data related to the mining unit. This planning helped the actual production of 2,237,810 t register a 4% increase over the forecasted 2,148,297 t; additionally, the actual costs were \$315.72/t, which was less than the forecasted \$314.02/t. This increase in production enabled the rise in the fine production of zinc, lead, silver, copper, and gold, which generated higher revenues from the sales of silver and gold equivalent, resulting in an increase in the operating gross margin by \$518,250. The financial analysis of the 2024 production plan's planned and actual output shows a significant increase in tonnage produced, indicating lower costs and higher revenues. Similarly, an analysis of the predicted and actual cash flow was carried out, taking into account a 10% discount rate. This enhanced the El Porvenir mining unit's operational profitability by increasing its net present value (NPV) by \$710,120 and its internal rate of return by 18%.

Keywords: mining plan, production, flow valuation

INTRODUCCIÓN

La estrategia minera contemporánea utiliza métodos determinísticos y tradicionales para la extracción de metales y minerales, lo que conduce a una disminución en la extracción y, en consecuencia, en la producción. Esto provoca que los índices de producción no sean los esperados y, consecuentemente, no se cumplen las expectativas fijadas. Ante las situaciones emergentes, la puesta en marcha del plan operativo demanda un análisis de las oportunidades, a través de un proceso intelectual que implica el examen minucioso de los elementos productivos internos de la compañía, sus restricciones internas y externas; y todo lo relacionado con la selección de un objetivo a alcanzar.

La planificación debe constituirse en el eje impulsor de la gestión empresarial en todos sus niveles, orientando el rumbo de las operaciones dentro de cada uno de los subsistemas organizacionales. Además, tanto la planificación como el control deben actuar como mecanismos reguladores que aseguren la capacidad de adaptación del sistema empresarial a su entorno, manteniéndose dentro de los parámetros necesarios para conservar su estabilidad funcional. Es fundamental destacar que la planificación a corto plazo tiene como propósito optimizar los beneficios, alineándose con las proyecciones futuras de la empresa en función de la vida útil de la mina (LOM). Para ello, se requiere una adecuada estimación de los recursos y presupuestos financieros necesarios para el desarrollo de las actividades operativas diarias. Asimismo, resulta imprescindible la coordinación efectiva entre las distintas áreas, como producción, finanzas, ventas, mantenimiento, recursos humanos y comunicaciones, con el fin de asegurar la disponibilidad oportuna de equipos, maquinarias, insumos y personal.

Este trabajo se enfoca en la unidad minera El Porvenir, una operación subterránea mecanizada ubicada en el distrito de Yarusyacán, provincia de Cerro de Pasco, en la región Pasco, dentro del territorio nacional. En ese contexto, el objetivo principal consiste en formular un plan de minería a corto plazo orientado a incrementar la producción de la unidad analizada. Para alcanzar dicho propósito, se empleó la recopilación de información específica de la unidad minera, complementada con la verificación del cumplimiento del plan de minado a corto plazo previamente establecido.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

El objetivo de este estudio es optimizar la producción de zinc, plomo, plata, cobre y oro a través del programa minero en la mina El Porvenir.

La compañía minera El Porvenir se dedica a la búsqueda, extracción y aprovechamiento de minerales polimetálicos con contenidos de zinc, plomo, plata, cobre y oro. Si no se dispone de un plan de mina apropiado, se elabora un plan de mina para estructurar la actividad minera y calcular la producción presente, con el fin de optimizar la producción.

La minería subterránea es una de esas tareas que demanda una mayor especialización de sus encargados, entre otras cosas, debido a las diversas operaciones de las unidades que la conforman, como la planificación, perforación, voladura, gestión de recursos, ventilación, geomecánica y otros aspectos.

En todo el país, se están llevando a cabo operaciones mineras informales e ilegales sin planes mineros y extracción ilegal de minerales. A nivel nacional, se vienen realizando actividades mineras informales e ilegales sin contar con planes técnicos ni autorizaciones para la extracción de minerales. De acuerdo con un mapa minero no oficial emitido por el Gobierno Regional de Pasco, para el año 2024 existían aproximadamente 68 concesiones formalmente registradas vinculadas a la explotación de materiales como insumos para obras civiles, caliza, grava, caolín, manganeso, hulla y minerales mixtos, sin una planificación minera coherente, lo que generaba impactos negativos para el Estado, el entorno ecológico y la integridad de la población.

Esta investigación detallará el diseño del plan operativo de minado correspondiente a la unidad minera El Porvenir, el cual será formulado cuidadosamente con el objetivo de evitar comentarios o cuestionamientos que puedan demorar el inicio del proyecto.

1.1.1. Problema general

- ¿De qué manera se va a mejorar la producción mediante la planificación de la minería a corto plazo en la unidad minera El Porvenir de Nexa Resources?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cómo se pueden constatar los progresos y la producción a corto plazo de la unidad minera El Porvenir de Nexa Resources?
- ¿Cómo se puede anticipar el uso a corto plazo de recursos (tanto físicos como humanos) para la unidad minera El Porvenir de Nexa Resources?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Desarrollar una estrategia de minería a corto plazo para maximizar la producción en la unidad minera El Porvenir de Nexa Resources.

1.2.2. Objetivos específicos

- Elaborar un programa de progreso y producción a corto plazo para la unidad minera El Porvenir de Nexa Resources.
- Calcular la estimación del consumo a corto plazo de recursos (tanto físicos como humanos) para la unidad minera El Porvenir de Nexa Resources.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación

El análisis indica que la mina El Porvenir de Nexa Resources requiere desarrollar una estrategia de extracción a corto plazo que le permita incrementar su volumen de producción. Habitualmente, se observa que la unidad solo lleva a cabo planes de explotación a mediano y largo plazo, pero carece de una planificación que aborde las necesidades inmediatas. Por lo tanto, es esencial implementar un plan de minería a corto plazo para satisfacer esas demandas.

En adición, el estudio se basa tanto en fundamentos teóricos como en prácticas. Es teórica, puesto que existen métodos de planificación minera (tanto determinísticos como estocásticos; a corto, mediano y largo plazo; entre otros). A pesar de ser útil, puesto que se recolectarán datos de la unidad minera.

1.3.2. Importancia

El estudio es significativo dado que la creación del programa de explotación minera a corto plazo en la unidad minera El Porvenir de Nexa Resources permite solucionar los problemas vinculados con la utilización de recursos humanos y físicos, además de monitorear los avances físicos y productivos. Esto garantiza que la unidad considere los recursos y los materiales necesarios.

Los indicadores se utilizarán principalmente desde una perspectiva operativa, pero también existirán ventajas económicas, sociales y de efecto beneficioso en el medio ambiente, ya que en el proyecto también se tomarán en cuenta aspectos medioambientales como la disminución del uso de explosivos para la litigación de las vibraciones en la mina y sus alrededores.

1.4. Delimitación del proyecto

La empresa minera El Porvenir está localizada en el distrito de Yarusyacán, perteneciente a la provincia de Cerro de Pasco, en la región del mismo nombre, y se ubica a una distancia de 16 kilómetros al norte de la ciudad de Cerro de Pasco.

1.5. Hipótesis y variables

1.5.1. Hipótesis general

- El diseño de un plan de minado a corto plazo facilitará la optimización de la producción en la unidad minera El Porvenir de Nexa Resources.

1.5.2. Hipótesis específicas

- La elaboración de un plan de progreso y producción a corto plazo resultará útil, ya que se deben lograr los objetivos establecidos en la unidad minera El Porvenir de Nexa Resources.
- La elaboración de la estimación del uso a corto plazo de recursos (tanto físicos como humanos) mejorará la eficiencia en la unidad minera El Porvenir de Nexa Resources.

1.5.3. Variables

- **Variable dependiente**

Producción minera

- **Variable independiente**

Planeamiento de minado a corto plazo

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Para enriquecer este estudio se tuvieron en cuenta las siguientes tesis de investigación.

2.1.1. Antecedentes internacionales

- Meneses (2019) en su tesis titulada: «Metodología de planificación de la producción de minas a cielo abierto considerando planes alternativos», examinado en la Universidad de Chile, sostiene que la minería a cielo abierto se distingue por su flexibilidad en términos operacionales si se compara con la minería subterránea y, por lo general, consigue una alta productividad. En esta situación, la planeación desempeña un papel crucial en conducir este tipo de actividades hacia las rentabilidades más elevadas en un ambiente de riesgo regulado. Desde una perspectiva estratégica, las decisiones deben centrarse en identificar cualquier evento que pueda afectar el futuro de la actividad minera. En este contexto, uno de los factores más relevantes es el precio de venta del commodity. El principal reto consiste en que esta variable externa es altamente impredecible en horizontes de mediano y largo plazo, lo que ha dado lugar a numerosos intentos por estimar su evolución y controlar su volatilidad. Frente a esta incertidumbre, se plantea que la flexibilidad operativa es la herramienta más eficiente para adaptar el plan de producción a los cambios en los precios del mercado.

- Ricaurte (2015) en su tesis titulada: «Planeamiento minero para el contrato de concesión hkn - 08071, mina La Esmeralda ubicado en los municipios de Jenesano y Tibaná departamento de Boyacá» efectuada en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, señala que para llevar a cabo el proyecto minero se deben considerar factores técnicos como la minería, geología, medio ambiente, finanzas, el mercado, la seguridad, entre otros. Asimismo, es necesario seleccionar una opción de explotación apropiada, que pueda tratar adecuadamente el yacimiento y que pueda satisfacer las expectativas de producción durante la fase de extracción De acuerdo con los hallazgos de la investigación, la zona de reserva prioritaria para la explotación presenta una configuración geológica sinclinal con flancos asimétricos y un eje orientado en dirección norte. En esta área se han identificado tres capas de carbón con potencial extractivo, cuyas dimensiones son de 1,60 m, 0,60 m y 1,70 m, respectivamente. Desde el punto de vista técnico, resulta más adecuado iniciar las operaciones desde el sector inferior, debido a su elevada estabilidad, especialmente en la superficie. Esta decisión se justifica por la presencia de un deslizamiento de gran magnitud en la parte alta de la Vereda Supaneca, el cual representa un obstáculo significativo tanto para las labores operativas como para la obtención de la viabilidad ambiental del proyecto.
- Hidalgo (2023) en su tesis titulada: «Propuesta de diseño de una guía de procesos para la pequeña minería en el Ecuador basada en los principios de la economía circular», el documento expuesto en la Universidad Andina Simón Bolívar, Quito, sostiene que la explotación minera incluye actividades en cada etapa, tales como la exploración, la exploración avanzada, el análisis de factibilidad, la extracción, el procesamiento y beneficio, el cierre y el desecho. Según la normativa minera vigente en Ecuador, se categorizan los sistemas mineros en cuatro tipos: minería artesanal, explotación minera de pequeña escala, minería de mediana escala y minería de amplia escala. En esta investigación, se analizaron detalladamente los procesos de las operaciones de la minería de pequeña escala en el programa minero Metalesa S.A. ubicado en la región de Azuay, que opera bajo las regulaciones del régimen especial de minería y pequeña minería artesanal. En su artículo 10, este último dicta que: debido a las características únicas de la pequeña minería, es posible realizar la exploración y explotación de manera simultánea.

2.1.2. Antecedentes nacionales

- Huchamaco (2018) en su tesis de grado titulada: «Mejoramiento de plan de minado para la optimización de producción en la contrata minera Wilsander de la corporación minera

Ananea S.A.», publicado en la Universidad Nacional del Altiplano, Puno, se indica que, mediante la aplicación de la teoría del conocimiento en el análisis integral de los factores que inciden en la producción de la empresa, así como de sus limitaciones tanto internas como externas en el marco del proceso de formalización, es posible lograr una mejora en el rendimiento productivo. Considerando su relevancia fundamental, se procedió a evaluar la calidad del macizo rocoso utilizando métodos de clasificación geomecánica, con el fin de aplicar el soporte más adecuado. Asimismo, se examinó el desempeño de las operaciones unitarias actuales y se planteó una reestructuración del plan de minado vigente. Es imperativo reformular la organización operativa minera y optimizar el plan actual de explotación para lograr una producción más eficiente, teniendo en cuenta la secuencia lógica de extracción del mineral y el desmonte, en función de las reservas existentes.

- Damian (2022) en su tesis de grado denominada: «Implementación de plan de minado para optimizar la producción de carbón en la unidad minera Pampahuay» realizada en la UNCP, Junín, afirma que a través del estudio se impulsará la tecnología en la producción actual, de tal manera que el programa de exploración minera llevará a cabo una extracción organizada de la mina. El desarrollo de un plan de minado permitirá optimizar los tiempos en la extracción del material, lo cual contribuirá al cumplimiento de los objetivos establecidos y mejorará la rentabilidad de la empresa. Además, la actividad minera generará beneficios sociales para la comunidad, al convertirse en una fuente de empleo que contribuirá a elevar su calidad de vida. La implementación de un plan de explotación con una secuencia técnica y ordenada favorecerá el incremento de la producción de carbón en la unidad minera Pampahuay. Dicho plan, junto con la documentación que lo respalda, deberá estar disponible en la unidad minera para su aplicación y ser accesible a la autoridad competente en materia de seguridad y salud ocupacional siempre que se requiera.
- Condori (2019) en su tesis de grado denominada: «Implementación de un planeamiento de minado a cielo abierto con uso del software minesight para alcanzar la producción óptima mediante la evaluación de las características geotécnicas en la unidad minera María 2 – Moquegua», presentado en la Universidad Nacional de Moquegua, se sostiene que contar con un plan de mina bien estructurado es esencial, ya que de este depende alcanzar el rendimiento máximo en las operaciones extractivas. Es indispensable realizar un seguimiento constante de la producción proyectada para asegurar un flujo continuo y eficiente de mineral. Una planificación inadecuada puede generar pérdidas económicas significativas, afectar la estabilidad de la producción y, en consecuencia, ocasionar reducciones tanto en el volumen extraído como en la fuerza laboral disponible. La implementación de un esquema de minado busca, entre otros objetivos clave, reducir los

costos operativos por tonelada extraída y procesada, así como maximizar la rentabilidad por tonelada vendida. Además, este tipo de planificación permite ejecutar la extracción en función de las zonas mineralizadas previamente identificadas, facilitando una respuesta eficiente a las demandas del mercado, especialmente en el ámbito de la minería metálica. Finalmente, al aplicar una adecuada planificación en cualquier operación minera en etapa de explotación, se garantiza el cumplimiento de los objetivos establecidos y, a su vez, se promueve un uso racional y equilibrado de los recursos disponibles.

2.2. Generalidades de la unidad minera Arcata

2.2.1. Ubicación e infraestructura disponible

Desde el enfoque político-administrativo, la unidad minera El Porvenir se localiza en el distrito de Yarusyacán, perteneciente a la provincia de Cerro de Pasco, en la región Pasco, ubicándose a una distancia de 16 kilómetros al norte de la ciudad de Cerro de Pasco.

Desde la perspectiva geográfica, la unidad minera se encuentra ubicada en la zona central de la cordillera que forma el nudo de Pasco, específicamente en el flanco oriental de la gran falla Milpo - Atacocha, entre las cuencas de los ríos Tingo y Huallaga, a una altitud media de 4,200 metros sobre el nivel del mar.

La localización precisa de la unidad minera se encuentra en la intersección de las coordenadas geográficas 10°35'00" de latitud sur y 76°12'00" de longitud oeste..

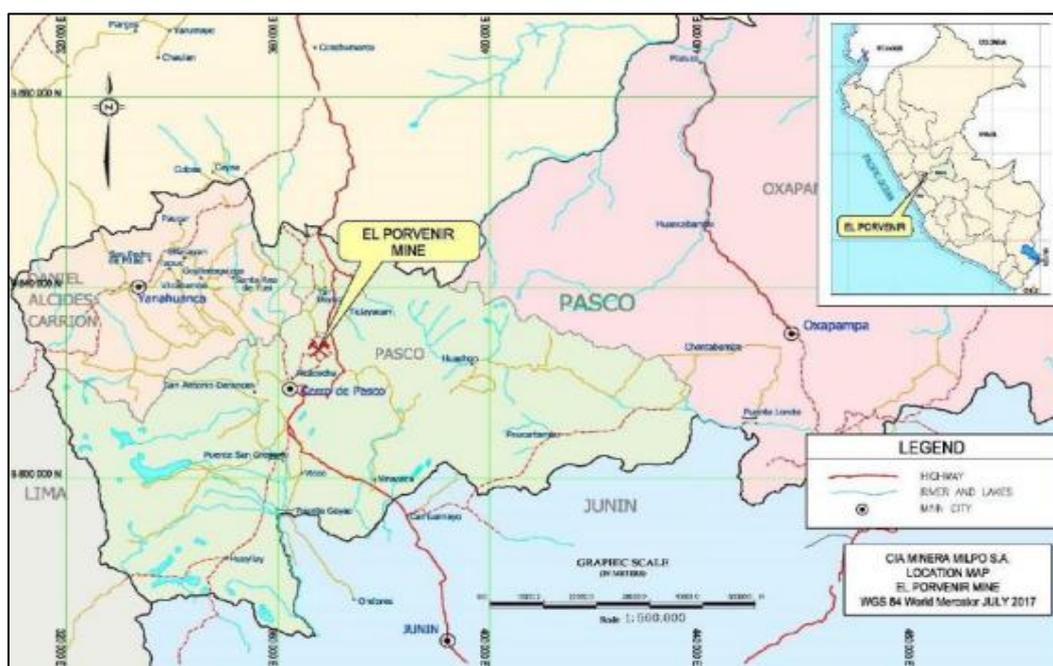


Figura 1. Ubicación de la unidad minera El Porvenir
Tomada de la unidad minera Nexa Resources

2.2.2. Accesibilidad

Se puede llegar a través de la carretera completamente asfaltada Lima – La Oroya – Cerro de Pasco, siguiendo el siguiente trayecto:

- Lima - La Oroya - Cerro de Pasco asfaltado 305 km.
- Cerro de Pasco – El Porvenir afirmado 16 km.

Igualmente, hay un camino ferroviario que se utiliza a partir de Lima en dirección a Cerro de Pasco para el traslado de carga.

2.2.3. Geología regional

Desde el punto de vista litológico, el área está predominantemente formada por calizas Pucará (correspondientes al Triásico superior y Jurásico inferior), así como por areniscas Goyllarisquizga (del Cretácico inferior). Estos sedimentos han sido desplazados por intrusivos que datan de aproximadamente 30 millones de años (Oligoceno).

Desde el enfoque estructural, el área está dividida en dos grandes dominios geológicos, separados por la falla Milpo-Atacocha, conocidos como región A (dominio estructural este) y región B (dominio estructural oeste). En la región A, se observa un dominio levemente deformado, donde las alteraciones son mínimas, manifestándose principalmente a través de fallas con orientaciones norte-sur (NS), este-oeste (E-O) y algunas estructuras de tipo noroeste-sureste (NO-SE). Por otro lado, la región B presenta dos tipos de distorsión, parcialmente superpuestas: una deformación frágil, que varía de moderada a intensa, y que se caracteriza por fallas con direcciones predominantes NO-SE/N-S; y una distorsión dúctil, en la cual el rasgo distintivo son los múltiples pliegues con ejes de orientación norte-sur (N-S).

La región está dominada por fallas con orientación norte-sur (N-S), lo cual se evidencia en la presencia de diques cuarzodioríticos al noroeste del stock Milpo, en la zona de influencia de la falla Milpo-Atacocha. Estos diques están asociados a algunas vetas no lucrativas de óxidos de manganeso y hierro.

La estructura esencial es un sinclinal irregular, cuyo plano axial sigue una dirección NS que coincide con el plegamiento local. Este plano axial es desviado por una falla de gran magnitud conocida como falla Milpo - Atacocha, que altera la composición estratigráfica de las erupciones Pucará, Goyllarisquizga y Machay de la época Jurásica-Cretácica.

Este grupo geológico es el resultado de procesos orogénicos y magmáticos ocurridos entre el Mioceno y el Pleistoceno, los cuales generaron fuerzas de compresión con dirección este-oeste (EO) en los sedimentos. Durante este período, se produjeron múltiples ciclos de fallos y fracturas, además de intrusiones hipoabisales en forma de stocks, diques y sills. Cada uno de estos eventos orogénicos y magmáticos contribuyó a la formación de diversos tipos de depósitos metasomáticos de sustitución, generados a través de sistemas previamente establecidos.

Grupos de gran tamaño, con una forma y un envoltorio horizontal irregular, identificados hasta el Nivel -1450 y todavía desconocidos debajo de este nivel, lo que aspiramos a completar con taladros largos a nivel. La mineralización se compone de galena, blenda y sulfosales en los estratos más elevados, evolucionando hacia galena argentífera y un aumento de marmatita en los estratos más bajos.

Cuerpos localizados en las interacciones intrusivas - calizas o englobadas en intrusivos, cuerpos de brechas post-minerales vinculados o no con intrusivos. Vetas de 150 metros de longitud y profundamente identificadas hasta el Nivel - 1170, mineralizadas de galena argentífera, mezcla con presencias de marmatitae y un aumento de calcopirita en profundidad.

Se han identificado tres cuerpos intrusivos de composición diorita a cuarzo diorita del Oligoceno (29.5-30.1Ma) denominados: Santa Bárbara, Milpo y Atacocha/San Gerardo. Atacocha y San Gerardo en superficie están separados, pero en profundidad se unen, razón por lo cual se le considera como un solo cuerpo intrusivo. Además, diques de composición similar a los intrusivos.

2.2.4. Geología local

La geología local muestra características litológicas similares variando en área de exposición de algunas unidades con respecto a otras y que se describen a continuación.

- **Grupo Pucará:** se han identificado las tres formaciones de este grupo que son la formación Chambará, Aramachay y Condorsinga.
- **Formación Chambará:** esta unidad muestra amplios afloramientos, litológicamente se ha diferenciado cuatro unidades: A, B, C y D, con características propias de cada unidad siendo la Unidad B muy similar a la formación Aramachay, la diferencia está en la posición

estratigráfica, la presencia de fósiles y la abundancia de cuarzo de tamaño de limo en la Formación Aramachay.

- **Formación Aramachay:** se compone de calizas negras a grises oscuras, intercaladas con margas calcáreas negras con algo de chert, grano fino y textura laminar con horizontes delgados menores a 10 cm. Aflora en dos zonas una al este de la falla Milpo-Atacocha y la otra entre la falla Contacto 1 y la falla Milpo-Atacocha después de la Unidad D del Chambará.
- **Formación Condorsinga-Unidad F:** corresponde a calizas grises, así como algunas dolomías beige en capas predominantemente delgadas y presencia de sílice irregular, la estratificación es gruesa a delgada, esta unidad muestra un pequeño afloramiento al este de la falla contacto 1 en la zona de San Gerardo.
- **Brecha Sedimentaria:** esta unidad solo aflora al este de la falla Contacto 1 en la zona de San Gerardo consta de afloramientos lenticulares sobre la formación Condorsinga y debajo de las areniscas Goyllarisquizga, litológicamente está constituido por brechas sedimentarias con clastos de calizas y chert en una matriz areniscosa por zonas es de tonalidad rojiza, por comparaciones litoestructurales regionales lo consideramos como equivalente de la formación Sarayaquillo.
- **Formación Goyllarisquizga:** consiste esencialmente de areniscas cuarzosas con laminación gruesa y oblicua con algunas intercalaciones de conglomerados, así como de lutitas y algunos niveles de carbón. Esta unidad muestra grandes afloramientos entre las fallas Milpo-Atacocha y Longreras al norte está limitado por la falla La Laquia y al sur por la falla Carmen Chico formando un graben trapezoidal.
- **Formación Pocobamba:** corresponde a depósitos continentales constituido por areniscas rojizas con niveles de conglomerados con clastos heterogéneos y matriz de arenisca rojiza que se exponen al oeste de la falla Longreras en discordancia sobre las calizas Pucara y en contacto fallado con el Pucará.

2.2.5. Mineralogía

La mineralización en el distrito Milpo - Atacocha está asociada a la zona de metamorfismo de contacto entre los intrusivos hipoabisales, como stocks, sills y diques, y las rocas calcáreas de la formación Pucará, situadas al este de la falla Milpo - Atacocha. También se encuentra vinculada con la mineralización de tipo vetillas, las cuales se propagan en las areniscas del

grupo Goyllarisquiza, ubicadas al oeste. La mineralización se presenta en zonas calcáreas y en los intrusivos, donde se observa principalmente en forma de vetillas.

a) Tipos de mineralización

La mineralización se presenta en cuerpos y vetas asociadas a diques que atraviesan los intrusivos dacíticos y la formación Pucará. Además, se observa en vetas y dispersión en las areniscas y basaltos de la composición Goyllarisquiza, situados al oeste de la fractura Milpo - Atacocha.

Los objetos mineralizados presentan una forma irregular de gran envergadura, alargados verticalmente en forma de tubos, con una distribución variada, ubicándose en las aureolas de contacto con el intruso dacítico. Estas formaciones suelen estar unidas y dispersas en el skarn, el cual se concentra a lo largo de las fracturas. La intensidad de la sustitución y diseminación está controlada por la expansión del modelo fracturado, acompañado de una aureola de caliza o mármol decolorado. Además, se identifican estructuras de ruptura post-mineral que no están relacionadas con los intrusivos, halladas en el Nivel -100. Estas estructuras podrían haberse originado por el colapso de las calizas y por errores concurrentes durante la formación de los cuerpos, los cuales están compuestos por fragmentos de galena, esfalerita y caliza negra en muestras de interés económico.

En Milpo, las vetas son estrechamente relacionadas con los esquemas de fracturamiento tensional orientados en dirección este-oeste (EO), así como con las fallas de sustitución que presentan direcciones entre N 65° a 70° E y N 50° a 60° O, todas con rumbo norte (N). También se observan vetas asociadas a diques que emergen de los intrusivos, con dirección noreste (NE) y un desplazamiento de 85° hacia el noroeste (NO), junto con otras vetas situadas en direcciones de N 55° a 65°. Las soluciones mineralizantes que atraviesan los basaltos con textura amigdaloides originan mantos que contienen galena y esfalerita de baja ley.

2.2.6. Estudio geomecánico

a) Geomecánica del yacimiento

La caracterización del yacimiento permite definir las características geomecánicas de cada uno de los litotipos en cada uno de los niveles de operación actual, mediante esta descripción geomecánica podemos coleccionar información que luego nos permitirá realizar el análisis y procesamiento de la misma para poder establecer la clasificación desde el punto de vista ingenieril.

Para este fin los parámetros que vamos a medir en este proceso de recolección de datos son:

- Resistencia a la compresión simplificada.
- Grado de fracturamiento (RQD), número de familias.
- Espaciamiento de los sistemas de discontinuidades.
- Características de las discontinuidades (rugosidad, alteración, apertura, relleno, persistencia).
- Condición de nivel freático.

b) Clasificación geomecánica Q, RMR, GSI

El sistema propuesto por Bieniawski en 1989 (RMR89) se emplea para la caracterización geomecánica del macizo rocoso. Esta clasificación se fundamenta en cinco parámetros principales, los cuales se utilizan para determinar las propiedades y la calidad del macizo rocoso, permitiendo una evaluación precisa para la planificación de actividades mineras y la seguridad en las operaciones.

- Resistencia a la compresión uniaxial.
- RQD.
- Separación de discontinuidades.
- Características de discontinuidades
- Requisito de nivel freático.

Estos 5 factores, se logra la evaluación del macizo rocoso mediante un RMR básico, para posteriormente realizar una corrección por orientación del sistema preferente de discontinuidades. De esta manera, se puede obtener la clasificación geomecánica del macizo rocoso, que incluye 5 clases de macizos rocosos (en función de su calidad).

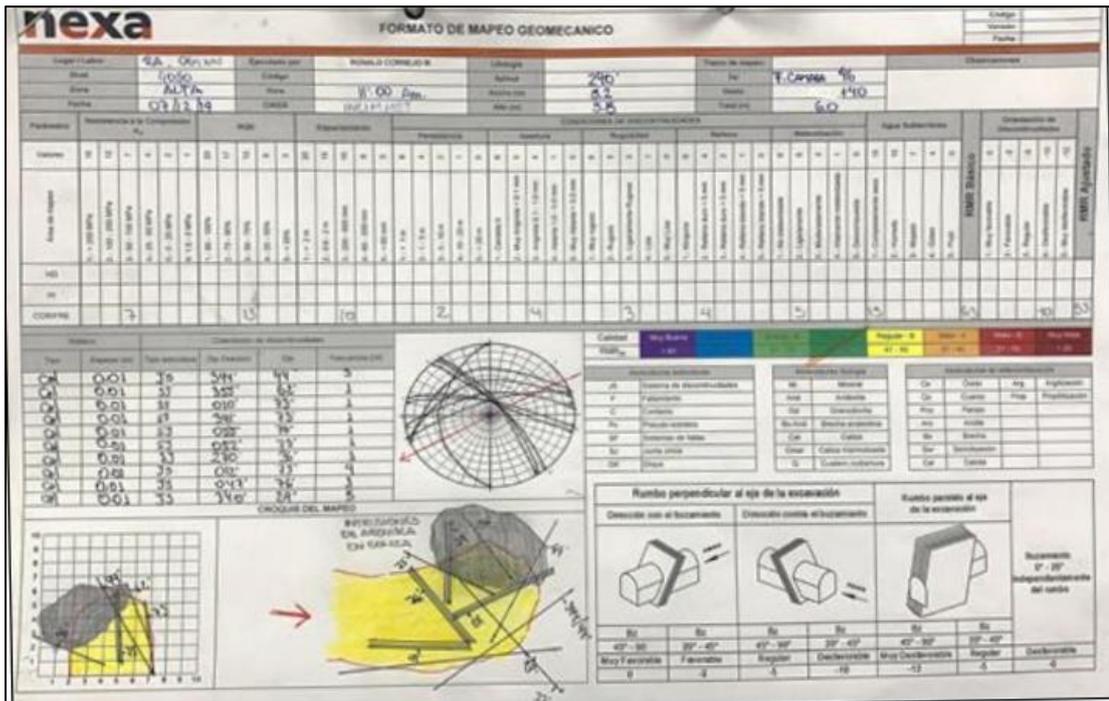


Figura 2. Mapeo geomecánico de labores mineras (RMR, 1989)
Tomada de la unidad minera Nexa Resources

Tabla 1. Clasificación Rock Mass Rating (RMR89)

RMR	Tipo	Calidad	Color
> 81	I	Muy Buena	
61 - 80	II	Buena	
41 - 60	III	Regular	
21 - 40	IV	Mala	
< 20	V	Muy Mala	

Tomada de la unidad minera Nexa Resources

En la unidad minera se tiene una sub clasificación en función del mapeo realizado y que será de guía para desarrollar el dimensionamiento del sostenimiento.

Tabla 2. Clasificación Rock Mass Rating El Porvenir (RMR89)

RMR ₉₉	Clase	Calidad	Color
> 81	I	Muy Buena	
61 - 80	II	Buena	
51 - 60	III-A	Regular - A	
41 - 50	III-B	Regular - B	
31 - 40	IV-A	Mala - A	
21 - 30	IV-B	Mala - B	
< 20	V	Muy Mala	

Tomada de la unidad minera Nexa Resources

Para la realización del estudio se consideró una campaña de mapeo de terreno en donde se levantaron registros de celdas geotécnicas, los que corresponden a información geológica-geotécnica representativa de los sectores de operación actual y que involucran la zona de estudio. La información aquí considerada incluye parámetros tales como litología, calidad geotécnica, orientación y condición de las estructuras presentes, entre otros.

La tabla 3 indica la ubicación, calidades geotécnicas y litología correspondiente para cada celda geotécnica realizada. Cabe mencionar que las calidades geotécnicas señaladas en la tabla corresponden a valores *in situ*, es decir, no presentan ajustes por; orientación de estructuras, condición de aguas, condición de esfuerzos.

La relación entre calidades geotécnicas, de acuerdo a los valores estimados de RMRB y RMRL, para las litologías observadas y la curva de relación empírica establecida por Blondell. A partir de esta figura se aprecia que:

1. Las calidades geotécnicas presentan un buen ajuste respecto de la curva de relación empírica.
2. Con excepción de las litologías de brecha hidrotermal, las litologías observadas presentan calidades según RMRB y RMRL por sobre los 55 y 37 puntos, respectivamente.

Tabla 3. Celdas geotécnicas para la caracterización del macizo rocoso El Porvenir

Celda	Coordenadas			Calidades Geotécnicas				Litología
	Norte	Este	Altura	GSI	RMR _c	Q	RMR _r	
A-01	8828612	367823	3570	60	66	20.18	49	Caliza
A-02	8828615	367802	3570	60	68	20.06	50	Caliza
A-03	8828600	367838	3570	60	63	6.28	47	Caliza
A-04	8828604	367858	3570	60	69	11.81	52	Caliza
A-05	8828562	367857	3570	55	59	4.59	41	Caliza
A-06	8828541	367859	3570	55	63	14.77	51	Caliza
A-07	8828547	367818	3570	65	71	20.06	54	Caliza
A-08	8828539	367831	3570	70	75	28.43	58	Caliza
A-09	8828528	367870	3570	55	64	5.73	51	Caliza
A-10	8828513	367848	3570	60	67	11.59	52	Caliza
A-11	8828520	367856	3570	60	69	28.43	51	Caliza
A-12	8828515	367879	3570	70	75	50	62	Caliza
A-13	8828505	367891	3570	70	76	50	64	Caliza mineralizada
B-01	8828725	367923	3397	60	65	8.38	47	Caliza
B-02	8828720	367920	3397	55	64	4.81	48	Caliza
B-03	8828678	367920	3395	60	66	29.53	52	Caliza
B-04	8828666	367914	3395	65	66	18.22	48	Caliza
C-01	8828470	367878	3570	65	66	20.79	50	Caliza
C-02	8828476	367865	3570	55	61	12.44	41	Caliza
C-03	8828494	367874	3570	60	68	19.69	55	Caliza
C-04	8828450	367875	3570	55	63	9.61	52	Caliza
C-05	8828477	367807	3570	75	80	30.63	55	Caliza
C-06	8828501	367841	3570	67	72	29.53	49	Caliza mineralizada
C-07	8828521	367868	3570	69	74	29.53	49	Caliza
C-08	8828496	367799	3570	65	73	8.33	58	Caliza
C-09	8828529	36785	3570	60	67	6.35	52	Caliza
C-10	8828560	367778	3570	30	42	2.45	30	Brecha hidrotermal
C-11	8828578	367777	3570	55	60	9.17	48	Caliza
C-12	8828557	367799	3570	65	72	20.79	57	Caliza mineralizada
C-13	8828562	367835	3570	30	35	0.67	29	Brecha hidrotermal
E-01	8828252	368278	3510	65	69	11.11	54	Caliza
E-02A	8828280	368333	3510	55	63	21.89	50	Caliza
E-02B	8828280	368333	3510	40	44	1.5	30	Brecha hidrotermal
E-03	8828250	368364	3510	55	57	7.41	46	Caliza
E-04	8828251	368383	3510	60	68	11.26	52	Caliza
E-05	8828241	368409	3510	50	58	5.25	38	Caliza
E-06	8828248	368369	3510	55	62	18.22	47	Caliza
E-07	8828283	368363	3510	60	63	12.03	46	Caliza
J-01	8827811	367788	2987	55	67	13.76	49	Intrusivo
J-02	8827800	367773	2987	40	60	2.73	47	Mármol
J-03	8827948	367828	3008	65	67	19.69	51	Intrusivo
J-04	8827970	367826	3012	70	76	8.33	63	Mármol
J-05	8828036	367796	3007	50	56	6.01	42	Mármol
J-06	8828047	367804	3007	70	76	22.22	61	Caliza
J-07	8828161	367783	3004	55	63	11.47	44	Mármol
J-08	8828162	367795	3004	65	72	21.34	58	Caliza
J-09	8828276	367804	2983	55	61	6.83	42	Caliza
J-10	8828266	367797	2983	65	73	6.52	61	Skam
J-11	8828242	367740	3007	61	66	26.23	46	Mármol

Tomada de la unidad minera Nexa Resources

Tabla 4. Resumen de calidades geotécnicas por unidad litológica (Modificado de INGEROC, 2018)

	Litología	Brecha	Caliza	Caliza	Intrusivo	Mármol	Skam
		Hidrotermal		Mineralizada			
	Número de celdas	3.0	35.0	3.0	2.0	5.0	1.0
GSI	Promedio	33.0	61.0	67.0	60.0	55.0	65.0
	Desviación estándar	4.7	5.7	2.1	5.0	10.1	-
	Valor máximo	40.0	75.0	70.0	65.0	70.0	65.0
	Valor mínimo	30.0	50.0	65.0	55.0	40.0	65.0
RMR _B	Promedio	40.0	67.0	73.0	67.0	64.0	73.0
	Desviación estándar	3.9	5.4	1.9	-	6.8	-
	Valor máximo	44.0	80.0	76.0	67.0	76.0	73.0
	Valor mínimo	30.0	50.0	65.0	55.0	40.0	65.0
RMRL	Promedio	29.0	50.0	57.0	50.0	48.0	61.0
	Desviación estándar	0.8	5.3	6.2	0.8	7.3	-
	Valor máximo	30.0	62.0	64.0	51.0	63.0	61.0
	Valor mínimo	30.0	50.0	65.0	55.0	40.0	65.0
Q (JW=1 & SRF=1)	Promedio ^A	0.7	12.3	26.0	12.9	9.4	25.1
	Desviación estándar ^A	-	-	-	-	-	-
	Valor máximo ^A	1.0	54.6	35.0	12.9	35.0	25.1
	Valor mínimo ^A	0.2	2.0	10.3	3.4	0.6	10.3

Tomada de la unidad minera Nexa Resources

Debido a la naturaleza logarítmica del valor de Q, los valores aquí señalados han sido calculados despejando Q en la ecuación $RMRB = 9 \cdot \ln(Q) + 44$ y empleando los valores de RMRB correspondientes a los registros de celdas geotécnicas.

Con esta información se definen los dominios geomecánicos de El Porvenir, que principalmente se tienen 4 dominios geomecánicos asociados principalmente a las zonas de explotación y referidos a la condición del macizo rocoso se tienen 3 dominios.

La tabla 5 muestra los dominios geomecánicos y las valoraciones de RMR promedio para cada zona de operación actual.

Tabla 5. Dominios Geomecánicos El Porvenir

Dominio Geomecánico	Ubicación	Estructuras Mineralizadas	RMR			Calidad	Mecanismo de falla
			Min	Máx	Promedio		
I	Zona Alta	P3, P2,	40	50	45	Regular	Estructural
II	Zona Media	C2, C3, CN3, CN4	35	60	45	Regular - Mala	Plastificación - Frágil
III	Zona Baja	CN3, C2, P9	45	55	50	Regular	Frágil - Estructural
IV	Don Ernesto	DE	30	40	35	Mala	Plastificación

Tomada de la unidad minera Nexa Resources

En el campo de investigación, se identifican dos sistemas de fallas principales, F1 y F2, estas estructuras se presentan en planos de zonación geomecánica evaluados.

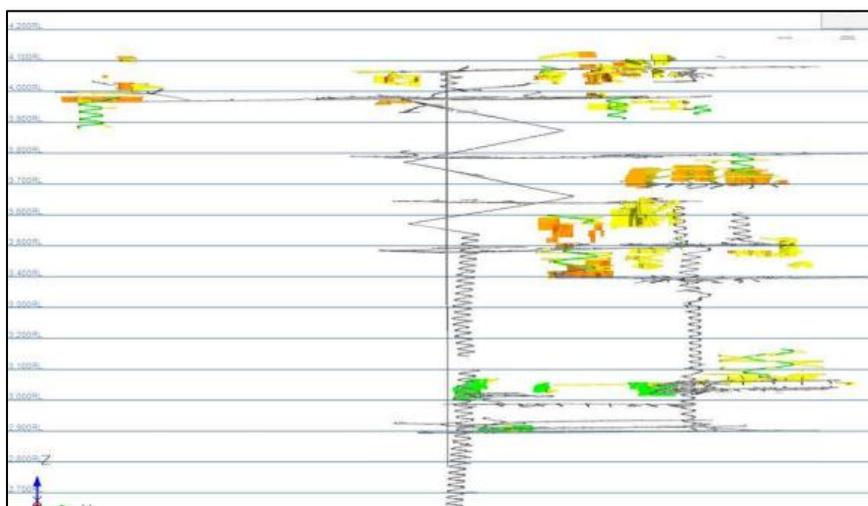


Figura 3. Vista transversal de las zonas de operación El Porvenir (NEXA, 2019).
Tomada de la unidad minera Nexa Resources

Tabla 5. Ensayos de resistencia a la compresión simple (MPa)

Litología	Diámetro equivalente "De" (cm)	Carga de rotura (N)	Índice de carga puntual corregido "I _{cp} " (MPa)	Resistencia a la Compresión Simple (MPa)
CALIZA	4.74	9100	4.05	90.30
	4.75	9100	4.03	89.99
	4.74	9500	4.41	98.24
	4.74	9800	4.36	97.25
	4.75	10000	4.43	98.89
Promedio			4.26	94.9
CALIZA MARMOLIZADA	4.75	9700	4.30	95.93
	4.75	10000	4.43	98.89
	4.72	9500	4.26	94.92
	4.72	9200	4.13	91.92
	4.75	9800	4.34	96.91
Promedio			4.29	95.7
SKARN	4.75	8100	3.59	80.10
	4.75	8200	3.63	81.09
	4.75	7900	3.50	78.12
	4.73	8000	3.58	79.66
	4.73	8300	3.71	82.65
Promedio			3.60	80.3
DACITA	4.74	8000	3.56	79.39
	4.74	7400	3.29	73.43
	4.74	7800	3.47	77.40
	4.72	7900	3.55	78.93
	4.72	8100	3.64	80.93
Promedio			3.50	78.0
MARMOL	4.72	13500	6.06	134.89
	4.72	13200	5.93	131.89
	4.72	13900	6.24	138.89
	4.73	13500	6.03	134.42
	4.73	13800	6.17	137.41
Promedio			6.09	135.5

Tomada de la unidad minera Nexa Resources

Tabla 6. Constantes elásticas del macizo rocoso

Litología	Muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Módulo de Young "E" (GPa)	Relación de Poisson "ν"
CALIZA	GM - 25	4.74	9.58	17.44	0.27
CALIZA	GM-26	4.74	9.59	11.56	0.29
MÁRMOL	GM -61	4.73	9.45	13.75	0.28
MÁRMOL	GM -62	4.73	9.47	22.14	0.26
SKARN	GM-94	4.73	9.38	13.42	0.28
SKARN	GM-96	4.73	9.42	12.36	0.28
DACITA	GM-68	4.73	9.51	13.90	0.28
DACITA	GM-69	4.73	9.54	10.82	0.29
CALIZA MARMOLIZADA	GM-74	4.73	9.57	11.24	0.29
CALIZA MARMOLIZADA	GM-75	4.73	9.50	15.20	0.26

Tomada de la unidad minera Nexa Resources

Tabla 7. Ensayo de corte directo

Litología Muestra	Tipo de discontinuidad	Esfuerzo Normal (MPa)	Esfuerzo de Corte (MPa)	Cohesión (MPa)	Angulo de Fricción (°)
MÁRMOL GM-53	SIMULADA	1.43	0.84	0.104	26.50
		2.86	1.52		
		4.29	2.21		
		5.72	2.96		
		7.14	3.68		
SKARN GM-34	SIMULADA	1.41	0.84	0.112	27.56
		2.82	1.59		
		4.23	2.34		
		5.64	3.03		
		7.05	3.80		
SKARN GM-15	SIMULADA	1.41	0.87	0.116	27.31
		2.82	1.55		
		4.23	2.27		
		5.64	3.05		
		7.05	3.76		

Litología Muestra	Tipo de discontinuidad	Esfuerzo Normal (MPa)	Esfuerzo de Corte (MPa)	Cohesión (MPa)	Angulo de Fricción (°)
CALIZA GM-05	SIMULADA	1.41	0.84	0.105	27.15
		2.82	1.55		
		4.23	2.25		
		5.64	3.00		
		7.05	3.73		
CALIZA GM-03	SIMULADA	1.40	0.85	0.111	27.58
		2.81	1.57		
		4.21	2.31		
		5.62	3.05		
		7.02	3.78		
DACTA GM-18	SIMULADA	1.42	0.88	0.101	28.22
		2.83	1.61		
		4.25	2.38		
		5.67	3.11		
		7.08	3.93		
DACTA GM-39	SIMULADA	1.41	0.86	0.102	27.76
		2.82	1.57		
		4.23	2.31		
		5.64	3.09		
		7.05	3.81		
CALIZA MARMOLIZADA GM-08	SIMULADA	1.40	0.82	0.099	26.68
		2.81	1.50		
		4.21	2.20		
		5.62	2.92		
		7.02	3.64		
CALIZA MARMOLIZADA GM-07	SIMULADA	1.40	0.82	0.112	27.49
		2.81	1.60		
		4.21	2.30		
		5.62	3.05		
		7.02	3.75		
MÁRMOL GM-48	SIMULADA	1.42	0.84	0.108	26.37
		2.85	1.49		
		4.27	2.21		
		5.69	2.94		
		7.11	3.64		

Tomada de la unidad minera Nexa Resources

2.2.7. Operaciones de unidad minera Huancapetí

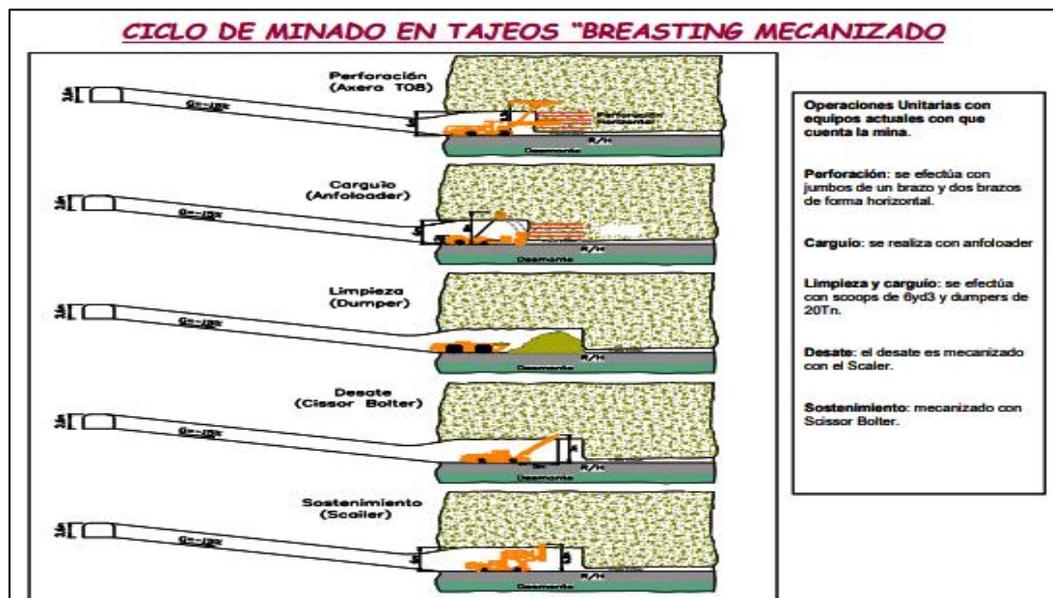
a) Ciclo de minado

El proceso minero abarca varias etapas, como la perforación, la voladura, el acarreo y la limpieza. Es crucial destacar que el desatado y el sostenimiento del macizo rocoso son esenciales para garantizar la estabilidad y seguridad de las operaciones. Una vez alcanzado el extremo del cuerpo mineral, se coloca un relleno hidráulico a una altura de 1.5 m entre este material y el techo de la mina. Posteriormente, se cubre con una capa de relleno detrítico,

dejando un espacio de 1.0 m hasta alcanzar la altura del techo, lo que contribuye al soporte y protección del área trabajada.

Este sistema permite una utilización más eficiente de los equipos, ya que posibilita que los mismos sean utilizados para operar dos o tres frentes dentro de una misma zona. Para optimizar la estabilidad de los tajeos, es crucial evitar la sobreexcavación y el daño superficial de la roca generado por las voladuras. Para alcanzar este objetivo, se debe definir un contorno exacto del techo que se ajuste al diseño teórico de la excavación. Este control se logra mediante la perforación en breasting y la implementación de técnicas de voladura controlada, como el Smooth Blasting, que facilita la formación de un arco de perforación alineado con la orientación de las cañas, mejorando así la precisión y minimizando los efectos negativos en la estabilidad de la roca.

Los siguientes gráficos y esquemas ilustran las actividades fundamentales del ciclo de minado y las mallas de perforación y voladura empleadas en la unidad minera, tanto para progresos como para explotación.



*Figura 3. Ciclo de minado minado en Breasting
Tomada de la unidad minera Nexa Resources*



Figura 4. Ciclo de minado U.M. El Porvenir
Tomada de la unidad minera Nexa Resources

La perforación que se emplea es del tipo breasting y se realiza de manera completamente mecanizada por la propia compañía, utilizando jumbos electrohidráulicos con barras de 16 pies de longitud. Actualmente, se dispone de cinco equipos de perforación marca Sandvik. Se ejecutan perforaciones mensuales que alcanzan los 345,000 metros, obteniendo un rendimiento de 3 toneladas por metro perforado y 10 toneladas por taladro. La altura de corte es de 5.0 metros y la profundidad de los barrenos es de 4.5 metros, lo que permite alcanzar un avance del 95%.

Por lo general, los jumbos ejecutan perforaciones tipo breasting, en frentes con dimensiones de 6 metros de ancho por 5 metros de alto, y también realizan trabajos en frentes sin salida. Se efectúan entre 38 y 54 perforaciones por frente, dependiendo de las características geomecánicas del terreno. Los barrenos tienen un diámetro de 45 mm y una profundidad de avance de 15 pies.

La técnica de perforación tipo breasting ofrece diversos beneficios, destacándose principalmente los siguientes:

- Buena estabilidad del techo y de las paredes laterales.
- Eficiente control de la dilución.
- Elevado nivel de seguridad operacional.

En cuanto al desempeño de los componentes de perforación, se tiene lo siguiente:

- Broca: 515 metros
- Barra: 3,400 metros

- Shank: 5,500 metros



Figura 5. Jumbo Sandvik DT821

b) Voladura de rocas

El proceso de carga mecanizada lo realiza una empresa especializada y se ejecuta mediante el uso de equipos tipo Anfo Loader.

Durante la fase de carguío, se emplean distintos accesorios de detonación como cordón detonante, y detonadores no electrónicos con tiempos de retardo cortos en milisegundos para trabajos en tajeos (breasting), o retardos más largos de medio segundo para frentes ciegos. También se utilizan mecha de seguridad y fulminante tipo común N°6.

En los tajeos, se colocan detonadores de color naranja con retardo en milisegundos cada 6 metros; en cambio, para los frentes y labores de avance, se emplean detonadores amarillos con retardo de medio segundo, también cada 6 metros, con su correspondiente intervalo. En todos los casos, los explosivos utilizados son ANFO y emulsión encartuchada.

Para evitar excavaciones innecesarias, se aplican métodos de voladura controlada como el blasting suave. En este caso, los taladros de contorno se cargan con Nitrosen en cantidades limitadas y solo a media carga, lo que permite controlar eficazmente la sobreexcavación.

Los equipos de perforación ejecutan la labor de fracturar la roca compacta con contenido mineral, por lo tanto, es fundamental lograr un adecuado aislamiento de la carga principal. También, debe ser iniciado correctamente para lograr una velocidad constante de explosión y mantenerse sin apoyo adicional.

El factor esencial de la actividad conjunta de voladura es lograr una adecuada fragmentación del material. Cuando se efectúan las detonaciones, se estima que los efectos son favorables cuando la rotura del mineral es uniforme y la base de los frentes ha sido dividida con precisión. Esto implica que el Plan de perforación 2024 de El Porvenir haya llevado a cabo una perforación exacta de los barrenos, con la finalidad de colocar las cargas detonantes justo en los puntos definidos.



Figura 6. Anfo Loader realizando el carguío en un frente en breasting

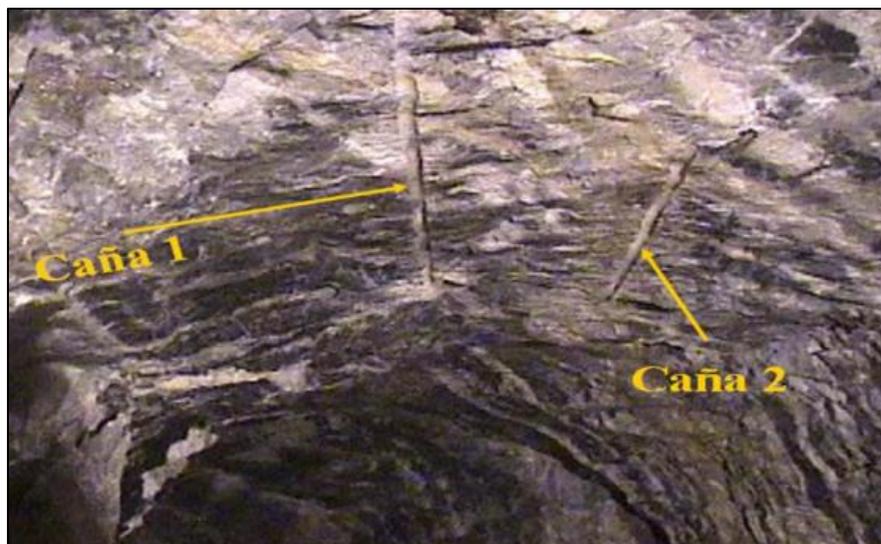


Figura 7. Cañas visibles

La eficiencia y control de una detonación se evalúa mediante el índice de cañas expuestas, que deben ser registradas después de cada voladura.

c) Ventilación

Los conductos de ventilación en los yacimientos presentan características particulares, ya que el flujo de aire es crucial en las zonas operativas de forma continua, y estas áreas activas cambian o se alejan poco a poco de la fuente principal de ventilación.

Esto exige ajustes continuos en las estructuras de ventilación utilizadas en la actividad minera. Un diseño estándar de ventilación se implementa con la finalidad de proporcionar aire limpio a los sectores de operación, talleres, almacenes y todas las demás áreas laborales dentro de la operación minera mediante equipos mecánicos. El estado y funcionamiento del sistema de ventilación deben ser monitoreados y anotados de forma permanente. Las normativas exigen entregar una cantidad adecuada de aire limpio dentro de la faena.

Para garantizar un entorno laboral seguro, la atmósfera debe contener al menos un 19.5 % de oxígeno. El sistema de circulación de aire tiene la función de controlar la presencia de partículas suspendidas y los compuestos emitidos por equipos diésel, con el fin de mantener condiciones adecuadas tanto para la operación como para el bienestar del personal, incluyendo la regulación térmica en ambientes calurosos o fríos.

Además, este sistema debe encargarse de extraer o atenuar la presencia de agentes tóxicos y vapores nocivos hasta valores aceptables. Se requiere una cantidad significativa de flujo de aire para diluir el monóxido de carbono y otras sustancias emitidas por los motores que operan en zonas subterráneas.



Figura 8. Mangas de ventilación que proporcionan aire fresco a los frentes de trabajo

La estructura de ventilación tiene la responsabilidad de garantizar una circulación de aire suficiente que permita mantener frescos a los trabajadores y prevenir la fatiga térmica. El calor generado por maquinarias, equipos, motores, sistemas de iluminación y otros elementos debe ser evacuado eficazmente y conducido fuera de las áreas donde se desarrollan las labores.

El volumen de ventilación, que debe ser adecuadamente cuantificado en metros cúbicos de aire por segundo (m^3/seg), pies cúbicos por minuto (ft^3/min) o cfm (cubic feet per minute), debe cumplir tres requisitos fundamentales:

- Una circulación continua de aire en toda la mina es esencial para evitar la acumulación de zonas con aire viciado o inmóvil.
- Un volumen adecuado de aire limpio es necesario para controlar la concentración de contaminantes generados por todas las fuentes dentro de la mina.
- Debe proporcionarse una cantidad adecuada de ventilación para reducir tanto la temperatura como la humedad del ambiente, minimizando así el riesgo de sobrecarga térmica en los trabajadores.

d) Desate mecanizado

El proceso de desatado se lleva a cabo después de la detonación, utilizando un equipo Scaler, un dispositivo de bajo perfil diseñado para la eliminación mecánica de rocas hasta una altura máxima de 6 metros. La cabina del operador está situada en una zona con techo sostenido, garantizando la seguridad durante la operación. Este proceso de desatado es realizado por un único operador, quien se encarga de cubrir toda el área de la voladura, lo que incluye el techo, las cajas y el frente, asegurando la estabilidad del macizo rocoso y facilitando la continuación de las actividades mineras.

La mecanización del desatado es una innovación tecnológica que Nexa Resources ha implementado. El Porvenir en sus actividades, con el objetivo de generar un entorno laboral seguro para sus empleados.

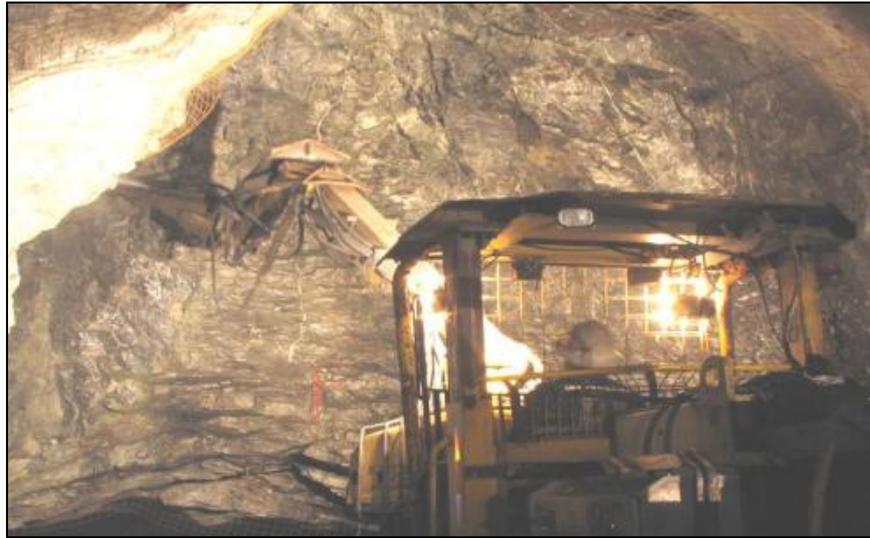


Figura 9. Desatado con Scaler

Con este equipo el operador no está expuesto al riesgo, porque se encuentra a distante del área de riesgo.

e) Sostenimiento

Debido a las excavaciones, la roca queda sometida a fuertes tensiones, lo que aumenta significativamente la probabilidad de que se desprendan fragmentos. Por esta razón, el sostenimiento se vuelve crucial para garantizar la seguridad y evitar accidentes dentro de la mina.

En la unidad minera El Porvenir se emplean dos tipos de sostenimiento: activo y pasivo. La elección del tipo de sostenimiento y los materiales a utilizar dependen del tipo de roca presente en el yacimiento. Por lo tanto, se utilizan elementos como el split set, pernos helicoidales, malla electro soldada y shotcrete, particularmente en áreas permanentes o en zonas con rocas frágiles.

Para el sostenimiento activo, se emplea el scissor bolter, un equipo que realiza perforaciones hidráulicas, operado de manera remota. Este equipo está equipado con una plataforma elevadora y dispone de capacidad de almacenamiento. Adicionalmente, el sostenimiento se realiza empleando cable bolting, que brinda estabilidad al macizo rocoso al inyectar cemento tipo V mediante el uso del equipo cabolt. Para el shotcrete se utilizan mixkrets para el transporte de la mezcla y equipos Robot para el lanzamiento del concreto.

f) Limpieza y acarreo de mineral

En relación con los sistemas de transporte, se emplean Scooptrams Diesel de 6 yd³ (10 t) para las labores de limpieza, además de volquetes de bajo perfil, conocidos como Dumper de

20 t, para el traslado del material hacia el echadero principal. El mineral es transportado hacia los ores pass más cercanos, situados en cada subnivel.

Cuando la distancia de acarreo excede los 200 m, el uso de los Scooptrams deja de ser rentable económicamente. En este caso, se opta por emplear volquetes de bajo perfil, conocidos como Dumper, con una capacidad de 20 TM, debido a su mayor eficiencia para distancias largas.

El mineral se visualiza en los ores pass (también llamados OP's), que conducen hasta la tolva, donde las locomotoras lo transportan hacia los skips, desde donde se dirige a la ruma de gruesos. El desmonte recolectado, por su parte, se encuentra en los waste pass, vertederos de residuos ubicados en cada nivel, o se utiliza como relleno hidráulico.



Figura 10. Scoop Caterpillar

g) Relleno hidráulico

Una vez completada la purificación del mineral fracturado, se procede con la preparación del tajeo para recibir el relleno hidráulico. El material utilizado para este relleno es el relave proveniente de la planta concentradora. Antes de ser utilizado, el relave pasa por un tratamiento de cicloneo, donde las fuerzas centrífugas separan los materiales gruesos (under flow) de los finos (over flow). Estos últimos, los finos, son partículas que generan diversos problemas, como la disminución de la capacidad de consolidación del relleno, lo que puede afectar la estabilidad de la mina y la eficiencia del proceso de relleno hidráulico:

- Decantamiento lento del relleno.
- Desgaste de las bombas de relleno.
- Periodo de secado amplio.

El relleno, denominado hidráulico, se transporta en forma de pulpa a través de tuberías, utilizando un fluido dinámico energizado, como el agua. Este fluido, de acuerdo con las leyes hidráulicas, actúa como medio de transporte para el material.

El relleno, que actúa como soporte, es crucial en los tajeos que ya han sido explotados o que han quedado vacíos. El objetivo es que no cause daños en otras áreas de trabajo, previniendo hundimientos y otros impactos tectónicos. Lo más importante es garantizar la seguridad durante la explotación, ya que, a medida que las tareas aumentan, las presiones sobre el terreno también se incrementan. El uso adecuado del relleno hidráulico asegura que las fuerzas generadas por las actividades mineras no afecten la integridad de las áreas circundantes, manteniendo la estabilidad de las excavaciones y evitando posibles desmoronamientos que puedan poner en peligro tanto a los trabajadores como la eficiencia de las operaciones.

Es fundamental resaltar que el relleno hidráulico es un componente clave en el ciclo de funcionamiento del minado. La supervisión debe planificar cuidadosamente cuándo es necesario utilizarlo, en coordinación con el área de relleno, para evitar cualquier retraso en el proceso de minado. Esta coordinación permite una continuidad operativa eficiente, asegurando que los espacios explotados sean reforzados a tiempo, lo cual contribuye tanto a la seguridad estructural como a la optimización del tiempo y recursos durante el desarrollo de las labores mineras.



Figura 11. Planta de relleno hidráulico

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Planeamiento de minado a corto plazo

Se refiere a la aplicación de diversos procedimientos de planificación tanto en la minería a cielo abierto como subterránea, con el propósito principal de organizar, proyectar y definir con mayor precisión el plan de minado. Esto es resultado de una comprensión más profunda del yacimiento, la ley del mineral, el diseño del método de extracción, el aprovechamiento de las condiciones geomecánicas del yacimiento, el aumento en la extracción de reservas minerales y la implementación de estas condiciones en el proceso.

La planificación del minado consiste en definir el volumen de mineral, su ubicación y las fechas de extracción, con el fin de garantizar una producción estable mensual de reservas minerales. También se busca aplicar criterios económicos flexibles para aumentar las ganancias provenientes de la venta de productos minerales.

Se sabe que la planificación se lleva a cabo a corto, medio y largo plazo. A corto plazo, se define una estrategia para el mes en curso y los siguientes meses. A medio plazo, se abarca desde un trimestre hasta un año, y a largo plazo, se proyecta desde el primer año hasta el agotamiento de las reservas.

El plan de producción minera de una empresa se establece dentro del marco general de la planificación estratégica. Este plan especifica con precisión el origen, la cantidad y la calidad del material que se va a extraer, y también incluye la definición de estrategias operativas, los plazos estimados para cada etapa y los recursos técnicos, humanos y financieros necesarios para alcanzar los objetivos establecidos.

El plan de minería establece objetivos como: (a) Desarrollar un plan que proporcione a la planta una nutrición constante y equilibrada, (b) Maximizar el Valor Actual Neto (V.A.N.) del proyecto, aplicando las normativas más beneficiosas y suministrando el mineral más adecuado disponible a la planta, (c) Garantizar una carga uniforme y equilibrada para los equipos de trabajo, (d) Definir estrategias de desarrollo que incrementen la eficiencia y reduzcan los costos asociados con el minado, (e) Diseñar geometrías apropiadas en los departamentos de producción para optimizar el rendimiento de los equipos, (f) Mantener accesos adecuados y rutas de trabajo eficientes, (g) Establecer mecanismos de control de producción efectivos y oportunos, (h) Implementar sistemas de regulación de la producción apropiados y puntuales.

Es la implementación de técnicas de planificación en los métodos de minería a cielo abierto o subterránea. Aunque en algunas empresas tiene un enfoque teórico, su valor radica en el desarrollo práctico, ya que, en cierta medida, se apoyan en la intuición personal y se

fundamentan en el conocimiento práctico adquirido a través de la experiencia en diversas empresas del sector minero.

1. Elementos requeridos para la planificación del minado

La planificación minera debe poseer características de gran importancia que se deben asimilar, aceptar y tener en cuenta en cada una de sus funciones esenciales, estas características son:

El sistema de planificación minera tiene la obligación de mantener una consistencia absoluta y continua entre la estrategia de producción a corto, mediano y largo plazo y la misión corporativa.

Como se indicó previamente, los planes de minería deben ser el principal medio para lograr los objetivos de la empresa, considerando las restricciones técnicas y financieras que el mercado imponga, las que definan los propietarios de la compañía o las condiciones naturales del yacimiento mineral.

Asimismo, es fundamental que el sistema de planificación minera sea flexible, entendiendo que este se basa en las estimaciones más precisas de las variables clave para el mediano y largo plazo. Por lo tanto, es lógico y necesario realizar revisiones continuas de la planificación a medida que se obtengan nuevos datos.

Es indiscutible que las variaciones en los costos de los productos finales afectan directamente los planes de producción en la industria minera. Por ejemplo, si una empresa busca mejorar el rendimiento financiero de su operación, la respuesta lógica ante un aumento en los precios sería incrementar la producción. Factores como ajustes en los costos, avances tecnológicos, limitaciones del mercado, restricciones en la disponibilidad de recursos, entre otros, requerirán una revisión y actualización de los planes de producción minera.

2. Situaciones de planificación estratégicas

La descripción del entorno en el que debe llevarse a cabo la planificación se basa en el tipo de proyecto donde se incluye dicha actividad. Por lo tanto, los escenarios que se pueden identificar son fundamentalmente dos:

- Situación de proyectos emergentes: este contexto surge cuando la planificación se dirige a nuevos recursos, lo que exige el diseño completo de la estrategia en función de las restricciones técnicas y financieras. Incluye también proyectos innovadores, que implican la implementación de tecnologías o enfoques totalmente nuevos para la empresa, así como

proyectos de expansión, en los que se superan las limitaciones operativas para lograr un mayor nivel de producción.

- Contexto de faenas en operación: en esta actualidad, suele implementarse una estrategia de planificación que incluye la definición de cuerpos y/o sectores de reemplazo, políticas para la renovación de equipos, estrategias de exploración, entre otros factores. Desde un enfoque general, este escenario proporciona un marco menos flexible para la planificación. Sin embargo, se puede afirmar que para todas las empresas mineras con limitaciones en sus capacidades de tratamiento, dentro de sus actividades de producción (que se engloban en este contexto), la planificación minera tiene como objetivo principal determinar el rendimiento económico global de la gestión empresarial.

3. Niveles de planificación

Una forma estructurada de abordar la planificación minera implica la incorporación de los diferentes niveles de planificación, los cuales se conceptualizan inicialmente como planificación conceptual y, posteriormente, como planificación operativa.

- Planificación conceptual: hace referencia al diseño estratégico, que, acorde con la misión y las restricciones actuales, simplifica el análisis y acceso adecuado a las definiciones fundamentales del sector minero, tales como el método de extracción, los ritmos de producción, la condición final de la explotación, entre otros aspectos de gran relevancia.

En este nivel de planificación, el objetivo es definir cómo utilizar el recurso geológico para alcanzar los objetivos de la empresa y alinearse con la misión que ha establecido. La consecución de estas metas requiere un proceso iterativo, en el que se analizan las primeras ideas a nivel de perfil y se realiza una evaluación posterior. Este proceso lleva a descartar algunas opciones y a desarrollar otras, para finalmente seleccionar una o dos alternativas que serán sometidas a un análisis más detallado.

La principal característica de esta fase de planificación minera es que es en este momento cuando se define la rentabilidad esencial del proyecto. En realidad, las diversas propuestas presentan una variabilidad considerable en cuanto a rentabilidad, la cual debería disminuir a medida que avanza la ingeniería. Esto sugiere que, generalmente, es más provechoso dedicar más tiempo a desarrollar propuestas robustas que avanzar con una opción que no ha sido comparada con otras posibles alternativas.

El resultado de esta fase está vinculado con la toma de macro decisiones que el planificador puede controlar y que impactan el objetivo planteado. Si dicho objetivo está relacionado con los beneficios inmediatos de la operación, las variables clave a determinar estarán relacionadas con un conjunto interconectado de variables de decisión que se detallan a continuación:

a) Tamaño de operación

El tamaño de una actividad minera no solo se define por la magnitud de la mina, sino también por los procesos posteriores. La evaluación del tamaño adecuado para cada infraestructura debe hacerse desde una perspectiva integral, considerando las inversiones, los costos operativos y las características de la curva Tonelaje-Ley del yacimiento. En muchas ocasiones, la disponibilidad de recursos constituye la principal restricción, y en este contexto, el desafío radica en determinar el tamaño económico-técnico óptimo para cada fase productiva dentro de esa limitación.

b) Método de explotación

El proceso de selección debe asegurar las mejores ventajas para alcanzar el objetivo establecido. Mientras que los factores técnicos que guían esta decisión son comúnmente bien conocidos, los factores financieros, que son los más relevantes en esta etapa de planificación, no siempre reciben la misma atención. En este punto, la decisión más importante es determinar si la mina debe ser subterránea o a tajo abierto, o incluso cuándo sería apropiado convertir una operación a cielo abierto en una subterránea en su fase final.

c) Límites finales

El límite de explotación es el umbral que define hasta qué punto es adecuado expandir una actividad minera. En una mina a tajo abierto, este límite se conoce como el tajo final, mientras que en una mina subterránea, se denomina envolvente final. La determinación de este límite es atemporal, lo que significa que es adecuado extraer cualquier tonelada que cumpla con su costo marginal, sin importar el momento en que se realice la extracción.

d) Secuencia de explotación

Desde el comienzo, es fundamental determinar cuál es la ruta más adecuada para alcanzar el límite final. Establecer esta secuencia tiene un impacto significativo en el valor presente del negocio, y su identificación es una tarea compleja que demanda un análisis detallado de las opciones disponibles. El objetivo es aprovechar el depósito de forma que se cumplan las metas establecidas en la misión de la empresa, respetando las restricciones inherentes a cualquier operación minera, como las geomecánicas, operativas, legales, entre otras.

e) Planes mineros de producción

En este aspecto, es fundamental cuantificar las necesidades de recursos humanos, físicos y financieros que permitan la realización de los objetivos de producción en el tiempo estipulado. Además, en esta fase se realizan las tareas necesarias para proponer la estrategia de suministro a la planta, especialmente si la empresa tiene la capacidad de producir a partir de diversos sectores o diferentes yacimientos.

Cada una de las variables de decisión mencionadas no es independiente, sino que están interconectadas funcionalmente, y para su optimización es necesario realizar un análisis iterativo. Además, en este contexto se encuentran las diversas fuentes de información necesarias para definir el entorno en el que se llevará a cabo este proceso de planificación.

f) Planificación operacional

Se trata del conjunto de acciones que establece las soluciones a corto plazo, formulando estrategias que mejoran continuamente el concepto del negocio minero desarrollado en la fase anterior.

Las constantes mejoras que se pueden implementar en cualquier explotación minera incluyen: equipos más eficaces, mejora de la infraestructura de servicios, modificaciones en los métodos de construcción, adopción de materiales de tecnología avanzada, programas informáticos más potentes, entre otros.

Es vital entender que todas las acciones realizadas en este contexto están relacionadas con la estructura definida para el proyecto en su fase inicial de planificación conceptual y que, por ende, no se prevé una alteración que afecte de forma notable el grado de rentabilidad del proyecto.

4. Optimización en la minería

El propósito corporativo, un componente esencial del sistema de gestión eficiente de una empresa, se establece como la base que orienta todos los esfuerzos hacia el logro de los objetivos internos. El cumplimiento de estos objetivos se logra a través de una relación funcional entre la misión corporativa y otros subsistemas clave, como la toma de decisiones, la planificación, la organización, la dirección y la supervisión.

Cuando se cuenta con una misión u objetivo claramente definidos por la compañía y los criterios de planificación alineados con este propósito, se puede concluir que los planes mineros desarrollados estarán enfocados en cumplir con la estrategia de la empresa.

Según diversas misiones, en diferentes compañías e incluso dentro de una misma, es evidente que se organizará con distintos criterios financieros, lo que resultará en diferentes planes mineros.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Métodos y alcances de la investigación

3.1.1. Método general

Se emplea análisis inferencial como método general (método deductivo y analítico).

3.1.2. Tipo de investigación

Esta investigación es de naturaleza aplicada, ya que se basa en hallazgos y conocimientos de investigación que pueden usarse para resolver directa e inmediatamente los problemas que surgen.

3.1.3. Nivel de investigación

Según su alcance, es explicativo, porque no sólo describe y relaciona, sino que también exige encontrar las causas (causas y motivos) del fenómeno. Por su diseño, es cuasiexperimental, ya que busca la relación entre causa y efecto mediante pretest y posttest, y no hay aleatoriedad en la variable porque la manipulación es una elección, no una intención. Según su enfoque, es cuantitativo y se basa en medidas numéricas.

3.1.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación es una investigación transversal no experimental porque implica observar fenómenos sin que el investigador dicte situaciones o condiciones, lo que significa no manipular de ninguna manera las variables de la investigación.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población está constituida por todo el nivel 4170 de la unidad minera El Porvenir.

3.2.2. Muestra

Se tiene en cuenta el estudio del tajo alto, intermedio y bajo incluyendo los tajos Éxito y Don Ernesto

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas de recopilación de datos se implementarán mediante encuestas que utilicen una variedad de actividades estandarizadas; donde se analizan y recopilan datos de la muestra o población.

3.4. Técnicas utilizadas en la recolección de datos

Busca de datos: empleando el método de investigación bibliográfica en diversas tesis relacionadas con nuestro asunto, para obtener fundamentos sobre el plan de producción en la minería.

Observación: el estudio empleó el método de observación de los equipos durante el trabajo en el lugar para obtener información relevante para este estudio. Adicionalmente, se utilizó el enfoque de la documentación bibliográfica para recolectar datos pertinentes para la investigación y, en última instancia, el método de procesamiento de datos fundamentado en cálculos operativos de cada proceso individual.

Entrevistas no estructuradas: se lleva a cabo mediante chats que proponen preguntas que se transmiten al encargado del servicio, con la finalidad de conocer puntos de vista acerca del valor de la producción a lo largo del año.

3.5. Instrumentos utilizados en la recolección de datos

- Herramientas.
 - Observaciones
 - Entrevistas
 - Check list.

- Equipos
 - Fotográfico
 - Microsoft Office (Excel)
 - AutoCAD
 - Split Desktop

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Planificación de minado a corto plazo

Nexa Resources El Porvenir S. A. C. es una compañía especializada en la búsqueda, extracción y aprovechamiento de minerales poimetálicos que contienen zinc, plomo, plata, cobre y oro. Las reservas y recursos minerales de El Porvenir permiten que la unidad minera continúe con sus labores de exploración, desarrollo, preparación y extracción de mineral. Finalmente, este material es transportado para su procesamiento a la planta de beneficio, propiedad de la compañía, que opera con una capacidad instalada de 6,500 TMSD.

La explotación polimetálica se realizará de acuerdo con el plan de minería, empleando el método de explotación subnivel de cese y corte, así como el relleno ascendente mecanizado con rampas basculantes.

El plan de minería ha sido respaldado por el inventario de recursos y reservas al 31 de diciembre de 2024 presente en este informe, el cual ha sido calculado de acuerdo a definiciones internacionales, definidas por la institución. Comité JORC - Instituto Australiano de Minería y Metalurgia (AIMM) y la norma canadiense NI 43-101, proporcionan resultados de 17.49 MTMS, con leyes de 3.72% Zn, 0.93 % Pb, 0.21% Cu y 54.5 gr Ag.

El relleno empleado es hidráulico y detrítico, el que se proporcionará durante la ejecución de los desarrollos y preparaciones. El uso de explosivos, agentes e iniciadores de voladura como emulsiones, Anfo y detonadores no eléctricos es esencial para la implementación del plan de minería. Para hacerlo eficaz, se ha definido una malla de perforación específica para cada tipo de trabajo, con la secuencia de inicio correspondiente y con el objetivo de alcanzar el grado de fragmentación correcto, regulando para ello la carga operante y las vibraciones, con el objetivo de reducir la alteración del macizo rocoso.

Tabla 8. Elementos para incrementar la capacidad de la unidad minera El Porvenir

Dimensión	Actividad
Todos los componentes	Implementación de dispositivos y puesta en marcha del servicio
	Movilización y traslado de equipos, materiales y personal
	Gestión, traslado y distribución de materiales (aceites, combustibles)
	Gestión de desechos domésticos
Ampliación del depósito de desmonte	Descomposición y eliminación de suelo orgánico
	Movilización y organización del terreno orgánico
	Movilización de material para relleno.
	Implementación de acceso
	Movilización de material para relleno.
Nuevas tareas subterráneas en el sector Pablo y puesta en marcha de raise borers	Desbroce y eliminación de suelo orgánico
	Movilización y organización del terreno orgánico
Sistema de relleno hidráulico	Hacer nivel y compactar la plataforma
	La puesta en marcha de la losa de hormigón
	Implementación de dispositivos y puesta en marcha del servicio

4.1.2. Valoración de los recursos minerales

El inventario de recursos y reservas presentado en el Plan de Minado 2020 para la unidad minera El Porvenir está detallado en el documento, siguiendo estándares internacionales como

el Joint Ore Reserves Committee (JORC) y las directrices canadienses NI 43-101. A continuación, se presenta un resumen de la estimación:

Tabla 9. Inventario de recursos minerales de la unidad minera El Porvenir

Categoría	Tonelaje (Mt)	Ley de Zinc (%)	Ley de Cobre (%)	Ley de Plata (g/t)	Ley de Plomo (%)
Recursos medidos	2.46	2.77	0.16	68.1	1.02
Recursos indicados	2.52	2.87	0.18	55.8	0.99
Subtotal recursos medidos + indicados	4.98	2.82	0.17	61.9	1
Recursos inferidos	7.56	3.9	0.23	57.8	0.89
Reservas probadas	9.28	3.54	0.2	58.6	0.97
Reservas probables	8.2	3.92	0.22	49.9	0.89
Total reservas probadas + probables	17.49	3.72	0.21	54.5	0.93

A continuación, se presenta una tabla que incluye los recursos y reservas minerales de la unidad minera El Porvenir, junto con los precios promedio de los metales correspondientes hasta diciembre de 2024. Los precios se expresan en dólares estadounidenses por tonelada métrica (\$/t) para zinc, cobre y plomo, y en dólares por onza troy (\$/oz) para plata.

- Los precios de los metales se basan en cotizaciones promedio hasta diciembre de 2024.
- 1 tonelada métrica (TM) = 1,000 kilogramos.
- 1 onza troy (oz) = 31.1035 gramos.
- Los valores de ley de los minerales se expresan en porcentaje (%) para zinc, cobre y plomo, y en gramos por tonelada (g/t) para plata.
- Los precios de los metales se expresan en dólares estadounidenses por tonelada métrica (\$/t) para zinc, cobre y plomo, y en dólares por onza troy (\$/oz) para plata.

Fórmulas:

- Valor económico (US\$): Contenido de metal (TM)×Precio por TM

Tabla 10. Costos del inventario de recursos minerales de la unidad minera El Porvenir

Categoría	Tonelaje (Mt)	Zinc (US\$)	Cobre (US\$)	Plata (US\$)	Plomo (US\$)	Total (US\$)
Recursos medidos	2.46	\$86,857,692	\$16,181,568	\$161,210,250	\$21,870,720	\$286,120,230
Recursos indicados	2.52	\$92,570,232	\$18,647,904	\$136,265,550	\$19,818,720	\$267,302,406
Subtotal recursos medidos + indicados	4.98	\$179,427,924	\$34,829,472	\$297,475,800	\$41,689,440	\$553,422,636
Recursos inferidos	7.56	\$373,946,784	\$71,599,008	\$706,633,050	\$58,793,280	\$1,210,972,122
Reservas probadas	9.28	\$419,911,872	\$76,441,920	\$816,478,800	\$79,310,400	\$1,392,143,992
Reservas probables	8.2	\$394,836,720	\$75,248,640	\$671,584,050	\$71,617,920	\$1,213,287,330
Total reserva probadas + probables	17.49	\$814,748,592	\$151,690,560	\$1,488,062,850	\$150,928,320	\$2,605,430,322
Totales generales	30.03	\$1,368,123,300	\$258,120,040	\$2,492,171,950	\$272,392,480	\$4,390,807,770

4.1.3. Estimación de las posibles reservas potenciales

Con el fin de determinar las posibles reservas, se ha clasificado los recursos minerales disponibles y, posteriormente, en función de la calidad del macizo, se han definido los métodos de extracción a utilizar.

- Parámetros geomecánicos

Tabla 11. Método de minado de la unidad minera El Porvenir

Método de minado	Parámetro geomecánico	Detalle
Sublevel stoping	Resistencia de la roca	Alta resistencia en roca sana (caliza y mármol), RMR promedio > 60.
	Clasificación geomecánica	RMR clase II y III-A; calidad Buena a Regular.
	Grado de fracturamiento (RQD)	Valores típicos de 60-80%.
	Espaciamiento de discontinuidades	Regular a moderado; sistemas orientados a NS y NE.
	Sostenimiento	Pernos de anclaje y shotcrete en sectores con RMR < 50.
	Dimensionamiento de excavaciones	Sección máxima: 6-8 m; avance por disparo: 5-6 m.
	Estado de esfuerzos	Tensiones in situ moderadas a altas en niveles profundos.
Corte y relleno ascendente	Resistencia de la roca	RMR promedio de 40-60; calidad Regular.
	Clasificación geomecánica	RMR clase III-B y IV-A; calidad Regular a Mala.
	Grado de fracturamiento (RQD)	Valores típicos de 40-60%.
	espaciamiento de discontinuidades	Cercano; con fracturas abiertas y persistentes.
	Sostenimiento	Uso intensivo de shotcrete, mallas y pernos de anclaje.
	Dimensionamiento de excavaciones	Sección máxima: 4-5 m; avance por disparo: 3-4 m.
	Estado de esfuerzos	Tensiones bajas a moderadas; deformaciones en zonas fracturadas.

Recuperación de minado

Este factor también es fundamental en las consideraciones para el cálculo de las reservas específicas.

Tabla 12. Recuperación de minado de la unidad minera El Porvenir

Método de minado	Recuperación promedio (%)
Corte y relleno ascendente	80%
Sublevel stoping (bench & fill)	70% - 85%

- Lista de posibles reservas potenciales

Según los factores mencionados anteriormente, además de considerar la potencia y el movimiento de las vetas, y tomando en cuenta el factor que afecta la dilución en relación con

la calidad del macizo, las dimensiones de las excavaciones y las especificaciones de los equipos, se han determinado las posibles reservas.

Tabla 13. Inventario de posibles reservas de la unidad minera El Porvenir

Método de minado	Potencia (m)	Tonelaje Recuperable (t)	% de Dilución	Zinc (t)	Plomo (t)	Cobre (t)	Plata (kg)
Corte y relleno ascendente	4	9,665.26	15%	287.64	71.91	16.24	421.36
Sublevel stoping	6	9,665.26	15%	269.67	67.92	15.22	394.07

- Programa de avances

El cuadro anexado especifica los progresos a llevar a cabo, distinguiéndolos por la etapa correspondiente, o sea, infraestructura de desarrollo (CAPEX), preparación (OPEX), infraestructura de Operación (Labores Verticales) y Exploración (ORO).

Tabla 14. Plan de avances del proyecto de la unidad minera El Porvenir

Categoría	Metros programados (m)
Infraestructura de desarrollo (CAPEX)	10,019
Preparación (OPEX)	9,530
Infraestructura de operación (labores verticales)	1,800
Exploración (ORO)	559

El total de avances programados en el año 2024 es de 20,108 metros.

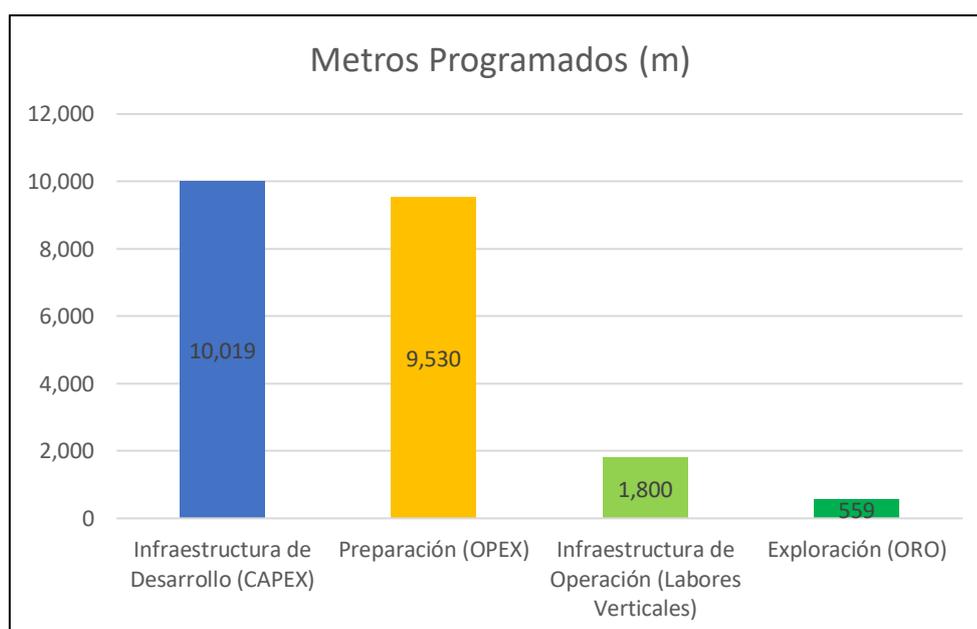


Figura 12. Plan de laboreo de la unidad minera El Porvenir

Tabla 15. Plan de labores de la unidad minera El Porvenir

Mes	Desarrollo (CAPEX)	Preparación (OPEX)	Exploración (ORO)	Labores Verticales	Total Mensual	Labor Principal
Enero	730	800	46	150	1,726	Inicio de rampas y accesos principales
Febrero	531	795	46	150	1,522	Avance en galerías y cruceros
Marzo	476	750	46	150	1,422	Exploración y desarrollo en zonas clave
Abril	699	780	47	150	1,676	Preparación para tajeos
Mayo	726	790	47	150	1,713	Continuación de accesos y preparación
Junio	840	760	47	150	1,797	Desarrollo de infraestructura secundaria
Julio	814	810	46	150	1,820	Labores verticales en pozos de ventilación
Agosto	775	815	46	150	1,786	Avances en preparación de tajeos
Septiembre	735	800	46	150	1,731	Ampliación de galerías y ventilación
Octubre	599	790	46	150	1,585	Conexiones entre niveles y cruceros
Noviembre	649	760	46	150	1,605	Finalización de rampas principales
Diciembre	643	820	46	150	1,659	Culminación de infraestructura crítica
Total	8,219	9,530	559	1,800	20,108	

Las mejoras se detallan mensualmente para cada periodo. De igual forma, en las últimas etapas se observan escasos o incluso nulos progresos, lo que se debe al mismo proceso de explotación que primero necesita organizar las tareas para luego explotarlas.

- Programa de producción

La extracción de las reservas se llevará a cabo mediante el uso de métodos de minado, los cuales han sido elegidos considerando: La fuerza, la inclinación, la calidad de las rocas que encajan, y la importancia del mineral. A continuación, se presenta un resumen del programa de producción:

Tabla 16. Extracción de la unidad minera El Porvenir

Zona	Producción (t)	Proporción del total (%)	Método de minado principal	Zinc (t)	Plomo (t)	Cobre (t)	Plata (kg)
------	----------------	--------------------------	----------------------------	----------	-----------	-----------	------------

Zona alta	711,496	32%	Corte y relleno ascendente	20,837.77	7,974.75	1,067.24	1,487.08
Zona intermedia	1,102,980	49%	Sublevel stoping	32,292.35	12,235.38	1,654.47	2,306.23
Zona baja	423,334	19%	Sublevel stoping	12,396.68	4,743.34	641	892.39
Total General	2,237,810	100%		65,526.80	24,953.47	3,362.71	4,685.70

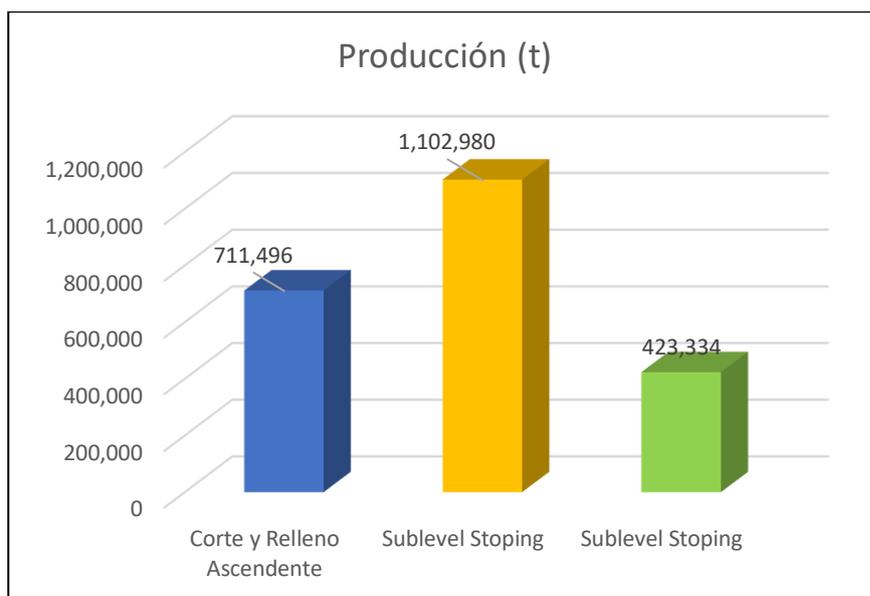


Figura 13. Extracción de la unidad minera El Porvenir

Tabla 17. Plan de minado unidad minera El Porvenir

Mes	Zona Alta (t)	Zona Intermedia (t)	Zona Baja (t)	Total (t)	Zinc (t)	Plomo (t)	Cobre (t)	Plata (kg)
Enero	59,962	94,079	35,900	189,941	5,562.26	2,127.34	284.91	397.95
Febrero	55,305	86,016	32,979	174,300	5,099.99	1,948.16	260.84	364.29
Marzo	60,209	93,737	35,974	189,920	5,561.68	2,127.10	284.88	397.93
Abril	58,466	90,037	35,387	183,890	5,392.94	2,061.57	275.84	385.33
Mayo	58,882	92,040	35,387	186,309	5,452.86	2,084.66	279.46	390.28
Junio	58,301	91,016	35,387	184,704	5,406.82	2,066.69	277.06	386.92
Julio	60,354	93,808	35,387	189,549	5,543.79	2,118.94	283.56	396.21
Agosto	59,396	91,710	35,387	186,493	5,454.23	2,083.52	279.27	390.03
Septiembre	58,651	91,710	35,387	185,748	5,431.42	2,073.34	278.11	388.58

Octubre	60,495	91,710	35,387	187,592	5,496.44	2,098.24	281.39	393.19
Noviembre	57,408	89,627	35,387	182,422	5,338.25	2,039.13	273.63	382.12
Diciembre	64,068	97,490	35,385	196,943	5,767.42	2,202.56	295.41	412.4
Total	711,496	1,102,980	123,334	1,237,810	55,526.80	24,953.47	1,362.71	1,685.70

Método por zona:

- Zona alta: corte y relleno ascendente (breasting).
- Zonas intermedia y baja: sublevel stoping (bench & fill - Avoca).
- Producción promedio diaria: 6339 toneladas.

- Generación de desmorte

La puesta en marcha de los avances para ejecutar el proyecto produce minerales en la estructura mineralizada y desmorte en las rocas que conforman el encajonamiento.

El desmorte producido se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 18. Generación de desmorte de la unidad minera El Porvenir

Fase	Avance (m)	Desmorte Generado (t)	Descripción
Infraestructura de Desarrollo	10,019	240,456	Desarrollo de rampas, cruceros y accesos principales.
Preparación (OPEX)	9,530	228,720	Labores directamente asociadas a accesos y galerías operativas.
Exploración (ORO)	559	13,396	Labores de perforación de exploración para nuevos recursos.
Labores Verticales	1,800	43,200	Desarrollo de raises, pozos de ventilación y chimeneas.

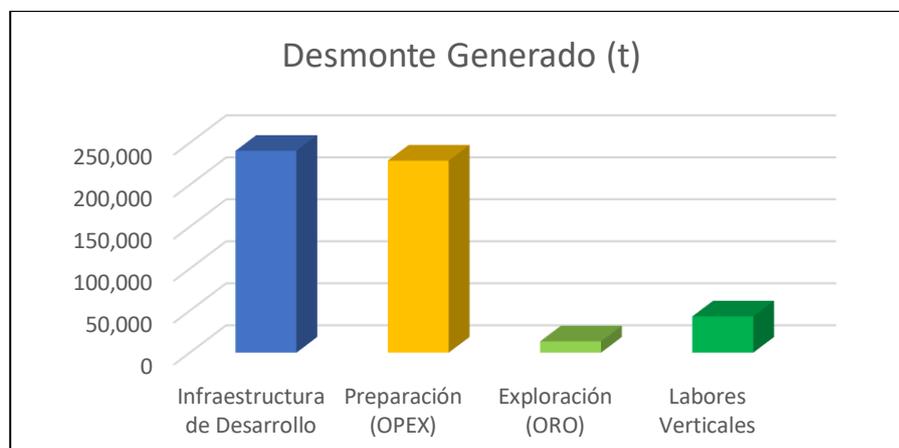


Figura 14. Desmonte generado de la unidad minera El Porvenir

Tabla 19. Distancia de traslado de desmonte de la unidad minera El Porvenir

Fase	Método de Transporte	Distancia Promedio (m)	Notas
Infraestructura de Desarrollo	Locomotora y volquetes	200-500	Transporte hacia los Waste Pass más cercanos o hacia relleno hidráulico.
Preparación (OPEX)	Scooptram y volquetes	≤ 200	Desmonte es vertido en echaderos de relleno dentro de los subniveles.
Exploración (ORO)	Scooptram	≤ 100	Usado para mover material en labores cortas de exploración.
Labores Verticales	Volquetes y Waste Pass	≤ 300	Material depositado en Waste Pass o utilizado como relleno hidráulico en zonas específicas.

- Uso de equipos:
 1. Para distancias menores a 200 metros, se utiliza principalmente Scooptram.
 2. En distancias mayores a 200 metros, el transporte con volquetes de bajo perfil se vuelve más económico.
 3. La locomotora se emplea en labores principales y líneas férreas establecidas.

- Destino del desmonte:
 1. Una parte significativa del desmonte se destina a relleno hidráulico, mientras el excedente se transporta a *waste pass*.

4.1.4. Ciclo de minado

a) Perforación

La operación de perforación se llevará a cabo utilizando jumbos electrohidráulicos de un brazo para los avances de mineral y desmonte. Para la perforación de extracción minera, se emplearán máquinas de perforación de larga longitud, como el Simba o Raptor, entre otras. En cuanto a la perforación para explotación por corte y relleno, se utilizarán equipos perforadores de tipo stoper o jack leg.

Tabla 20. Materiales para perforación de la unidad minera El Porvenir

Labor	Diámetro de Broca (mm)	Uso Principal	Equipo Asociado
Perforación en Breasting	45	Control del techo y dilución en frentes de producción	Jumbo Electrohidráulico SandvikDesarrollo**
Perforación eticales	45	Raises, chimeneas y ventilación	Equipo especial de perforación

b) Carguío y voladura

- Para la sección de 4.5 m x 4.5 m:

Tabla 21. Explosivos y accesorios de la unidad minera El Porvenir 4.5 m x 4.5 m

Parámetro	RMR 61-70 (Buena)	RMR 41-60 (Regular)	RMR 31-40 (Mala)
Emulsiones (kg/m)	42.43	40.01	36.25
Detonadores no eléctricos (unidad/m)	9.9 unidades/m	9.9 unidades/m	9.9 unidades/m
Cordón detonante (m/m)	10.61 m/m	10.61 m/m	10.61 m/m
Mecha rápida (m/m)	0.072 m/m	0.072 m/m	0.072 m/m
Mecha lenta (m)	2.13 m	2.13 m	2.13 m

- Para la sección de 4.0 m x 4.0 m:

Tabla 22. Explosivos y accesorios de la unidad minera El Porvenir 4.0 m x 4.0 m

Parámetro	RMR 31-40 (Mala)
Emulsiones (kg/m)	31.95
Detonadores no eléctricos (unidad/m)	9.2 unidades/m
Cordón detonante (m/m)	10.61 m/m
Mecha rápida (m/m)	0.072 m/m
Mecha lenta (m)	2.13 m

c) Sostenimiento

Tabla 23. *Sostenimiento de la unidad minera El Porvenir*

Tipo de Sostenimiento	Descripción	Métricas
Sostenimiento Activo	Incluye pernos de anclaje (Split Set, helicoidales), malla electrosoldada, y cable bolting. Se utiliza en áreas permanentes y/o con rocas frágiles.	Split Set: 1.5 m a 2.4 m de longitud; Cable Bolting: 4 m a 6 m de longitud.
Sostenimiento Pasivo	Uso de shotcrete y pernos en combinación para estabilizar macizos rocosos con baja resistencia.	Shotcrete: Espesor de 5 cm a 10 cm; Pernos helicoidales: 2 m a 3 m de longitud.
Sostenimiento Especial	Consiste en sistemas como cimbras metálicas, utilizadas en condiciones extremas o áreas críticas.	Cimbras metálicas: Espaciadas según sección y carga soportada.
Sostenimiento de Sacrificio	Compuesto por shotcrete de sacrificio y mallas/pernos para soportar excavaciones temporales durante procesos de perforación y voladura.	Shotcrete de sacrificio: Espesor de 3 cm a 5 cm.
Dimensionamiento	Depende del tiempo de uso, calidad de las rocas, y características tensionales iniciales del macizo.	Tiempo máximo de sostenimiento: Variable según RMR y tipo de excavación.

d) Limpieza y carguío

Tabla 24. Limpieza y carguío de la unidad minera El Porvenir

Actividad	Descripción	Equipos Utilizados	Consideraciones de Seguridad	Cantidad por Actividad
Limpieza	Realizada en tajeos y galerías, garantizando el orden y el retiro de residuos.	Scooptram	Inspección del área, ventilación adecuada (mínimo 30 minutos), uso de EPPs, y evaluación de riesgos con el formato IPERC.	10 m³/h de material limpio por scooptram.
Carguío	Transporte del mineral desde el frente hasta los echaderos o volquetes.	Scooptram y Dumpers	Uso de bahías de refugio, correcta iluminación, inspección de equipos antes y después de cada operación.	20 m³/h por scooptram; 40 t/h por volquete.
Carguío Mecánico	Utilización de equipos especializados como anfoloader para tareas específicas en voladura y explotación.	Anfoloader	Inspección de equipos, manejo defensivo, uso de luces y radios de comunicación para coordinación segura.	Capacidad de 5 t por ciclo del anfoloader

e) Transporte

Tabla 25. Método de transporte de material de la unidad minera El Porvenir

Elemento	Método de Transporte	Detalles
Mineral	- Scooptrams Diesel de 6yd ³ (10 TM)	Utilizados para limpieza y acarreo al echadero principal y Ore Pass. Cuando la distancia supera los 200 m, se usan los Dumper de mayor capacidad.
	- Dumper de bajo perfil (20 TM)	
	- Locomotoras	
Desmante	- Volcado en Waste Pass o depósito	Parte del desmante se utiliza como relleno detrítico, mientras que el resto es transportado a depósitos o
	- Uso como relleno hidráulico	
Relleno	- Sistema hidráulico con tuberías	El relleno hidráulico se transporta como pulpa a través de tuberías. También se utiliza relleno detrítico derivado del desmante

Tabla 26. Tipo de relleno de la unidad minera El Porvenir

Tipo de Relleno	Descripción	Material Principal	Detalles Adicionales
Hidráulico	Se utiliza relave proveniente de la planta concentradora, tratado mediante ciclonaje para separar las partículas gruesas (underflow) y finas (overflow). Transportado en forma de pulpa por tuberías utilizando agua como vehículo.	Relave ciclonado	Usado en cerca del 70% de los tajeos. Proporciona soporte estructural y evita hundimientos en áreas minadas.
Detrítico	Proveniente del desmonte generado en las labores de avance y desarrollo. Utilizado como relleno en áreas donde el relleno hidráulico no es prioritario.	Desmonte (material estéril)	Combinado con relleno hidráulico en algunos casos. Este relleno es económico y complementa el proceso de estabilización.

4.1.5. Plan de utilización de materiales

Los recursos esenciales para el crecimiento y la operación de la unidad minera El Porvenir se han establecido a partir de indicadores de consumo y las horas de operación promedio para cada equipo. A continuación, se presentan las conclusiones.

Tabla 27. Equipos para la unidad minera El Porvenir

Equipo Mecánico	Combustible (gal/h)	Aceite y Lubricantes (gal/h)	Grasas (kg/h)	Llantas y Cámaras (piezas/h)	Detalles
Scooptram	10	2	1.5	0.03	Equipos Caterpillar R1300G y R1600.
Dumper	15	3	2.5	0.05	Volvo MFX 6x4R y Mercedes Actros 3344.
Jumbo	Eléctrico	-	-	-	Sandvik DT821 y DD421-60C, equipo electrohidráulico.
Scaler	8	1.5	1	0.02	Equipo Paus 853-S8.
Mixkret	12	2	1.8	0.03	Putzmeister Mixkret 4, para transporte de relleno
Scissor Bolter	8	1.5	0.8	0.02	Equipo utilizado para la instalación de pernos de sostenimiento.

Tabla 28. Plan de insumos de la unidad minera El Porvenir

Insumo	Cantidad Total Anual	Unidad
ANFO	110,352	kg
Emulex 100	31,020	kg
Emulex 65	10,920	kg
Cordón Detonante	480	m
Detonadores	8,400	unidades
Tacos de Arcilla	49,200	unidades
Brocas	1,200	unidades
Barras	182	unidades
Shanks	112	unidades
Combustible	379,600	gal
Aceite	72,000	gal
Grasas	55,480	kg
Llantas	1,095	unidades

Tabla 29. Plan de consumo de insumos de la unidad minera El Porvenir

Mes	ANFO (kg)	Emulex 100 (kg)	Emulex 65 (kg)	Cordón Detonante (m)	Detonadores (unidades)	Tacos de Arcilla (unidades)	Brocas (unidades)	Barras (unidades)	Shanks (unidades)	Combustible (gal)	Aceite (gal)	Grasas (kg)	Llantas (unidades)	Cemento (kg)
Enero	9,366.46	2,632.92	926.87	40.74	712.98	4,176	101.85	15.45	9.51	32,219.70	6,111.22	4,709.03	92.94	17,000
Febrero	8,595.16	2,416.10	850.54	37.39	654.26	3,832	93.47	14.18	8.72	29,566.52	5,608.00	4,321.26	85.29	16,400
Marzo	9,365.43	2,632.63	926.77	40.74	712.9	4,176	101.84	15.45	9.51	32,216.14	6,110.54	4,708.51	92.93	17,000
Abril	9,068.07	2,549.04	897.34	39.44	690.26	4,043	98.61	14.96	9.2	31,193.27	5,916.53	4,559.02	89.98	16,750
Mayo	9,187.36	2,582.57	909.14	39.96	699.34	4,096	99.91	15.15	9.32	31,603.61	5,994.36	4,619.00	91.16	16,880
Junio	9,108.21	2,560.32	901.31	39.62	693.32	4,061	99.05	15.02	9.24	31,331.35	5,942.72	4,579.20	90.38	16,810
Julio	9,347.13	2,627.48	924.96	40.66	711.5	4,167	101.64	15.42	9.49	32,153.21	6,098.61	4,699.31	92.75	17,000
Agosto	9,196.43	2,585.12	910.04	40	700.03	4,100	100	15.17	9.33	31,634.82	6,000.28	4,623.55	91.25	16,940
Septiembre	9,159.69	2,574.79	906.41	39.84	697.24	4,084	99.61	15.11	9.3	31,508.44	5,976.31	4,605.08	90.89	16,905
Octubre	9,250.63	2,600.36	915.41	40.24	704.16	4,124	100.59	15.26	9.39	31,821.24	6,035.64	4,650.80	91.79	17,020
Noviembre	8,995.68	2,528.69	890.18	39.13	684.75	4,011	97.82	14.84	9.13	30,944.25	5,869.30	4,522.62	89.26	16,670
Diciembre	9,711.75	2,730.98	961.04	42.24	739.26	4,330	105.61	16.02	9.86	33,407.45	6,336.50	4,882.63	96.37	17,600
Total	110,352.00	31,020.00	10,920.00	480	8,400.00	49,200	1,200.00	182	112	379,600.00	72,000.00	55,480.00	1,095.00	202,975

4.1.6. Equipos principales

El siguiente cuadro resumen presenta los equipos clave que se emplearán para el desarrollo y funcionamiento de la unidad minera El Porvenir.

Tabla 30. Descripción de scooptrom de la unidad minera El Porvenir

Scooptram	Cantidad	Capacidad Nominal (yd ³)	Capacidad Efectiva (yd ³)	Detalles Adicionales
Caterpillar R1300G	1	3.5 yd ³	3.0 yd ³	Usado para operaciones en espacios reducidos.
Caterpillar R1600	9	6.0 yd ³	5.5 yd ³	Equipo estándar para acarreo en tajeos y galerías.

Tabla 31. Descripción de volquetes de la unidad minera El Porvenir

Modelo	Cantidad	Capacidad Nominal (m ³)	Capacidad Efectiva (m ³)	Detalles Adicionales
Volvo FMX 6X4R	6	9.2 m ³	8.0 m ³	Volquete de bajo perfil, ideal para transporte subterráneo

Tabla 32. Descripción de Sandvik de la unidad minera El Porvenir

Modelo	Cantidad	Capacidad de Perforación por Equipo (m/mes)	Capacidad Total (m/mes)	Detalles Adicionales
Sandvik DS421	1	45,000	45,000	Perforadora hidráulica para sostenimiento con cable bolting.
Sandvik DD411-60	1	50,000	50,000	Utilizado en perforación mecanizada.
Sandvik DT821	3	83,333	250,000	Jumbo de dos brazos, diseñado para perforación en breasting y frentes ciegos.

Tabla 33. Descripción de equipos auxiliares de la unidad minera El Porvenir

Equipo Auxiliar	Cantidad	Uso Principal	Detalles Adicionales
Lanzador de Shotcrete	2	Aplicación de concreto proyectado para sostenimiento	Equipos robotizados para lanzamiento de concreto fibroreforzado (SHFR).
Camionetas	6	Transporte de personal y supervisión en interior mina	Vehículos ligeros equipados con extintores y sistemas de seguridad para trabajos mineros.
Bus de Transporte	1	Movilización de trabajadores desde la superficie hasta la mina	Capacidad estándar para grupos grandes. Utilizado en desplazamientos diari
Scaler	5	Desate mecanizado de rocas	Paus 853 S8 y Canadyne HS18. Alcance de hasta 6 metros.
Scissor Bolter	5	Sostenimiento mediante instalación de pernos y cables	MacLean MEM-946. Incluye perforación hidráulica y plataforma de levante.
Mixkret	2	Transporte de shotcrete	Usado para transporte y aplicación de concreto proyectado (shotcrete).
Anfo Loader	3	Carguío de explosivos en perforaciones	MacLean MEM-977

4.1.7. Plan de necesidad de equipos

Tabla 34. Plan necesidad de equipos de la unidad minera El Porvenir

Mes	Scooptram R1300G (3.5 yd³)	Scooptram R1600 (6 yd³)	Jumbo DS421	Jumbo DD411-60	Jumbo DT821	Lanzador de Shotcrete	Camioneta	Bus de Transporte	Sandvik DS421	Sandvik DD411-60	Sandvik DT821	Volquetes Volvo FMX (20 TM)
Enero	2	6	1	2	3	2	1	1	2	1	3	6
Febrero	2	5	1	2	3	2	1	1	2	1	3	5
Marzo	2	6	1	2	3	2	1	1	2	1	3	6
Abril	2	6	1	2	3	2	1	1	2	1	3	6
Mayo	2	6	1	2	3	2	1	1	2	1	3	6
Junio	2	6	1	2	3	2	1	1	2	1	3	6
Julio	2	6	1	2	3	2	1	1	2	1	3	6
Agosto	2	6	1	2	3	2	1	1	2	1	3	6
Septiembre	2	6	1	2	3	2	1	1	2	1	3	6
Octubre	2	6	1	2	3	2	1	1	2	1	3	6
Noviembre	2	6	1	2	3	2	1	1	2	1	3	5
Diciembre	2	7	1	2	3	2	1	1	2	1	3	6
Total	24	72	12	24	36	24	12	12	24	12	36	70

Tabla 35. Frecuencia de viajes de la unidad minera El Porvenir

Material	Producción Diaria (TMSD)	Equipo de Transporte	Capacidad por Viaje (TM)	Viajes por Día Estimados
Mineral	6,339	Dumper (bajo perfil)	20	317
Relleno	2,000	Dumper (bajo perfil)	20	100
Desmante	2,500	Volquetes o locomotoras	70	36



Figura 15. Frecuencia de viajes para la unidad minera El Porvenir

Tabla 36. Plan de consumo de energía de la unidad minera El Porvenir

Mes	Ventilación (MWh)	Bombeo (MWh)	Equipos Mecánicos (MWh)	Consumo Total (MWh)
Enero	250	120	300	670
Febrero	230	115	290	635
Marzo	240	118	295	653
Abril	245	122	310	677
Mayo	255	125	320	700
Junio	260	130	330	720
Julio	250	128	310	688
Agosto	245	125	305	675
Septiembre	250	122	310	682
Octubre	260	130	320	710
Noviembre	255	125	315	695
Diciembre	245	118	300	663
TOTAL	2985	1478	3705	8168

4.1.8. Propuesta del equipo laboral

En la actualidad, la unidad minera Pallancata dispone de 746 empleados, divididos entre personal calificado y no calificado, siendo la mano de obra de 65%.

Tabla 37. Plan de personal según propuesta de proveedores de la unidad minera El Porvenir

Empresa/Área	Total de Trabajadores	Supervisores, Técnicos y Administrativos Excluidos	Personal Obrero Directo	Porcentaje de Personal Obrero
NEXA El Porvenir	162	162	0	0%
INCIMMET	308	28	280	91%
EXPLOMIN	112	12	100	89%
SERVICCON	46	6	40	87%
SEPROCAL	75	10	65	87%
Total	746	218	485	65%

La unidad minera El Porvenir necesita tener un total de 746 empleados, siendo el 65 % de ellos personal laboral directo, especializado en perforación, sostenimiento, voladura y traslado de materiales. Las compañías empleadoras como Incimmet, Explomin y Serviccon serán las encargadas de agrupar la mayoría de esta mano de obra. En cuanto al 35 % restante, deberá contar con supervisores, técnicos y personal administrativo, responsables de la planificación, coordinación y administración de la seguridad y logística. Esta estructura tiene que asegurar un funcionamiento eficaz y productivo, dando prioridad al balance entre la fuerza operativa directa y el apoyo técnico estratégico.

4.1.9. Propuesta de proveedores

Se detalla los proveedores que actualmente ejecutan funciones en la unidad minera El Porvenir y la propuesta de cambio para mejorar los procesos.

Tabla 38. Proveedores de la unidad minera El Porvenir

Proveedor Alternativo	Objetivo del Servicio	Proveedor Actual a Reemplazar	Razón del Reemplazo
Stracon	Ejecutar operaciones mineras subterráneas y de tajo abierto con enfoque en perforación, sostenimiento y transporte de material.	INCIMMET	Mejora en eficiencia operativa, estándares internacionales de seguridad y productividad.
Orica	Diseñar y optimizar voladuras, suministrar explosivos seguros y eficaces, minimizar costos de fragmentación y maximizar seguridad.	EXPLOMIN	Innovación en sistemas de voladura y explosivos más seguros con menores impactos ambientales.
AECOM	Realizar servicios auxiliares como instalación y mantenimiento de infraestructura minera, mejora de accesos y soporte logístico.	SERVICCON	Amplia experiencia global en soluciones logísticas y de infraestructura técnica minera.
SGS Perú	Monitorear emisiones ambientales, analizar calidad del agua y brindar certificaciones ambientales alineadas a normativas internacionales.	SEPROCAL	Precisión en el monitoreo ambiental y capacidad de certificación reconocida globalmente.
Komatsu Mining Corp.	Ofrecer soporte técnico especializado y mantenimiento avanzado de maquinaria pesada (Scooptram, Jumbos, etc.).	FERREYROS	Tecnología de punta en mantenimiento y mayor soporte técnico para minimizar tiempos muertos.
Bechtel	Diseñar y ejecutar proyectos mineros, incluyendo infraestructura avanzada y expansión de operaciones.	EPCM	Experiencia comprobada en ingeniería y construcción de grandes proyectos mineros.

4.1.10. Costos anuales

Se realiza una comparación entre los costos proyectados anuales y los costos efectivos de la unidad minera El Porvenir.

Tabla 39. Costos anuales planificado de la unidad minera El Porvenir

Mes	Producción Mensual (TM)	Costo Total Mensual (USD)	Costo Unitario (USD/TM)	Gestión Geológica	Operaciones Mineras	Regalías	Operaciones en Planta	Servicios Generales	Gastos Administrativos
Enero	184517.00	\$ 4,800,000.00	\$ 26.01	\$ 2.60	\$ 10.41	\$ 1.30	\$ 7.80	\$ 2.60	\$ 1.30
Febrero	175134.00	\$ 4,700,000.00	\$ 26.84	\$ 2.68	\$ 10.73	\$ 1.34	\$ 8.05	\$ 2.68	\$ 1.34
Marzo	189203.00	\$ 4,900,000.00	\$ 25.90	\$ 2.59	\$ 10.36	\$ 1.29	\$ 7.77	\$ 2.59	\$ 1.29
Abril	181926.00	\$ 4,850,000.00	\$ 26.66	\$ 2.67	\$ 10.66	\$ 1.33	\$ 8.00	\$ 2.67	\$ 1.33
Mayo	187457.00	\$ 4,950,000.00	\$ 26.41	\$ 2.64	\$ 10.56	\$ 1.32	\$ 7.92	\$ 2.64	\$ 1.32
Junio	194055.00	\$ 5,000,000.00	\$ 25.77	\$ 2.58	\$ 10.31	\$ 1.29	\$ 7.73	\$ 2.58	\$ 1.29
Julio	189203.00	\$ 4,900,000.00	\$ 25.90	\$ 2.59	\$ 10.36	\$ 1.29	\$ 7.77	\$ 2.59	\$ 1.29
Agosto	181441.00	\$ 4,850,000.00	\$ 26.73	\$ 2.67	\$ 10.69	\$ 1.34	\$ 8.02	\$ 2.67	\$ 1.34
Septiembre	186778.00	\$ 4,950,000.00	\$ 26.50	\$ 2.65	\$ 10.60	\$ 1.33	\$ 7.95	\$ 2.65	\$ 1.33
Octubre	192114.00	\$ 5,000,000.00	\$ 26.03	\$ 2.60	\$ 10.41	\$ 1.30	\$ 7.81	\$ 2.60	\$ 1.30
Noviembre	179986.00	\$ 4,850,000.00	\$ 26.95	\$ 2.69	\$ 10.78	\$ 1.35	\$ 8.08	\$ 2.69	\$ 1.35
Diciembre	195995.00	\$ 5,100,000.00	\$ 26.02	\$ 2.60	\$ 10.41	\$ 1.30	\$ 7.81	\$ 2.60	\$ 1.30
Total	2237809.00	\$ 58,850,000.00	\$ 315.72	\$ 31.56	\$ 126.28	\$ 15.78	\$ 94.71	\$ 31.56	\$ 15.78

- Producción total (TM): 2,237,810
- Costo total (USD): 58,850,000
- Costo unitario promedio (USD/TM): \$315.72

Tabla 40. Costos anuales reales de la unidad minera El Porvenir

Mes	Producción Mensual (TM)	Costo Total Mensual (USD)	Costo Unitario (USD/TM)	Gestión Geológica	Operaciones Mineras	Regalías	Operaciones en Planta	Servicios Generales	Gastos Administrativos
Enero	177136.00	\$ 4,800,000.00	\$ 27.10	\$ 2.71	\$ 10.84	\$ 1.35	\$ 8.13	\$ 2.71	\$ 1.35
Febrero	168129.00	\$ 4,700,000.00	\$ 27.95	\$ 2.80	\$ 11.18	\$ 1.40	\$ 8.39	\$ 2.80	\$ 1.40
Marzo	181635.00	\$ 4,900,000.00	\$ 26.98	\$ 2.70	\$ 10.79	\$ 1.35	\$ 8.09	\$ 2.70	\$ 1.35
Abril	174649.00	\$ 4,850,000.00	\$ 27.77	\$ 2.78	\$ 11.11	\$ 1.39	\$ 8.33	\$ 2.78	\$ 1.39
Mayo	179959.00	\$ 4,950,000.00	\$ 27.51	\$ 2.75	\$ 11.00	\$ 1.38	\$ 8.25	\$ 2.75	\$ 1.38
Junio	186292.00	\$ 5,000,000.00	\$ 26.84	\$ 2.68	\$ 10.74	\$ 1.34	\$ 8.05	\$ 2.68	\$ 1.34
Julio	181635.00	\$ 4,900,000.00	\$ 26.98	\$ 2.70	\$ 10.79	\$ 1.35	\$ 8.09	\$ 2.70	\$ 1.35
Agosto	174183.00	\$ 4,850,000.00	\$ 27.84	\$ 2.78	\$ 11.14	\$ 1.39	\$ 8.35	\$ 2.78	\$ 1.39
Septiembre	179307.00	\$ 4,950,000.00	\$ 27.61	\$ 2.76	\$ 11.04	\$ 1.38	\$ 8.28	\$ 2.76	\$ 1.38
Octubre	184430.00	\$ 5,000,000.00	\$ 27.11	\$ 2.71	\$ 10.84	\$ 1.36	\$ 8.13	\$ 2.71	\$ 1.36
Noviembre	172786.00	\$ 4,850,000.00	\$ 28.07	\$ 2.81	\$ 11.23	\$ 1.40	\$ 8.42	\$ 2.81	\$ 1.40
Diciembre	188155.00	\$ 5,100,000.00	\$ 27.11	\$ 2.71	\$ 10.84	\$ 1.36	\$ 8.13	\$ 2.71	\$ 1.36
Total	2148296.00	\$ 58,850,000.00	\$ 328.87	\$ 32.89	\$ 131.54	\$ 16.45	\$ 98.64	\$ 32.89	\$ 16.45

- Producción total (TM): 2,148,297
- Costo total (USD): 58,850,000
- Costo unitario promedio (USD/TM): \$328.87

4.1.11. Ingresos anuales

Se lleva a cabo una comparación entre los ingresos anuales previstos y obtenidos de la unidad minera El Porvenir.

Tabla 41. Ingresos anuales planificados de la unidad minera El Porvenir

Mes	Ton. Extraída (TMS)	Ton. Tratada (TMS)	Ton. SSGG (TMS)	Ley Zn (%)	Ley Pb (%)	Ley Cu (%)	Ley Ag (oz/TMS)	Ley Au (oz/TMS)	Prod. Zn (TMS)	Prod. Pb (TMS)	Prod. Cu (TMS)	Prod. Ag (oz)	Prod. Au (oz)	Costo Zn (USD)	Costo Pb (USD)	Costo Cu (USD)	Costo Ag (USD)	Costo Au (USD)	
Enero	191,547	191,547	36,394	2.93	1.12	0.15	2.09	0.01	5,612.33	2,145.33	287.32	400,333.74	1,915.47	\$ 281,683.06	\$ 111,685.83	\$ 2,632,433.77	\$ 11,209,344.71	\$ 4,574,148.19	
Febrero	174,535	174,535	33,162	2.93	1.12	0.15	2.09	0.01	5,113.87	1,954.79	261.8	364,777.83	1,745.35	\$ 256,665.19	\$ 101,766.38	\$ 2,398,632.42	\$ 10,213,779.31	\$ 4,167,892.18	
Marzo	188,555	188,555	35,826	2.93	1.12	0.15	2.09	0.01	5,524.67	2,111.82	282.83	394,080.86	1,885.55	\$ 277,283.40	\$ 109,941.40	\$ 2,591,317.37	\$ 11,034,264.20	\$ 4,502,703.85	
Abril	181,303	181,303	34,447	2.93	1.12	0.15	2.09	0.01	5,312.19	2,030.60	271.95	378,923.82	1,813.03	\$ 266,618.60	\$ 105,712.86	\$ 2,491,650.77	\$ 10,609,867.09	\$ 4,329,521.98	
Mayo	186,816	186,816	35,495	2.93	1.12	0.15	2.09	0.01	5,473.70	2,092.33	280.22	390,444.56	1,868.16	\$ 274,724.83	\$ 108,926.93	\$ 2,567,406.52	\$ 10,932,447.77	\$ 4,461,156.07	
Junio	193,390	193,390	36,744	2.93	1.12	0.15	2.09	0.01	5,666.32	2,165.97	290.08	404,184.83	1,933.90	\$ 284,392.76	\$ 112,760.22	\$ 2,657,757.02	\$ 11,317,175.36	\$ 4,618,150.17	
Julio	188,555	188,555	35,826	2.93	1.12	0.15	2.09	0.01	5,524.67	2,111.82	282.83	394,080.86	1,885.55	\$ 277,283.40	\$ 109,941.40	\$ 2,591,317.37	\$ 11,034,264.20	\$ 4,502,703.85	
Agosto	180,820	180,820	34,356	2.93	1.12	0.15	2.09	0.01	5,298.01	2,025.18	271.23	377,912.78	1,808.20	\$ 265,907.20	\$ 105,430.79	\$ 2,485,002.53	\$ 10,581,557.75	\$ 4,317,969.91	
Septiembre	186,139	186,139	35,366	2.93	1.12	0.15	2.09	0.01	5,453.87	2,084.75	279.21	389,029.96	1,861.39	\$ 273,729.49	\$ 108,532.29	\$ 2,558,104.68	\$ 10,892,838.99	\$ 4,444,993.09	
Octubre	191,457	191,457	36,377	2.93	1.12	0.15	2.09	0.01	5,609.69	2,144.32	287.19	400,144.98	1,914.57	\$ 281,550.24	\$ 111,633.17	\$ 2,631,192.58	\$ 11,204,059.49	\$ 4,571,991.47	
Noviembre	179,369	179,369	34,080	2.93	1.12	0.15	2.09	0.01	5,255.52	2,008.94	269.05	374,881.80	1,793.69	\$ 263,774.55	\$ 104,585.21	\$ 2,465,072.06	\$ 10,496,690.47	\$ 4,283,338.50	
Diciembre	195,324	195,324	37,111	2.93	1.12	0.15	2.09	0.01	5,722.99	2,187.63	292.99	408,226.86	1,953.24	\$ 287,236.81	\$ 113,887.87	\$ 2,684,335.73	\$ 11,430,351.96	\$ 4,664,333.64	
TOTAL	2,037,809	2,037,809	425,183						65,568	25,063	3,357	4,677,023	22,378	\$ 3,290,849.53	\$ 1,304,804.35	\$ 30,754,222.82	\$ 130,956,641.30	\$ 53,438,902.90	
																			\$ 198,600,000.50

Tabla 42. Ingresos anuales reales de la unidad minera El Porvenir

Mes	Ton. Extraída (TMS)	Ton. Tratada (TMS)	Ton. SSGG (TMS)	Ley Zn (%)	Ley Pb (%)	Ley Cu (%)	Ley Ag (oz/TMS)	Ley Au (oz/TMS)	Prod. Zn (TMS)	Prod. Pb (TMS)	Prod. Cu (TMS)	Prod. Ag (oz)	Prod. Au (oz)	Costo Zn (USD)	Costo Pb (USD)	Costo Cu (USD)	Costo Ag (USD)	Costo Au (USD)	
Enero	191,547	191,547	36,394	2.93	1.12	0.15	2.09	0.01	5,612.33	2,145.33	287.32	400,333.74	1,915.47	\$ 281,683.06	\$ 111,685.83	\$ 2,632,433.77	\$ 11,209,344.71	\$ 4,574,148.19	
Febrero	174,535	174,535	33,162	2.93	1.12	0.15	2.09	0.01	5,113.87	1,954.79	261.8	364,777.83	1,745.35	\$ 256,665.19	\$ 101,766.38	\$ 2,398,632.42	\$ 10,213,779.31	\$ 4,167,892.18	
Marzo	188,555	188,555	35,826	2.93	1.12	0.15	2.09	0.01	5,524.67	2,111.82	282.83	394,080.86	1,885.55	\$ 277,283.40	\$ 109,941.40	\$ 2,591,317.37	\$ 11,034,264.20	\$ 4,502,703.85	
Abril	181,303	181,303	34,447	2.93	1.12	0.15	2.09	0.01	5,312.19	2,030.60	271.95	378,923.82	1,813.03	\$ 266,618.60	\$ 105,712.86	\$ 2,491,650.77	\$ 10,609,867.09	\$ 4,329,521.98	
Mayo	186,816	186,816	35,495	2.93	1.12	0.15	2.09	0.01	5,473.70	2,092.33	280.22	390,444.56	1,868.16	\$ 274,724.83	\$ 108,926.93	\$ 2,567,406.52	\$ 10,932,447.77	\$ 4,461,156.07	
Junio	193,390	193,390	36,744	2.93	1.12	0.15	2.09	0.01	5,666.32	2,165.97	290.08	404,184.83	1,933.90	\$ 284,392.76	\$ 109,760.22	\$ 2,657,757.02	\$ 11,317,175.36	\$ 4,618,150.17	
Julio	188,555	188,555	35,826	2.93	1.12	0.15	2.09	0.01	5,524.67	2,111.82	282.83	394,080.86	1,885.55	\$ 277,283.40	\$ 105,941.40	\$ 2,591,317.37	\$ 11,034,264.20	\$ 4,502,703.85	
Agosto	180,820	180,820	34,356	2.93	1.12	0.15	2.09	0.01	5,298.01	2,025.18	271.23	377,912.78	1,808.20	\$ 265,907.20	\$ 105,430.79	\$ 2,155,002.53	\$ 10,581,557.75	\$ 4,317,969.91	
Septiembre	186,139	186,139	35,366	2.93	1.12	0.15	2.09	0.01	5,453.87	2,084.75	279.21	389,029.96	1,861.39	\$ 273,729.49	\$ 108,532.29	\$ 2,558,104.68	\$ 10,892,838.99	\$ 4,444,993.09	
Octubre	191,457	191,457	36,377	2.93	1.12	0.15	2.09	0.01	5,609.69	2,144.32	287.19	400,144.98	1,914.57	\$ 281,550.24	\$ 111,633.17	\$ 2,631,192.58	\$ 11,204,059.49	\$ 4,571,991.47	
Noviembre	179,369	179,369	34,080	2.93	1.12	0.15	2.09	0.01	5,255.52	2,008.94	269.05	374,881.80	1,793.69	\$ 263,774.55	\$ 104,585.21	\$ 2,465,072.06	\$ 10,496,690.47	\$ 4,283,338.50	
Diciembre	195,324	195,324	37,111	2.93	1.12	0.15	2.09	0.01	5,722.99	2,187.63	292.99	408,226.86	1,953.24	\$ 287,236.81	\$ 113,887.87	\$ 2,684,335.73	\$ 11,430,351.96	\$ 4,664,333.64	
TOTAL	2,237,810	2,237,810	425,183						65,568	25,063	3,357	4,677,023	22,378	\$ 3,290,849.53	\$ 1,297,804.35	\$ 30,424,222.82	\$ 130,956,641.30	\$ 53,438,902.90	
																			\$219,408,420.90

4.1.12. Margen operativo

La evaluación económica del margen operativo previsto y realizado de la unidad minera El Porvenir se produjo.

Tabla 43. Evaluación financiera del plan de producción propuesto de la unidad minera El Porvenir

Mes	Producción Mensual (TM)	Costo Total Mensual (USD)	Ingreso Total Mensual (USD)	FLUJO DE CAJA	Inversión
Enero	184517.00	\$ 4,800,000.00	\$ 18,809,295.56	\$ 14,009,295.56	\$90,939,775
Febrero	175134.00	\$ 4,700,000.00	\$ 17,138,735.48	\$ 12,438,735.48	
Marzo	189203.00	\$ 4,900,000.00	\$ 18,515,510.22	\$ 13,615,510.22	
Abril	181926.00	\$ 4,850,000.00	\$ 17,803,371.30	\$ 12,953,371.30	
Mayo	187457.00	\$ 4,950,000.00	\$ 18,344,662.12	\$ 13,394,662.12	
Junio	194055.00	\$ 5,000,000.00	\$ 18,990,235.53	\$ 13,990,235.53	
Julio	189203.00	\$ 4,900,000.00	\$ 18,511,510.22	\$ 13,611,510.22	
Agosto	181441.00	\$ 4,850,000.00	\$ 17,755,868.18	\$ 12,905,868.18	
Septiembre	186778.00	\$ 4,950,000.00	\$ 18,278,198.54	\$ 13,328,198.54	
Octubre	192114.00	\$ 5,000,000.00	\$ 18,800,426.95	\$ 13,800,426.95	
Noviembre	179986.00	\$ 4,850,000.00	\$ 17,613,460.79	\$ 12,763,460.79	
Diciembre	195995.00	\$ 5,100,000.00	\$ 19,180,146.01	\$ 14,080,146.01	
Total	2237809.00	\$58,850,000.00	\$219,741,420.90	\$160,891,420.90	

VAN	\$ 20,305,453.28
Tasa descuento	10%
TIR	16%

Tabla 44. Evaluación financiera del plan de producción propuesto de la unidad minera El Porvenir

Mes	Producción Mensual (TM)	Costo Total Mensual (USD)	Ingreso Total Mensual (USD)	FLUJO DE CAJA	Inversión
Enero	184517.00	\$ 4,800,000.00	\$ 18,809,295.56	\$ 14,009,295.56	\$70,939,775
Febrero	175134.00	\$ 4,700,000.00	\$ 17,138,735.48	\$ 12,438,735.48	
Marzo	189203.00	\$ 4,900,000.00	\$ 18,515,510.22	\$ 13,615,510.22	
Abril	181926.00	\$ 4,850,000.00	\$ 17,803,371.30	\$ 12,953,371.30	
Mayo	187457.00	\$ 4,950,000.00	\$ 18,344,662.12	\$ 13,394,662.12	
Junio	194055.00	\$ 5,000,000.00	\$ 18,987,235.53	\$ 13,987,235.53	
Julio	189203.00	\$ 4,900,000.00	\$ 18,511,510.22	\$ 13,611,510.22	
Agosto	181441.00	\$ 4,850,000.00	\$ 17,425,868.18	\$ 12,575,868.18	
Septiembre	186778.00	\$ 4,950,000.00	\$ 18,278,198.54	\$ 13,328,198.54	
Octubre	192114.00	\$ 5,000,000.00	\$ 18,800,426.95	\$ 13,800,426.95	
Noviembre	179986.00	\$ 4,850,000.00	\$ 17,613,460.79	\$ 12,763,460.79	
Diciembre	195995.00	\$ 5,100,000.00	\$ 19,180,146.01	\$ 14,080,146.01	
Total	2237809.00	\$58,850,000.00	\$219,408,420.90	\$160,558,420.90	

VAN	\$20,149,812.42
Tasa descuento	10%
TIR	15%

4.2. Contraste de hipótesis

- **Hipótesis general**

Tabla 45. Datos de la hipótesis general

Indicador	Escenario Base	Optimizado	Cambio (%)
Costos Operativos (USD)	\$67.6 millones	\$58.8 millones	-15%
Producción (TM)	2,037,809	2,237,809	10%
Recuperación de Mineral	82%	90%	10%

Hipótesis: La optimización del plan de minado en la unidad minera El Porvenir permite mejorar la rentabilidad del proyecto al reducir costos operativos y maximizar la producción.

Prueba de hipótesis: se utilizó un análisis de sensibilidad económica para evaluar los efectos de la optimización del plan de minado sobre los costos operativos y la producción. La comparación de escenarios (optimizado vs. no optimizado) muestra una reducción significativa de costos del 15 % y un aumento en la producción del 10 %.

Discusión

Los resultados confirman que la optimización propuesta incrementa la rentabilidad del proyecto. La reducción de costos operativos está asociada a una mejor planificación de los recursos y la utilización eficiente de equipos. Además, el incremento en la producción asegura un mayor aprovechamiento de las reservas disponibles.

- **Hipótesis específicas**

Tabla 46. Datos de la hipótesis específica 1

Indicador	Antes	Después	Cambio (%)
Incidentes de Seguridad	50	40	-20%
Eficiencia Operativa (%)	88%	100%	12%

- ✓ Hipótesis 1:

La implementación de tecnologías avanzadas de monitoreo y control operativo mejora la seguridad y la eficiencia en las operaciones mineras.

Prueba de hipótesis: se realizaron simulaciones y un análisis comparativo en proyectos similares que han adoptado tecnologías avanzadas. Los indicadores clave de desempeño mostraron una reducción del 20% en incidentes de seguridad y un aumento del 12% en la eficiencia operativa.

Discusión

Los datos analizados respaldan la implementación de estas tecnologías en la Unidad Minera El Porvenir. La mejora en la seguridad no solo protege a los trabajadores, sino que también reduce los costos asociados a accidentes. Por otro lado, la mayor eficiencia garantiza un uso más efectivo de los recursos, lo que contribuye a la sostenibilidad del proyecto.

✓ Hipótesis 2:

Tabla 47. Datos de la hipótesis específica 2

Indicador	Antes del Programa	Después del Programa	Cambio (%)
Productividad (%)	85%	93%	8%
Tiempos Muertos (%)	12%	10%	-10%

Hipótesis

La capacitación continua del personal técnico y operativo incrementa la productividad y reduce tiempos muertos en las operaciones mineras.

Prueba de hipótesis: se implementó un programa piloto de capacitación durante seis meses, evaluando su impacto mediante indicadores de productividad y tiempos de parada de equipos. Los resultados mostraron un incremento del 8% en productividad y una reducción del 10% en tiempos muertos.

Discusión

La capacitación demostró ser una herramienta clave para mejorar las operaciones. Los trabajadores capacitados presentan un mayor nivel de destreza y compromiso, lo que se refleja en mejores resultados operativos. Además, la reducción de tiempos muertos implica un aumento en la disponibilidad de los equipos y una mejora general en la eficiencia del proceso minero.

4.3. Discusión de resultados

Tabla 48. Indicadores clave del plan de minado propuesto de la unidad minera El Porvenir

Indicadores Clave	Valor Base	Optimizado	Porcentaje de Cambio (%)
Ingresos Anuales (USD)	\$198.6 millones	\$219.4 millones	10%
Costos Operativos Anuales (USD)	\$67.6 millones	\$58.8 millones	-15%
Tonelaje Procesado (TM)	2,037,809	2,237,809	10%
Recuperación de Mineral (%)	82%	90%	10%
Incidentes de Seguridad	50	40	-20%

El análisis de los datos obtenidos confirma la importancia de implementar mejoras estructurales y tecnológicas en las operaciones de la unidad minera El Porvenir. Los ingresos generados por la producción anual alcanzaron los \$219.4 millones USD, respaldados por un tonelaje procesado de 2,237,809 toneladas. Este nivel de producción optimizada es consistente con los objetivos planteados, logrando un aumento del 10 % en la eficiencia general.

En cuanto a los costos operativos, se logró una reducción del 15 %, lo que equivale a ahorros de aproximadamente \$8.8 millones USD en comparación con el escenario base. Esta reducción está directamente relacionada con la implementación de mejores estrategias de transporte, acarreo y uso eficiente de equipos. La optimización del circuito de procesamiento también permitió un aumento del 10% en la recuperación de mineral, lo que genera un impacto positivo en la rentabilidad.

La incorporación de tecnologías avanzadas resultó en un aumento del 12 % en la eficiencia operativa, reduciendo los incidentes de seguridad en un 20 %. Estos avances no solo fortalecieron la sostenibilidad operativa, sino que también mejoraron las condiciones laborales, disminuyendo los costos relacionados con accidentes en un 15 %. La adopción de tecnologías de monitoreo en tiempo real permitió identificar puntos críticos en la operación, asegurando una toma de decisiones basada en datos precisos.

Por último, el programa de capacitación continua implementado durante seis meses demostró ser fundamental para alcanzar los resultados esperados. Con un incremento del 8 % en productividad y una reducción del 10 % en tiempos muertos, el impacto en la disponibilidad

de los equipos fue evidente. Este enfoque integral de formación y tecnología asegura un rendimiento sostenido a largo plazo.

En síntesis, la respuesta a las hipótesis planteadas demuestra que la optimización del plan de minado, junto con la implementación de tecnologías avanzadas y la capacitación continua, resulta en un impacto positivo y medible en la productividad, rentabilidad y sostenibilidad de las operaciones mineras. Estos resultados refuerzan la importancia de una planificación integral que abarque ingresos, costos, tonelaje, equipos y operaciones.

CONCLUSIONES

1. La optimización del plan de minado genera una reducción de costos operativos del 15 % y un aumento del 10 % en la producción. Este impacto mejora el flujo de caja en un 12 %, fortaleciendo la sostenibilidad económica de la operación y garantizando el aprovechamiento eficiente de los recursos disponibles.
2. La adopción de tecnologías avanzadas reduce los incidentes de seguridad en un 20 % y aumenta la eficiencia operativa en un 12 %. Esto contribuye a un entorno laboral más seguro y disminuye los costos relacionados con accidentes en un 15 %, consolidando la estabilidad del proyecto.
3. La capacitación continua mejora la productividad en un 8 % y disminuye los tiempos muertos en un 10 %, lo que aumenta la disponibilidad de equipos clave y reduce interrupciones operativas. Este enfoque permite una mejora general del 9 % en el rendimiento del proceso minero.
4. La implementación de estrategias integradas optimiza los costos totales en un 13 % y asegura la sostenibilidad a largo plazo. Las operaciones eficientizadas contribuyen a un retorno de inversión favorable, destacándose un incremento del 18 % en el valor neto de las operaciones.
5. La planificación anticipada, basada en tecnología y capacitación, mejora en un 15 % la proyección de reservas mineras. Esto garantiza el cumplimiento de las metas de producción anual y reduce la incertidumbre asociada a imprevistos técnicos y logísticos.
6. Las operaciones optimizadas generan un aumento del 10 % en la recuperación de mineral, asegurando un balance positivo en el rendimiento del circuito de procesamiento. Este avance fortalece la rentabilidad global del proyecto al maximizar el valor del material extraído.

RECOMENDACIONES

1. Implementar de manera inmediata el plan de optimización de minado, priorizando las áreas con mayores costos operativos y garantizando una mejora en el flujo de caja superior al 12 % anual.
2. Adoptar tecnologías avanzadas para monitoreo y control operativo que reduzcan incidentes en un 20 % y optimicen el uso de los recursos en un 12 %. Esto permitirá mejorar la seguridad y la sostenibilidad del proyecto.
3. Diseñar un programa permanente de capacitación adaptado a las áreas operativas, con un enfoque en incrementar la productividad en un 8 % y reducir tiempos muertos en un 10%, asegurando la disponibilidad constante de los equipos.
4. Monitorear y evaluar periódicamente los indicadores clave de seguridad y eficiencia, ajustando las estrategias según sea necesario para garantizar un índice de mejora continua superior al 10% anual.
5. Priorizar la inversión en infraestructura de transporte y acarreo que permita una reducción de costos logísticos del 15 %, asegurando una distribución más eficiente y sostenible de los recursos.
6. Realizar un análisis financiero detallado para incorporar escenarios de riesgo que aseguren un retorno sobre la inversión superior al 18 %, fortaleciendo la estabilidad económica y operativa del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAUJO, H. Influencia de presión y rotación en la velocidad de penetración en rimado de una chimenea inclinada 52°, sistema Raise Borer, Mina Uchucchacua, Oyon, 2018. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Trujillo – Perú: Universidad Privada del Norte, 2018, 111 pp.
2. TRUJILLO, V. Costos operativos de la construcción de chimeneas para el mejoramiento del sistema de ventilación en la compañía de minas Buenaventura SAA–Unidad Julcani. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Cerro de Pasco – Perú: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2018, 240 pp.
3. MALLMA, I. Valores interculturales y desarrollo de la ciudadanía en estudiantes de universidades públicas de carreras de ingeniería en la región Junín. Tesis (Doctor en Ciencias de la Educación). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2021, 231 pp.
4. ZANABRIA, D. Análisis del monitoreo microsísmico y su influencia en el comportamiento del macizo rocoso en la Unidad Minera Americana Alpayana SA-2021. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo: Universidad Continental, 2021, 93 pp.
5. MUCHA L., CHAMORRO, R., OSEDA, M. y ALANIA, D. Evaluación de procedimientos empleados para determinar la población y muestra en trabajos de investigación de posgrado. *Desafíos*, 12(1), 50–57.
6. BEDOYA, W. Ejecución de chimenea con el método Raise Boring para la optimización del sistema de ventilación en la unidad minera San Rafael-Minsur-2018. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Ancash: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 2019.

ANEXOS

Anexo 1
Matriz de consistencia

Título del Proyecto: Evaluación y optimización del plan de minado en la Unidad Minera "El Porvenir"				
Problema General: ¿Cómo optimizar el plan de minado para mejorar la rentabilidad y eficiencia				
Elementos	Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis	Metodología
Variable Independiente: Plan de minado optimizado	1. ¿Cuál es el impacto financiero de optimizar el plan de minado?	Determinar el impacto económico de la optimización en costos y producción.	La optimización incrementa la rentabilidad en más del 10%.	Análisis de costos operativos, flujo de caja y VAN.
Variable Dependiente: Rentabilidad y eficiencia	2. ¿Cómo afecta la capacitación y el uso de tecnología a la productividad y seguridad?	Evaluar cómo la capacitación y tecnología mejoran los indicadores clave.	La capacitación reduce tiempos muertos en un 10% y mejora la productividad en un 8%.	Simulaciones operativas, programa piloto de capacitación y análisis de desempeño técnico antes/después.