

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Incremento de la productividad en la unidad minera
Arcata mediante la optimización del método de
explotación corte y relleno ascendente**

Hector Antonio Gallardo Mayta
Sergio Henderson Quintana Misari

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 : Decana de la Facultad de Ingeniería
DE : Faustino Anibal Gutierrez Dañobeitia
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 28 de abril de 2025

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

Título:

Incremento de la productividad en la Unidad Minera Arcata mediante la optimización del método de explotación corte y relleno ascendente

Autores:

1. Hector Antonio Gallardo Mayta – EAP. Ingeniería de Minas
2. Sergio Henderson Quintana Misari – 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"): 9 | 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

Agradecimiento

Agradezco, en primer lugar, a Dios por brindarme la fortaleza y perseverancia necesarias para culminar esta etapa de mi formación profesional.

A la Universidad Continental y a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas, por ofrecerme una educación de calidad y por formar en mí un compromiso con la excelencia y el desarrollo sostenible.

A mis docentes, por su valiosa orientación y por compartir sus conocimientos con dedicación. A mi familia, por su apoyo incondicional, su amor y constante motivación en cada paso de este camino.

También agradezco a mis compañeros de estudios, con quienes compartí experiencias, aprendizajes y desafíos. A todas las personas e instituciones que, directa o indirectamente, contribuyeron a la elaboración de esta tesis, mi más sincero reconocimiento.

Dedicatoria

Dedico este trabajo de tesis, con profundo amor y gratitud, a mi familia, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y fortaleza a lo largo de esta etapa.

A mis padres, por su incansable esfuerzo, sacrificio y por inculcarme los valores de responsabilidad, honestidad y perseverancia. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por estar presentes en cada logro y en cada tropiezo, y por enseñarme que los sueños se alcanzan con esfuerzo y dedicación.

A mis hermanos, por su apoyo silencioso, sus palabras de ánimo y por estar siempre ahí, alentándome a continuar.

Dedico también este logro a mis docentes, por compartir sus conocimientos y formar en mí una visión crítica, técnica y ética de la profesión. A mis amigos y compañeros de carrera, por las experiencias compartidas, por su compañerismo y por ser parte de este camino.

Finalmente, me lo dedico a mí mismo, por la constancia, por no rendirme, y por superar cada desafío con la convicción de que cada paso me acercaba a esta meta.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ASESOR	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	14
1.1. Planteamiento y formulación del problema	14
1.2. Objetivos	15
1.3. Justificación e importancia.....	15
1.4. Delimitación del proyecto	16
1.5. Hipótesis y variables	16
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes de la investigación	18
2.2. Generalidades de la unidad minera Arcata	20
2.3. Bases teóricas.....	28
2.3.1. Método de explotación	28
2.3.2. Sistema de costos.....	29
2.3.3. Ciclo de minado.....	31
2.3.4. Voladura	31
2.3.5. Acarreo y limpieza.....	33
2.3.6. Sostenimiento	33
2.3.7. Transporte de mineral.....	38
2.3.8. Ventilación.....	38
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	40
3.1. Métodos y alcances de la investigación	40
3.2. Población y muestra.....	41
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	41
3.4. Técnicas utilizadas en la recolección de datos	41
3.5. Instrumentos utilizados en la recolección de datos	41
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1. Presentación de resultados	43
4.1.1. Comparativo entre el método de explotación semimecanizado y el método convencional	43

4.2.Discusión de resultados.....	58
4.2.1.Resultado comparativo de operaciones.....	58
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
5.1. Conclusiones.....	63
5.2. Recomendaciones	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Intervalos por calidad de roca geomecánica	25
Tabla 2. Clasificación geomecánica RMR89 de Bieniawski de la veta Nicol	25
Tabla 3. Valorización del macizo rocoso RMR.	26
Tabla 4. Clasificación geomecánica RMR89 de Bieniawski de la caja techo de la veta Nicole	26
Tabla 5. Clasificación geomecánica RMR89 de Bieniawski de la caja piso de la veta	27
Tabla 6. Clasificación geomecánica del macizo rocoso (veta Nicole y su entorno)	28
Tabla 7. Malla de agregados	37
Tabla 8. Rendimiento de operaciones	44
Tabla 9. Resultados de producción mensual	47
Tabla 10. Costos de operación	50
Tabla 11. Criterios para elección de método.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la unidad minera Arcata	21
Figura 2. Geología regional mina Arcata.....	22
Figura 3. Geología regional local Arcata	23
Figura 4. Ciclo de minado Arcata	31
Figura 5. Esquema de carga de voladura controlada en taladros de la corona.....	32
Figura 6. Esquema de carga con inclinación para voladura de tajos	33
Figura 7. Microscopio Sandvick LH-201 de 0.75 yd ³	33
Figura 8. Esquema de puntales de seguridad	34
Figura 9. Esquema del armado de un cuadro	34
Figura 10. Esquema del armado de un cuadro	35
Figura 11. Esquema del armado de un cuadro	36
Figura 12. Esquema de la malla electrosoldada.....	38
Figura 13. Raise Borer, extractor principal del circuito Marión	39
Figura 14. Comparación de métodos para la ventilación	44
Figura 15. Comparación de métodos para el sostenimiento	45
Figura 16. Comparación de métodos para la perforación	45
Figura 17. Comparación de métodos para la voladura.....	46
Figura 18. Comparación de métodos para la limpieza.....	46
Figura 19. Frente de trabajo	47
Figura 20. Medida de disparos por día.....	47
Figura 21. Medida de tiempo de corte	48
Figura 22. Corte por mes	48
Figura 23. Toneladas por disparo.....	49
Figura 24. Tonelaje	49
Figura 25. Costos de preparaciones	50
Figura 26. Costos de sostenimiento	51
Figura 27. Costos de explotación.....	51
Figura 28. Costos de limpieza.....	52
Figura 29. Costos de servicios generales	52
Figura 30. Costos de gastos generales	53
Figura 31. Total de costos.....	53
Figura 32. Tonelaje de producción	54
Figura 33. Costo del tajo.....	54
Figura 34. Explotación del tajo	55

Figura 35. Riesgos de seguridad	55
Figura 36. Producción en tonelaje	56
Figura 37. Costo de explotación	56
Figura 38. Dilución	57
Figura 39. Tiempo de explotación	57

RESUMEN

Aumentar la productividad es crucial para mejorar la calidad de vida de la sociedad, ya que sugiere un mayor potencial para aumentos salariales y rentabilidad del capital, lo que impulsará la inversión, la creación de empleo y la expansión económica. Esta investigación es el resultado de una decisión personal tomada con comprensión de la situación y realidad actuales. El problema radica en la falta de un estándar definido para los ciclos de minería, lo que obstaculiza una mejora en los rendimientos en todo el proceso, especialmente en la región de los tajeos. El miedo al cambio en el uso de tecnología de vanguardia en la voladura de bancos, que tiene como objetivo aumentar la cantidad de mineral fracturado en cada disparo y así acelerar el proceso minero, es otro desafío. La adición de equipo de voladura adicional y otros tipos de perforación de banco mejora el progreso de la tesis. De igual manera, se deben crear nuevos criterios operativos para lograr el máximo rendimiento y, posteriormente, mejorar el nivel de producción de la Unidad Minera Arcata. Entendiendo todo esto, podremos aumentar la producción, prevenir accidentes y mantener a la empresa siempre en la primera línea de las nuevas minas en Perú. Tratar de disminuir los costos es esencial entender todos los procesos de las operaciones, destacando especialmente el ciclo de minado. Para maximizar el método de minería de corte y relleno y aumentar la productividad, es esencial identificar las fallas operativas. Mejorar la técnica de minería de corte y relleno es el objetivo para aumentar la producción.

Palabras clave: productividad, ciclo de minería, voladura, corte y relleno ascendente

ABSTRACT

It is essential to increase productivity to raise society's standard of living, since this implies a greater potential to increase wages and increase the profitability of invested capital, motivating investment, increased employment, and economic development. With the awareness of the reality and the current issue, this research is initiated by own decision. The problem lies in the lack of a defined standard for mining cycles, which hinders an improvement in performance throughout the process, especially in the stope region. Another difficulty is the fear of change regarding the use of innovative technologies in blasting stopes, with the aim of increasing the amount of mineral broken per shot and thus speeding up the mining process. The development of the thesis is improved with the introduction of new blasting accessories and drilling varieties in the stopes. Likewise, new operational criteria must be defined to achieve maximum performance and, consequently, increase the production level of the Arcata Mining Unit. By understanding all this, we will be able to increase production, prevent accidents and keep the company always at the forefront of new mines in Peru. To reduce costs, it is essential to understand all the processes of the operations, especially the mining cycle. It is crucial to detect weaknesses in the operations process, to optimize the up-cut and fill mining method to increase production. The objective is to improve the up-cut and fill mining method to increase production.

Keywords: productivity, mining cycle, blasting, cut and fill up

INTRODUCCIÓN

En este momento, Compañía Minera Arcata S. A.-Arequipa utiliza estructuras subterráneas, incluyendo galerías, pozos y drenes, entre otros, para recuperar oro mediante el proceso de corte y relleno mecánico.

Se descubrieron fallas en el patrón de perforación, uso excesivo de explosivos y accesorios de voladura, y una insuficiente dispersión de perforación durante una evaluación de las actividades de la unidad de perforación y voladura en la explotación actual del yacimiento. Se encontraron altos costos de producción como resultado de este examen debido a varios problemas en el patrón de perforación. Se ha sugerido evaluar las actividades de la unidad de perforación como solución a este problema.

Debido principalmente a la volatilidad de los precios de los metales y no metales en los mercados nacionales y extranjeros, la minería se está volviendo cada vez más competitiva a nivel mundial. Como resultado, entre otras cosas, los mineros se han visto obligados a aumentar la producción, integrar tecnología en sus operaciones y cumplir con regulaciones ambientales y estándares de seguridad más estrictos.

Por lo tanto, para mejorar el método de explotación, aumentar la producción y convertir el yacimiento minero en un negocio rentable, es esencial perfeccionar el método de explotación con la ayuda de tecnologías emergentes, estándares de trabajo óptimos que faciliten un diseño óptimo y un plan minero para dicha explotación que genere mayores ingresos actuales.

Para aumentar la producción y lograr una mayor rentabilidad, el proceso de minería de corte y relleno debe mejorarse mediante un rendimiento superior en las operaciones unitarias de minería (paradas).

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

A lo largo de la historia, el papel de las plataformas largas en la minería y su ubicación en diversos sectores mineros del país estuvo limitado por factores estructurales (tipo de yacimiento y extensión de la minería) y tecnología (equipos que realizan métodos de minería en plataforma).

Debido principalmente a la volatilidad de los precios de los metales y no metales en los mercados nacionales y extranjeros, la minería se está volviendo cada vez más competitiva a nivel mundial.

Por lo tanto, es crucial refinar específicamente el método de explotación con la ayuda de tecnologías emergentes y estándares de trabajo óptimos que faciliten tener un diseño óptimo y un plan minero para dicha explotación con el fin de aumentar la producción y perfeccionar el método de explotación propuesto, lo que convertirá el yacimiento minero en un negocio lucrativo y rentable. Esto aumentará los ingresos en el presente.

1.1.1. Problema general

- ¿Cómo llevar a cabo la mejora del método de explotación de corte y relleno ascendente para aumentar la producción en la Unidad Minera Arcata?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cómo aumentará la producción con la utilización de nuevos accesorios de voladura, considerando las condiciones de los tajeos?

- ¿Qué políticas de control y medición de las operaciones unitarias se deben considerar para mejorar el desempeño y la eficiencia?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Establecer el procedimiento para optimizar el método de extracción y de esta manera aumentar la producción en la Unidad Minera Arcata.

1.2.2. Objetivos específicos

- Establecer los estándares generales para la utilización de nuevos accesorios de voladura para incrementar los indicadores de productividad.
- Mejorar la productividad y eficiencia con la gestión del talento humano en la voladura en el método de cámaras y pilares en Compañía Minera Poderosa S. A.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación

La extracción de minerales es solo un paso en los muchos procesos que resultan en la adquisición del metal. Sin tener en cuenta el intrincado proceso completo, las dificultades de extracción no pueden resolverse. Como resultado, una técnica de extracción que impida que las inclusiones estériles del material mineralizado permanezcan en los relaves debe ser rechazada, ya que podría resultar en un costo de concentración inconmensurablemente alto.

La necesidad de optimizar el potencial productivo del yacimiento minero, mejorar el diseño y el plan de explotación, introducir nuevas indicaciones y modernizar la tecnología relacionada con el uso de accesorios de voladura es lo que impulsó esta investigación.

Para estar dentro de las empresas competitivas, es decir, de las que se desarrollan de manera sostenida, surge la preocupación por este objetivo. Una serie de instrumentos que se utilizan frecuentemente en todas las empresas están disponibles para esto, incluyendo tecnología de la información, sistemas de información, planificación y gestión operativa, y diseño.

1.3.2.Importancia

Según esta investigación, la reflexión sobre la gestión estratégica, un proceso en el que el gerente general y las personas importantes en su entorno inmediato participan, es crucial para definir la visión de la empresa sobre el control de pérdidas en el futuro. gestionar los peligros y debilidades internas y externas de las empresas mineras para transformar sus problemas en uno con más posibilidades y fortalezas.

El entorno laboral y el crecimiento de la participación de los miembros son los temas directos de la importancia de este estudio. Los procedimientos de gestión administrativa, de personas y de tecnología están todos relacionados con el alcance que se logrará. La investigación será el núcleo para la elaboración de prototipos, que nos permitirán reconocer los desafíos que surgen en las minas de Perú en relación con la optimización de la productividad.

1.4. Delimitación del proyecto

Las secciones Mariana, Alexia, Marion y Amparo de la compañía minera Arcata S.A. - Arequipa conforman el proyecto de estudio.

1.5. Hipótesis y variables

1.5.1.Hipótesis general

- La mejora del proceso de explotación con parámetros novedosos y la incorporación de accesorios de voladura más avanzados en el sistema de inicio de la voladura facilitará el aumento de la producción.

1.5.2.Hipótesis específicas

- El uso de nuevos componentes de voladura en los tajeos incrementará el tonelaje de mineral por disparo en la Unidad Minea Arcata.
- Mediante la implementación de los nuevos indicadores, se alcanzarán criterios de trabajo ideales en cada fase del ciclo de minado en la Unidad Minea Arcata.

1.5.3. Variables

- **Variable dependiente**

Incremento en la producción en la Unidad Minera Arcata:

- ✓ Indicadores
- Los parámetros del método de explotación.

- Productividad
- Aplicación en base a criterios.
- Costo de metales.
- Estrategias de planificación a largo, mediano, corto plazo.

- **Variable independiente**

Optimización del procedimiento de extracción en la Unidad Minera Arcata:

✓ Indicadores:

- Reservas.
- Limitaciones para el minado
- Poca disposición al cambio
- Análisis costo, volumen, utilidad.

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

- Rivas y Ugarte (2022) en su tesis titulada: “*Optimizar el proceso de fortificación de minera Florida*”, presentada en la Universidad de las Americas, Chile, Investigan la mina Florida, que utiliza un enfoque de explotación por niveles para recuperar minerales valiosos como Au, Ag y Zn. La mina está situada en la comuna de Alhué, en el área metropolitana. Dependiendo de la importancia de la galería, se necesitan diferentes formas de fortificación o soporte para la excavación de galerías de preparación, desarrollo y producción que deben permanecer estables durante períodos de tiempo variados. El proceso de fortificación implica la colocación de hormigón proyectado, malla y varios tipos de pernos de roca. La profundidad, el tamaño y las características geomecánicas de la mina requieren el uso de varios estilos de fortificación, que son completados por una empresa contratista. Los últimos meses han mostrado fluctuaciones mensuales notables en el costo de la fortificación por metro lineal, lo que puede indicar desperdicio de material, uso excesivo o cambios en los requisitos de estabilidad (1).
- Valencia (2009), en su tesis titulada: “*Método de minado corte y relleno*” presentada en la Universidad Nacional Autónoma de México. En la investigación, se muestra que el método de corte y relleno es flexible y selectivo y puede manejar objetos irregulares. En propiedades de minerales de alta ley, el método de recuperación de bajo impacto se utiliza para extraer yacimientos de menos de 3 metros de espesor para derribar los minerales y abrir completamente el sitio de la mina para llegar a la zona de trabajo correcta. La altura del campo sirve como superficie de trabajo. La excavación se realizará cortando a lo ancho y

largo de la ranura, actuando el extremo del hueco como superficie libre, proporcionando el suelo original entre base y base (2).

- Villacrés (2016) en su tesis titulada: “*Optimización de costos al sistema de explotación subterránea en la veta Kathy de la Empresa Produmin S.A.*” presentada en la Universidad Central de Ecuador, demuestra cómo la minería subterránea ha visto avances técnicos sustanciales a lo largo del tiempo con el objetivo de controlar los costos que optimizan la efectividad de todas las actividades mineras, tanto bajo tierra como en la superficie. Utilizando el proceso de corte y relleno ascendente, Produmin S.A., una empresa minera, opera la concesión minera Bella Rica en la provincia de Azuay, cantón y parroquia de Camilo Ponce Enríquez. Con una producción diaria de 100 t y alrededor de 500 personas tanto dentro como fuera de la mina, cuenta con los permisos legales para la minería a pequeña escala. Dado que la explotación existente de la empresa minera no es tecnológica, se recomienda que el proyecto de investigación adopte y optimice estándares operativos completos para reducir los costos de las actividades unitarias en el ciclo minero (3).

2.1.2. Antecedentes nacionales

- Saravia (2014) en su tesis de grado titulada: “*Operaciones en mina subterránea Marcapunta Norte-Brocal*”, presentada en la Universidad Nacional de Ingeniería, Perú. Este estudio muestra que los principales aspectos considerados en el diseño de taludes incluyen el comportamiento mecánico de los materiales formadores del talud, su capacidad portante y deformaciones, así como las variables geológicas que caracterizan la zona y macizo rocoso en el que se ubica el talud. . La compresibilidad, la cohesión de la roca, la densidad de la roca y el ángulo interno de fricción se consideran válidos y correctos. Asimismo, este rango cubre aquellos calculados teóricamente, que incluyen módulos de elasticidad y propiedades de discontinuidad como espaciamiento y rigidez, así como los asumidos en el desarrollo de modelos numéricos donde el número de elementos es apreciable (4).
- Catillo (2018) en su tesis de grado denominada: “*Incremento de la producción mediante el método de explotación de corte y relleno ascendente semimecanizado en el tajo 767, Cía. minera Caudalosa S. A. 2018*” presentada en la Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, proporciona una descripción general de los factores clave para mejorar la productividad de los procesos mineros en sistemas de procesos mecanizados, particularmente para operaciones de limpieza y perforación. Con ello, la meta es incrementar significativamente la productividad del Pozo 767 mediante minería de relleno semimecanizada. Con base en los resultados del relevamiento, la evaluación económica

permitió identificar a la minería semimecanizada como la mejor alternativa a la minería convencional. Este método proporciona mayor seguridad y versatilidad que en todos los casos, y las mejoras en el rendimiento operativo del foso 767 son evidentes en cualquier caso ya que el cucharón simplifica las operaciones de limpieza y llenado (5).

- Pacahuala (2015), en su tesis de grado denominada: “*Reducción de costos operativos en desarrollos mediante actualización de estándares en perforación y voladura, caso de la empresa especializada Mincotrall S. R. L.*”, presentada en la Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, afirma que la necesidad de adherirse a los planes de avance de la organización, incluyendo actividades de investigación, desarrollo y preparación, para llevarlas a cabo de manera efectiva teniendo en cuenta su importancia financiera, ha impulsado la creación continua de modalidades destinadas a producir mejores resultados. Además, la actividad de perforación y voladura, que es el primer trabajo en la operación, es necesaria para muchas de las actividades que siguen. La creación de este trabajo se ve impulsada por la necesidad de examinar el impacto económico de la ausencia de un sistema de control integral o un sistema de productividad efectivo, lo que aumenta los gastos operativos. uso de taladros largos en vetas para producir minerales a un costo mínimo, que incorporan una especie de crecimiento económico en todos los ámbitos sociales y de producción que satisfacen los requisitos fundamentales de la minería moderna, ahora es esencial (6).

2.2. Generalidades de la unidad minera Arcata

2.2.1. Ubicación e infraestructura disponible

La unidad Arcata está ubicada en el departamento sureño peruano de Arequipa, a unos 300 km. de la ciudad, y cubre 47,000 ha. de terreno a una altitud de 4,600 metros sobre el nivel del mar. La empresa subterránea Arcata es de nuestra propiedad en su totalidad. La mina Arcata fue preparada y desarrollada por la empresa en 1961, y la producción primigenia de concentrado fue comprada en 1964.



Figura 1. Ubicación de la unidad minera Arcata
Tomada de Unidad Minera Arcata

2.2.2. Geología regional

Varios depósitos epitermales de plata y oro en la región, incluyendo Caylloma, Suycutambo, Orcopampa, Ares y otros, están genéticamente conectados al depósito de Arcata, que se sitúa en la porción sur de la cordillera de los Andes. Arcata está ubicada en un amplio arco volcánico de la era Mioceno, que es característico de los márgenes continentales de la región y está compuesto por rocas volcanoclásticas con una afinidad calc-alkalina y lavas intermedias a ácidas. Las capas sedimentarias jurásico-cretácicas se depositan discordantemente sobre la serie volcánica.

El distrito de Arcata está definido por dos conjuntos de alineaciones regionales que apuntan al noroeste y noreste, respectivamente, las cuales actuarían paralelas y transversales al arco volcánico mioceno. Se identifica una estructura redonda con un diámetro de aproximadamente 15 kilómetros cuando se superpone a estas alineaciones. Con un domo riolítico en su núcleo, podría ser una estructura de colapso asociada con la erupción volcánica. En este contexto, las venas de Arcata están ubicadas con respecto a las fracturas arqueadas, extendiéndose hacia el borde noreste de la formación circular y paralelas a su perímetro..

En Arcata, las rocas volcánicas adquieren mayor importancia ya que contienen la mayoría de las formaciones mineralizadas, mientras que las rocas sedimentarias de diversas composiciones erupcionan y crean el basamento de la región. Las propiedades fisicoquímicas

del depósito de Arcata permiten categorizarlo como un depósito epitelial de metales preciosos de baja sulfidación de adularia-sericita.

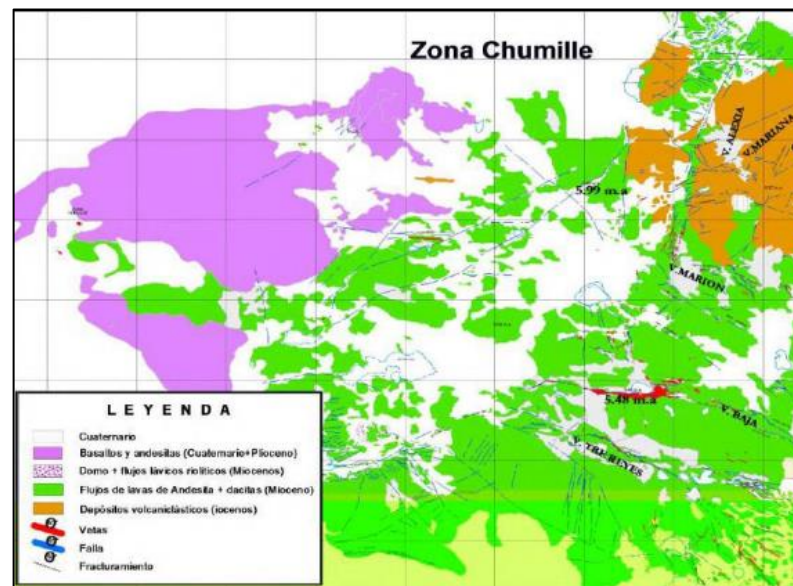


Figura 2. Geología regional mina Arcata
Tomada del Departamento de Geología mina Arcata.

2.2.3. Geología local

Flujos de lava andesíticos a dacíticos gruesos intercalados con rocas volcanoclásticas primarias y reprocesadas constituyen la geología de la mina Arcata, que representa la distribución de afloramientos en dos escalas distintas. Las lavas porfiríticas contienen fenocristales de minerales ferromagnesianos, principalmente piroxenos en forma de aguja y láminas de biotita, así como plagioclasas tabulares. Se han encontrado algunos fenocristales de cuarzo en varias lavas.

Típicamente, los fenocristales están dispersos sobre una matriz afanítica que varía de gris medio a gris oscuro. Los fenocristales están dispuestos mayormente de manera aleatoria, aunque en ciertos lugares hay una alineación que sugiere cierta flexibilidad. Estos flujos de lava son típicamente enormes, muestran una fracturación columnar o tienen decenas de metros de espesor. Los depósitos de lava observados están intercalados con una robusta sucesión de rocas volcanoclásticas, formadas principalmente por rocas volcanoclásticas retrabajadas y flujos piroclásticos iniciales. Las brechas soportadas por matriz que componen los piroclastos primarios a menudo están formadas por muchos fragmentos de pumita subredondeados a alargados que tienen un diámetro/longitud de tres centímetros. Los litosclastos son menos frecuentes, tienen formas angulares, difieren en composición y son a menudo la fragmentación de rocas volcánicas porfiríticas de composición intermedia a ácida.

Las estructuras de vetas de la mina Arcata son parte de una fuerte secuencia de rocas volcánicas que data desde el Mioceno tardío hasta el Plioceno. Además de los flujos andesíticos intercalados con brechas de la misma composición, estas rocas están compuestas principalmente de lentes pseudoestratificados de toba y tofanita compactada. La base de esta serie volcánica está compuesta por flujos de ignimbrita riolítica, que tienen una antigüedad de 6.3 millones de años según la datación radiométrica. Desde el suroeste hasta el noreste de Arcata, los domos volcánicos riolíticos emergen de las rocas volcánicas.

Estos domos tienen 5.4 millones de años, según sus fechas radiométricas. Sobre las rocas huésped alteradas, que parecen haber sido expulsadas de muchos conos volcánicos en el depósito y sus alrededores, se encuentran rocas volcánicas post-minerales más recientes e inalteradas con una composición andesítica-basáltica.

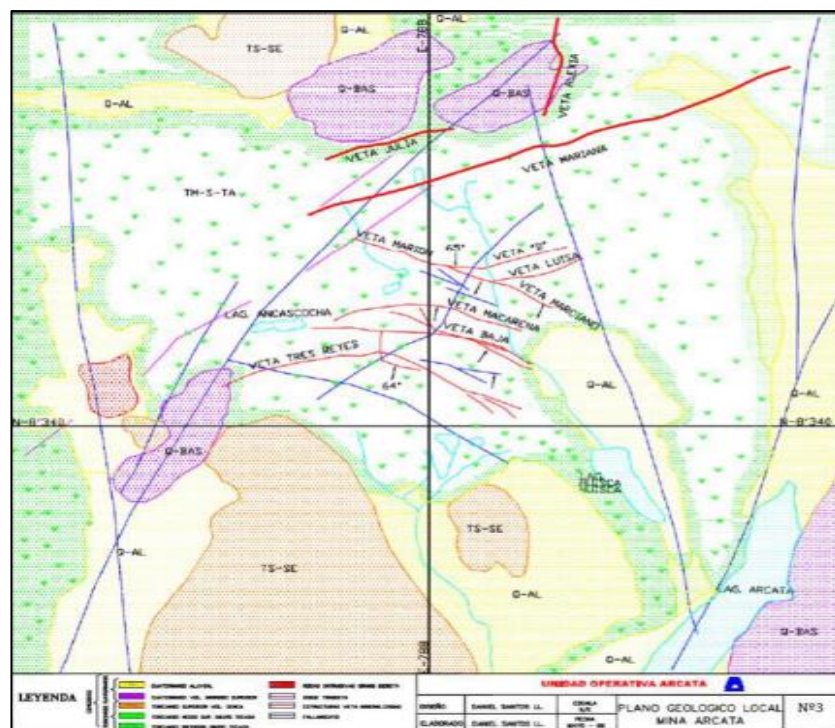


Figura 3. Geología regional local Arcata
Tomada del Departamento de Geología mina Arcata.

2.2.4. Estructura geológica

Las estructuras alrededor de la mina muestran evidencia de intensa actividad tectónica en la zona, que puede haber sido provocada por el levantamiento andino del Pleistoceno. Las numerosas características existentes, como fallas o fisuras, han sido marcadas por estas presiones tectónicas y se categorizan según cuándo fueron producidas.

Las fallas gravitacionales que contienen las vetas alta, baja y Consuelo están entre las fallas y fracturas pre-minerales más significativas. La tendencia general de estas fallas es NW y SW, con una inclinación promedio de 60° SW. A lo largo de tres kilómetros, el escarpe de la falla de la veta alta es claramente evidente. En contraste la veta Consuelo posee un recorrido de un 1000 metros, la veta inferior es visible a lo largo de 2.5 kilómetros.

Marciano y Marión son dos de las fisuras más significativas, aunque Tres Reyes, Lucrecia y Alexia, las fisuras donde se encuentran las vetas, son menos significativas. Las vetas previamente delineadas no han sido muy afectadas por las fallas y fracturas post-mineralización, que son el resultado de procesos orogénicos epirogénicos que han causado que el plegamiento y la fracturación ocurran de manera diagonal o transversal a los sistemas mineralizados.

2.2.5. Mineralogía

La mineralización del distrito de Arcata se encuentra en vetas subparalelas que son continuas, bien desarrolladas y que principalmente tienen una tendencia noroeste. Aunque son estructuras pequeñas que rara vez forman venas significativas, hay algunas que están colocadas transversalmente en un ángulo agudo con respecto a las mencionadas anteriormente. Las vetas varían en grosor desde unos pocos centímetros hasta más de diez metros y tienen texturas de rellenos de espacios abiertos como bandas costiformes, crecimientos en forma de peine y huecos en sección transversal. Tanto horizontal como verticalmente, las vetas mineralizadas son a menudo continuas. Como se observa en la imagen No. 7, la mineralización que consiste en plata con niveles variables de oro y metales base puede categorizarse como epitelial de sulfidación moderada a baja.

La propilitización, la alteración hidrotermal más común, se caracteriza por la alteración de clorita de los minerales máficos y en la matriz volcánica, mientras que la sericita y/o la calcita cambian las plagioclasas de débilmente a fuertemente.

Hay un fuerte metasomatismo potásico cerca de las vetas, lo cual se indica a través de la existencia de adularia y cuarzo, plagioclasas que a menudo están sericitizadas, minerales máficos cloritizados y una gran cantidad de piritita dispersa. Dentro de las secciones más elevadas, se ha identificado marcasita en cavidades y filones. La alteración propilitica frecuentemente presenta silicificación y alteración potásica superpuestas, brindando a la roca una imagen de brecha, una estructura similar a un rompecabezas y una profusión de vetas de cuarzo-adularia.

2.2.6. Caracterización geomecánica

La estructura de la masa rocosa en el área ha sido categorizada utilizando el método de clasificación de masas rocosas RMR89 de Bieniawski.

En las estaciones (líneas detalladas) dispuestas espacialmente en la galería Nicole en el Nivel 4465, se recopiló información sobre lo siguiente: la dirección de las discontinuidades, la resistencia a la compresión uniaxial de la roca, el nivel de fracturación, la distancia entre discontinuidades, el estado de las fracturas (persistencia, apertura, rugosidad, relleno y meteorización) y la presencia de agua subterránea.

Tabla 1. Intervalos por calidad de roca geomecánica

TIPO ROCA	CLASE	COLOR	R.M.R.
BUENA	II	VERDE	61 - 80
REGULAR - A	III - A	VERDE CLARO	51 - 60
REGULAR - B	III - B	AMARILLO	41 - 50
MALA - A	IV - A	ANARANJADO	31 - 40
MALA - B	IV - B	ROJO	21 - 30
MUY MALA	V	MARRON	< 20

Tomada del Departamento de Geomecánica de Minera Arcata

Tabla 2. RMR89 de Bieniawski de la veta Nicol, clasificación geomecánica.

Progresiva (m)	RCU	RQD	ESP(m)	PERS(m)	APERT (mm)	RUG	RELLENO	INTEMP	AGUA	RMR (Bas.)	COLOR	CALIDAD DE ROCA
0.0	1.0	7	13	8	1	5	5	4	3	10	56	REGULAR A
1.0	6.0	7	13	8	1	6	3	6	5	10	59	
6.0	7.0	7	13	8	4	5	3	4	2	10	56	
7.0	9.0	7	3	5	4	5	1	4	3	10	42	REGULAR B
9.0	10.0	7	20	15	2	6	0	6	5	10	71	BUENA
10.0	13.0	7	3	5	4	6	1	6	5	10	47	REGULAR B
13.0	16.0	7	13	8	4	6	1	6	5	10	60	REGULAR A
16.0	17.0	7	13	8	4	4	1	2	5	10	54	
17.0	18.0	7	13	8	4	5	1	4	5	10	57	
18.0	26.0	7	13	8	4	6	1	6	5	10	60	
26.0	27.0	7	13	8	2	5	3	6	5	10	59	
27.0	29.0	7	13	8	2	5	1	4	3	10	53	
29.0	31.0	7	13	8	4	6	1	6	5	10	60	
31.0	34.0	7	13	8	4	6	1	6	5	10	60	
34.0	37.0	7	17	10	2	5	1	4	5	10	61	
37.0	40.0	7	20	15	2	6	1	6	6	10	73	BUENA
40.0	45.0	7	13	8	4	4	1	4	3	10	54	REGULAR A
45.0	46.0	7	13	8	4	6	0	6	5	4	53	
46.0	48.0	7	13	8	4	5	1	6	5	4	53	
48.0	54.0	7	13	8	4	5	1	6	5	4	53	
54.0	58.0	7	17	10	2	4	3	4	3	4	54	
58.0	63.0	7	13	8	4	6	0	6	5	4	53	
63.0	67.0	7	13	8	4	6	1	6	5	4	54	
67.0	69.0	7	13	8	2	1	3	2	3	7	46	REGULAR B
69.0	72.0	7	13	8	2	6	0	6	5	4	51	REGULAR A
72.0	73.0	7	17	10	4	6	1	6	5	7	63	BUENA
73.0	75.0	7	13	8	4	5	1	1	3	7	49	REGULAR B
75.0	76.0	7	20	15	1	0	1	2	3	7	56	REGULAR A
76.0	81.0	7	17	10	2	6	1	6	5	10	64	BUENA
81.0	83.0	7	13	8	4	5	1	6	5	10	59	REGULAR A
83.0	84.0	7	13	8	4	6	1	6	5	10	60	
84.0	86.0	7	20	15	4	5	1	6	5	10	73	BUENA
86.0	89.0	7	13	8	4	6	1	6	5	10	60	REGULAR A
89.0	92.0	7	13	8	4	5	1	6	5	10	59	
92.0	93.0	7	13	8	4	6	3	6	6	10	63	BUENA
93.0	96.0	7	13	8	4	5	1	4	5	10	57	REGULAR A
96.0	97.0	7	13	8	4	6	1	6	5	10	60	
97.0	98.0	7	13	8	2	1	5	2	3	10	51	
98.0	101.0	7	13	8	2	1	5	2	3	10	51	
101.0	102.0	7	13	8	2	1	3	2	3	10	49	REGULAR B
102	103	7	13	8	4	1	3	4	3	10	53	REGULAR A

Tomada de Geomecánica de Minera Arcata

Tabla 3. Valorización del macizo rocoso RMR.

VALORIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (RMR)											
PARAMETRO	RANGO DE VALORES								VALOR ESTIMADO	VALOR	
RESIS. COMPRES. UNIAxIAL (Mpa)	> 250	15	100 - 250	12	50 - 100	7	25 - 50	4	<25 (2) <5 (1) <1	0	
RQD %	90 - 100	20	75 - 90	17	50 - 75	13	25 - 50	8	< 25	3	
ESPACIAMIENTO	> 2m	20	0,6m - 2m	15	0,6m - 0,2 m	10	0,2m - 0,06m	8	< 0,06m	5	
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	< 1m	6	1m - 3m	4	3m - 10m	2	10m - 20m	1	> 20m	0
	APERTURA	Cerrada	6	< 0,1 mm.	5	0,1mm - 1mm	4	1mm - 5 mm	1	> 5mm	0
	RUGOSIDAD	Muy rugosa	6	Rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla	0
	RELLENO	Limpia	6	Duro < 5mm	4	Duro > 5mm	2	Suave < 5mm	1	Suave > 5mm	0
	INTERPERIZACIÓN	Sana	6	Lig. Intempe.	5	Mod. Intempe.	3	Muy intempe.	2	Descompuesta	0
AGUA SUBTERRANEA	Seco	15	Humedo	10	Mojado	7	Goteo	4	Flujo	0	
CLASE DE MACIZO ROCOSO											
RMR	61 - 80	51 - 60	41 - 50	31 - 40	21 - 30	< 20					
DESCRIPCIÓN	II - BUENA	III - A REGULAR A	III - B REGULAR B	IV - A MALA A	IV - B MALA B	V - MUY MALA					

Unidad de ejecución Arcta

Tabla 4. RMR89 de Bieniawski, clasificación geomecánica, para la caja techo de la veta Nicole.

RCU(Mpa)	Progresiva (m)		RCU	RQD	ESP(m)	PERS(m)	APERT (mm)	RUG	RELLENO	INTEMP	AGUA	RMR (Bas.)	COLOR	CALIDAD DE ROCA
44	0.0	2.0	4	13	8	2	1	6	4	5	15	58		REGULAR A
44	2.0	4.0	4	13	8	6	1	5	4	5	15	61		BUENA
32	4.0	6.0	4	17	10	2	1	6	4	5	15	64		
62	6.0	6.3	7	13	8	6	4	3	4	5	15	65		
62	6.3	8.0	7	13	8	2	1	5	4	5	15	60		REGULAR A
52	8.0	10.0	7	17	10	2	4	5	4	5	15	69		BUENA
67	10.0	12.0	7	17	10	2	4	5	4	6	15	70		
48	12.0	14.0	4	13	8	2	4	5	4	6	15	61		
79	14.0	16.0	7	13	8	2	4	5	4	6	15	64		
85	16.0	16.2	7	13	8	4	4	5	4	6	15	66		
85	16.2	16.8	7	17	10	6	4	3	4	6	15	72		
75	16.8	20.0	7	13	8	6	4	3	4	6	15	66		
85	20.0	20.8	7	13	8	2	4	3	4	5	15	61		
85	20.8	22.0	7	13	8	4	4	3	4	5	15	63		
48	22.0	24.0	4	17	10	4	4	3	4	5	15	66		
57	24.0	24.5	7	13	8	4	4	3	4	6	15	64		
57	24.5	25.0	7	17	10	4	4	3	4	6	15	70		
57	25.0	26.0	7	13	8	6	4	3	4	6	15	66		
67	26.0	26.5	7	13	8	4	4	3	4	5	15	63		
67	26.5	28.0	7	13	8	2	4	3	4	5	15	61		
62	28.0	28.5	7	17	10	2	4	3	4	5	15	67		
62	28.5	29.0	7	13	8	4	4	3	4	6	15	64		
62	29.0	29.3	7	13	8	6	4	3	4	6	15	66		
62	29.3	30.0	7	17	10	2	4	3	4	6	15	68		
76	30.0	30.3	7	13	8	4	4	3	4	6	15	64		
76	30.3	32.0	7	17	10	4	4	3	4	5	15	69		
62	32.0	34.0	7	17	10	2	4	3	4	5	15	67		
41	34.0	34.5	4	17	10	2	4	3	4	5	15	64		
41	34.5	36.0	4	17	10	4	4	3	4	6	15	67		
76	36.0	36.5	7	13	8	4	4	3	4	6	15	64		
76	36.5	37.0	7	13	8	2	1	5	4	6	15	61		
76	37.0	38.0	7	13	8	4	4	5	4	5	15	65		
48	38.0	40.0	4	20	15	2	4	5	4	5	15	74		
73	40.0	42.0	7	17	10	4	4	5	6	6	15	74		
76	42.0	44.0	7	20	15	4	6	3	6	6	15	82		
59	44.0	44.5	7	20	15	6	4	5	4	6	15	82		
59	44.5	45.0	7	13	8	2	4	3	4	5	15	61		
59	45.0	46.0	7	20	15	6	6	5	6	6	15	86		
70	46.0	46.5	7	13	8	2	4	3	4	5	15	61		
70	46.5	48.0	7	20	15	6	6	5	6	5	15	85		
48	48.0	50.0	4	17	10	2	4	3	4	6	15	65		
82	50.0	50.5	7	13	8	2	4	3	4	5	15	61		
82	50.5	52.0	7	17	10	4	6	3	6	6	15	74		
44	52.0	54.0	4	17	10	2	4	3	6	5	15	66		
85	54.0	56.0	7	17	10	2	4	3	6	5	15	69		
57	56.0	58.0	7	17	10	2	1	3	6	5	15	66		
52	58.0	60.0	7	17	10	2	1	3	1	5	15	61		
57	60.0	62.0	7	13	8	2	4	3	1	5	15	58		REGULAR A
70	62.0	64.0	7	13	8	2	1	5	4	5	15	60		BUENA
67	64.0	68.0	7	13	8	4	4	5	4	6	15	66		
73	68.0	72.0	7	13	8	2	4	5	4	5	15	63		
62	72.0	74.0	7	17	10	2	4	5	4	6	15	70		
52	74.0	76.0	7	13	8	2	4	3	4	6	10	57		REGULAR A
73	76.0	78.0	7	20	15	4	4	3	4	6	15	78		BUENA
73	78.0	80.0	7	20	15	2	1	5	6	6	15	77		
52	80.0	82.0	7	17	10	2	6	3	6	6	15	72		
52	82.0	83.0	7	17	10	2	1	3	2	5	10	57		REGULAR A
52	83.0	84.0	7	17	10	4	5	3	4	6	10	66		BUENA
52	84.0	86.0	7	17	10	4	5	3	4	6	15	71		

Tabla 4. Valorización del macizo rocoso RMR.

VALORIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (RMR)										
PARAMETRO	RANGO DE VALORES								VALOR ESTIMADO	VALOR
RESIS. COMPRES. UNIAxIAL (Mpa)	> 250	15	100 - 250	12	50 - 100	7	25 - 50	4	<25 (2) <5 (1) <1	0
RQD %	90 - 100	20	75 - 90	17	50 - 75	13	25 - 50	8	< 25	3
ESPACIAMIENTO	> 2m	20	0.6m - 2m	15	0.6m - 0.2 m	10	0.2m - 0.06m	8	< 0.06m	5
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	< 1m	6	1m - 3m	4	3m - 10m	2	10m - 20m	1	> 20m
	APERTURA	Cerrada	6	< 0,1 mm.	5	0,1mm - 1mm	4	1mm - 5 mm	1	> 5mm
	RUGOSIDAD	Muy rugosa	6	Rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla
	RELLENO	Limpia	6	Duro < 5mm	4	Duro > 5mm	2	Suave < 5mm	1	Suave > 5mm
	INTEMPERIZACIÓN	Sana	6	Lig. Intempe.	5	Mod. Intempe.	3	Muy intempe.	2	Descompuesta
AGUA SUBTERRANEA	Seco	15	Humedo	10	Mojado	7	Goteo	4	Flujo	0
CLASE DE MACIZO ROCOSO										
RMR	61 - 80	51 - 60	41 - 50	31 - 40	21 - 30	< 20				
DESCRIPCION	II - BUENA	III - A REGULAR A	III - B REGULAR B	IV - A MALA A	IV - B MALA B	V - MUY MALA				

Unidad de ejecución Arcata.

Tabla 5. RMR89 de Bieniawski, clasificación geomecánica para la caja de piso de la veta.

Progresiva (m)	RCU	RQD	ESP(m)	PERS(m)	APERT (mm)	RUG	RELLENO	INTEMP	AGUA	RMR (Bas.)	COLOR	CALIDAD DE ROCA
0.2	1.5	7	13	8	2	0	6	2	5	15	58	REGULAR A
1.5	1.9	7	20	10	4	4	3	4	6	15	73	BUENA
1.9	2.1	7	13	8	2	1	6	4	6	15	62	
2.1	3.8	12	13	8	2	0	6	2	5	15	63	
3.8	4.1	12	20	10	4	1	6	4	6	15	78	
4.1	6.1	7	20	10	2	4	6	4	6	15	74	
6.1	7.5	7	20	15	2	4	3	4	6	15	76	
7.5	8.1	7	20	10	4	4	3	4	6	15	73	
8.1	10.1	7	20	10	4	4	3	4	6	15	73	
10.1	12.1	7	20	10	4	4	3	4	6	15	73	
12.1	14.1	7	20	10	4	5	3	6	6	15	76	
14.1	16.1	7	20	15	2	5	3	6	6	15	79	
16.1	18.8	7	20	15	6	5	3	6	6	15	83	
18.8	21.5	7	20	10	2	5	3	6	6	15	74	
21.5	23.3	7	20	15	4	5	3	6	6	15	81	
23.3	25	7	20	15	4	5	3	6	6	15	81	
25.0	27	7	20	15	4	5	3	6	6	15	81	
27.0	29.9	7	20	15	4	1	3	2	6	15	73	
29.9	30	7	20	10	2	1	3	2	6	15	66	
30.0	37	7	20	10	2	1	3	2	6	15	66	
37.0	39.4	7	20	10	2	4	3	4	6	15	71	
39.4	41	7	20	10	2	4	3	4	6	15	71	
41.0	43.5	7	20	10	4	4	3	4	6	15	73	
43.5	45	7	20	15	2	4	3	4	6	15	76	
45.0	47.5	7	20	10	2	4	3	4	6	15	71	
47.3	49	7	20	15	2	4	3	4	5	15	75	
49.0	49.2	7	20	10	2	4	3	4	5	15	70	
49.2	51	7	20	10	4	4	3	4	5	15	72	
51.0	53	12	20	10	4	4	3	4	5	15	77	
53.0	55	7	20	15	2	1	3	4	6	15	73	
55.0	57	7	20	15	2	1	3	4	5	15	72	
57.0	59	7	20	15	2	1	3	4	5	15	72	
59.0	61	12	20	15	2	6	3	6	6	15	85	
61.0	63	7	20	15	2	5	3	4	6	15	77	
63.0	63.2	7	13	8	2	0	3	2	6	15	56	REGULAR A
63.2	63.3	7	20	10	2	1	3	4	5	15	67	BUENA
63.3	70	7	13	8	2	0	3	2	5	15	55	REGULAR A
70.0	72.5	7	20	10	2	1	3	4	6	15	68	BUENA
72.5	75	7	20	10	2	1	3	4	6	15	68	
75.0	77	7	20	10	2	5	3	4	6	15	72	
77.0	78	7	13	8	2	1	3	4	6	15	59	REGULAR A
78.0	82.2	7	20	10	2	4	3	4	6	15	71	BUENA
82.2	84.3	7	20	10	2	4	3	4	6	15	71	
84.3	86	7	20	10	2	4	3	4	6	15	71	
86.0	88	12	20	10	2	4	3	4	6	15	76	
88.0	89.6	7	20	10	2	4	3	4	6	15	71	
89.6	91.5	7	20	10	2	4	3	4	6	15	71	
91.5	91.8	7	20	10	2	4	3	4	6	15	71	
91.8	100	7	20	10	2	6	3	6	6	15	75	

Tomada del Departamento de Geomecánica de Minera Arcata

Según la caracterización geomecánica del sistema de calificación Bieniawski RMR 89, que se muestra en los cuadros, el macizo rocoso se clasifica y caracteriza geomecánicamente en función de los dominios estructurales (pie de veta, veta y techos).

Tabla 6. Clasificación geomecánica del macizo rocoso (veta Nicole y su entorno)

CLASIFICACION GEOMECHANICA RMR '89 (BIENIANSKY) DEL MACIZO ROCOSO VETA NICOLLE			
Dominio Estructural	RMR	Descripcion del Macizo Rocosó	
		Clasificación	Tipificacion
Veta	55	Regular A	III - A
Caja techo	67	Buena	II
Caja piso	72	Buena	II

Tomada del Departamento de Geomecánica de Minera Arcata.

El resumen de la clasificación geomecánica RMR89, proporcionado para la veta Nicole, incluye la masa de roca. Los umbrales de calificación presentados en la parte ínfima de las tablas se utilizan para clasificar el macizo rocoso según el RMR promedio encontrado en los dominios estructurales (caja de techo, veta y caja de suelo). Según el examen, la masa rocosa se clasifica como Regular III-A (vetas) y Buena II (caja de techo, caja de piso).

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Método de explotación

El mineral se corta horizontalmente, comenzando desde el fondo y avanzando hacia arriba, utilizando el procedimiento de extracción de corte y relleno de nivel superior, a menudo denominado sobrecorte y relleno. El mineral se tritura, carga y retira completamente de la cámara. Después de que se haya cumplido el objetivo completo, el volumen que se ha producido se llena con material estéril para soportar las cajas y servir como base para el disparo.

El material de relleno, que se dispersa por toda el área de corte, puede ser materiales estériles de las tareas preparatorias si se mina la fila siguiente. El material de relleno se dispersa por toda el área de corte de esta manera. El agua se combina con el material de los relaves y se suministra a la mina mediante tuberías como relleno hidráulico, que se utiliza con frecuencia. Se produce un relleno suficiente con una superficie uniforme una vez que se drena el agua del relleno. En otros casos, la sustancia se mezcla con cemento para crear una superficie más resistente y capaz de soportar más peso.

La tecnología ahora se utiliza en pequeñas operaciones donde los gastos de automatización son asequibles o en vetas delgadas de alta calidad que no requieren mecanización.

a) Condiciones de diseño:

- Es aplicable en depósitos mineros
- Con remarcados buzamientos
- Independiente de un solo depósito y territorio

- Cajas aptas a nivel medio
- Las cajas del yacimiento pueden ser no competentes y poco regulares.
- El mineral debe poseer una ley adecuada
- Predisposición del material de relleno

Estos procedimientos implican la ejecución de la estructura, así como la exploración geológica y geotécnica. El montaje de subniveles ampliamente distribuidos y la ejecución de trabajos verticales específicos en el mineral son elementos de la investigación geológica de la mina. La conducta de las resistencias en las cajas minerales se determina por investigaciones geotécnicas.

Debido a que puede acomodar depósitos con diversas formas, el método de minería de corte y relleno ascendente es muy flexible. El mineral de baja calidad se deja en el relleno porque los cortes ascendentes rellenos están diseñados para abarcar niveles de al menos 25 a 50 metros.

Al excavar una cámara al mismo nivel que la galería base, es posible verificar la resistencia del mineral en el techo. En resumen, todo esto es altamente ventajoso, convirtiéndolo en una de las estrategias con mayor rendimiento económico.

2.3.2. Sistema de costos

Es un grupo de técnicas y puntos de vista utilizados para evaluar el valor de un producto. Sirve para organizar los gastos para determinar el costo. Se presentan dos categorías de sistemas de costos integrales.

1. Método de costeo completo o por absorción

- Los costos se atribuyen directamente a cada producto.
- Los gastos fijos se reparten de la manera más cercana posible (siempre) entre los diferentes productos de la compañía.
- Tres componentes constituyen los costos de producción en el costeo por absorción: los costos indirectos de fabricación, que se asignan a cada unidad de producto, los costos de mano de obra directa y las materias primas.
- La factura total del producto se calcula como $C_t = C_d + GF$.

2. Método de costeo simplificado

- Normalmente, el costo simplificado se fundamenta en el costeo completo.
- Ya que el mercado establece el precio, requerimos verificar si la compañía generará beneficios a ese precio.

- La administración de los costos fijos difiere de la anterior.
- Los costos directos incluyen las materias primas, los gastos de trabajo directos y los costos de producción.
- Cada producto recibe los costos directos (= costeo total).
- Los gastos fijos se anotan en conjunto y se añaden a todos los productos.

Costos: se refiere a los recursos (capital humano + capital financiero) empleados para la generación de productos o servicios.

- **Costos de producción en mina**

Los gastos continuos incurridos mientras una mina está en operación se conocen como costos operativos, y están estrechamente relacionados con la producción. Estos costos se incurren y tienen una conexión directa con el proceso de producción. Estos son costos incurridos en el curso de las operaciones. Es la suma de los elementos y el trabajo necesarios para obtener un producto destinado a un cierto consumidor.

- **Clasificación de costos de producción**

a) Según función:

- Costo de producción.
- Costo de comercialización.
- Costo de administración.

b) Según partida:

- Costo de geología.
- Costo de tratamiento.
- Costo de administración de mina.
- Costos de administración central

- **Costos directos**

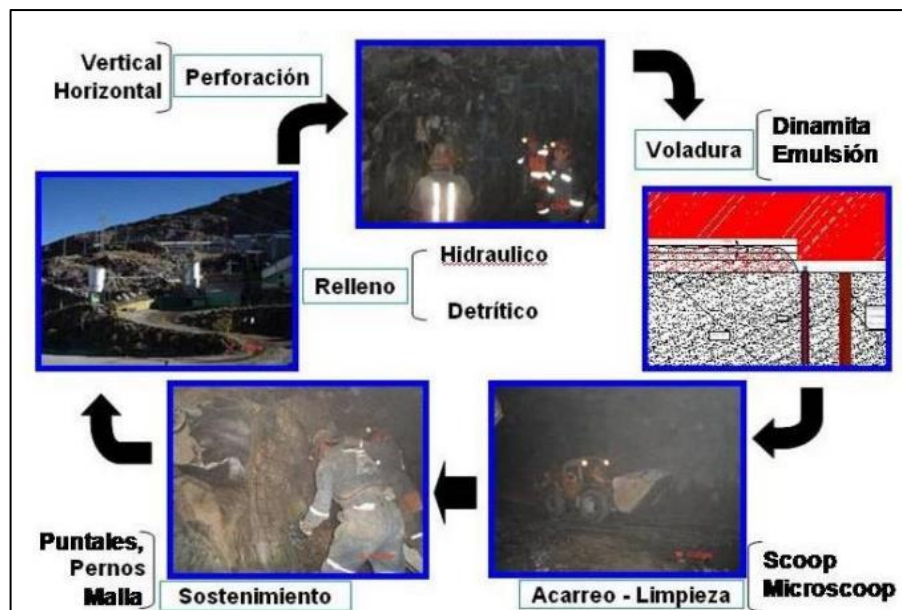
Estos cargos básicos en una operación minera durante las etapas de producción de perforación, voladura, carga y transporte, así como las actividades mineras secundarias, se denominan costos variables. Esto se refleja en los gastos del personal de producción, materiales e insumos, y equipos.

- **Costos indirectos**

Los gastos que se consideran no relacionados con la productividad se conocen como costos fijos. Aunque este tipo de gasto no está directamente relacionado con la producción que se lleva a cabo, puede variar según el volumen de producción esperado.

- Costo total: es el resultado de la suma de los costos, ya sean variables o fijos.
- Costo unitario: se calcula dividiendo el total de los gastos incurridos durante un cierto período de tiempo por la cantidad de unidades producidas.

2.3.3. Ciclo de minado



*Figura 4. Ciclo de minado Arcata
Tomada del Departamento de Geomecánica de Minera Arcata*

El método de perforación empleado en la explotación es vertical, empleando perforadoras de 150 cm. de longitud con una inclinación de 75 grados, con una media de 40 perforaciones por máquina en cada turno. Se necesita una longitud mínima de carga de 30 metros para comenzar la voladura a gran escala.

Las máquinas de perforación manual Jack-Leg constituyen el equipo. El equipo de perforación manual Jack-Leg y los jumbos electrohidráulicos se utilizan para el trabajo de avance. Para trabajos de secciones más grandes, como bypasses de 4.5 m x 4.0 m y 3 m x 3 m, la longitud de perforación efectiva es de 3.5 m y 3.1 m, respectivamente.

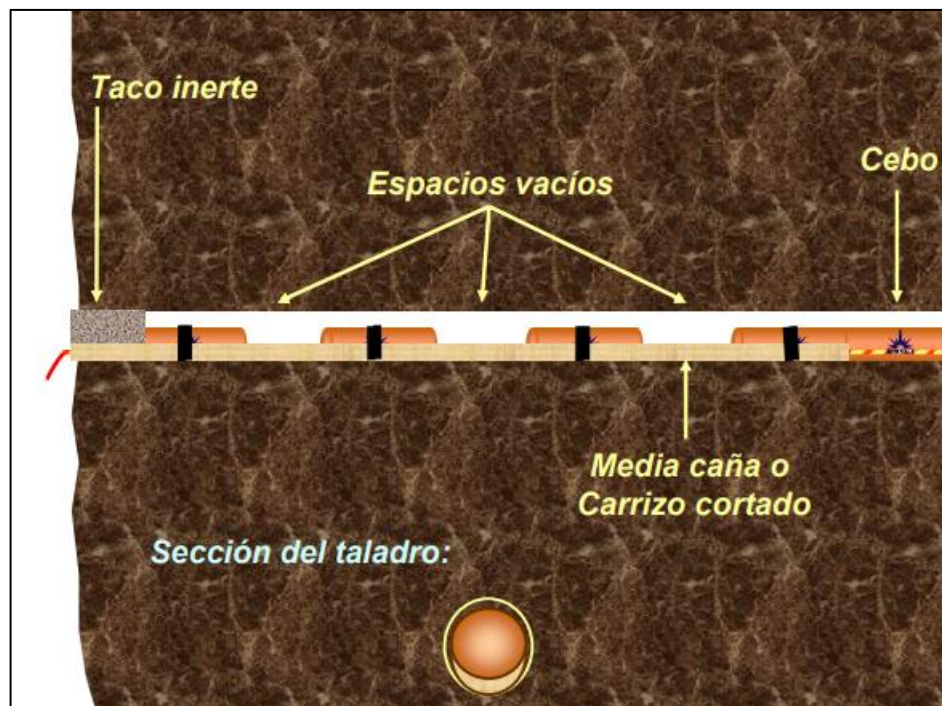
2.3.4. Voladura

La extracción desde la superficie libre en las caras de perforación vertical es el primer paso en la carga manual de los taladros de producción. La mina Arcata utiliza voladuras

amortiguadas o controladas, lo que disminuye el factor periférico de acoplamiento para minimizar el sobreexcavado y los costos de soporte post-voladura. En regiones con roca de media a baja calidad, se utiliza dinamita como explosivo; en lugares con buena roca, se utiliza como emulsión. El Fanel también se emplea como un suplemento de voladura para garantizar voladuras a gran escala.

Se utilizan una cuchara y sujetadores de madera para detonar físicamente en las caras. Se utiliza una cuerda detonante y mechas para las rampas. Se utiliza Carmex de acuerdo con las regulaciones de seguridad para frentes menores de 8'x8' y 5'x7'.

Los cartuchos de emulsión se colocan en una barra media con un cordón detonante a lo largo del taladro en periodos establecidos, y se ubican en segmentos avanzados de 4.0 x 4.0 metros en los taladros periféricos. Aquí hay algunos ejemplos de cómo se lleva a cabo la carga en las tareas de la U.M. Arcata.



*Figura 5. Sistema de regulación de la carga de voladura en los taladros coroneles
Tomada de Mina Arcata*

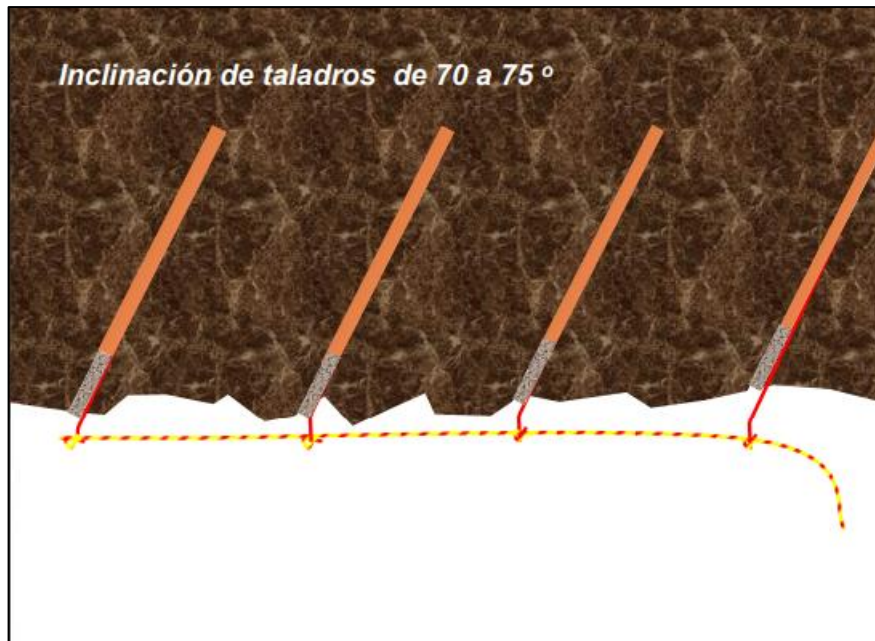


Figura 6. Sistema de carga inclinado para la rotación de tajos

2.3.5. Acarreo y limpieza

Hay 15 minicargadoras modelo LH 201 de 0.75 yd³ (eléctricas y diésel) y 4 cargadoras modelo LH 202 de 1.5 yd³ en la unidad asignada a la limpieza de las 16 secciones mensualmente. La unidad cuenta con la asistencia técnica de Sandvik y Atlas Copco, y el programa de Revisión mejora las medidas correctivas basándose en la cantidad de horas de trabajo. Para mejorar su uso, la mina también cuenta con talleres inalámbricos para reparaciones rápidas y para evitar que tengan que subir a la superficie para mantenimiento.

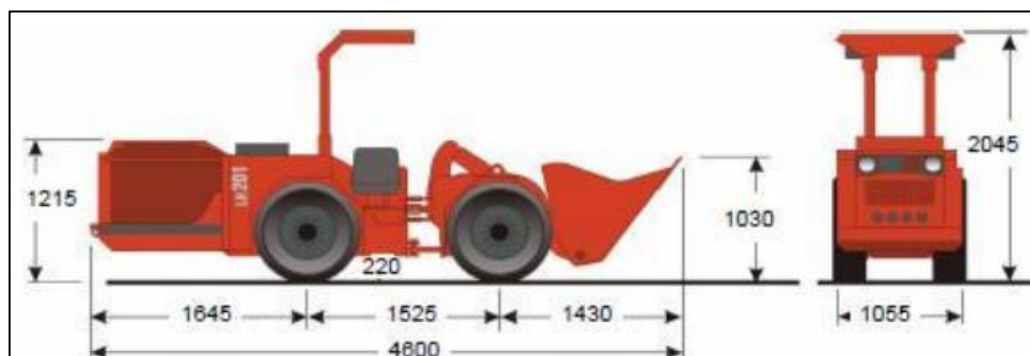
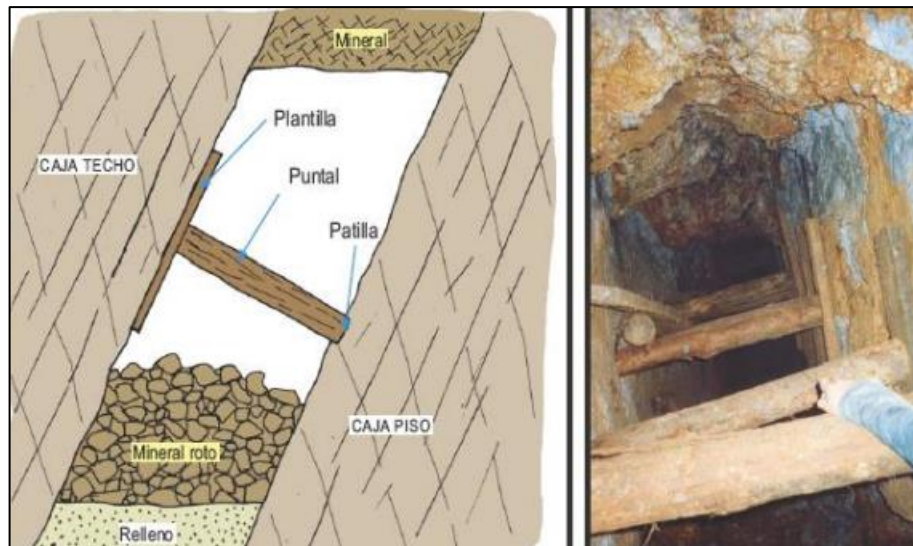


Figura 7. Microscoop Sandvick LH-201 de 0.75 yd³
Tomada de Mina Arcata

2.3.6. Sostenimiento

La asistencia se estima y aplica según las especificaciones. La mayoría de las propiedades geomecánicas de la roca:

- **Puntales:** este post de madera puede ser fijado en sentido perpendicular al movimiento de una veta para sostener la caja del techo, en sentido vertical mediante el uso de cuñas y modelo en una brecha para mantener el techo, o ambas formas. Son miembros redondos, compresivos, con diámetros entre 5" y 10" y longitudes menores a 3.5 m. Su resistencia varía entre 7 y 10 MPa. Su propósito es evitar que se doblen y pierdan resistencia.



*Figura 8. Esquema de puntales de seguridad
Tomada de Mina Arcata*

- **Cuadros:** sirven como soporte para galerías, drifts y otros proyectos de desarrollo en roca de baja a muy baja calidad, altamente estresada, que está fracturada a muy agrietada y/o débil.

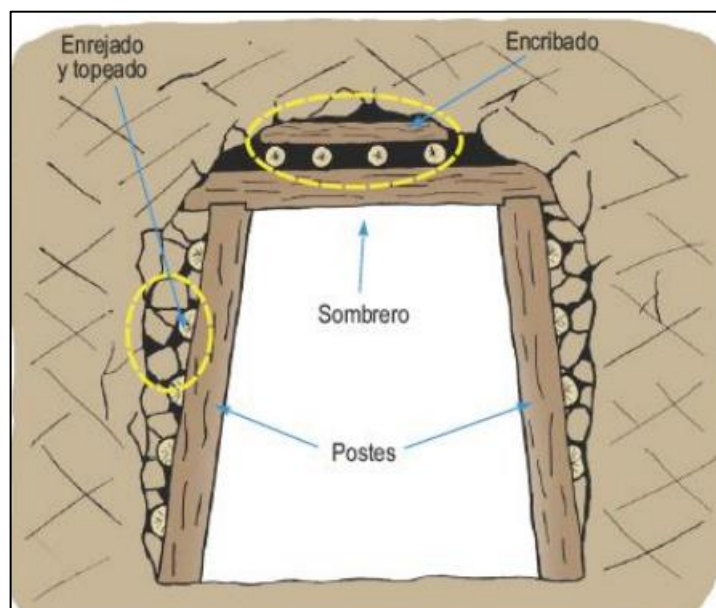


Figura 9. Esquema del armado de un cuadro

Tomada de Mina Arcata

- **Cimbras:** se utiliza típicamente para actividades de avance continuo en situaciones en las que la masa rocosa es extremadamente inestable y fragmentada, sometida a estrés extremo. Los encofrados con forma de tronco y dimensiones de 4.0 x 4.0 metros, compuestos por cuatro partes, son los más comúnmente utilizados. El estricto paralelismo de los componentes, una base adecuada y una proximidad suficiente a la superficie de la roca se garantizan como controles durante la instalación.



***Figura 10. Esquema del armado de un cuadro
Tomada de Mina Arcata***

- **Pernos split set:** para mantener la placa en su lugar, un extremo del tubo ranurado se fija a una herramienta soldada. El perno cierra parcialmente la ranura al situarse en un hueco de diámetro reducido, ya que se ejerce presión a lo largo de la circunferencia en toda su extensión longitudinal en oposición a las paredes del hueco. Se crea un anclaje cuando la superficie del agujero de perforación y la superficie exterior del tubo afilado entran en contacto. Este anclaje evita que la roca circundante se mueva o se separe, creando tensión de carga.

Aunque su uso no se recomienda en rocas débiles y altamente fracturadas, se utilizan principalmente para el refuerzo temporal en terrenos de baja a baja calidad, creando típicamente sistemas mixtos de refuerzo temporal.

Su eficacia se basa en el diámetro del taladro; se aconseja un diámetro de perforación de 3.5 a 3.8 cm para conjuntos de 39 mm, dado que diámetros más amplios pueden provocar un anclaje incorrecto, mientras que diámetros más reducidos dificultan su inserción.

- **Malla metálica:** para mantener la placa en su lugar, un extremo del tubo ranurado se fija a una herramienta soldada. Cuando el pasador se inserta en un taladro con un diámetro más pequeño, se aplica presión a lo largo de la circunferencia en toda su extensión sobre las paredes del taladro, cerrando parcialmente la ranura. Se crea un anclaje cuando la superficie del agujero de perforación y la superficie exterior del tubo afilado entran en contacto. Este anclaje evita que la roca circundante se mueva o se separe, creando tensión de carga.

Primero, la malla metálica sirve como un elemento de seguridad al prevenir que las rocas entre los pernos se colapsen; segundo, sirve como un elemento protector al retener los fragmentos de roca que caen de la superficie entre los pernos; y tercero, sirve como refuerzo para el material de hormigón proyectado.

La malla empleada en la mina Arcata es electrosoldada, la cual se compone de una serie de alambre soldados en sus cruces, usualmente de número 10/08, con cocadas de 4"x4", fabricadas en acero negro que puede ser galvanizada.

Viene en rollos o láminas de 25 metros de largo por 2,0 metros de ancho, y para obtener una superficie más uniforme dispersa de acuerdo con las peculiaridades de la excavación, son necesarios soportes durante la instalación.



*Figura 11. Esquema del armado de un cuadro
Tomada de Mina Arcata*

- **Shotcrete:** todas las rocas propuestas deben alcanzar una resistencia a la compresión uniaxial de 15 Mpa (150 kg/cm²) después de siete días, y 21 Mpa (210 kg/cm²) después de veintiocho días. El producto terminado debe tener un porcentaje de porosidad del 15% y una densidad de al menos 2275 kg/m³.

Se requieren 10 bolsas de cemento y 360 paladas de grava para hacer 1 m³ de concreto suelto; la relación agua-cemento es de 0.40:0.50; se utilizan 30 kg de refuerzo de fibra de acero (en lugar de malla de alambre soldado) por cada 1 m³ de mezcla. Las regulaciones de los agregados de concreto deben ser seguidas por los agregados, y los agregados finos y gruesos combinados serán clasificados como:

Tabla 7. Malla de agregados

Malla	mm	% que pasa
3/8"	9.51	100
Nº 4	4.76	95 – 85
Nº 16	1.19	85 – 45
Nº 50	0.30	45 – 10

Tomada del Departamento de Geomecánica de Minera Arcata

- Relleno hidráulico:

Para llenar los vacíos dejados por la extracción del mineral valioso, el material sólido se mueve a través de tuberías hacia un medio líquido.

El tajo está listo para ser rellenado una vez que el mineral económico haya sido purificado.

Los sistemas de drenaje están instalados, los marcos de puntos están alineados y las paredes o cajas de estopa están cubiertas con yute poroso o polijute. La altura de perforación se marca como 2.4 para facilitar su vinculación más adelante con el ciclo de llenado subsiguiente.

El gerente de R/H instruirá al operador para que comience el llenado cuando se haya confirmado la preparación del corte.

Para verificar el flujo de agua y limpiar la tubería después de un llenado previo, se abrirá la válvula de agua durante unos minutos antes de suministrar pulpa.

En este proceso, el relleno es responsable de controlar la altura de perforación y el drenaje de agua a través de las zanjas; compactar el área de relleno para garantizar la compactación; y supervisar el cierre de los principales puntos de acceso del área de relleno.

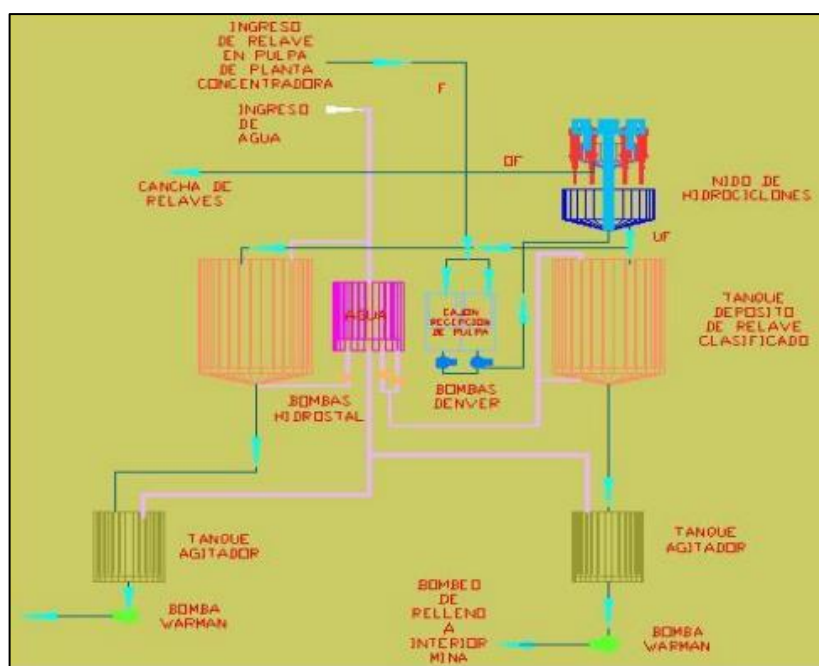


Figura 12. Esquema de la malla electrosoldada
Tomada de Minera Arcata

2.3.7. Transporte de mineral

El mineral recolectado durante el proceso de limpieza se envía al paso de mineral de la cámara antes de ser trasladado por toboganes a camiones con una capacidad de 25 toneladas y conducido al contenedor de mineral grueso de la planta de concentración.

Primero deben adherirse a los criterios operativos y de manejo de equipos para el rendimiento de los camiones volquetes (frenado y humo). Las secciones en ventanas y cruces limitan las capacidades de limpieza y transporte de los camiones volquetes en la industria minera. Como resultado, nuestros 21 camiones volquetes se dividen entre excursiones de mineral y de estéril.

2.3.8. Ventilación

La ejecución del Raise Borer No. 50 se optimiza cuando se registran 8,807 m³/min en el balance minero, lo que corresponde a una demanda de 9,867.76 m³/min, o el 89.25%. Hay tres sistemas de ventilación en Arcata:

Sistemas de ventilación de Mariana Este y Mariana Oeste, así como Marión.

Hay 55 ventiladores en la unidad: 5 ventiladores primarios, 12 ventiladores secundarios y 38 ventiladores auxiliares. Se utilizan ductos de 18", 20" y 22", sin embargo, se emplean ductos de 24", 28", 30" y 32" para proyectos de avance y progreso. Se tarda una hora en total en

evacuar los gases a lo largo de la mina después de los disparos, lo cual es suficiente para que los trabajadores de la segunda jornada entren.



***Figura 13. Raise Borer, principal extractor en el circuito Marión
Tomada de Minera Arcata***

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

Este estudio es de carácter práctico, puesto que se fundamenta en descubrimientos y saberes de investigación que pueden emplearse para solucionar de manera directa e inmediata los problemas que emergen.

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 transversal no experimental porque implica observar fenómenos sin que el investigador dicte situaciones o condiciones, lo que significa no manipular de ninguna manera los factores del estudio.

3.2.Población y muestra

3.2.1.Población

La población se encuentra en la mina Hochschild Mining, una filial de la empresa minera Arcata situada en la provincia de Condesuyos, en el departamento de Arequipa

3.2.2.Muestra

Se representa con la veta Nicole, basada en estudios geomecánicos y consideraciones geológicas que permiten su aplicación. Promoveremos su implementación en el Nivel 4465 en la Zona II, ya que disponemos de los servicios necesarios para el método.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las estrategias de recolección de información se aplicarán a través de encuestas que empleen una serie de actividades normalizadas; en las que se examinan y recolectan datos de la muestra o población.

3.4. Técnicas utilizadas en la recolección de datos

Busca de datos: para conseguir respaldo en la modelización de vibraciones, empleamos el método de investigación bibliográfica en diversas tesis relacionadas con nuestro asunto.

Observación: en el estudio se 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.

Para obtener retroalimentación sobre el diseño de la red de la aplicación, se realizan entrevistas no estructuradas utilizando chats que proponen preguntas para ser enviadas al proveedor de servicios.

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

Se establece un punto de control para comparar este índice de producción aplicado en dos secciones: la sección 850, donde actualmente se utiliza el método convencional de corte y relleno, y la sección 1304, donde desarrollaremos el método de corte y relleno semimecanizado, a la luz de la necesidad de aumentar la producción en las áreas de operaciones de la zona II a nivel 4465.

Además, se reconoce generalmente que las empresas mineras tienen poca influencia sobre el precio de los metales, por lo que las medidas de reducción de costos son cruciales. Como resultado, nuestro estudio sugiere vigilar cada proceso que implique gastos de extracción.

Esto implica utilizar estándares técnicos para los métodos de extracción y seleccionar el más efectivo que minimice los costos, facilite los ajustes de parámetros y utilice recursos que aumenten la productividad de las actividades mineras.

4.1.1. Comparativo entre el método de explotación semimecanizado y el método convencional

Debido a su construcción tipo cuerpo, la unidad minera Arcata en la zona II utiliza la técnica automatizada de corte y relleno ascendente en su región de profundización en el pozo 1304, pero el método tradicional de corte y relleno ascendente se utiliza en las zonas superior e intermedia del pozo 850 debido a su estructura.

Asimismo, se encontró una estructura de veta en la zona II, y se consideró que la técnica de extracción debería cambiarse para maximizar las ventajas de ambos procesos. Los

departamentos de seguridad, geología, planificación, operaciones mineras, mantenimiento mecánico y servicios generales están llevando a cabo una investigación técnico-económica para identificar el método óptimo y optimizar la rentabilidad en la extracción de los bancos 850 y 1304 de la mina.

Las siguientes tablas estadísticas de operaciones unitarias, producción mensual y la evaluación económica relacionada se establecieron en el análisis comparativo de los dos métodos de minería subterránea con el fin de abordar finalmente la cuestión de los criterios operativos que determinaron cuál método de minería era el mejor para implementar. Finalmente, se discutió los criterios operativos que identificaron la mejor estrategia de explotación a utilizar.

Tabla 8. Rendimiento de operaciones

Operaciones	Unidad	1304	850
Ventilación	h	0.30	0.39
Sostenimiento	h	0.89	0.89
Perforación	h	1.05	1.8
Voladura	h	0.47	0.89
Limpieza	h	0.72	2.05
Total de ciclo	h	3.55	6.14
Guardias por día	und.	2	2
Horas efectivas de trabajo	hr./día	7	7
Ciclo de guardia	und.	1.92	1.11

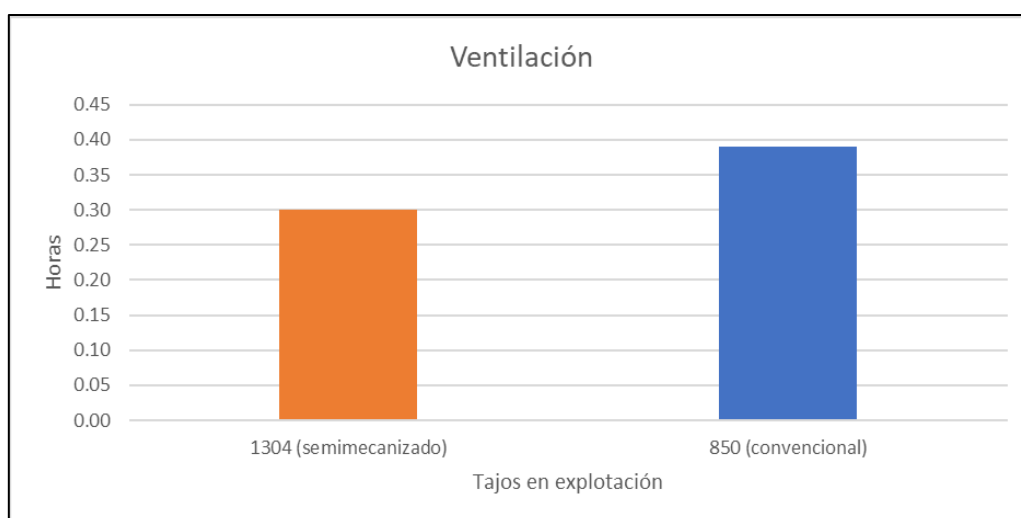


Figura 14. Comparación de técnicas de ventilación

El método de corte y relleno semimecanizado (stope 1304) tuvo un tiempo de ventilación de 0.30 horas, mientras que el enfoque tradicional de corte y relleno (stope 850) tuvo un tiempo de ventilación de 0.39 horas en la minería profunda. Esto sugiere que el enfoque mecánico de corte y relleno ascendente es más efectivo en términos del tiempo que se tarda en ventilar.

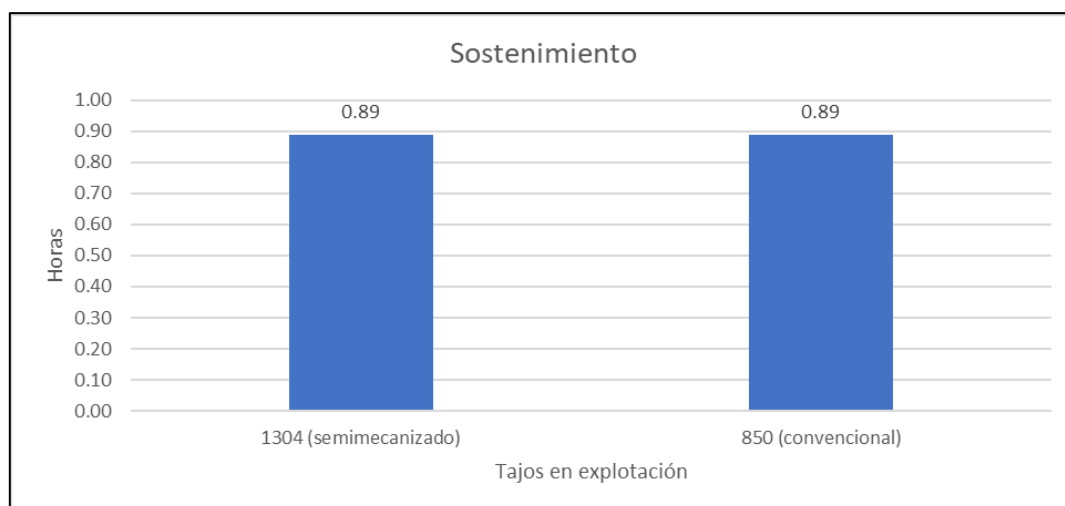


Figura 15. Comparación de métodos para el sostenimiento

Se determina que el proceso tradicional de corte y relleno hacia arriba (stope 850) requirió 0.89 horas de tiempo de soporte, a su vez que el método semimecanizado de corte y relleno hacia arriba (stope 1304) también requirió 0.89 horas. El plazo para implementar el soporte para ambos enfoques es el mismo, según los datos recopilados.

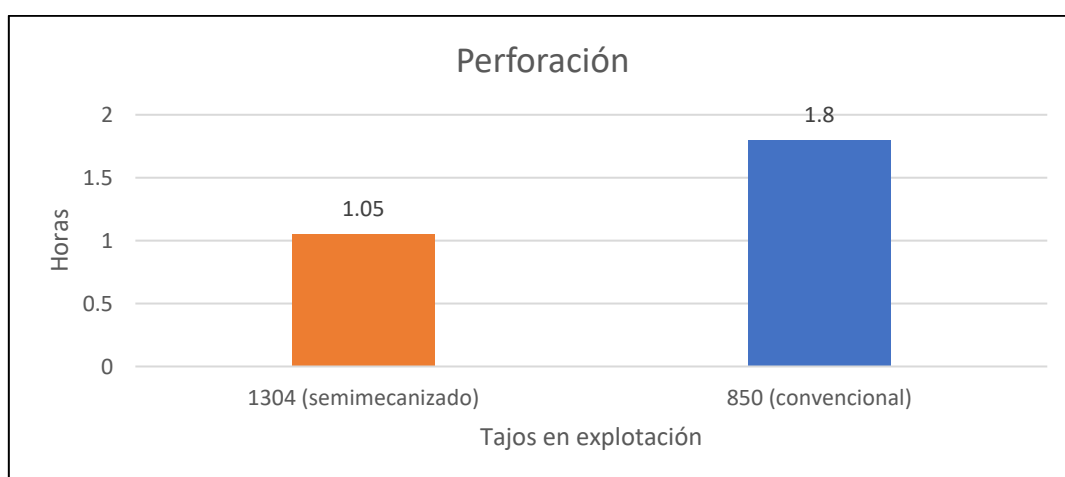


Figura 16. Comparación de métodos para la perforación

El tiempo de perforación para el método de corte y relleno ascendente semimecanizado (tajo 1304) es de 1.05 horas, mientras que para el método convencional de corte y relleno ascendente (tajo 850) fue de 1.80 horas. Al comparar el tiempo en cada procedimiento, se puede deducir

que el método corte y relleno ascendente mecanizado es más eficaz en términos de tiempo que utiliza para el proceso de perforación.

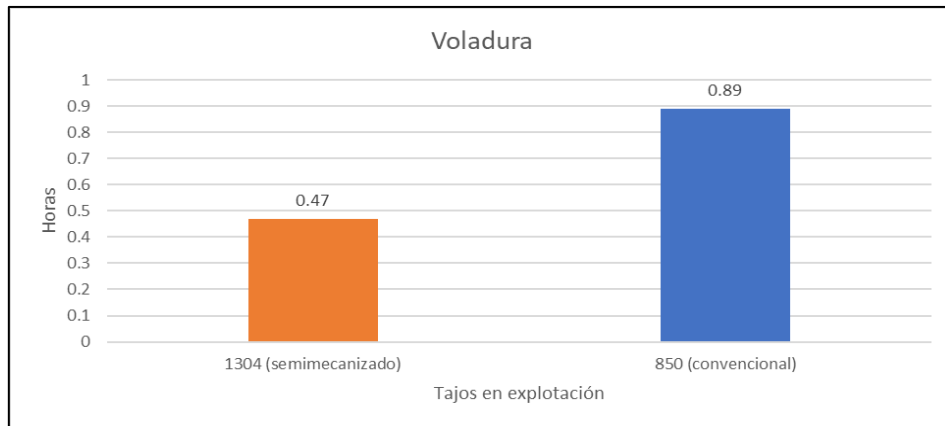


Figura 17. Comparación de técnicas para la voladura

Se observa que el método convencional de corte y relleno hacia arriba (stope 850) requirió 0.89 horas de tiempo de voladura, pero el método semimecanizado de corte y relleno hacia arriba (stope 1304) requirió 0.47 horas. Por lo tanto, se puede concluir que el método robótico de corte y relleno hacia arriba es más efectivo en términos de consumo de tiempo de voladura.

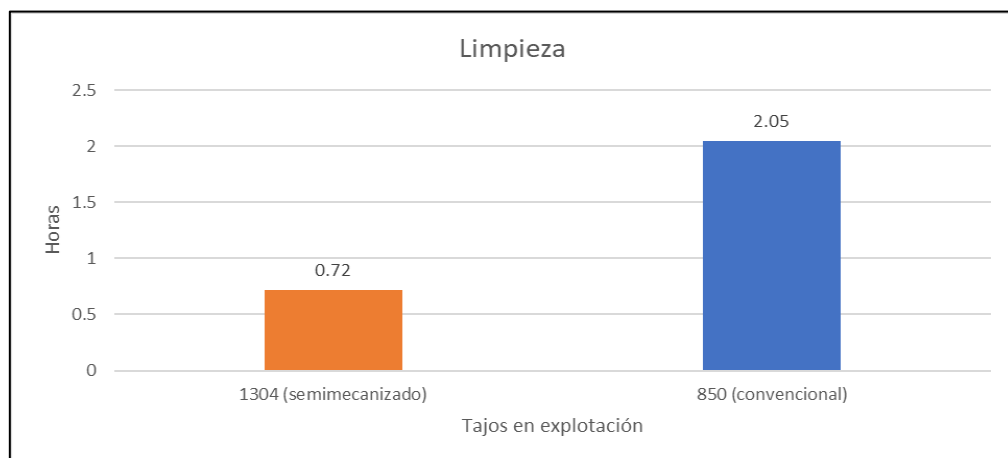


Figura 18. Comparación de técnicas para la limpieza

Se observa que el tiempo de ventilación para la técnica tradicional de corte y relleno ascendente (stope 850) fue de 2.05 horas, pero el tiempo de ventilación para el método semimecanizado de corte y relleno ascendente (stope 1304) en la minería subterránea fue de 0.72 horas. Por lo tanto, basándose en el tiempo requerido para la operación de descarga, se puede concluir que el enfoque automatizado de corte y relleno hacia arriba es más eficiente.

Tabla 9. Resultados de producción mensual

Producción / mes	Unidad	1304	850
Frentes de trabajo	und.	1.00	1.00
Disparos por día	und.	2.00	1.00
Tiempo por corte	días/corte	17.00	10.00
Corte por mes	und.	1.62	2.68
Toneladas por disparos	und.	95.00	80.00
Tonelaje	TMH/mes	5500.00	2350.00

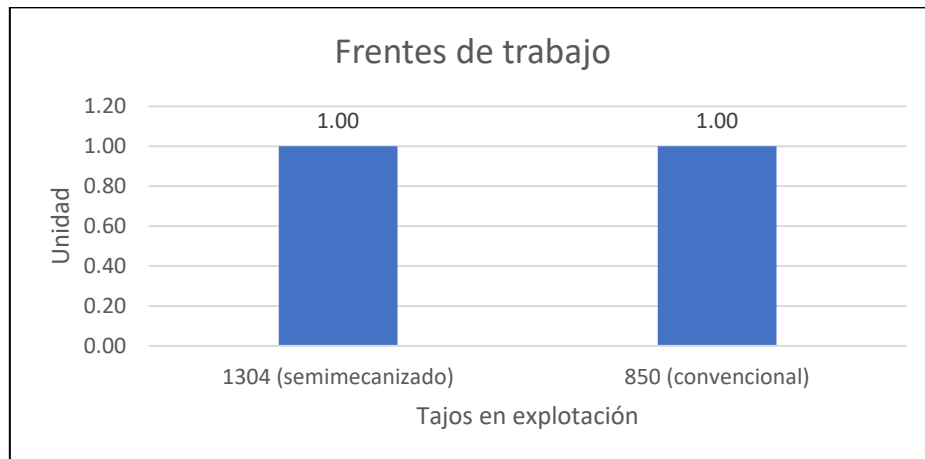


Figura 19. Frente de trabajo

Se observa que solo hay un frente de trabajo tanto para el enfoque convencional de corte y relleno (stope 850) como para el método semimecanizado (stope 1304). Por lo tanto, se puede concluir que las áreas de trabajo de ambos enfoques son las mismas.

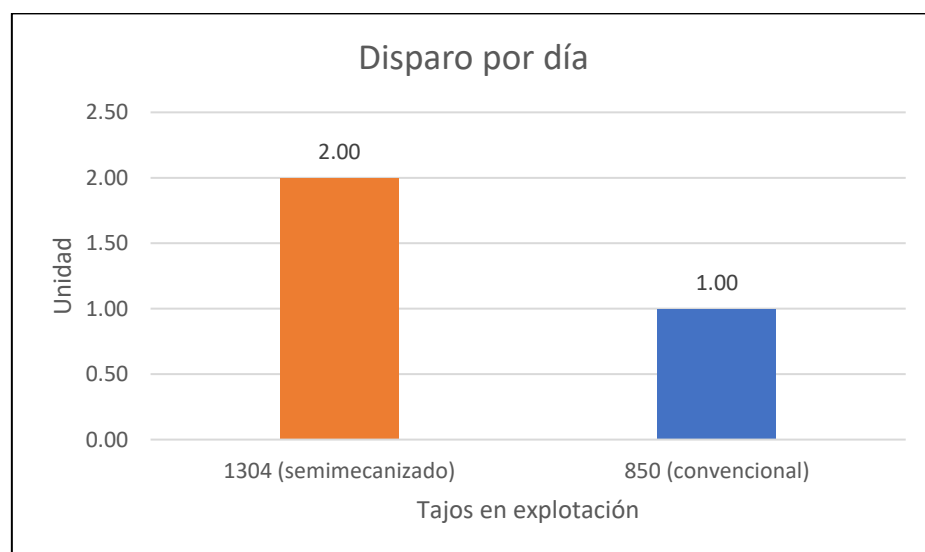


Figura 20. Medida de disparos por día

Se observa que el método estándar de corte y relleno hacia arriba (stope 850) requería un disparo diario, pero el método semimecanizado de corte y relleno hacia arriba (stope 1304) requería dos. Por lo tanto, se puede decir que el método automatizado de corte y relleno de agujeros es más eficiente en función del número de disparos que se pueden terminar en un día durante el proceso de explotación.

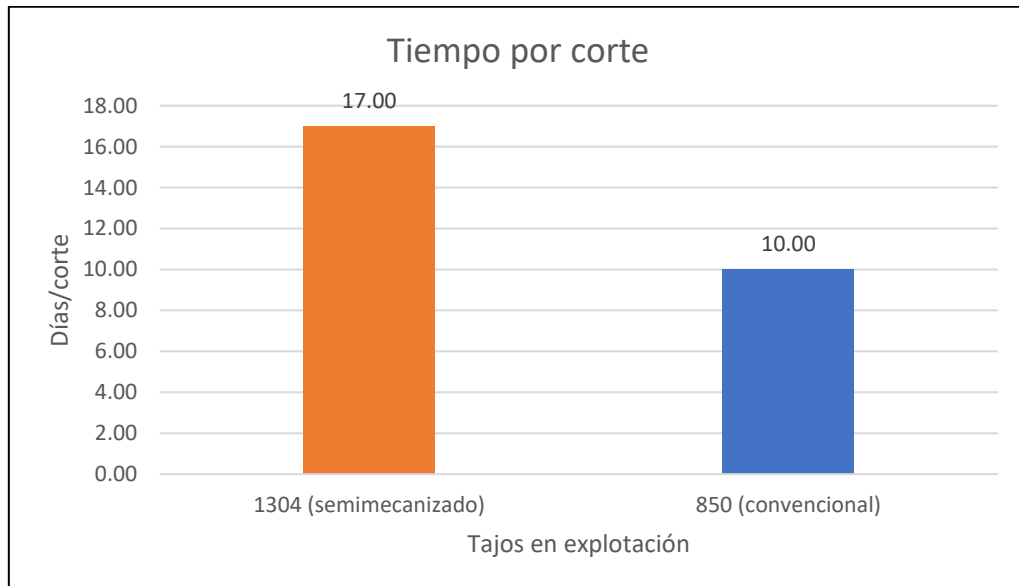


Figura 21. Medida de tiempo de corte

El método típico de corte y relleno hacia arriba (stope 850) tomó 10 días para cortar, pero el enfoque semimecanizado (stope 1304) tomó 17 días. Debido a las preparaciones realizadas antes de comenzar un nuevo corte, se puede concluir que el procedimiento mecánico de corte y relleno hacia arriba extiende el proceso de corte por siete días.

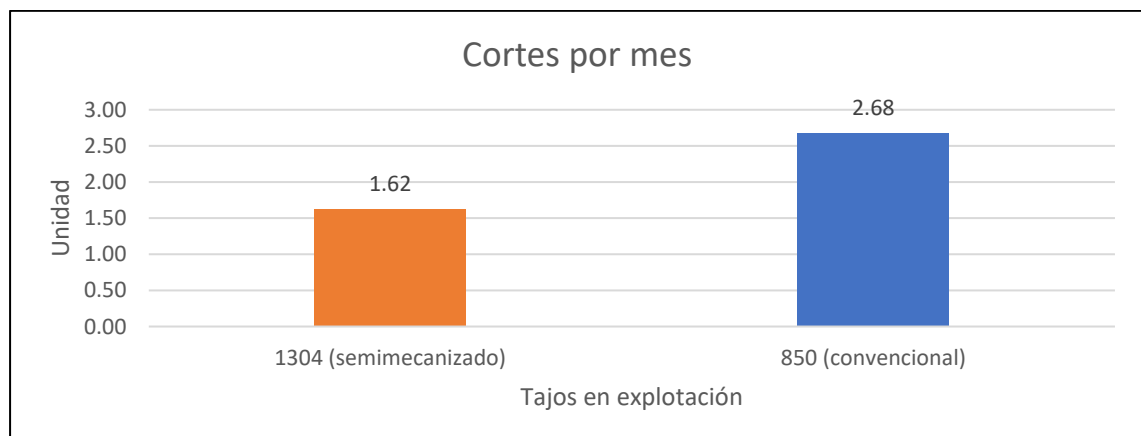


Figura 22. Corte por mes

Un total de 1.62 cortes por mes son documentados por el proceso de corte y relleno ascendente semimecanizado (stope 1304), mientras que 2.68 cortes por mes son registrados por

el método de corte y relleno ascendente convencional (stope 850). Debido a que permite realizar más cortes para completar el proceso de minería, se puede concluir que el procedimiento tradicional de corte y relleno hacia arriba es más exitoso en términos del número de cortes mensuales.

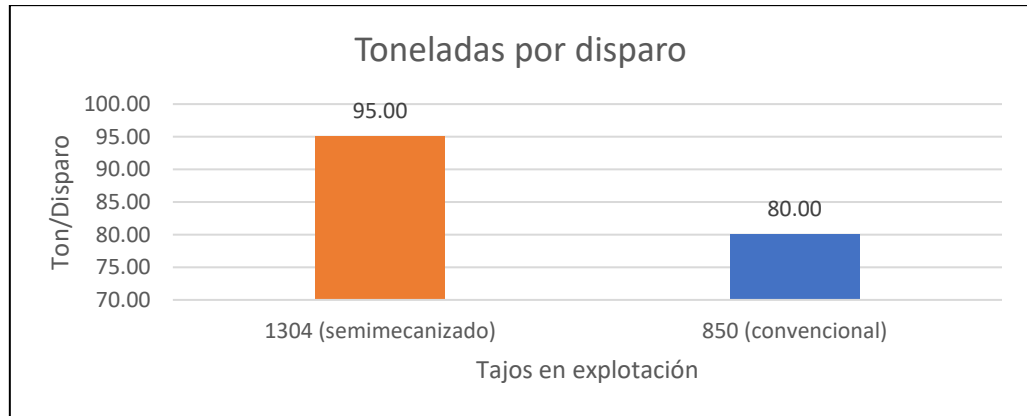


Figura 23. Toneladas por disparo

Se pueden procesar 95 toneladas por disparo utilizando el método de corte y relleno semimecanizado (stope 1304), en comparación con 80 ton/disparo utilizando el proceso de corte y relleno convencional (stope 850). Por lo tanto, se puede concluir que se obtiene una mayor tonelada por disparo utilizando el procedimiento mecánico de corte y relleno ascendente.

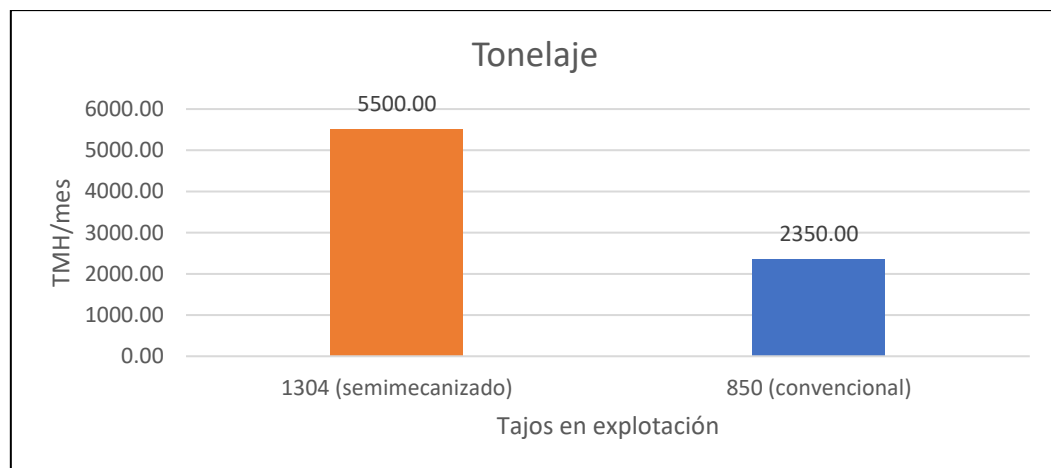
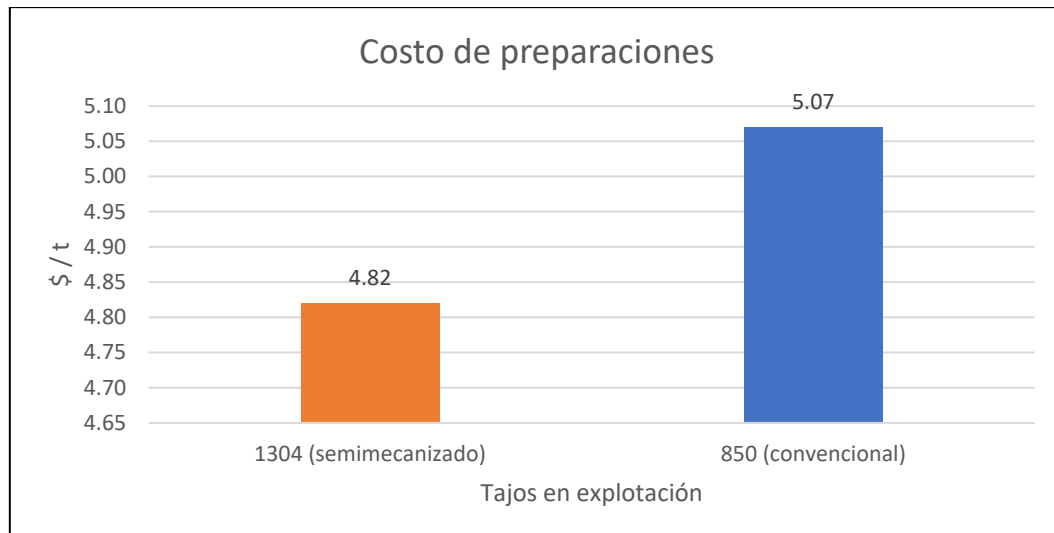


Figura 24. Tonelaje

Cabe mencionar que el método tradicional de corte y relleno (stope 850) puede procesar 2350 ton/mes, pero el proceso semimecanizado de corte y relleno (stope 1304) puede procesar 5500 toneladas. Debido a que genera más toneladas de material cada mes, se puede concluir que el procedimiento automatizado de corte y relleno ascendente es más productivo.

Tabla 10. Costos de operación

Costos de operación	Unidad	1304	850
Costos de preparaciones	\$ / t	4.82	5.07
Costo de sostenimiento	\$ / t	3.04	3.60
Costo de explotación	\$ / t	24.07	23.07
Costo de limpieza	\$ / t	2.17	3.12
Costo de servicios generales	\$ / t	28.90	28.90
Costo de gastos generales	\$ / t	17.92	18.02
Total de costos	\$ / t	80.12	80.97
Tonelaje por mes	t	5500.00	2350.00
Costo del tajo	\$	422918.00	172295.00
Explotación del tajo	mes	12	22

**Figura 25. Costos de preparaciones**

Se encuentra que el procedimiento tradicional de corte y relleno (parada 850) cuesta 5.07 dólares por tonelada para preparar, pero el método semimecanizado de corte y relleno (parada 1304) cuesta 4.82 dólares por tonelada. Por lo tanto, se determina que el precio de preparación se reduce en 0.25 dólares por tonelada al emplear el proceso robótico de corte y relleno.

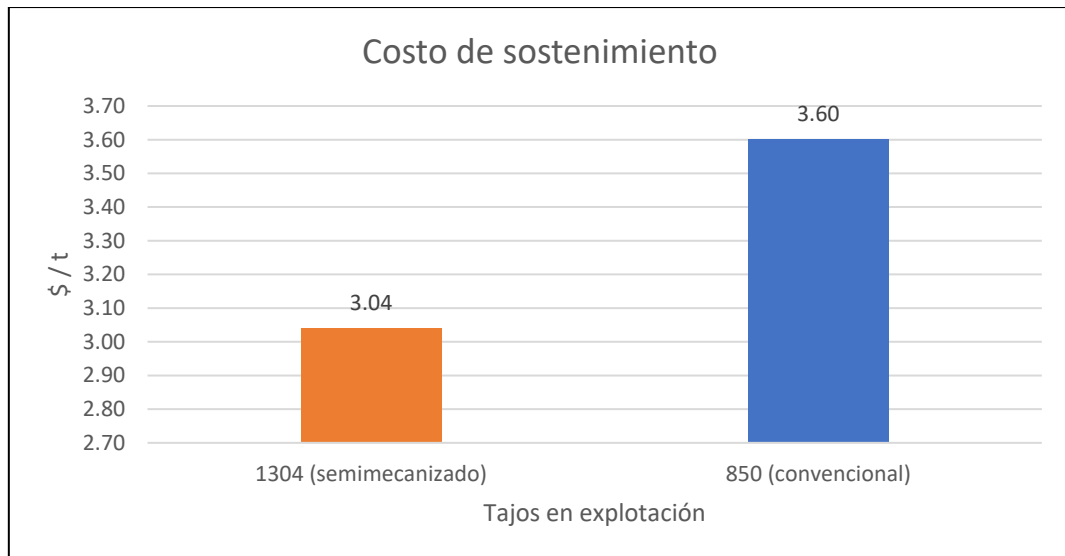


Figura 26. Costos de sostenimiento

El costo de mantenimiento de la técnica tradicional de corte y relleno (stope 850) es de 3.60 dólares por tonelada, mientras que el proceso semi-mecanizado de corte y relleno (stope 1304) es de 3.04 dólares por tonelada. En consecuencia, se puede determinar el proceso de corte y relleno robótico reduce los costos de mantenimiento en \$0.55 por tonelada.

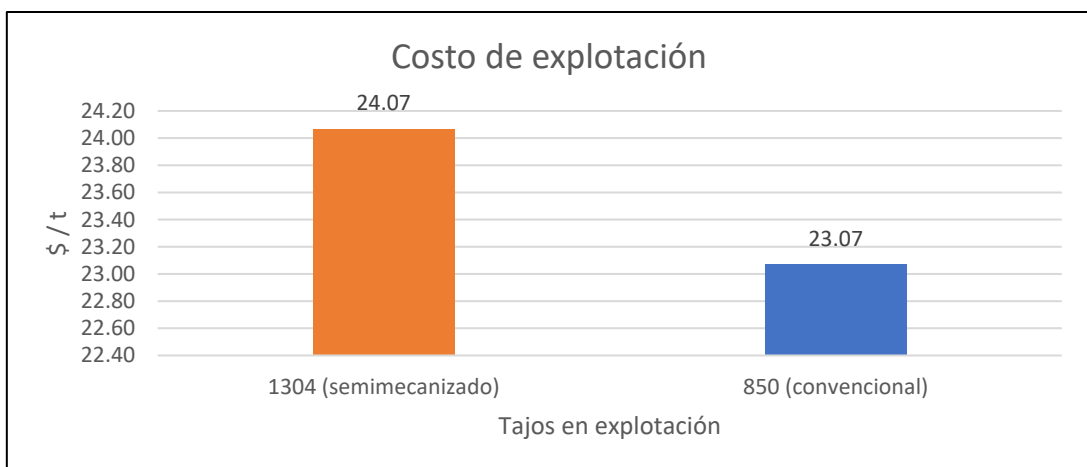


Figura 27. Costos de explotación

El sistema tradicional de corte y relleno hacia la parte superior (stope 850) tiene un costo de explotación de 23.07 dólares por tonelada, pero el método de corte y relleno hacia arriba semimecanizado (stope 1304) tiene un costo de explotación de 24.07 dólares por tonelada. Por lo tanto, se determina el costo de extracción aumenta en \$1 por tonelada al utilizar el procedimiento de corte y relleno ascendente semimecanizado.

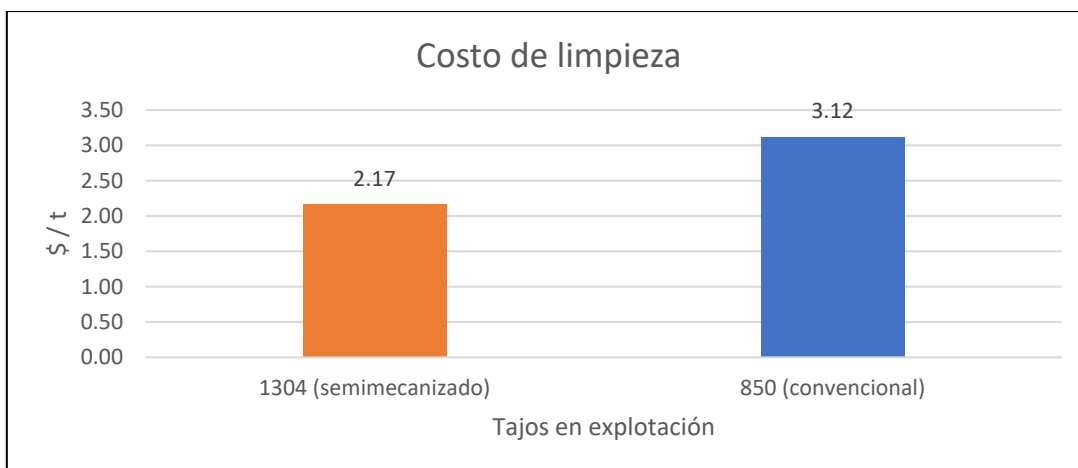


Figura 28. Costos de limpieza

El costo de limpieza del método tradicional de corte y relleno (stope 850) es de 3.12 dólares por tonelada, mientras que el proceso semimecanizado de corte y relleno (stope 1304) es de 2.17 dólares por tonelada. En consecuencia, se puede concluir que el procedimiento de corte y relleno semimecanizado disminuyen los gastos operativos de extracción en \$0.95 por tonelada.

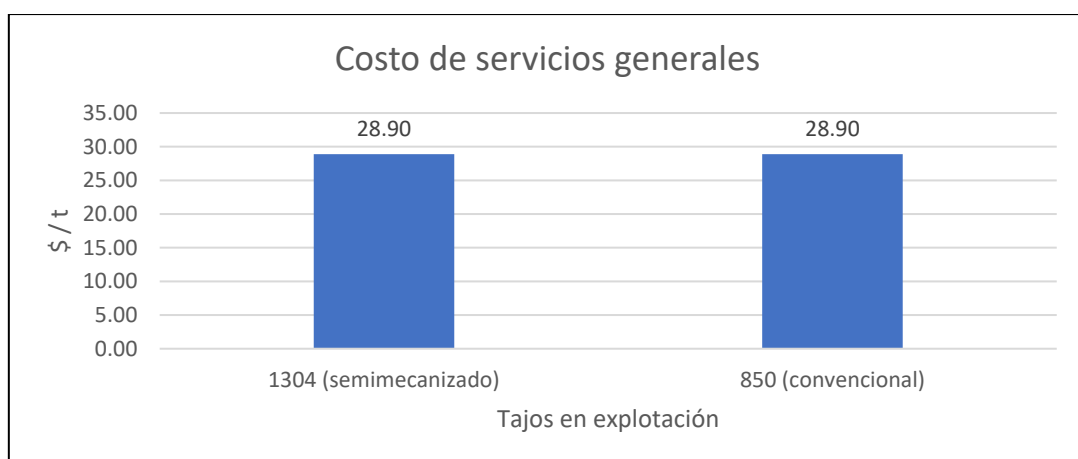


Figura 29. Costos de servicios generales

Se ha encontrado que el proceso tradicional de corte y relleno ascendente (parada 850) cuesta 28.9 dólares por tonelada, mientras que el método semimecanizado de corte y relleno ascendente (parada 1304) cuesta 28.9 dólares por tonelada para servicios generales. Así, se puede deducir que el costo de los servicios generales es el mismo para ambas estrategias.

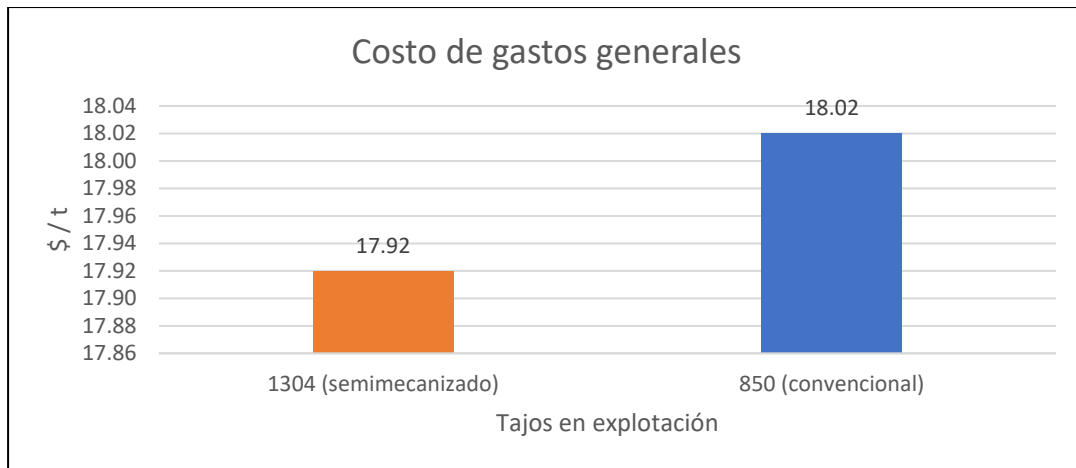


Figura 30. Costos de gastos generales

La técnica tradicional de corte y relleno (stope 850) cuesta 18.02 dólares por tonelada, pero el procedimiento de corte y relleno semimecanizado (stope 1304) cuesta 17.92 dólares por tonelada. Así, se observa que el costo es 0.1 dólares más bajo por tonelaje al emplear el enfoque de corte y relleno semimecanizado.

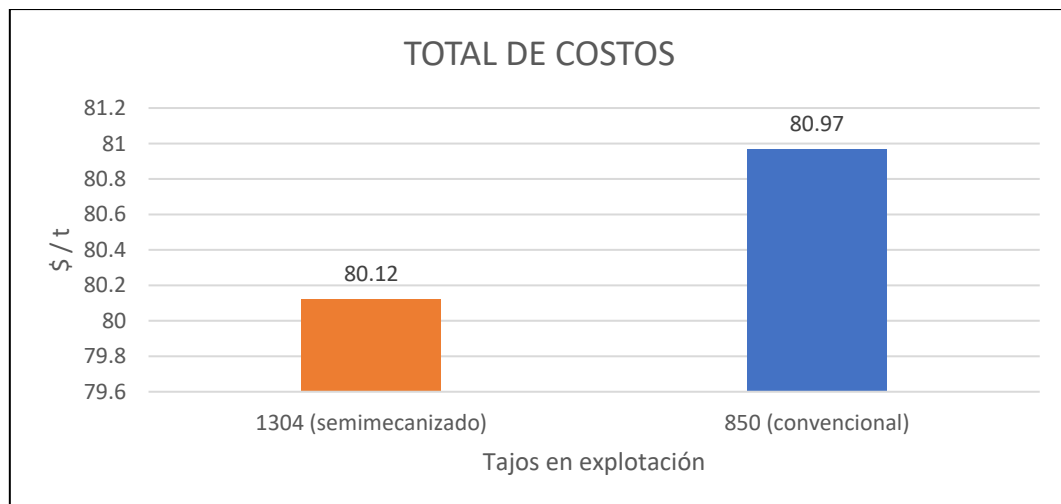


Figura 31. Total de costos

Se ha demostrado que el procedimiento tradicional de corte y relleno ascendente (stope 850) cuesta 80.97 dólares por tonelada, pero el método semimecanizado de corte y relleno ascendente (stope 1304) cuesta 80.12 dólares por tonelada. Por lo tanto, se determina al proceso de corte y relleno ascendente semimecanizado disminuyen los gastos en \$0.85 por tonelada.

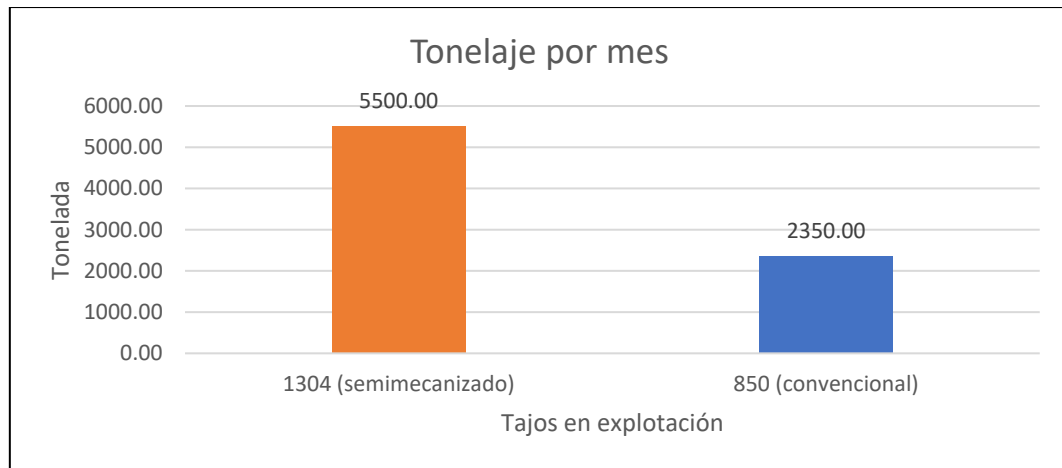


Figura 32. Tonelaje de producción

Se nota que el procedimiento de corte y relleno ascendente semimecanizado (tajo 1304) permite el procesamiento de 5500 toneladas al mes, mientras que el proceso convencional de corte y relleno ascendente (tajo 850) puede procesar 2350 toneladas al mes. Así, se puede deducir que mediante el método corte y relleno ascendente semi mecanizado se puede procesar un mayor volumen de material por mes.

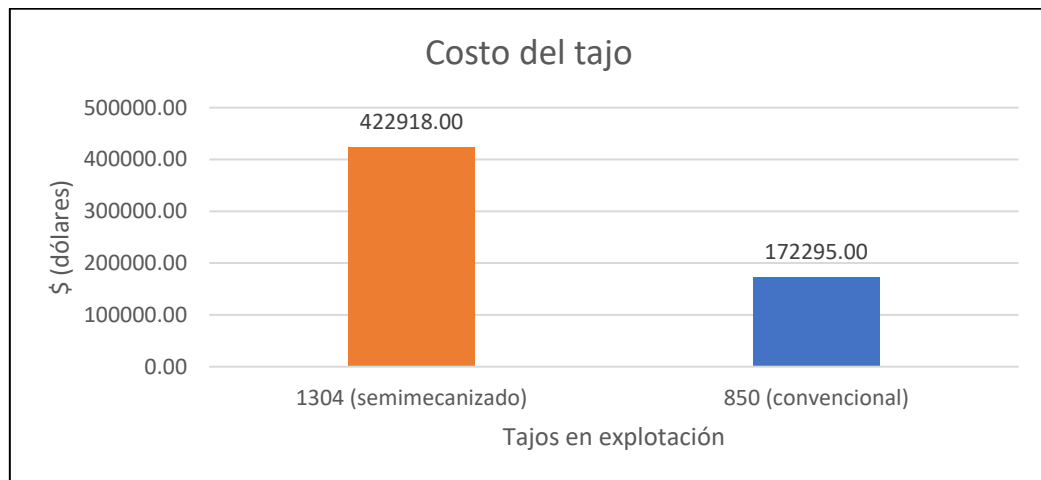


Figura 33. Costo del tajo

El enfoque tradicional de corte y relleno ascendente (stope 850) cuesta 172,295.00 dólares, pero el método semi-mecanizado de corte y relleno ascendente (stope 1304) cuesta 422,918.00 dólares. Se deduce que el uso del procedimiento de corte y relleno semimecanizado aumenta el valor en precios del stope en \$250,623.00.

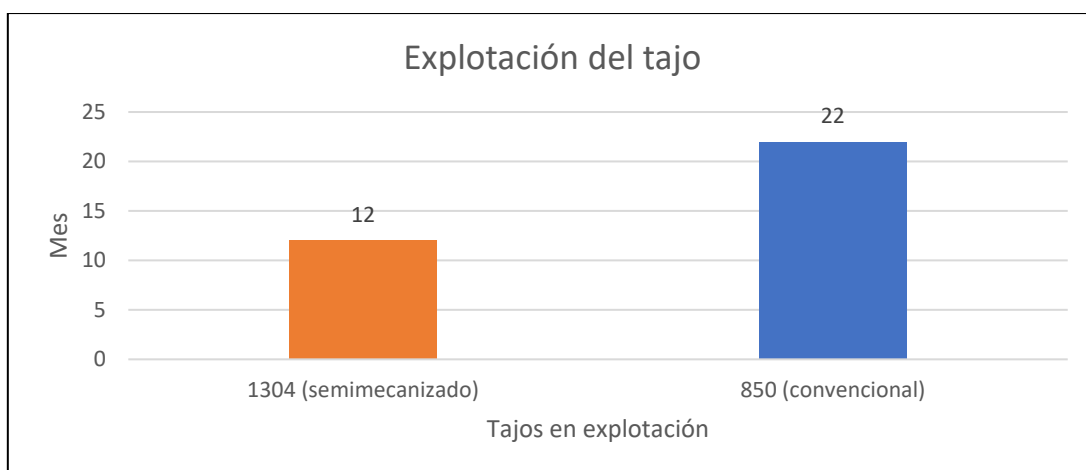


Figura 34. Explotación del tajo

Mientras que la operación estándar de corte y relleno hacia arriba (stope 850) toma 22 meses para completarse, el procedimiento semimecanizado de corte y relleno hacia arriba (stope 1304) completa la explotación del stope en 10 meses. Por lo tanto, se puede concluir que, en contraste con el enfoque tradicional, el procedimiento de corte y relleno ascendente semimecanizado permite procesar el tajo completo anual.

Tabla 11. Criterios para elección de método

Criterios para selección	Unidad	1304	850
Riesgo de seguridad	Nivel	Medio	Medio
Producción	TMH/mes	1507.00	1043.80
Costo de explotación	\$ / t	22.47	26.82
Dilución	%	5.80	4.90
Tiempo de explotación	mes	12	22

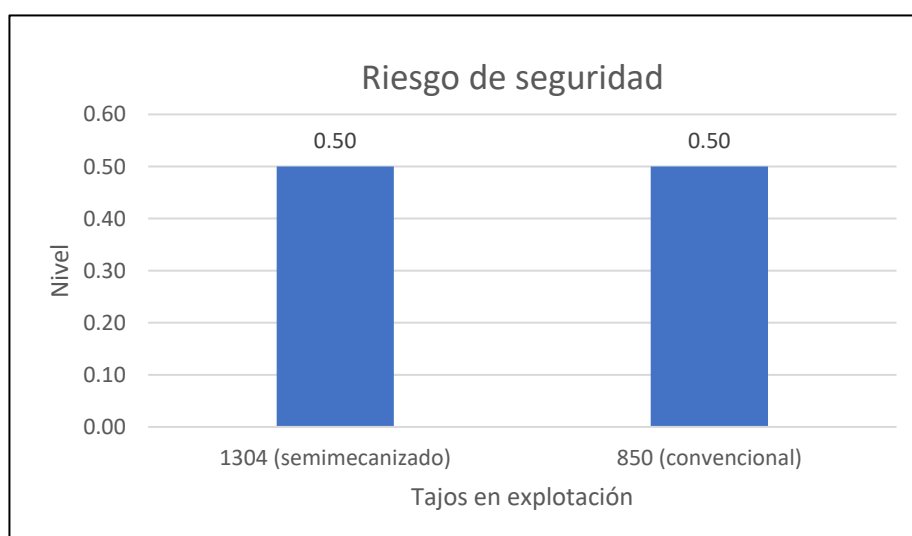


Figura 35. Riesgos de seguridad

Tanto la técnica tradicional de corte y relleno (parada 850) como la técnica semimecanizada de corte y relleno (parada 1304) presentan un grado intermedio de seguridad.

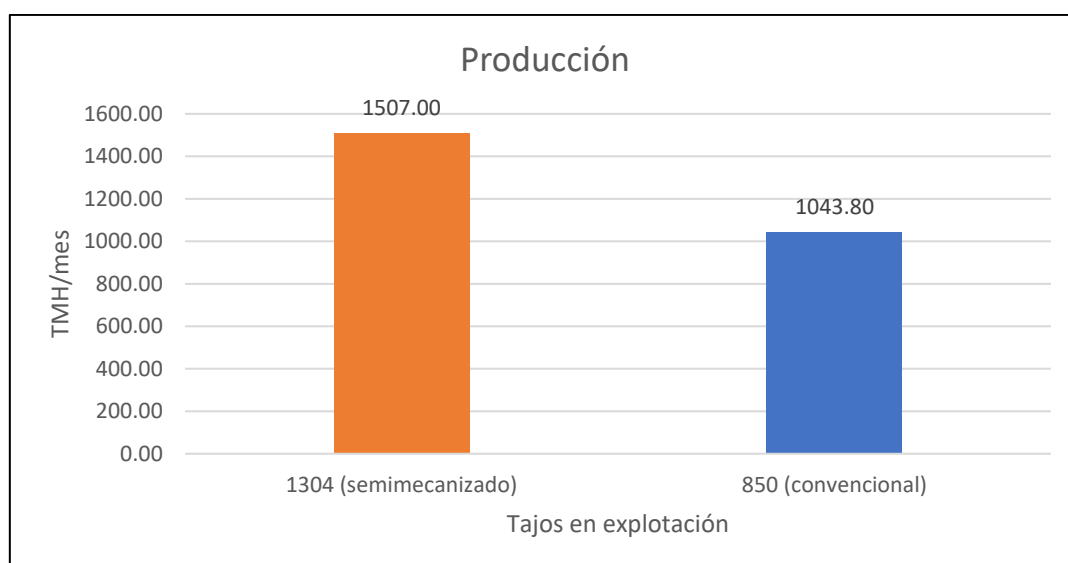


Figura 36. Producción en tonelaje

La producción mensual en toneladas se encuentra en 1507 con el proceso de corte y relleno semi-mecanizado (stope 1304) y 1043.80 con el método de corte y relleno convencional (stope 850). Por lo tanto, se puede concluir que se puede procesar una mayor cantidad de material cada mes empleando el procedimiento de corte y relleno ascendente semimecanizado.

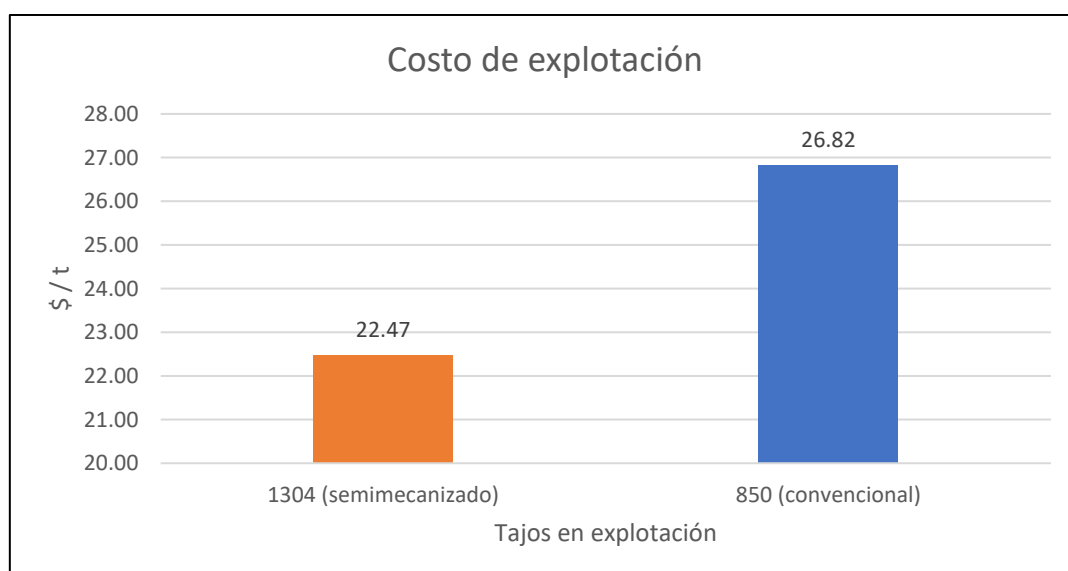


Figura 37. Costo de explotación

El proceso de corte y relleno semimecanizado (stope 1304) tiene un valor operativo de 22.47 dólares por tonelada, mientras que el método tradicional de corte y relleno (stope 850) tiene un

costo operativo de 26.82 dólares por tonelada. Esto lleva a la conclusión de que el método de corte y relleno ascendente semimecanizado ahorra \$4.35 por tonelada en costos de explotación.

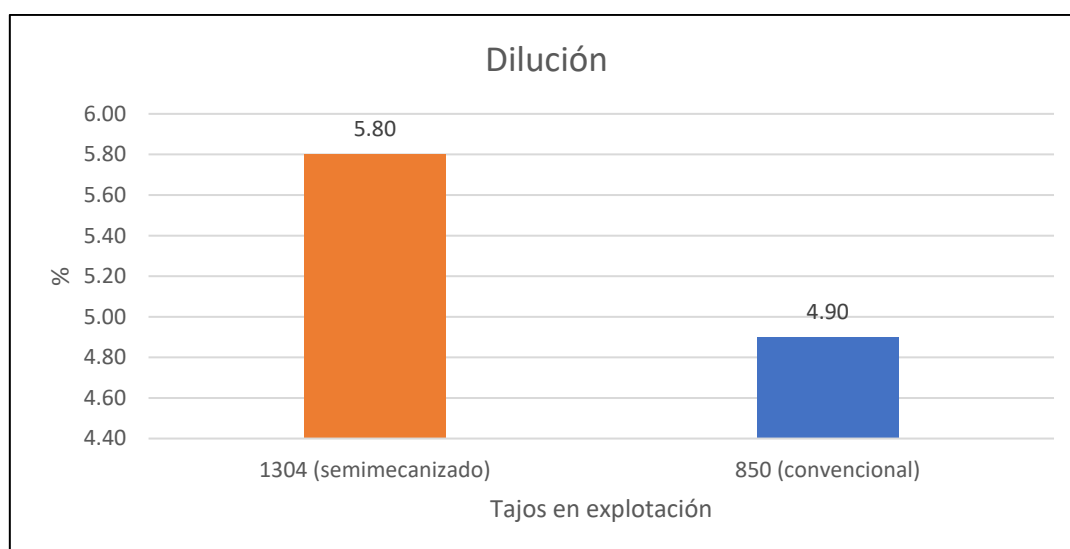


Figura 38. Dilución

El sistema de corte y relleno ascendente semimecanizado (stope 1304) presenta el porcentaje de dilución del 5.80, mientras que el método tradicional de corte y relleno ascendente (stope 850) tiene un porcentaje de dilución del 4.90. Esto lleva a la determinación del enfoque de corte y relleno ascendente semimecanizado tiene una mayor dilución.

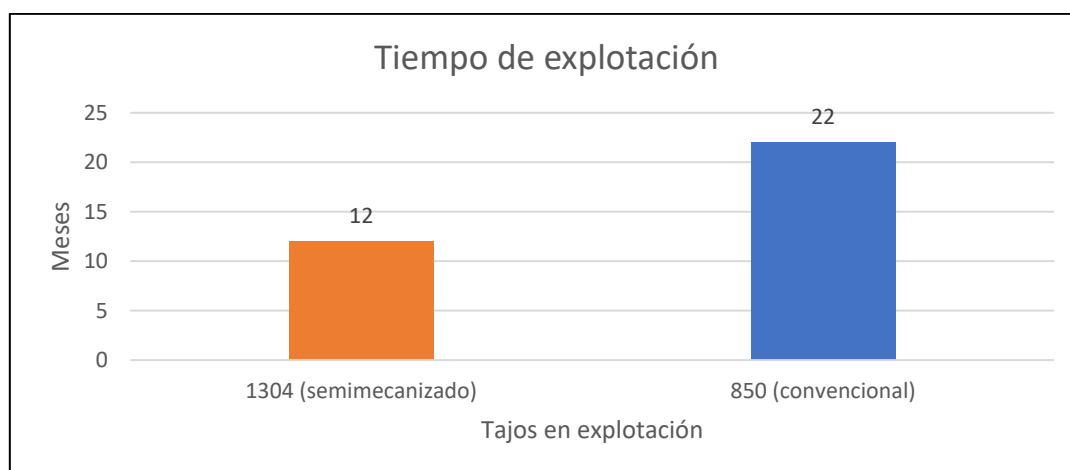


Figura 39. Tiempo de explotación

En comparación con el sistema tradicional de corte y relleno hacia arriba (stope 850), el proceso semimecanizado de corte y relleno hacia arriba (stope 1304) tiene un tiempo de explotación de 12 meses. Dado que se observa una variación de 10 meses en el tiempo de explotación, se puede concluir que el método semimecanizado de corte y relleno hacia arriba realiza el procedimiento de la manera más eficiente posible.

4.2. Discusión de resultados

4.2.1. Resultado comparativo de operaciones

Las conclusiones presentadas en la Tabla 8 señalan que la técnica de corte y relleno ascendente semi-mecanizada mejora y mejora las operaciones unitarias en áreas como ventilación, apoyo, perforación, voladura y limpieza. Esto señala que, a lo largo de todo el periodo de minado, se ha registrado una disminución de 2.59 horas en comparación con el método tradicional.

Los resultados muestran que mejorar los procedimientos más pertinentes en la explotación de detecciones en alza y expandir la capacidad operativa son comparables. También sugiere que, en comparación con el método convencional, el método semimecanizado de corte y relleno en alza ofrece mejor economía, seguridad, rendimiento y, lo más importante, variedad.

En particular, debido a que el método semimecanizado de corte y relleno hacia arriba requiere periodos de ventilación más cortos, su mejor rendimiento está asociado con las horas de operación de ventilación. Es crucial tener en cuenta, sin embargo, que las circunstancias locales del propio yacimiento también afectan la implementación del proceso de extracción subterránea. No ha habido ninguna diferencia discernible entre las dos técnicas mineras en términos de soporte.

El método tradicional requiere 2.69 horas para finalizar las labores de perforación y voladura, mientras que el método semimecanizado de corte y relleno requiere 1.52 horas. Esto señala que el método semimecanizado y el método convencional varían en un 60%, siendo CRASM el que obtiene los resultados más favorables al disminuir los tiempos de perforación y voladura en el porcentaje establecido. Se deduce que hay un mayor interés en minimizar el tiempo de inactividad entre las actividades de perforación y voladura porque están prácticamente conectadas a lo largo del proceso de extracción.

Así pues, incorporar herramientas como el Jack leg y dispositivos como el scrooptram no solo incrementa la capacidad operativa del área de extracción, asimismo, resulta crucial para minimizar los cambios superfluos entre el término de la perforación y la ejecución de la voladura.

En esta parte, el enfoque de corte y relleno hacia arriba semimecanizado es notable debido a la diferencia de 1.33 horas en los tiempos de limpieza entre los dos métodos, lo que se traduce

en una disminución del 63.94% en el tiempo de limpieza. Alude al hecho de que el uso inteligente del scooptram es una forma de mejorar la limpieza y el llenado de manera semimecanizada. Es posible realizar algunas modificaciones entre los periodos de limpieza y la disposición de otros sectores que requieren de máquinas, incluso si su incorporación disminuye significativamente las horas de parada.

Uno de los principales beneficios de la mecanización en el procedimiento de corte y relleno ascendente es que, para alcanzar altos grados de productividad, la adaptabilidad en las operaciones unitarias también demandará un mayor respaldo logístico, administrando estratégicamente cada etapa ejecutada durante el proceso de extracción de minerales.

4.2.2. Resultado comparativo de producción

El enfoque de corte y relleno ascendente semimecanizado produce más disparos por día que el método convencional, según los datos en la Tabla 9, sin embargo, la cantidad de disparos producidos por cada método es comparable. Además, hay una variación notable entre los periodos mensuales de corte y extracción de los dos métodos. Las toneladas por disparo y la tonelada mensual total producida para las regiones examinadas de la veta Nicole son las dos principales formas en que esto se expresa.

En contraste, los resultados muestran un aumento del 67% en el volumen de producción y una variación del 4.7% en el ciclo de minería en comparación con el enfoque tradicional. A diferencia del método convencional de corte y relleno, se nota que el procedimiento de extracción del método de corte y relleno ascendente semimecanizado ha incrementado la producción de 78.33 t/día a 183.33 t/día.

El aumento de productividad del método de corte y relleno ascendente semimecanizado está respaldado aún más por Sucasaca (7), quien señala que la extracción de bloques de estopa utilizando este enfoque ha permitido un aumento de 285 toneladas por día en la producción en los depósitos mineros de Ariahua S. A. En cualquier caso, la semi-mecanización fue probada utilizando sistemas de seguimiento de minería de roca, perforadoras de 6 pies para trabajos de perforación y volquetes. En otras palabras, cuando se utiliza directamente el Jack leg para mejorar las operaciones de perforación y voladura, se prevén niveles de producción más altos.

De acuerdo con Córdova (8), la voladura tradicional debe tener en cuenta que el 60% del material detrítico puede emplearse como relleno en la cámara de explotación. Palomino (9), a su vez, sugiere que la semimecanización de los procedimientos de explotación actuales es uno de los factores que impulsa la productividad en la técnica de corte y relleno semimecanizado.

Por lo tanto, está claro que, para maximizar la producción, el enfoque semimecanizado debe tener en cuenta algunos factores más, como los que menciona Valencia (2), que enfatizan la importancia de una adecuada gestión y disposición de la malla de perforación, la carga y el espaciamiento.

4.2.3. Análisis de evaluación económica

La Tabla 10 muestra que, con una producción mensual de 3150 toneladas, los gastos generales muestran una diferencia de \$0.85/t. El enfoque de corte y relleno semimecanizado produce las ganancias máximas para el negocio con la menor cantidad de inversión. Es crucial señalar, por lo tanto, que el proceso de corte y relleno ascendente semimecanizado tiene un costo operativo por tonelada más alto que cualquier otra categoría de gastos de inversión. El principal causante de este incremento es la implementación de la semimecanización en los procesos de perforación, voladura y limpieza. A pesar de que el costo del stope del procedimiento de corte y relleno ascendente semimecanizado supera al del método convencional, la cantidad total de tonelaje generada compensa este desembolso.

Valencia (2) argumenta que, en la valoración de la producción a largo plazo del método, el método de corte y relleno ascendente semimecanizado resulta más eficaz, incluso si demanda más tiempo de preparación. Por lo tanto, un período de tiempo en el que el método de corte y relleno semimecanizado esté completamente establecido debería servir como base para el análisis económico comparativo. No obstante, Sucasaca (7) indica que una evaluación económica de la explotación subterránea sugiere que el método de corte y relleno, también denominado corte y relleno ascendente, es el más apropiado ya que se adapta a las condiciones del macizo rocoso, la forma del depósito, la inclinación de la veta, la calidad de la roca, el deterioro del mineral, la inclinación y otros elementos. La continuidad del proyecto se asegura de esta manera.

De manera similar, Villacrés (3) señala que después de que las operaciones se estabilizan a lo largo del ciclo minero, la rentabilidad del método de corte y relleno ascendente semimecanizado a menudo puede observarse. No obstante, Gonzales (10) argumenta que el método de corte y relleno ascendente semimecanizado no representa una opción más favorable que el método tradicional, dado que demanda una considerable cantidad de recursos, de acuerdo con los hallazgos de la evaluación económica de su estudio. Así, "el método óptimo, aceptable y apropiado es el método de minería de pared larga debido al progreso, la seguridad, el tiempo, la producción, el suministro total a la planta y la inversión que proporciona, y es extremadamente beneficioso en comparación."

Palomino (9) indica que cualquier método de minería subterránea requiere actividades de exploración y desarrollo, dado que funcionan como vías de acceso a la región mineralizada y facilitan la obtención de un depósito económicamente rentable. Esta es una consideración para la adecuada implementación del método de corte y relleno ascendente semimecanizado. Además, Catillo (5) muestra que cambiar del enfoque tradicional al enfoque de explotación semimecanizada reduce el costo de explotación de \$14.58/t a \$12.43/t.

4.2.3. Análisis de evaluación económica

Los datos presentados en la Tabla 11 se utilizan para calcular la diferencia de producción entre el método tradicional y el sistema semimecanizado de corte y relleno ascendente, así como la duración de la extracción y la dilución del mineral. En cualquier caso, dado que el proceso de corte y relleno ascendente semimecanizado resulta en la mayor pérdida de mineral debido a las operaciones unitarias, el factor más importante es la diferencia en la dilución entre los dos métodos. Para determinar la eficacia del método, esta indicación debe tenerse en cuenta, aunque el costo y el tiempo de explotación sean menores que los del enfoque tradicional.

Valencia (2) señala en la investigación sobre la disminución de gastos operativos, indicando una disminución del 24% en los costos de producción ha sido posible gracias a la explotación de vetas empleando el enfoque de corte y relleno semimecanizado. Como se puede apreciar en el incremento de la producción de vetas, Córdova (8) apoya esto sosteniendo que el método de corte y relleno ascendente semimecanizado proporciona una economía, seguridad, adaptabilidad y rendimiento notables en comparación con el método tradicional. No obstante, dado que permite un mayor volumen, es imperativo poner mayor énfasis en la etapa de preparación. En cualquier caso, dado que el objetivo es aumentar los niveles de producción pasados, se utilizará mucha maquinaria diseñada para estas tareas.

En consecuencia, Catillo (5) señala que el uso de la pala en los procedimientos de limpieza y relleno maximiza las horas de operación, ofrece más flexibilidad, y la corrección del trabajo y la adherencia a los horarios establecidos son indicadores de la eficiencia de las tareas en cuestión. Además, las empresas que han optado por utilizar el enfoque de corte y relleno ascendente semimecanizado lo han encontrado beneficioso.

Los hallazgos de Catillo (5), que muestran 101,612 t con un espesor diluido de 2.71 m y una ley diluida promedio de 12.63 g/t para la mina en estudio, demuestran que el proceso de corte y relleno semimecanizado ha permitido un aumento en la productividad minera. Además, la técnica de corte y relleno ascendente semimecanizada ha sido adecuadamente adaptada a las características geomecánicas del mineral y de la roca anfitriona. La importancia de tener en

cuenta el análisis geomecánico de la región de explotación es entonces destacada por Córdova (8), ya que esto estará estrechamente relacionado con las variables de dilución para la selección de la técnica.

Según Córdova (8), la dilución, la purificación de minerales y los altos gastos de soporte son algunos de los principales obstáculos en el ciclo minero. Dado que el objetivo principal de mecanizar algunas operaciones es eliminar todas las pérdidas tanto como sea posible, el enfoque de la técnica de detención ascendente semimecanizada aborda inmediatamente una disminución en la producción mineral. El enfoque semimecanizado de corte y relleno ascendente, por otro lado, ha creado más pérdidas por dilución que el método convencional, según los hallazgos de la investigación, lo que indica una mejor adaptación o regulación de la mecanización.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Dado que la zona II de la veta Nicole muestra mineralización de tipo venas con anchos que varían de 0.20 m a 2.50 m con ensanchamientos locales, el trabajo en profundidad es un componente clave de los planes operativos futuros de la unidad minera Arcata. Además, para establecer directrices estrictas que sirvan como controles sobre el grado marginal de la unidad minera.
- Dado que los fenómenos se observan en su hábitat natural y posteriormente se estudian, se ha utilizado el método científico, especialmente el método no experimental, en esta investigación.
- La observación directa, las entrevistas no estructuradas y la revisión de documentos fueron algunos de los métodos de recopilación de datos utilizados en este estudio, y todos se llevaron a cabo de manera consistente y adecuada. Esto se debe a que la información bibliográfica recopilada de varias fuentes ha sido examinada minuciosamente para lograr una evaluación exhaustiva de los documentos.
- Como parte de la fase de optimización operativa, la mina comenzó a profundizar a finales de 2023, aumentando sus reservas minerales probadas a 5.7 millones de toneladas. Esta cifra garantiza y compensa el costo de contratar más trabajadores e implementar nuevas prácticas laborales para cumplir con esta producción.
- Utilizar la técnica de corte y relleno ascendente semimecanizado para eliminar los bloques de estopa en la Zona II de la veta Nicole ha resultado en un aumento del 44% en la

producción, alcanzando 5500 t/mes en comparación con 2350 t/mes utilizando el enfoque convencional.

- Al instalar equipos de carga cautiva en los bancos, que realizan tareas de limpieza de minerales en los bancos y tareas de desmantelamiento en las regiones de desarrollo, se lograron mejoras en el proceso de explotación. En comparación con el tiempo de finalización de 22 meses del enfoque anterior, el tiempo total de explotación del pozo se redujo a 12 meses, y la inversión ahorrada durante todo el período de explotación del pozo fue de S/ 250,623.00.
- El costo total del método moderno fue de \$22.47/t, mientras que el del método tradicional fue de \$26.82/t. Esto representa una disminución de 4.35 dólares por tonelada en los costos de explotación. El método de minería de corte y relleno ascendente semimecanizado tiene una dilución del 5.8%, mientras que el enfoque tradicional de corte y relleno ascendente tiene una dilución del 4.9%.
- Cortar el mineral rentable en tiras horizontales, comenzando desde el fondo del tajo y moviéndose verticalmente con cada corte, es la técnica de minería de corte y relleno ascendente semimecanizada. Por último, se utilizará relleno hidráulico o detrítico para llenar el área vacía. Un brazo giratorio que se retrae con cada corte desde la rampa auxiliar proporcionará acceso a la cantera. La perforación se realiza de manera horizontal (frontal).

5.2. Recomendaciones

- Para seleccionar la técnica de extracción más adecuada, considerando las particularidades del suelo y el tipo de mineralización, resulta crucial llevar a cabo un análisis de los elementos geológicos y geomecánicos de los depósitos minerales.
- Un estudio de las características geológicas y geomecánicas de los depósitos minerales es necesario para determinar el método de extracción óptimo, teniendo en cuenta las características distintivas del terreno y el tipo de mineralización.
- Como compañía, es crucial dar prioridad a la aplicación de técnicas de minería subterránea de movimiento masivo de mineral, con el fin de alcanzar mejores resultados operativos y económicos que se reflejarán en la mejora constante de los procesos de minería subterránea.

- Para equilibrar la necesidad de aire fresco en las tareas de profundización, el método de minería de corte y relleno ascendente semimecanizado requiere invertir en pozos de ventilación de mayor diámetro o en equipos de carga que emitan gases en cumplimiento con las regulaciones internacionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. RIVAS, Daniel y UGARTE, Claudio. Optimizar el proceso de fortificación de minera Florida. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Santiago de Chile: Universidad de las Américas, 2018, 55 pp.
2. VALENCIA, Evaristo. Método de minado corte y relleno. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2009.
3. VILLACRÉS, Roberto. Optimización de costos al sistema de explotación subterránea en la veta Kathy de la Empresa Produmin S .A. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Quito: Universidad Central de Ecuador, 2016.
4. SARAIVIA, Rafael. Operaciones en mina subterránea Marcapunta Norte-Brocal. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2026.
5. CATILLO, Marvin. Incremento de la producción mediante el método de explotación de corte y relleno ascendente semimecanizado en el tajo 767, Cía. minera Caudalosa S. A. 2018. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2018, 96 pp.
6. PACAHUALA, Mayra Reducción de costos operativos en desarrollos mediante actualización de estándares en perforación y voladura, caso de la empresa especializada Mincotrall S. R. L. . Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
7. SUCASACA, Delvis. Incremento de la producción del mineral en los tajeos Carlota y San José mediante el método de explotación corte y relleno ascendente mecanizado en la minera Arirahua S. A. – Arequipa. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Puno, Universidad Nacional del Altiplano, 2018.
8. CÓRDOVA, Maria. Análisis del método de corte y relleno ascendente semimecanizado, frente al método long wall en la producción de mineral del tajo 6520, nv 2760, Compañía Minera Poderosa S.A. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Piura : Universidad Nacional de Piura, 2019.

9. PALOMINO, Jimmy. Influencia de la perforación y voladura en las labores de exploración y desarrollo en Compañía Minera Alpayana S.A. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, 2021.
10. GONZALEZ, Jefferson. Comparación del método de explotación corte y relleno ascendente semi – mecanizado y el método Long Wall Mining en la veta Valeria de una mina subterránea, La Libertad – 2020, La Libertad. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Trujillo : Universidad Privada del Norte, 2022.