

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

Mejoramiento de indicadores en el proceso de voladura del método de cámaras y pilares en la compañía minera Poderosa S. A.

Denys Brandon Castro Ataucusi
Amilkor Yair Rios Paucarchuco

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Faustino Aníbal Gutiérrez Dañobeitia
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 28 de febrero de 2025

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

Título:

Mejoramiento de indicadores en el proceso de voladura del método de cámaras y pilares en la Compañía Minera Poderosa S.A.

Autor:

Amilkor Yair Rios Paucarchuco – EAP. Ingeniería de Minas
Denys Brandon Castro Ataucusi – 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
N.º de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): 12 | 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.

Dedicatoria

A mis hermanos y familia, por su confianza en mí y sus palabras de aliento. Cada gesto de apoyo ha servido como un catalizador para seguir adelante. Mis profesores y mentores me han ayudado a convertirme en un profesional en la industria minera con su conocimiento y orientación. A mis amigos y compañeros de clase, con quienes he creado recuerdos invaluable a través de innumerables sesiones de estudio, proyectos grupales y desafíos. A mis amigos y otros profesionales, con quienes he compartido muchas horas de estudio, trabajo en equipo y desafíos, creando recuerdos inolvidables. Finalmente, a todos los que han participado en este proceso de una forma u otra. Gracias por creer en mí y acompañarme en este viaje. Con gratitud y respeto,

Agradecimiento

A mis mentores académicos e instructores, quienes han sido pilares esenciales de mi educación con su compromiso y experiencia. Quiero expresar mi gratitud al Ing. Anibal Gutierrez en particular por sus consejos, tolerancia y valiosas aportaciones a lo largo de nuestro estudio. A los ingenieros y expertos de la industria minera cuyos conocimientos e instrucción han enriquecido mi educación. Comprender la importancia y la influencia de la ingeniería minera en el crecimiento efectivo y sostenible del sector ha sido posible gracias a su dirección y consejo. A mis amigos y estudiantes, con quienes he pasado muchas horas trabajando, aprendiendo y superando obstáculos. Este viaje fue más tolerable y gratificante gracias a su amistad y apoyo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO.....	1
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	xi
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	12
1.1. Planteamiento y formulación del problema	12
1.2. Objetivos	13
1.3. Justificación e importancia	13
1.4. Delimitación del proyecto	14
1.5. Hipótesis y variables	14
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	16
2.1. Antecedentes de la investigación	16
2.2. Generalidades de la minera Poderosa	18
2.3. Bases teóricas.....	24
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	44
3.1. Métodos y alcances de la investigación 3.1.1. Método general	44
3.2.Población y muestra	44
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	45
3.4.Técnicas utilizadas en la recolección de datos.....	45
3.5.Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....	45
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1.Presentación de resultados	46
4.1.1.Plan de producción programado	46
4.1.2.Indicadores de productividad en los tajeos de exploración.....	46
4.1.3. Indicadores de productividad en los tajeos de preparación y explotación	48
4.2. Discusión de resultados	56
4.2.1. Indicadores de productividad en los tajeos de exploración - Galerías	56
4.2.2. Indicadores de productividad en los tajeos de exploración - chimeneas.....	57
4.2.3. Indicadores de productividad en los tajeos de exploración - subniveles.....	58
4.2.4. Indicadores de productividad y rendimiento por barreno	58
4.2.5. Indicadores de explotación en tajeos	59
4.2.6. Costo de voladura por disparo	60
4.2.7. Costo de voladura por metro lineal	60

4.2.8. Costo de voladura por tonelada	61
4.2.9. Rendimiento del tajo 660	61
4.2.10. Rendimiento del tajo 570	61
4.3. Prueba de hipótesis general	61
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
5.1. Conclusiones	65
5.2. Recomendaciones	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Índice de calidad de roca	26
Tabla 2. Valoración RMR	26
Tabla 3. Valores de resistencia a compresión simple y carga	27
Tabla 4. Manual de perforación y voladura	29
Tabla 5. Plan operativo unidad minera Santa María - periodo 2023.....	46
Tabla 6. Indicadores de productividad galerías	47
Tabla 7. Indicadores de productividad chimeneas	48
Tabla 8. Indicadores de productividad subniveles	49
Tabla 9. Indicadores de productividad explotación	50
Tabla 10. Estructura de costo labor de 6”	51
Tabla 11. Estructura de costo labor de 8”	52
Tabla 12. Indicadores de rendimientos en voladura programado y real	54
Tabla 13. Costos de accesorios de explosivos	54
Tabla 14. Indicadores de costos de voladura programado y real	55
Tabla 15. Evaluación de la composición de costos en trabajos por ml	55
Tabla 16. Evaluación de la composición de costos en trabajos por toneladas	56
Tabla 17. Evaluación de la composición de costos en trabajos por toneladas	56
Tabla 18. Rendimiento del tajo 660	61
Tabla 19. Rendimiento del tajo 570	61
Tabla 20. Rendimiento de producción Tn/Hg TAJO 660 mes de mayo	62
Tabla 21. Rendimiento de producción Tn/Hg TAJO 570 mes de mayo	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación e infraestructura	18
Figura 2. Plano geológico regional del yacimiento de la mediana empresa minera.....	19
Figura 3. Geología local de Poderosa.....	21
Figura 4. Geología estructural de Poderosa.....	22
Figura 5. Unidades estratigráficas de Poderosa	22
Figura 6. Plano geomecánico de la galería 460 – Poderosa.....	23
Figura 7. Sección de subnivel	24
Figura 8. Representación del método de cámaras y pilares clásico	33
Figura 9. Representación del método de cámaras y pilares con postes.....	34
Figura 10. Representación del método de cámaras y pilares en escalones	36
Figura 11. Comparativo de indicadores de exploración en galerías	57
Figura 12. Comparativo de indicadores de exploración en chimeneas	57
Figura 13. Comparativo de indicadores de exploración en subniveles	58
Figura 14. Comparativo de rendimiento de exploración por barreno	58
Figura 15. Comparativo de producción de exploración por barreno.....	59
Figura 16. Indicadores de explotación en tajeos.....	59
Figura 17. Costo de voladura por disparo	60
Figura 18. Costo de voladura por metro linea	60
Figura 19. Costo de voladura por tonelada.....	61
Figura 20. Gráfico de la producción del tajo 660	62
Figura 21. Gráfico de la producción del tajo 570	63

RESUMEN

La intensificación de las operaciones mineras subterráneas en Perú plantea desafíos para mejorar los costos operativos en la Minera Poderosa S.A. El principal problema en las unidades mineras en sus operaciones mineras son el *overbreak*, ya que incrementa los costos operativos, especialmente de limpieza e incurre en costos adicionales en la estabilización del talud. Para abordar este problema, se han propuesto métodos y potencias explosivas, así como propuestas para reducir la sobreexcavación.

Este estudio está en línea con la investigación descriptiva y explicativa. El problema general fue: ¿de qué manera se mejorarían los indicadores de la voladura empleada en el método de cámaras y pilares en Compañía Minera Poderosa S. A.? Por otro lado, el objetivo general fue mejorar los indicadores de la voladura empleada en el método de cámaras y pilares en la Compañía Minera Poderosa S. A.

La investigación presenta los siguientes resultados:

1. Después de evaluar el nivel de desempeño de los indicadores de voladura en Compañía Minera Poderosa S. A., son necesarios ciertos ajustes para aumentar la productividad.
2. Realizar el control operativo de la voladura permitirá mejorar los indicadores en el método de cámaras y pilares en la Compañía Minera Poderosa S. A.
3. Compañía Minera Poderosa S. A. podrá reducir los gastos operativos asociados con el método de cámaras y pilares mejorando los indicadores de voladura.
4. La técnica de voladura de cámara y pilar puede hacerse más productiva y eficiente mediante la gestión del talento humano. En Compañía Minera Poderosa S. A., la tecnología utilizada permite que la voladura mediante el método de cámara y pilar se realice con eficiencia y productividad.

Palabras clave: Operaciones mineras subterráneas, Costos operativos, Overbreak, Métodos y potencias explosivas, Sobre excavación, Control operativo de la voladura, Productividad.

ABSTRACT

The intensification of underground mining operations in Peru poses challenges to improve operating costs at Minera Poderosa S.A. The main problem in mining units in their mining operations is overbreak, as it increases operating costs, especially cleaning costs, and incurs additional costs in slope stabilization. To address this problem, explosive methods and powers have been proposed, as well as proposals to reduce overexcavation.

The present study corresponds to a descriptive, explanatory investigation. The general problem was: how would the indicators of the blasting used in the chamber and pillar method at Compañía Minera Poderosa S.A. be improved? On the other hand, the general objective was to improve the indicators of the blasting used in the chamber and pillar method at Compañía Minera Poderosa S.A.

The research presents the following results:

1. Having determined the degree of performance of the blasting indicators at Compañía Minera Poderosa S.A., some corrections must be made to improve efficiency.
2. Carrying out operational control of the blasting will allow for improved indicators in the chamber and pillar method at Compañía Minera Poderosa S. A.
3. Improving the indicators of blasting in the chamber and pillar method will allow for the reduction of operational costs used in the chamber and pillar method at Compañía Minera Poderosa S. A.

Human talent management allows for productivity and efficiency in blasting using the chamber and pillar method. The technology used allows for productivity and efficiency in blasting using the chamber and pillar method at Compañía Minera Poderosa S. A.

Keywords: Underground mining operations, Operating costs, Overbreak, Explosive methods and strengths, Overbreak, Operational control of blasting, Productivity.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, cada empresa de manufactura está buscando maneras de reducir gastos y aumentar la eficiencia para asegurar su viabilidad a largo plazo, especialmente a la luz de la reciente caída en los precios de los metales.

Esta norma establece que la productividad y la eficiencia de los planes que se elaboran son los aspectos más significativos del desempeño, ya que la competitividad de la organización está determinada por estos estándares de diseño. Pero la idea de producción no implica responsabilidades.

Relacionado SST, medio ambiente y calidad son contradictorios, teniendo la productividad como punto de partida y soporte. Por lo tanto, esta evaluación incluye diagnosticar la situación actual de voladuras para el método operativo utilizado actualmente, revisar indicadores e identificar limitaciones en la “productividad y rentabilidad de la implementación de planes de voladuras”.

El tema de investigación se aborda en el primer capítulo, que también formula y conceptualiza el enfoque del problema, presenta el objetivo del estudio, justifica su importancia y termina con una delimitación.

El marco teórico conceptual del estudio, que contiene el contexto del estudio, detalles teóricos pertinentes sobre sus variables y definiciones de la terminología utilizada en la investigación, se aborda en el segundo capítulo.

El marco metodológico, que incluye el tipo de investigación, nivel, metodología y diseño, así como las técnicas de recolección de datos, el procesamiento de la información, las hipótesis y el conjunto de variables, se explora en el tercer capítulo.

Los hallazgos y su discusión se presentan en el Capítulo 4. El procesamiento y análisis de la información se describen en profundidad, y la prueba de hipótesis es el último paso.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

Cada empresa manufacturera está trabajando para mejorar sus operaciones en la actual era de precios en declive de los minerales con el fin de agilizar los procedimientos, reducir costos y garantizar la supervivencia y longevidad de la empresa. Dado que estas características de diseño afectan la competitividad de la organización, la productividad y eficiencia de los planes previstos son, por lo tanto, la parte más significativa de la operación según este criterio.

La idea de productividad no implica, sin embargo, que las obligaciones relacionadas con la calidad, la seguridad, el medio ambiente, la salud, etc. en el trabajo sean incompatibles con sus principios subyacentes.

Como resultado, esta evaluación implica determinar los límites de la "productividad y rentabilidad de las alternativas de voladura aceptadas," evaluar métricas y diagnosticar la condición actual de voladura de las técnicas mineras que se utilizan en la actualidad.

1.1.1. Problema general

- ¿De qué manera se mejorarían los indicadores de la voladura empleada en el método de cámaras y pilares en Compañía Minera Poderosa S. A.?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cómo se determinará la reducción de los costos operacionales de la voladura empleada en el método de cámaras y pilares Compañía Minera Poderosa S. A.?

- ¿Cómo la gestión del talento humano permite mejorar la productividad y eficiencia en la voladura en el método de cámaras y pilares Compañía Minera Poderosa S.A.?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Mejorar los indicadores de la voladura empleada en el método de cámaras y pilares en Compañía Minera Poderosa S. A.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la reducción de los costos operacionales de la voladura empleada en el método de cámaras y pilares en Compañía Minera Poderosa S. A.
- 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

Como resultado, esta evaluación implica determinar los límites de la "productividad y rentabilidad de las alternativas de voladura aceptadas," evaluar métricas y diagnosticar la condición actual de voladura de las técnicas mineras que se utilizan en la actualidad.

El estado coyuntural de los precios de los metales ofrece la ventaja de implementar mejoras continuas para enfrentar la explotación minera con mayor eficiencia y productividad y proporcionar recursos para mejorar las relaciones con las partes interesadas.

1.3.2. Importancia

Cada empresa manufacturera hoy en día tiene como objetivo mejorar continuamente sus operaciones para optimizar sus procesos y ahorrar costos con el fin de preservar la rentabilidad y la longevidad del negocio, particularmente con la caída de los precios de los minerales.

Dado que estas características de diseño definen la competitividad de una organización, la productividad y eficiencia de los planes descritos son el componente más significativo de la operación bajo este criterio. Sin embargo, el concepto de productividad no significa que los compromisos con la protección del medio ambiente, la salud ocupacional, la seguridad y la calidad sean incompatibles con el concepto y la promoción de la productividad.

En consecuencia, esta evaluación implica evaluar los indicadores, diagnosticar el estado actual de la técnica de voladura en uso e identificar cualquier restricción en “eficiencia y rentabilidad de las alternativas de voladura”.

1.4. Delimitación del proyecto

Situado en el área de La Libertad en Perú, en el distrito y provincia de Pataz, aproximadamente a 320 kilómetros de la ciudad de Trujillo, y a una altitud de 1,250 a 3,000 metros sobre el nivel del mar. La porción espacial de la investigación se define de la siguiente manera: La ubicación de la unidad minera Santa María es:

- ✓ Caserío: Pueblo Nuevo
- ✓ Distrito: Pataz
- ✓ Provincia: Pataz.
- ✓ Región: La libertad

1.5. Hipótesis y variables

1.5.1.Hipótesis general

- El método de voladura utilizado en la construcción de cámaras y pilares facilita el logro de productividad y eficiencia en Compañía Minera Poderosa S. A.

1.5.2.Hipótesis específicas

- Mejorar los indicadores de voladura en el método de cámaras y pilares permitirá la reducción de los costos operacionales empleada en el método de cámaras y pilares en Compañía Minera Poderosa S.A.
- En Compañía Minera Poderosa S.A., la gestión del talento humano permite alcanzar la eficiencia y productividad en la voladura de la técnica de cuarto y pilar.

1.5.3.Variables

- **Variable independiente**

La voladura en el método de cámaras y pilares

- **Variable dependiente**

Productividad

Eficiencia

Ton/hombre guardia.

Diámetro de rotura

Daños causados

Producción planeada

Recursos empleados

Análisis costo, volumen, utilidad.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

- Cruz (2018) en su tesis de grado titulada: *“Evaluación del proceso de perforación y voladura en la explotación de yeso de la mina el toro, los santos- Santander”*, Con la intención de monitorear la cantidad de explosivos y herramientas de voladura utilizadas en el proceso de producción de yeso en la mina El Toro, se presentó en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Se creó una base de datos para mostrar la cantidad de ANFO, mechas de seguridad y detonadores utilizados por cada grupo de trabajo, basada en la producción realizada y los metros excavados. Estas cifras se incluyen en la sección sobre el uso de explosivos y equipos de voladura a lo largo de la operación. Está claro que en prácticamente todas las circunstancias, los valores reales de operación están muy por debajo de los valores teóricos; de manera similar, el grupo de trabajo 3 (CELISO) tiene un mejor desempeño en términos de metros perforados (1).
- Mejía (2019) en su tesis titulada: *“Optimización del proceso de perforación y voladura subterránea para la Sociedad Minera Oro Sol Uno”*, este estudio, que fue presentado en la Universidad de Azuay en Ecuador, se centra en determinar el consumo específico, que puede variar de 0.9 a kg/cm^3 para actividades de voladura subterránea. Por lo tanto, se determinó que se encontraba dentro del rango teórico definido (1.80 a 2.48 kg/cm^3), con un consumo de 1.90 kg/cm^3 . Sin embargo, en contraste con el diseño actual, que tenía un volumen inicial de 5.20 m^3 , se logró un volumen inicial mayor de 12.70 m^3 (2).
- Diaz, Guarín y Jiménez (2019) en su artículo científico titulado: *“Análisis y diseño de la operación de perforación y voladuras en minería de superficie empleando el enfoque de la*

programación estructurada” se llevó a cabo en la Universidad Nacional de Colombia con el objetivo de demostrar cómo la programación estructurada puede ser utilizada para analizar y organizar las operaciones de perforación y voladura en la minería a cielo abierto. El objetivo de este estudio es proporcionar una interfaz que acepte como entradas la densidad del explosivo, el diámetro e inclinación del taladro, la resistencia a la compresión de la roca y las dimensiones del banco. Los siguientes son los aspectos principales que influyen en el diseño de la operación de perforación y voladura: Altura del banco, carga, espaciamiento, tapón, carga del agujero, número de agujeros, factor de carga, etc. Esta técnica acelera el diseño de las operaciones de perforación y voladura mientras reduce el error humano causado por el uso frecuente de fórmulas para estimar los parámetros involucrados en el diseño de perforación y voladura en la minería a cielo abierto (3).

2.1.2. Antecedentes nacionales

- Gonzáles (2016) en su tesis de grado denominada: *“Evaluación de la voladura en el método de cámaras y pilares en la compañía minera Marsa”* se presentó en la UNCP, Huancayo, y se establece que el uso del método cámara y pilar en voladura permite la eficiencia y productividad, que la gestión del talento humano permite la eficiencia y productividad en el uso del método cámara y pilar en voladura, y que el costo operativo (minería) de la explotación utilizando este método es de 17.18 dólares por tonelada y la producción es de 10.34 toneladas por turno-hombre, y que el costo de usar el pozo 561 es de 15.52 dólares por tonelada y la producción es de 13.73 toneladas. En consecuencia, el pozo 561 de Minera Aurífera Retamas S. A. tiene un costo operativo (minería) un 9.62% menor que el pozo 564. (4).
- Abanto y Vázquez (2016) en su tesis de grado denominada: *“Reducción de costos en las operaciones unitarias de perforación y voladura optimizando el mantenimiento de brocas de 45mm, rimadoras de 102 mm y el consumo de explosivo en las labores de desarrollo que realiza la Empresa Conmiciv S.A.C en CMH S.A”* Según su presentación en la Universidad Nacional de Trujillo en Trujillo, el costo promedio del proceso de voladura solía ser de \$106.7/m, lo cual era \$2.8/m más que el precio unitario de voladura (PU) de \$103.9/m. El costo de voladura se redujo a \$96.6/m al controlar el uso de explosivos, lo que representa \$10.1/m menos que el costo original. Se utilizó la técnica científica analítica descriptiva para este estudio. Se utilizaron datos sobre la producción de brocas de 45 mm, reamers de 102 mm y las cantidades de explosivos utilizados en junio y julio para examinar y caracterizar el problema del alto costo de la perforación y voladura en la primera fase.

Esto permitió observar cómo cambiaron los costos de las actividades unitarias a lo largo de los dos meses (5).

- Vilca (2019), en su tesis de grado denominada: “*Voladura controlada y reducción porcentual de dilución y costos en tajeo con uso de exsablock en la minera aurífera retamas S.A. - 2019*” presentada en la UNAP, Puno, según el comunicado, el método de estudio comenzó con una voladura controlada utilizando explosivos exsablock, seguida de una comparación de las dos voladuras, y finalmente un control y monitoreo de los disparos realizados en la voladura tradicional utilizando explosivos semexa 65%. Como consecuencia, la dilución fue del 52% en la voladura convencional y del 47% en la voladura controlada; los gastos de perforación y voladura se redujeron en \$15.62/m³, y los gastos de soporte y limpieza de bancos también disminuyeron (6).

2.2. Generalidades de la minera Poderosa

2.2.1. Ubicación e infraestructura disponible

La Unidad de Producción Santa María es propiedad de Poderosa S.A., una corporación minera situada en el departamento de La Libertad, en la aldea de Santa María, que forma parte de la provincia y distrito de Pataz.

Las coordenadas geográficas de la Unidad Económica Administrativa (UEA) Poderosa son N: 9142606 y E: 211650.

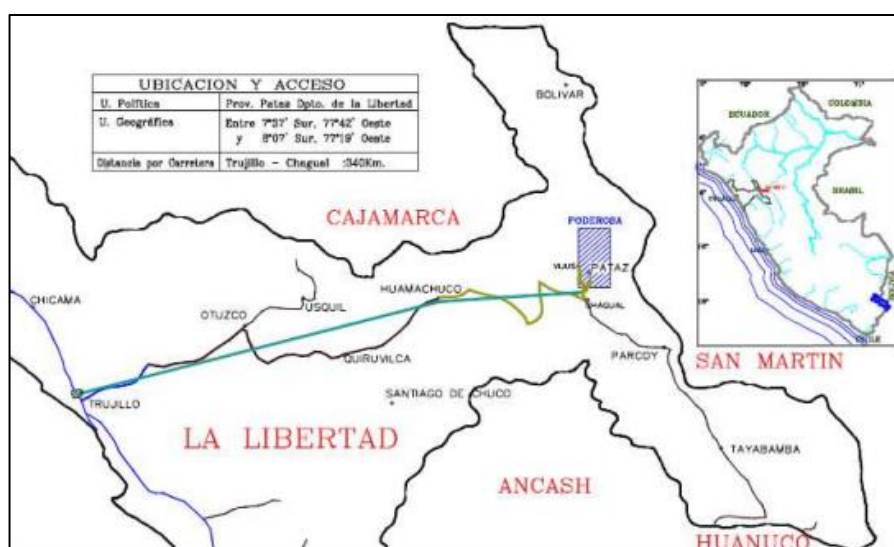


Figura 1. Ubicación e infraestructura
Tomada de Jhosmell George Arteaga

2.2.2. Geología regional

Las tonalitas, dioritas y microdioritas pertenecen a una secuencia intermedia que incluye manifestaciones tardías de diabasas y diques de lamproita., mientras que las granodioritas, monzogranitos, aplita y diques de pegmatita son parte de la serie ácida.

La columna estratigráfica de esta zona está formada por rocas antiguas del complejo metamórfico inferior. Por encima se encuentran sedimentos continentales y oceánicos pertenecientes a los períodos Paleozoico y Mesozoico, cuyos ángulos son contradictorios. En la parte superior, también en ángulos contradictorios, quedan expuestos flujos pertenecientes a lavas volcánicas y restos de piroclásticos.

Las rocas intrusivas de granodiorita rompen las rocas sedimentarias y llegan a la base de las rocas volcánicas. La siguiente es una descripción general de las formaciones encontradas en esta zona.

Las zonas de mineralización de oro de Parcoy, Bulibuyo y Gigante están asociadas a una zona de roca intrusiva conocida como el batolito de Pataz que intruye filitas y vetas pertenecientes al Complejo Santa María. Las vetas en el área de estudio pertenecen a un sistema principal con tendencia noroeste-sureste que se formó cuando el fluido formador de mineral llenó los vacíos a lo largo de discontinuidades y fallas en este sistema. El relleno mineraliza la estructura para formar cuarzo, pirita, argilita, arsenopirita y galena y también contiene oro nativo como se muestra.

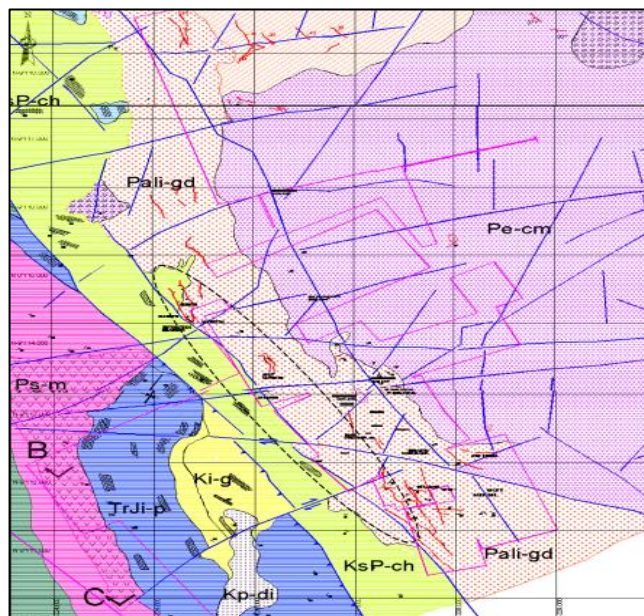


Figura 2. Plano geológico regional del yacimiento de la mediana empresa minera

2.2.3. Geología local

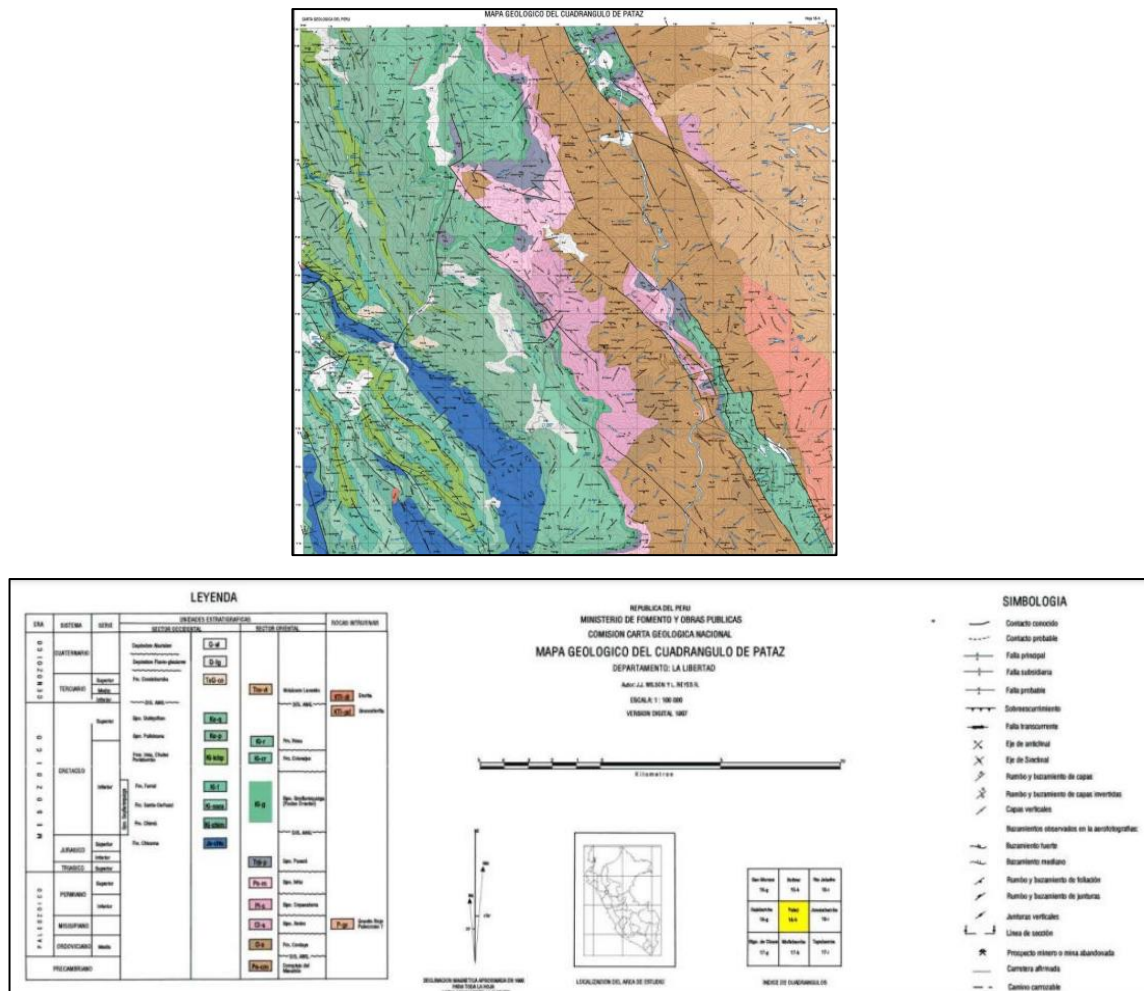
Las características geológicas que se han desarrollado en la región están vinculadas a la evaluación estratigráfica y estructural de la cordillera de los Andes en su parte oriental del sector norte de Perú, que se formó por la superposición de tres ciclos: el Precámbrico, Herciniano y Andino. Las llanuras, montañas y áreas glaciares conforman la morfología.

El ciclo herciniano se desarrolló sobre el complejo Marañón, conocido como la formación Contaya del Ordovícico, con una secuencia de turbiditas de color oscuro de cientos de metros. Las metavolcánicas, o rocas volcánicas, se encuentran sobre el complejo Marañón en el Paleozoico. Se encuentran particularmente como secuencias colgantes (desde enclaves hasta xenolitos) dentro del batolito de Pataz o en su límite externo, idealmente en la porción sur de ambos flancos y en la porción norte del flanco occidental. El Grupo Ambo es un tipo de sedimentación continental que comenzó a principios del Carbonífero. Está compuesto por areniscas, lutitas y algunas capas de conglomerado y forma secuencias de 300 metros, con mayor crecimiento en el sector occidental del valle del Marañón. Las molasas del grupo Mitu son areniscas y conglomerados de color rojizo que se depositaron al final del Paleozoico.

Las calizas y dolomitas triásico-jurásicas del Grupo Pucará, que yacen de manera discordante sobre el Grupo Mitu u otras formaciones más antiguas con una discordancia angular y un espesor mayor a 500 m, marcan el inicio de la sedimentación mesozoica del ciclo andino. Areniscas con intercalaciones de material pelítico que varían en espesor de 100 a 300 metros definen la Formación Goyllarisquizga del Cretácico Inferior.

Poderosa está situada al este del río Marañón en la cordillera oriental. Tiene tres sectores de extracción de oro: La Lima en el norte, Papagayo en el centro y El Tingo en el sur.

Una asociación mesotérmica típica de cuarzo, pirita y oro es mostrada por el ensamblaje de vetas. Aunque puede ocurrir dentro del propio cuerpo intrusivo, la mineralización es el resultado del llenado hidrotermal de fisuras que en su mayoría se originan en rocas metamórficas y a menudo se encuentran relativamente cerca del contacto con el batolito granodiorítico. El tipo de veta es el depósito que explota CMPSA.



2.2.4. Estructura geológica

En términos de estratigrafía, el complejo Marañón, que abarca los períodos Precámbrico, Cámbrico y Ordovícico, es el afloramiento más antiguo de rocas. los volcanes Lavasén del Mioceno Medio y el batolito de Patáz del Carbonífero.

Las pizarras y metavolcánicos forman el miembro superior del complejo Marañón, mientras que los filitas-esquistos constituyen el miembro inferior. Al este del complejo Santa María, los afloramientos del batolito de Pataz tienen 100 km de largo (N-S) y 5 km de ancho. Tienen la siguiente zonación petrográfica: granito, xenolitos de microdiorita, granodiorita, adamellita, tonalita, diques de aplita, diques de pegmatita y diques de andesita. Estos diques son típicamente pre-minerales.

Con un grosor de más de 1,000 metros, una composición ácida intermedia y un mayor porcentaje de tobas en comparación con las lavas, las rocas volcánicas de Lavasén son

discordantes con el batolito de Pataz, que se sitúa al este y por encima de ellas. Las rocas volcánicas de Lavasén son comparables a las volcánicas superiores de Calipuy.

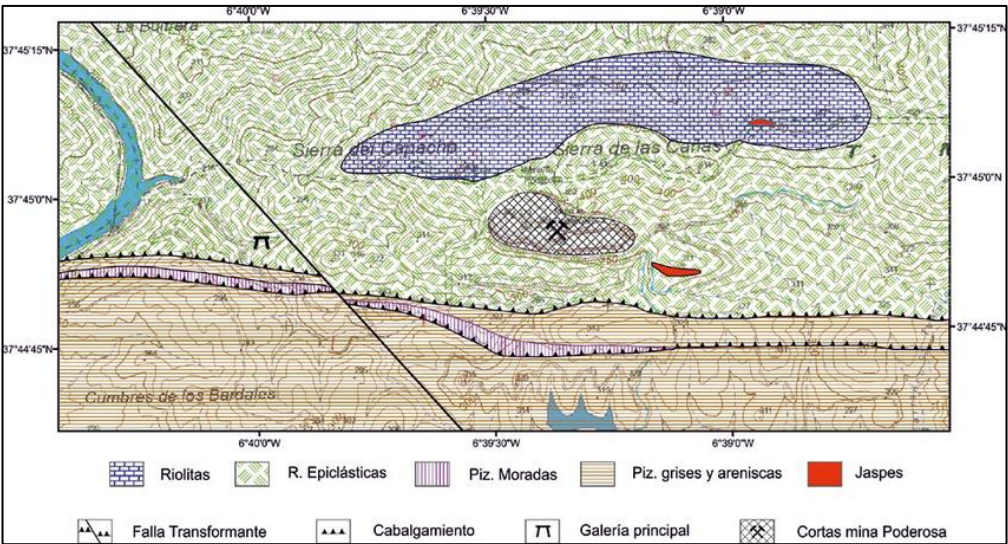


Figura 4. Geología estructural de Poderosa

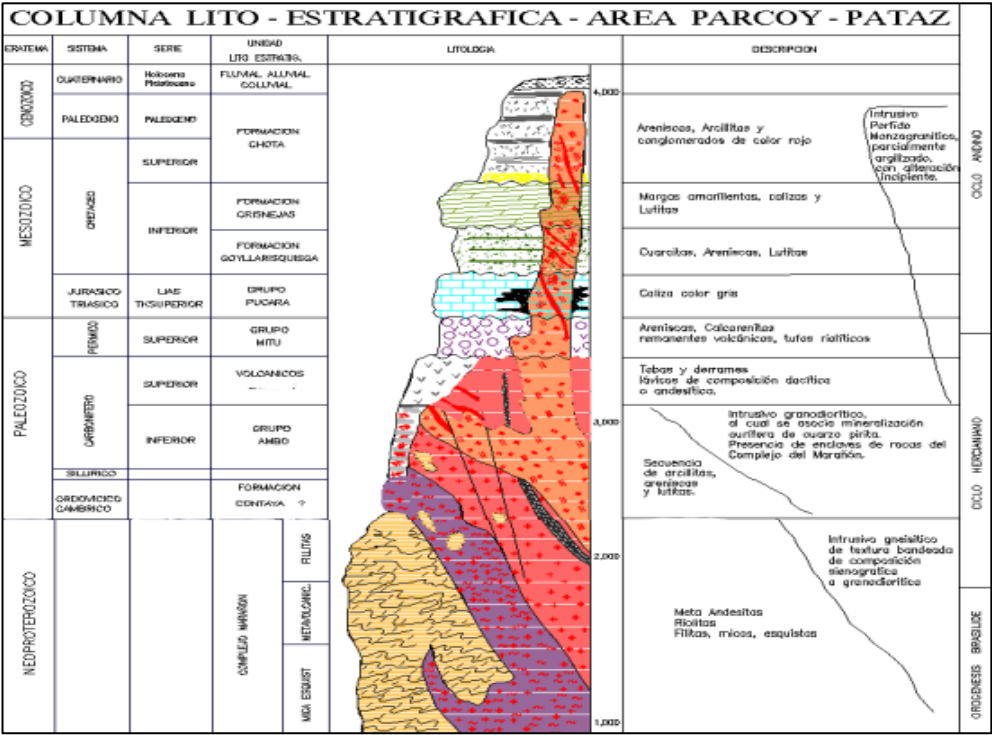


Figura 5. Unidades estratigráficas de Poderosa

2.2.5. Mineralogía

Existen varias estructuras mineralizadas de NO a SE. La diferencia radica en el ángulo de buzamiento noreste de 10° a 35°, que es el resultado del emplazamiento de sistemas de fallas de corte como la veta Esperanza. extensión horizontal y las estructuras individuales varían de decenas a cientos de metros y en la mayoría de los casos están controladas por fallas

Los cuerpos tienen frenillo, ramas fermentativas y tónicas. Los cambios de orientación y buzamiento son efectos del estrés y la presión que provocan pliegues y fallas. Los cambios en la caja incluyen cloración moderada a moderada, con silicificación progresivamente creciente hacia la estructura mineralizada y filamentación moderada a fuerte.

El yacimiento consiste principalmente en alteración de cuarzo, sericita y pirita, complementadas con filita y alteración ocasional de esquistos verdes en los alrededores. Su característica principal es el clorito.

[illegible]

23

2.3. Bases teóricas

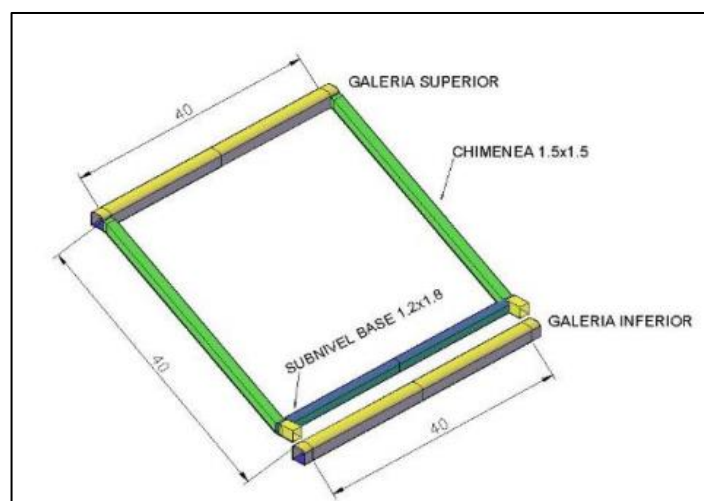
2.3.1. Método de explotación cámaras y pilares

- **Parámetros geomecánicos**

- Utilice criterios de evaluación geomecánica para identificar la densidad y el tipo de soporte.
- Potencia de veta mayor a 40 cm
- Caja techo semi rígido (si el valor RMR es menor o igual a 40)

- **Diseño e ingeniería**

- El bloque está listo para la técnica de Long Wall.
- Cada 40 metros, sellen las chimeneas en la costura. El bloque que se volará tiene dimensiones de 38.5 m por 20 m.
- Cree la galería a lo largo de la estructura mineralizada para la extracción de minerales, con una sección transversal de 7 pies de ancho por 8 pies de alto.
- Cree el bypass conectando dos trabajos con una pieza de 2.1 m x 2.4 m que corre paralela a la galería y paralela al subnivel superior.
- Cree subniveles con un ancho de 4' (1.2 m) y una sección transversal de 6' (1.8 m). El primer subnivel será un subnivel base por encima y paralelo a la galería, dejando un puente de 4 m, y el segundo seguirá a 20 m.
- Comenzando con una pieza que mide 1.5 metros de ancho por 1.5 metros de alto, construye las chimeneas laterales desde la galería.
- Mantén la distancia entre el subnivel base y la galería en 4 metros..



*Figura 7. Sección de subnivel
Tomada de Minera Poderosa S.A.*

- **Operación**

- La cara libre (tipo chimenea) se crea desde el subnivel base en dirección al buzamiento utilizando una sección de 2.4 m x 1.5 m para dividir el bloque en dos. De ahí, se inicia la fractura en dirección de la estratificación y termina con una salida hacia el subnivel.
- El avance será de 5' a 6' en perforación y seguirá el camino del filón.
- Las rastras de 36" y los cabrestantes de 15 HP se utilizarán para la limpieza.
- Para agilizar la operación minera, utilice soportes de madera de 7" a 8" de diámetro y con cabezales Jack pot (placas pretensadas). Los soportes se colocarán para permitir la limpieza con rastrillo, y estarán separados 1.5 m por 1.5 m.
- Mientras el bloque completo esté operativo, se pueden instalar los Wood Crib (anillos de madera) cuando sea necesario para soportar la caja del techo.
- El relleno adecuado se realizará cuando la presión de la caja del techo supere la capacidad de los soportes para sostenerla.
- Los pilares laterales deben permanecer paralelos a las chimeneas y tener 3 m de ancho por 20 m de largo.
- El bloque se rellenará cuando la explotación esté completa.

- **Servicios**

- La galería de acceso principal del bloque debe tener sus principales válvulas de agua y aire en su entrada.
- Al otro lado de los cables eléctricos estarán las tuberías de servicio.

2.3.2. Consideraciones geomecánicas para diseñar la voladura

a) Índice de calidad de la roca (RQD)

Deere desarrolló el índice de Designación de Condición de Roca (RQD) en 1967 como una forma de medir la condición de la roca en un pozo de perforación. La proporción de fragmentos de roca no fracturados mayores de 100 mm es su definición. Es importante recordar que el RQD es una cantidad dependiente de la medición que puede cambiar sustancialmente según la dirección de la medición.

El RQD puede encontrarse utilizando la técnica directa o la indirecta. Primero, al perforar con doble tubo, la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM) aconseja usar núcleos de diamante que tengan al menos 54.7 mm de diámetro. Las técnicas sísmicas y el enfoque de Palmstrom (1982) son ejemplos de métodos indirectos. La categorización de Bieniawski y Barton utiliza el RQD como una métrica fundamental.

Su base es el índice modificado de recuperación de núcleo, o el porcentaje de núcleo recuperado durante la perforación, que está influenciado por el grado de cambio de la masa rocosa y el número de fracturas.

Solo se cuentan los fragmentos con una longitud igual o superior a 100 mm. El núcleo debe tener un diámetro de 57,4 mm o más y estar perforado con un tubo de extracción de núcleo doble.

$$RQD = \frac{\sum \text{Testigos o núcleos de sondeo de longitud} > 10 \text{ cm}}{\text{Longitud total de la maniobra}} \cdot 100\%$$

Tabla 1. Índice de calidad de roca

Índice de calidad de roca	calidad	valoración
0-25	muy mala	3
25-50	mala	8
50-75	regular	13
75-90	buena	17
90-100	excelente	20

Tomada de Hoek And Brown (1990)

b) Clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR)

Bieniawski propuso la clasificación geomecánica RMR, comúnmente conocida como su clasificación geomecánica, en 1973. Posteriormente, se actualizó en 1976, 1979, 1984 y 1989.

Además de estimar el tiempo y la duración del mantenimiento, este enfoque de clasificación permite la categorización "in situ" de las rocas.

Suele utilizarse para la construcción de túneles, taludes y cimentaciones.

Tabla 2. Valoración RMR

Descripción	RMR	Clase de macizo rocoso
Roca muy buena	81-100	I
Roca buena	61-80	II
Roca regular	41-60	III
Roca mala	21-40	IV
Roca muy mala	0-20	V

Tomada de Hoek And Brown (1990)

c) Relaciones entre RMR y GSI

A continuación, se detalla la relación existente entre GSI y RMR (dependiendo del RMR utilizado)

- Para el caso de RMR76: $RMR_{76} > 18 \rightarrow GSI = RMR_{76}$
- $RMR_{76} < 18$ No se puede utilizar el RMR76 para la obtención del GSI
- Para el caso de RMR89: $RMR_{89} > 23 \rightarrow GSI = RMR_{89} - 5$
- $RMR_{89} < 23$ No se puede utilizar el RMR89
- Para la obtención del GSI, entonces: $GSI = RMR_{89} - 5$

d) Resistencia a la compresión simple “ σ ”

La siguiente tabla ilustra cómo varía la resistencia a la prueba básica de compresión según el tipo de roca o mineral, con un rango de 0.25 Mpa a > 250 Mpa:

Tabla 3. Valores de resistencia a compresión simple y carga

Resistencia de la roca			
Descripción	Resistencia a la compresión simple (mpa)	Ensayo de carga puntual (mpa)	Valoración
Extremadamente dura	>250	>10	15
Muy dura	100-250	4-10	12
Dura	50-100	2-4	7
Moderadamente dura	25-50	1-2	4
Blanda	5-25	<1	2
Muy blanda	1-5		1

Tomada de Hoek And Brown (1990)

e) Factor de seguridad “Fs”

Si se quiere evitar daños a la estructura, la carga que la estructura puede soportar debe ser mayor que la carga que soportará cuando esté en uso

El criterio anterior puede reformularse de la siguiente manera, ya que la resistencia es la capacidad de la estructura para soportar cargas: La resistencia real de la estructura debe exceder la resistencia necesaria.

El factor de seguridad es la relación entre la resistencia necesaria y la resistencia real.

$$\text{Factor de seguridad } n = \frac{\text{resistencia real}}{\text{resistencia requerida}}$$

Por supuesto, el factor de seguridad debe ser superior a 1,0 para evitar errores.

Según Enrique Albarrán (1998), indica que para determinar la constante del factor de seguridad se realizarán pruebas de campo en base a su aplicación en voladuras subterráneas.

Si:

$$B_n = \emptyset \times \left(\frac{P_o D_{tal}}{F_s \times \sigma \times RQD} + 1 \right)$$

Despejando “Fs”

$$F_s = \frac{P_o D_{tal}}{\left(\frac{B_n}{\emptyset} - 1 \right) \times \sigma \times RQD}$$

Dónde:

- Bn = Burden nominal (m).
- $\emptyset$ = Diámetro del taladro (m).
- PoDtal = Presión de detonación en el taladro (kg/cm2).
- RQD = Índice de calidad de la roca.
- σ = Resistencia a la compresión de la roca, (kg/cm2).
- Fs = Factor de seguridad.

La carga inicial es el componente más crucial de las redes de perforación, ya que sirve como base para las explosiones subterráneas. Las pruebas de carga en el campo se utilizan entonces para determinar la constante del factor de seguridad de la carga inicial.

Los *burden* de corte, fricción o arrastre, perfil y núcleo aumentan en proporción a la carga inicial y, por lo tanto, el factor de seguridad para cada una de estas cargas disminuye en proporción al factor de seguridad del arranque.

2.3.3. Condiciones para una voladura de rocas

Existen una serie de factores o variables que directa o indirectamente intervienen en la detonación y se encuentran interconectados o interconectados; Algunas pueden controlarse y otras no, por ejemplo, variables de diseño, perforaciones o explosivos, si bien tampoco podemos cambiar la geología o las propiedades de la roca.

A menudo llamados variables, factores, parámetros o condiciones fundamentales, estos factores conectados se agrupan para facilitar la comprensión. Estos grupos incluyen:

a) Propiedades físicas

- Dureza: Esto refleja aproximadamente lo desafiante que sería su excavación. Sí, esto es algo cierto si la roca es extremadamente dura y la profundidad de la excavación está limitada; no obstante, para hacer un progreso efectivo, deben emplearse explosivos fuertes en las cantidades adecuadas.

Tabla 4. Manual de perforación y voladura

CLASIFICACION	DUREZA MOHS	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)
Muy dura	7	200
Dura	6 a 7	120 a 200
Medio dura	4 a 6	60 a 120
Medio blanda	3 a 5	30 a 60
Blanda	2 a 3	10 a 30
Muy blanda	1 a 2	10

Tomada de Lopez Jimeno

- Tenacidad: representa el rango entre la dificultad de fractura bajo la influencia de la fuerza de compresión, tensión e impacto, que van desde friable (fácil), moderado a continuo (duro).
- Densidad: muestra lo difícil que es hacerlo volar y oscila entre 1,0 y 4,5 g/cm³ de media. La roca densa también requiere explosivos y rampas para abrirse.
- Textura: cómo se ensamblan las moléculas o cristales. Su fragilidad también está correlacionada con su nivel de cohesión o concentración.
- Porosidad: el porcentaje de agujeros o cavidades y qué tan bien retienen el agua.
- Variabilidad: las rocas tienen un alto índice de anisotropía o heterogeneidad y varían ampliamente en composición y textura.

- Grado de alteración: la degradación es provocada por patrones climáticos desfavorables, aguas subterráneas y procesos geológicos que los cambian o transforman.

b) Propiedades elásticas

- Frecuencia sísmica: la velocidad a la que estas ondas pasan sobre las rocas.
- Resistencia mecánica: resistente a la presión y la tensión.
- Fricción interna: la capacidad de las superficies internas para deslizarse bajo presión.
- Módulo de Young: resistencia elástica a la deformación.
- Radio de Poisson: radio de concentración transversal o extensión longitudinal de material bajo tensión.
- Impedancia: contraste entre la velocidad de detonación y la densidad explosiva y la velocidad sísmica y la densidad de la roca. Se necesitan explosivos de alta velocidad de detonación para rocas con altas frecuencias sísmicas.

c) Condiciones geológicas

- Estructura: es una manifestación de la roca y relacionada con su origen y formación (macizo, estratos, etc)
- Grado de fisuramiento: indica la intensidad y amplitud del fracturamiento de las canteras naturales. Es importante la orientación del sistema de fracturas (buzamiento y rumbo) y la distancia entre ellas, así como el tipo de apertura y relleno de las fracturas.
- Presencia de agua: determina la necesidad del tipo de artefacto explosivo a utilizar

d) Parámetros de explosivos

- Densidad: el peso específico varía de 0.7 a 1.6 g/CC. (cuanto mayor es la densidad, mayor es la potencia). Hay una densidad crítica para todos los explosivos, por encima de la cual dejan de detonar.

- Transmisión o simpatía: la buena simpatía garantiza la explosión completa de la columna de carga al facilitar la propagación de la onda de detonación en su interior.
- Resistencia al agua: varía desde nula hasta excelente (varias horas).
- Energía del explosivo: determinado usando su formulación, que puede ser utilizada para determinar su capacidad de trabajo.
- Sensibilidad a la iniciación: para explotar, cada explosivo necesita un iniciador o fulminante mínimo (el detonador número 8 se utiliza típicamente como referencia para clasificarlos como agentes voladores (insensibles), que requieren un fulminante más potente, y explosivos de alta sensibilidad (sensibles).
- Volumen normal de gases: La "cantidad de energía disponible" para el trabajo a realizar se indica aproximadamente por la cantidad total de gases producidos por la explosión de 1 kilogramo de explosivo a 0° C y 1 atm de presión, expresada en l/kg. Este número típicamente varía entre 600 y 1000 l/kg.
- Presión de taladro: La fuerza de empuje que los gases proporcionan a las paredes del taladro se mide en megapascuales (Mpa), kilobares (Kbar) o kilogramos por centímetro.
- Categoría de humos: factor de seguridad que califica su toxicidad (todos los explosivos generan gases de CO y NO en diferentes proporciones).

e) Condiciones de la carga

- Diámetro de la carga (diámetro del taladro): tiene un impacto directo en el tamaño de la malla de perforación y el rendimiento del explosivo. Cada explosivo tiene un diámetro crítico, por debajo del cual no explota.
- Geometría de la carga: vínculo entre el diámetro, la longitud y el punto de inicio de la carga. El proceso de fractura y el desarrollo de "zonas de fractura" en las cargas cilíndricas de las perforadoras de voladura son ejemplos de cómo se manifiesta.
- Grado de acoplamiento: la distancia entre el diámetro del taladro y el diámetro de la carga. La onda de choque puede transferirse entre la roca 46 y la carga explosiva debido a su interacción física, lo cual tiene un efecto importante en la fractura. Cuando el diámetro del

cartucho se acerca al diámetro del taladro, se considera que el taladro está vinculado. Solo se recomienda la voladura controlada o amortiguada, donde el desacoplamiento crea un cojín de aire para reducir el daño y la fragmentación. Cuando el diámetro del mandril es mucho menor que el de la broca, se dice que la broca está desacoplada.

- Grado de confinamiento: se basa en la geometría de la carga (peso y distancia entre los orificios), la conexión, el tapado o acabado, y el uso de tapado inerte para cerrar el orificio. Un rendimiento deficiente de la voladura será el resultado de un confinamiento demasiado laxo.
- Distribución de carga en el taladro: un tipo de carga explosiva puede usarse durante toda la perforación (carga única), o puede haber una carga de fondo, que es un explosivo más denso y potente, seguida de una carga de columna, que es un explosivo menos denso.
- Intervalos de iniciación de las cargas (timing): para producir las caras libres necesarias para la salida de cada taladro, los taladros deben dispararse en una secuencia precisa y ordenada. Esto se logra utilizando técnicas de ignición tradicional escalonadas o detonadores de retardo.

2.3.4. Características generales del método

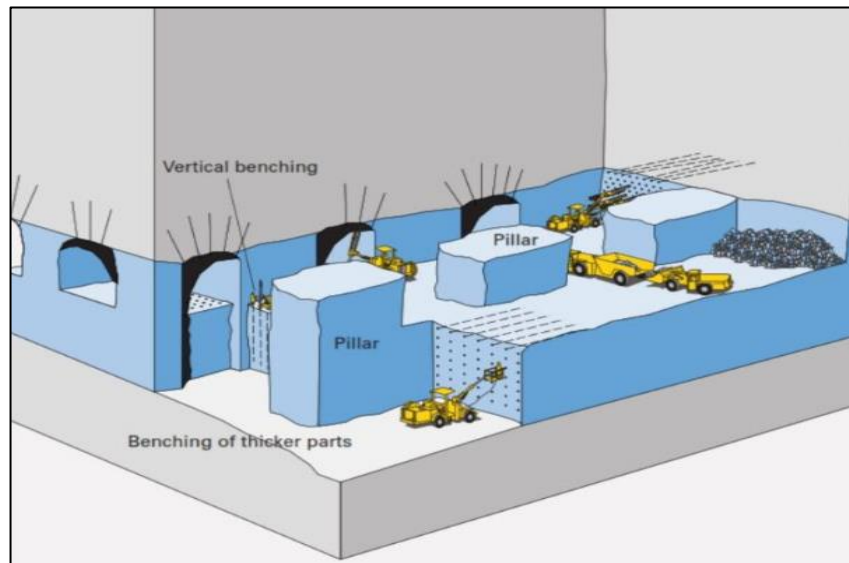
El método de cámaras y pilares es uno de los métodos más utilizados en la minería subterránea, especialmente en yacimientos minerales como carbón, potasa, oro y piedra caliza. Este método se ha convertido en una solución eficaz debido a su flexibilidad y capacidad de adaptación a diferentes condiciones geológicas.

Al utilizar una cámara de excavación cuidadosamente planificada y una red de pilares para sostener la parte superior, se puede maximizar la recuperación de minerales y al mismo tiempo garantizar la seguridad de las operaciones mineras.

Existen muchas variaciones de métodos de minería subterránea que utilizan cámaras y pilares para adaptarse a las características específicas del depósito mineral. entre ellos:

a) Cámaras y pilares clásico (classic room and pillar)

El procedimiento de Cámaras y Pilares Clásico es un método de minería subterránea empleado para recuperar depósitos minerales en forma de tabular con espesores restringidos. Se distingue por formar cámaras abiertas, dejando pilares de mineral para sostener el techo.



*Figura 8. Representación del método de cámaras y pilares clásico
Tomada de Atlas Copco Rock Drills AB, 2000*

- **Aplicaciones:**

- Depósitos: perfecto para depósitos sedimentarios tales como la pizarra cuprífera, la piedra caliza, la arenisca con plomo, las vetas de carbón, los estratos de sal y potasa, la dolomita y la piedra caliza.
- Espesor: se ajusta a depósitos con un espesor restringido, usualmente de 2 a 5 metros. Para depósitos de mayor tamaño, se puede utilizar una modificación del procedimiento en filas horizontales.

- **Diseño y extracción:**

- Patrón: normalmente, la organización de las cámaras y pilares es uniforme, usualmente en forma de cuadrícula.
- Tamaño de los pilares: la meta es mantener los pilares lo más reducidos posible para optimizar la extracción del mineral, pero garantizando la estabilidad del techo. La capacidad del macizo de roca establece el tamaño de los pilares.
- Forma de los pilares: es posible que los pilares sean de forma circular, cuadrada o alargada.

- Extracción en depósitos de gran altura: en depósitos de elevada altura vertical, la extracción se lleva a cabo en filas horizontales, iniciando en la parte superior y descendiendo gradualmente hacia abajo.
- **Ventajas:**
 - Preparación previa mínima: necesita una mínima preparación inicial, dado que el acceso para el traslado del mineral se lleva a cabo por medio de las cámaras de producción.
 - Recuperación de pilares: la restauración de los pilares en una fase subsiguiente puede incrementar la recuperación total del mineral, sin embargo, debe organizarse con cautela para prevenir el derrumbe del techo.
 - Ventilación: el diseño del método debe tener en cuenta el flujo de aire a lo largo de la mina.

En conclusión, el procedimiento de cámaras y pilares clásico es un método eficaz y relativamente sencillo para la obtención de minerales en depósitos de tipo tabular. Su triunfo se basa en una adecuada valoración de la resistencia del macizo rocoso y en un diseño apropiado de la dimensión y forma de los pilares.

b) Cámaras y pilares con postes (pospillar)

El enfoque de cámaras y pilares con postes (conocido en inglés como *post pillar*) es una variante fascinante que fusiona elementos del enfoque convencional de cámaras y pilares con el método de corte y relleno (*cut and fill*). Esta metodología se utiliza en depósitos inclinados de alta altura vertical, donde la roca requiere apoyo extra tras la extracción del mineral.

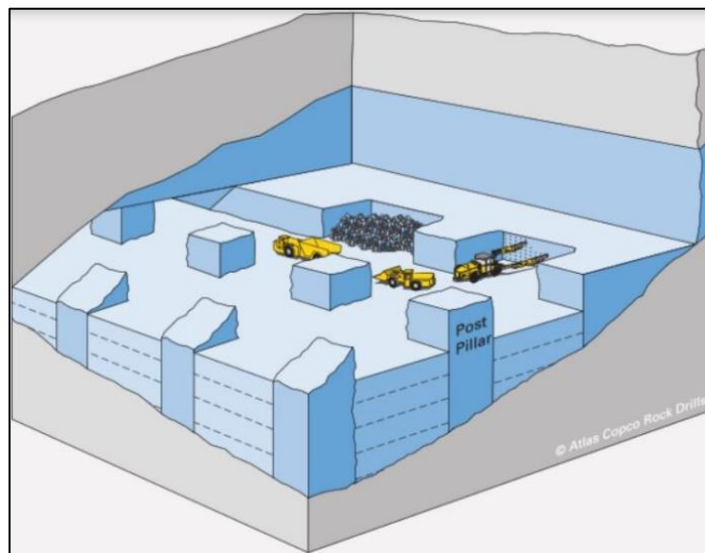


Figura 9. Representación del método de cámaras y pilares con postes
Tomada de Atlas Copco Rock Drills AB, 2000

- **Características principales:**

- Yacimientos inclinados: principalmente se aplica en depósitos con ángulos de inclinación de 20° a 55°.
- Gran altura vertical: es apropiado para depósitos con una amplia extensión vertical, en los que es factible la extracción en filas horizontales.
- Extracción de tajadas: el mineral se extrae en filas horizontales, iniciando desde la parte baja del depósito y progresando, ascendiendo.
- Pilares de soporte: dentro de la cámara se colocan pilares para sostener el techo de la mina.
- Relleno: las cámaras explotadas se cubren con relaves hidráulicos, los cuales pueden ser añadidos con cemento para potenciar su resistencia.
- Pilares continuos: los pilares se expanden a través de diversas capas de relleno, brindando así un apoyo extra para el techo.

- **Ventajas:**

- Mayor recuperación: el relleno y los pilares continuos favorecen la estabilidad del techo, posibilitando un ritmo más elevado de recuperación del mineral en relación con el método de cámaras y pilares tradicionales.
- Trabajo en pisos planos: el relleno genera una superficie laboral uniforme y firme para los equipos mineros, parecida al procedimiento de corte y relleno.
- Acceso a múltiples frentes: el procedimiento permite el acceso a diversos lugares de producción, lo que favorece una eficiencia superior en el funcionamiento de la minería.
- Adaptación a variaciones: la versatilidad del relleno posibilita ajustar el diseño del procedimiento a las fluctuaciones en las condiciones de la roca y las fronteras del depósito.

- **Consideraciones adicionales:**

- Empernado con cables: normalmente, se emplea el empernado con cables para fortalecer el techo en múltiples tajadas por encima del frente de minado, garantizando así su estabilidad a largo plazo.
- Gestión del relleno: la administración del relleno es esencial para el triunfo del procedimiento. El relleno debe poseer la suficiente resistencia y debe ser colocado de manera eficaz para prevenir la dilución del mineral.
- Diseño de los pilares: es necesario calcular meticulosamente el tamaño y la forma de los pilares para garantizar la estabilidad del techo y optimizar la recuperación del mineral.

En conclusión, la técnica de cámaras y pilares con postes proporciona una solución eficaz para la minería en depósitos inclinados de alta altura vertical. Al fusionar los beneficios de los procedimientos de cámaras y pilares y corte y relleno, se consigue una recuperación del mineral más elevada y una actividad minera más segura y eficaz.

c) Cámaras y pilares en escalones (step room and pillar)

El procedimiento de cámaras y pilares en escalones ("sala de escalones y pilares" en inglés) es una modificación del procedimiento de Cámaras y Pilares, que se ajusta específicamente a yacimientos con una inclinación marcada, donde la utilización de vehículos con neumáticos de caucho tradicionales resultaría complicada o ineficiente. El secreto de este método radica en la formación de cámaras y rutas de transporte que se ubican en ángulo respecto al desplazamiento del yacimiento, lo que crea zonas de trabajo con suelos nivelados donde los equipos sin cables (trackless) pueden funcionar con sencillez.

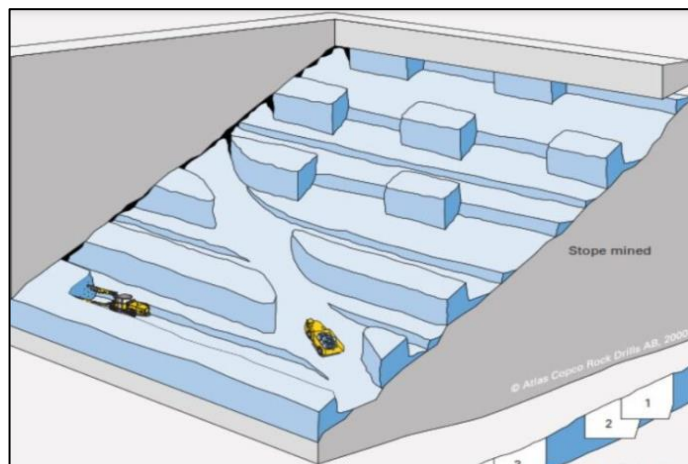


Figura 10. Representación del método de cámaras y pilares en escalones
Tomada de Atlas Copco Rock Drills AB, 2000

- **Aplicaciones:**

- Yacimientos aplicados: esta opción es perfecta para depósitos tabulares con una inclinación significativa, usualmente de 15° a 30°.
- Espesor del yacimiento: se ajusta de manera más efectiva a depósitos con un espesor de 2 a 5 metros.

- **Diseño y desarrollo:**

- Galerías de transporte: la fase inicial de desarrollo implica la formación de una red paralela de galerías de transporte que se extienden por el yacimiento. Estas galerías se diseñan de tal forma que sus superficies presenten una inclinación que facilite la circulación de camiones.
- Cámaras en ángulo: desde las vías de transporte, se excavan cámaras que se ramifican en un ángulo establecido previamente, denominado el "ángulo de la cámara en gradas". Este ángulo se determina meticulosamente para asegurar que el suelo de la cámara sea adecuadamente nivelado para el funcionamiento de dispositivos sin cables.
- Avance en etapas: la cámara progresa gradualmente, parecido al método de avance por galerías ("drifting"), hasta que se une a la siguiente galería de transporte paralela. Después, se excava una nueva cámara próxima a la previa, un nivel más bajo en la inclinación del yacimiento. Este procedimiento se vuelve a realizar hasta lograr el ancho máximo de la cámara.
- Pilares: para garantizar la estabilidad del techo, se colocan pilares alargados paralelos a las cámaras.
- Extracción descendente: la actividad minera progresa de manera descendente, alineando el ángulo de las cámaras en grados.

- **Ventajas:**

- Uso de equipos sin rieles: facilita la utilización eficaz de maquinaria minera sin cables en minas inclinadas, lo que incrementa la productividad y disminuye los gastos operativos.
- Flexibilidad en el diseño: proporciona cierto grado de flexibilidad en la creación de las cámaras y pilares, lo que facilita la adaptación del método a las particularidades específicas del depósito.

- Acceso a múltiples frentes: promueve el acceso a diversas áreas de trabajo, incrementando así la eficacia de la operación minera.
- **Consideraciones adicionales:**
 - Control de buzamiento: la efectividad del procedimiento se basa en un control exacto del ángulo de las cámaras en escalones para garantizar que los suelos estén adecuadamente nivelados para los equipos que no requieren rieles.
 - Estabilidad del techo: es necesario implementar acciones para asegurar la estabilidad del techo, tales como la colocación de pernos de roca y la correcta disposición de los pilares.
 - Ventilación: el diseño debe tener en cuenta la correcta ventilación de las cámaras y transportes en galerías.

Para resumir, el método de cámaras y pilares en escalones representa una alternativa eficaz para la minería en minas inclinadas, ya que posibilita el uso de los beneficios de los equipos de minería sin cables. Su implementación demanda un diseño meticuloso y una supervisión exacta de la geometría de la excavación para garantizar la estabilidad del depósito y un funcionamiento minero seguro y eficaz.

2.3.5. Aplicaciones del método *room and pillar*

Este procedimiento se distingue por su capacidad de adaptación a diversos tipos de depósitos y condiciones geológicas. A continuación, se sintetizan algunas de las más importantes aplicaciones.

- Minería de carbón y rocas blandas: el procedimiento de *room and pillar* se usa extensamente en la extracción de carbón y rocas blandas, tales como la potasa, la sal y la trona. Su implementación se fundamenta en la construcción de una red de cámaras y pilares, en la que los pilares se dimensionan meticulosamente para sostener el techo y facilitar una extracción segura y eficaz.
- Minería de metales en depósitos tabulares: este procedimiento también se aplica en la extracción de metales en depósitos de tipo tabular, tales como el cobre, el plomo y el zinc. En este escenario, es posible ajustar las dimensiones de las cámaras y los pilares para maximizar la extracción del mineral y reducir la posibilidad de que el techo se desplome.

- Minería en depósitos inclinados: las ediciones del método *room and pillar*, tales como "*post pillar*" y "*step room and pillar*", facilitan su uso en depósitos inclinados. Estas versiones incluyen métodos de relleno y diseño de cámaras en ángulo para ajustar el procedimiento a las condiciones geológicas particulares.

2.3.6. Ejemplos de minería *room and pillar*

Hay múltiples ejemplos concretos de cámaras y pilares utilizados en la minería subterránea en diversos contextos, adaptándose específicamente a las particularidades del depósito minero:

a) Minas de oro de Sudáfrica

- En Sudáfrica, las minas de oro han modificado el método *room and pillar* para la obtención de vetas de oro ("conglomerato de coral de oro") de un espesor de hasta 1 metro.
- En estas minas profundas, se emplean perforadoras neumáticas manuales y se colocan pilares de madera o concreto para sostener el techo.

b) Mina de cobre de Mount Isa (Australia)

- El volumen anual de producción de cobre se incrementó a 3.5 millones de toneladas de mineral, manteniendo una ley de cobre del 4 %. Esta elevada producción es resultado del uso del método *room and pillar*, o una versión modificada del mismo, para la extracción de cobre en esta mina.

c) Mina de oro de Stawell (Australia)

- La mina Stawell emplea un método de banqueo con pilares de relleno de roca cementados en las cámaras principales ("*bench stoping with cemented rock fill pillars in primary stopes*") con el objetivo de incrementar la generación de oro.
- Esta metodología se fundamenta en la formación de cámaras con pilares de relleno, lo que facilita una recuperación más eficiente del mineral y un control más efectivo del terreno.

Relevancia de la adaptabilidad: estos ejemplos evidencian la capacidad del método *room and pillar* para adaptarse a diversos tipos de depósitos y condiciones geológicas. Elegir la opción más apropiada y diseñar con precisión las cámaras y pilares son esenciales para asegurar la seguridad, la eficacia y la lucratividad de la actividad minera.

2.3.7. Diseño de cámaras y pilares en minería

El desarrollo de un sistema de cámaras y pilares es un procedimiento intrincado que demanda una meticulosa evaluación de diversos factores interconectados. No solo implica excavar áreas y dejar cimientos; es necesario un método de ingeniería exacta para asegurar la seguridad, la eficacia y la lucratividad de la actividad minera. Los factores esenciales por considerar son:

a) Evaluación geotécnica

- Características de la roca: la resistencia de la roca, la aparición de fisuras, la estratificación y otras variables geológicas afectan la estabilidad del techo de las cámaras y la capacidad de sostener las cargas de los pilares. Una roca apta permitirá cámaras de mayor tamaño y pilares más flexibles, en cambio, una roca fracturada o frágil necesitará un diseño más prudente.
- Esfuerzos in situ: las presiones presentes en el macizo rocoso ya sean originadas por la profundidad, la tectónica o la existencia de otras actividades mineras, impactan de manera directa en su diseño. Las áreas de gran tensión pueden necesitar cimientos más sólidos o la aplicación de métodos para aliviar la presión.
- Condiciones hidrogeológicas: la existencia de agua bajo tierra puede alterar la estabilidad del suelo y dificultar las actividades mineras. Es imprescindible analizar la permeabilidad del mineral, la existencia de acuíferos y la probabilidad de inundación.

b) Geometrías del yacimiento

- Espesor y buzamiento: el grosor y la pendiente del depósito impactan en la elección del método de cámaras y pilares, así como en la configuración de la mina. La aplicación de este método es ideal en yacimientos delgados y horizontales, mientras que en yacimientos gruesos o con un fuerte buzamiento, pueden ser necesarias variantes como *"post pillar"* o *"step room and pillar"*.
- Forma y continuidad: la irregularidad o regularidad en la forma del yacimiento, junto con la continuidad del mineral, influyen en el diseño de la red de cámaras y pilares. Yacimientos que presentan formas complejas o discontinuidades en el mineral pueden necesitar un diseño más versátil y flexible.

c) Diseño de pilares

- Dimensiones y forma: las medidas y el diseño de los pilares se establecen a través de cálculos geotécnicos que toman en cuenta la carga del techo, la resistencia del pilar y el factor de seguridad requerido. Los pilares de mayor tamaño aportan más estabilidad, pero disminuyen la recuperación del mineral.
- Distribución y espaciamiento: la disposición de los pilares en la mina y la distancia entre ellos afectan la estabilidad total del macizo de piedra y la eficacia de las operaciones. Una disposición constante y un espacio apropiado facilitan un flujo de aire eficaz y simplifican la entrada a las cámaras.
- Recuperación de pilares: en ciertas situaciones, es posible organizar la restauración de los pilares en una fase posterior de la minería, lo que incrementa la recuperación global del mineral. Esta operación demanda una meticulosa organización y un control estricto del terreno para prevenir derrumbes.

d) Consideraciones operativas

- Equipos de minería: el tamaño y el tipo de maquinaria minera a emplear afectan el diseño de las cámaras y las entradas a la mina. Las cámaras de mayor tamaño facilitan la utilización de dispositivos de mayor tamaño, lo que incrementa la productividad, aunque también demandan una inversión inicial más elevada.
- Ventilación: es imprescindible asegurar una correcta ventilación en la mina para regular el polvo, los gases y la temperatura. La planificación de la red de cámaras y pilares debe tener en cuenta el flujo de aire y la localización de los ventiladores.
- Relleno: en ciertas versiones del procedimiento, se emplea relleno para aportar soporte extra al techo y regular la subsidencia. La clase de relleno, la densidad y la resistencia tienen un impacto en la configuración de los pilares y en la estabilidad general de la mina.

e) Aspectos económicos

- Recuperación de mineral: la planificación de la mina debe esforzarse por optimizar la extracción del mineral, considerando las pérdidas ineludibles en los pilares y las eventuales diluciones.
- Costos de desarrollo: los gastos asociados al desarrollo de la mina, que incluyen la demolición de las cámaras y la edificación de los accesos, son un elemento crucial a tener en cuenta.

- Costos de operación: es necesario valorar los gastos operativos, tales como la ventilación, el relleno, el traslado del mineral y el cuidado de los equipos.

Para concluir, la elaboración de cámaras y pilares es un procedimiento iterativo que persigue balancear la estabilidad del suelo, la eficacia en las operaciones, la extracción del mineral y los gastos financieros. Es fundamental la inclusión de datos geotécnicos, la geometría del yacimiento y las consideraciones operativas para conseguir un diseño eficaz.

2.3.8. Costos asociados al método *room and pillar*

A continuación, se ofrece datos útiles que facilitan la comprensión de los elementos que inciden en los costos de este método de minería.

a) Costos de capital

- Desarrollo de infraestructura: la construcción de una *mina room and pillar* conlleva el desmonte de una red de entradas, vías de transporte y cámaras de producción. Esto implica gastos considerables en perforación, voladura, conservación y eliminación de estéril.
- Adquisición de equipos: el procedimiento *room and pillar* se distingue por la utilización de maquinaria para la perforación, la carga y el traslado del mineral. La adquisición de maquinaria como perforadoras jumbo, palas de carga LHD y camiones mineros constituye un considerable gasto de capital.
- Sistemas de ventilación: el desarrollo de áreas abiertas subterráneas exige la puesta en marcha de sistemas de ventilación sólidos para asegurar la calidad del aire y la protección de los empleados. La implementación de ventiladores, conductos y sistemas de vigilancia supone un gasto extra.

b) Costos de operación

- Perforación y voladura: el método de *room and pillar* para extraer el mineral se lleva a cabo a través de perforaciones y voladuras. Los gastos vinculados abarcan la compra de explosivos, la perforación de cavidades, la carga y disparo de las voladuras, además de la administración del material descompuesto.
- Sostenimiento del terreno: la firmeza del tejado de las cámaras y la prevención de derrumbes son esenciales para la seguridad y eficacia de la mina. Los gastos de sustentabilidad comprenden la implementación de pernos de roca, mallas de acero, shotcrete o cualquier otro sistema de fortalecimiento requerido.

- Manejo de materiales: el traslado del mineral desde las instalaciones productivas hasta la superficie requiere la utilización de equipos LHD, camiones mineros o sistemas de transporte por banda. Los gastos relacionados comprenden la utilización de combustible, el cuidado de los equipos y el funcionamiento de los sistemas de transporte.
- Relleno: en ciertas versiones del procedimiento *room and pillar*, se emplea relleno para aportar soporte extra al techo o para facilitar la restauración de pilares en una fase subsiguiente. Los gastos asociados al relleno comprenden la fabricación, el traslado y el emplazamiento del material de relleno.

c) Factores que influyen en los costos

- Geometría del yacimiento: yacimientos delgados y horizontales con roca adecuada suelen tener costos de desarrollo y funcionamiento más reducidos. Los depósitos de gran tamaño, inclinados o con roca fracturada incrementan la complejidad de la minería y los gastos relacionados.
- Grado del mineral: los depósitos de alta ley facilitan una mayor absorción de los costos de producción. Yacimientos de baja ley necesitan una eficiencia superior y una rigurosa administración de costos para ser lucrativos.
- Profundidad de la mina: conforme la profundidad de la mina se incrementa, los gastos de desarrollo, ventilación, sustentabilidad y transporte también se elevan.
- Tecnología utilizada: incorporar tecnologías de vanguardia, tales como la automatización de maquinaria, sistemas de control de fluctuaciones y programas de diseño minero, puede mejorar las operaciones y disminuir los gastos a largo plazo.

Si lo comparamos con otras técnicas, *room and pillar* ofrece costos de capital y operación inferiores que técnicas como *cut and fill*, *stoping sublevel* o *block caving*.

Los gastos vinculados al método *room and pillar* difieren significativamente dependiendo de las particularidades de cada yacimiento y las decisiones de diseño tomadas. La mejora del diseño, la elección correcta de maquinaria y la aplicación de tecnologías eficaces son fundamentales para reducir los gastos y potenciar la rentabilidad de este método de minería.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Métodos y alcances de la investigación

3.1.1. Método general

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

3.1.2. Tipo de investigación

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

3.1.3. Nivel de investigación

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

3.1.4. Diseño de investigación

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

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población está compuesta por los tajeos de explotación realizados en la Compañía Minera Poderosa S. A.

3.2.2. Muestra

La galería 460 Sur con los tajos 660 y 570 del nivel 2360 en la zona de Santa María en la Compañía Minera Poderosa S.A.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

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

3.4. Técnicas utilizadas en la recolección de datos

Búsqueda de información: empleando la metodología de investigación bibliográfica en varias tesis sobre el tema para obtener evidencia del procedimiento de voladura del método de cámaras y pilares.

Observación participativa: esta técnica no solo se limita a observar de manera pasiva, sino que el investigador se involucra activamente en el proceso, pudiendo realizar preguntas o interactuar con los trabajadores. Esto puede ser útil en un ambiente minero donde el flujo de trabajo es complejo y a veces se necesitan aclaraciones o ajustes en tiempo real. Se puede, por ejemplo, unir a los equipos de voladura para obtener un entendimiento más profundo de cómo se llevan a cabo las prácticas diarias, los desafíos que enfrentan y las decisiones que toman.

Entrevistas no estructuradas: se realizan enviando al operador del servicio algunas preguntas para obtener sus opiniones sobre la arquitectura de red de la aplicación.

3.5. Instrumentos utilizados en la recolección de datos

- Herramientas.
 - Observaciones
 - Entrevistas
 - *Check list*

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

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Presentación de resultados

Se presentarán los indicadores de dos tajeos en los cuales se apreciarán las mejores en las partidas ejecutadas en cada una, considerando el tajeo 660 como el estado actual de ejecución de la voladura y el tajeo 570 donde se ejecutarán las mejoras de los indicadores.

4.1.1. Plan de producción programado

Tabla 5. Plan operativo unidad minera Santa María - periodo 2023

Labor	Long. Perforación	Unidad	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Tajo 660	6´	Tn/Hg	10.5	10.5	10.5	10.5
Tajo 570	8´	Tn/Hg	13	13	13	13

4.1.2. Indicadores de productividad en los tajeos de exploración

a) Galerías

Tajeo 570:

Gal: 460. norte y sur nivel: 2360 7´x8´ (8pies)

Tajeo 660:

Gal: 460. norte y sur nivel: 2360 7´x8´ (6pies)

Tabla 6. Indicadores de productividad galerías

Diseño de operaciones programadas					
Operación	Programado y real		Variación	Unidad	Variación (%)
Labor	Frente (6 pies)	Frente (8 pies)			
Sección	2.20 m x 2.50 m	2.20 m x 2.50 m			
Proceso de perforación					
Tipo de roca	IV-A	IV-A			
Longitud de barra	1.6	2.2	0.6	metros	37.50
Longitud efectiva de operación	1.49	2.04	0.54	metros	36.49
Eficiencia de perforación	93.18	92.50	-0.68	%	-0.73
Densidad de material	2.68	2.68	0	t/m ³	0.00
Volumen que romper por disparo	10.44	13.52	3.09	m ³ /disparo	29.60
Tonelaje obtenido por disparo	24.52	32.86	8.34	t/disparo	34.01
Parámetros de perforación					
Diámetro de brocas	1 1/2"	1 1/2"	0.00	pulgadas	0.00
Espaciamiento	0.25	0.3	-0.05	m	-20.00
Burden	0.13	0.14	-0.01	m	-7.69
Número de taladros	33	36	3.00	taladros	9.09
Rendimientos					
Avance de disparo	1.4	2.02	0.62	m/disparo	44.29
Rendimientos ml/hg	0.43	0.61	0.18	ml/hg	41.86
Rendimiento en avances	87.67	87.27	-0.4	%	-0.4
Factor de perforación	6.32	6.85	0.53	m/m ³	8.39
Taladros perforadores / hora	14.69	12.5	-2.19	taladros/hora	-14.91
Toneladas rotas / taladro	0.71	0.87	0.16	t/taladros	22.54
Tiempo de posicionamiento / empate	0.1	0.11	0.01	h	10.00
Tiempo efectivo de perforación	1.95	2.58	0.63	h	32.31
Tiempo de retiro	0.4	0.43	0.03	h	7.50
Tiempos muertos	0.5	0.54	0.04	h	8.00
Tiempo total de perforación	2.45	3.12	0.67	h	27.35
Producción t/hg	8.49	11.27	2.78	t/hg	32.74

b) Galerías- Tajeo 570:

Chimenea 11: 460 Sur. Nivel: 2360 4.5'x4.5' (8pies)

- Tajeo 660:

Chimenea 11: 460 Sur. Nivel: 2360 4.5'x4.5' (6pies)

Tabla 7. Indicadores de productividad chimeneas

Diseño de operaciones programadas					
Operación	Programado y real		Variación	Unidad	Variación (%)
Labor	Frente (6 pies)	Frente (8 pies)			
Sección	1.40 m x 1.40 m	1.40 m x 1.40 m			
Proceso de perforación					
Tipo de roca	IV-A	IV-A			
Longitud de barra	1.6	2.2	0.60	metros	37.50
Longitud efectiva de operación	1.47	2.02	0.55	metros	37.41
Eficiencia de perforación	91.88	91.82	-0.06	%	-0.06
Densidad de material	2.68	2.68	0.00	t/m ³	0.00
Volumen por romper por disparo	3.53	4.7	1.17	m ³ /disparo	33.14
Tonelaje obtenido por disparo	10.05	12.89	2.84	t/disparo	28.26
Parámetros de perforación					
Diámetro de brocas	1 1/2"	1 1/2"	0.00	pulgadas	0.00
Espaciamiento	0.27	0.32	-0.05	m	-18.52
Burden	0.13	0.14	-0.01	m	-7.69
Número de taladros	19	22	3.00	taladros	9.09
Rendimientos					
Avance de disparo	1.38	2	0.62	m/disparo	44.93
Rendimientos ml/hg	0.53	0.71	0.18	m/hg	33.96
Rendimiento en avances	87.51	87.41	-0.10	%	-0.4
Factor de perforación	8.95	10.19	1.24	m/m ³	13.85
Taladros perforador / hora	10.05	12.75	2.7	taladros/hora	26.87
Toneladas rotas / taladro	0.51	0.59	0.08	t/taladros	15.69
Tiempo de posicionamiento / empate	0.05	0.06	0.01	h	20.00
Tiempo efectivo de perforación	1.3	1.95	0.65	h	50.00
Tiempo de retiro	0.22	0.25	0.03	h	13.64
Tiempos muertos	0.29	0.35	0.06	h	20.69
Tiempo total de perforación	1.3	2.1	0.8	h	61.54
Producción t/hg	3.29	4.42	1.13	t/hg	34.35

4.1.3. Indicadores de productividad en los tajeos de preparación y explotación**a) Subniveles**- Tajeo 570:

Chimenea 11: Norte y Sur. Nivel: 2360 3'x5' (8pies)

- Tajeo 660:

Chimenea 11: Sur. Nivel: 2360 3'x5' (6pies)

Tabla 8. Indicadores de productividad subniveles

Diseño de operaciones programadas					
Operación	Programado y real		Variación	Unidad	Variación (%)
Labor	Frente (6 pies)	Frente (8 pies)			
Sección	1.00 m x 1.50 m	1.00 m x 1.50 m			
Proceso de perforación					
Tipo de roca	Iv-a	Iv-a			
Longitud de barra	1.6	2.2	0.60	Metros	37.50
Longitud efectiva de operación	1.49	2.05	0.56	Metros	37.58
Eficiencia de perforación	93.85	93.71	-0.14	%	-0.15
Densidad de material	2.68	2.68	0.00	t/m ³	0.00
Volumen por romper por disparo	3.53	4.6	1.07	m ³ /disparo	30.31
Tonelaje obtenido por disparo	8.97	11.8	2.83	t/disparo	31.55
Parámetros de perforación					
Diámetro de brocas	1 1/2"	1 1/2"		pulgadas	
Espaciamiento	0.33	0.31	-0.02	M	-6.06
Burden	0.16	0.15	-0.01	M	-6.25
Número de taladros	18	21	3.00	Taladros	16.67
Rendimientos					
Avance de disparo	1.63	2.22	0.59	M/disparo	36.20
Rendimientos ml/hg	0.53	0.71	0.18	M/hg	33.96
Rendimiento en avances	89.17	89.05	-0.12	%	-0.13
Factor de perforación	9.75	11.38	1.63	M/m ³	16.72
Taladros perforador / hora	10.05	12.75	2.7	taladros/hora	26.87
Toneladas rotas / taladro	0.49	0.55	0.06	t/taladros	12.24
Tiempo de posicionamiento / empate	0.05	0.06	0.01	H	20.00
Tiempo efectivo de perforación	1.23	1.84	0.61	H	49.59
Tiempo de retiro	0.22	0.25	0.03	H	13.64
Tiempos muertos	0.29	0.33	0.04	H	13.79
Tiempo total de perforación	1.39	2.05	0.66	H	47.48
Producción t/hg	2.99	3.95	0.96	t/hg	32.11

b) Labores de explotación

- Tajeo 570:

Nivel: 2360 9'x7' (8pies)

- Tajeo 660:

Nivel: 2360 9'x7' (6pies)

Tabla 9. Indicadores de productividad explotación

Diseño de operaciones programadas					
Operación	Programado y real		Variación	Unidad	Variación (%)
Labor	Frente (6 pies)	Frente (8 pies)			
	2.70 m x	2.70 m x			
Sección	2.10 m	2.10 m			
Proceso de perforación					
Tipo de roca	Iv-a	Iv-a			
Longitud de barra	1.6	2.2	0.60	Metros	37.50
Longitud efectiva de operación	1.73	2.28	0.55	Metros	31.79
Eficiencia de perforación	93.38	92.97	-0.41	%	-0.44
Densidad de material	2.68	2.68	0.00	t/m ³	0.00
Volumen por romper por disparo	12.39	16.05	3.66	M ³ /disparo	29.54
Tonelaje obtenido por disparo	31.99	42.05	10.06	t/disparo	31.45
Parámetros de perforación					
Diámetro de brocas	1 1/2"	1 1/2"		pulgadas	
Espaciamiento	0.35	0.32	-0.03	M	-8.57
Burden	0.18	0.17	-0.01	M	-5.56
Número de taladros	39	42	3.00	Taladros	7.69
Rendimientos					
Avance de disparo	1.68	2.15	0.47	M/disparo	27.98
Rendimientos ml/hg	0.53	0.71	0.18	M/hg	33.96
Rendimiento en avances	88.38	87.95	-0.43	%	-0.49
Factor de perforación	6.34	6.75	0.41	M/m ³	6.47
Taladros perforador / hora	15.82	13.45	-2.37	Taladros/hora	-14.98
Toneladas rotas / taladro	0.81	0.98	0.17	t/taladros	20.99
Tiempo de posicionamiento / empate	0.13	0.14	0.01	H	7.69
Tiempo efectivo de perforación	1.96	2.61	0.65	H	33.16
Tiempo de retiro	0.48	0.51	0.03	H	6.25
Tiempos muertos	0.61	0.65	0.04	H	6.56
Tiempo total de perforación	2.75	3.35	0.6	H	21.82
Producción t/hg	10.89	14.18	3.29	t/hg	30.21

c) Estructura de precios unitarios de producción de tajo 660 de 9' x 7' (avance de labor de 6')

- Método: cámaras y pilares
- Equipos: Perforadora Jack Leg – Winche
- Sección: 2.70 m x 2.10 m
- N° taladros: 39
- N° Taladro cargado: 36
- Avance: 1.68 m / 31.99 t/disparo

Tabla 10. Estructura de costo labor de 6"

Código	Descripción Recurso	UNIDAD	Incendencia	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$	Parcial U\$	Parcial U\$/t
Mano de obra								
	Maestro perforista	Tarea	0.62	1.00	81.97	50.82		
	Maestro maderero	Tarea	0.62	1.00	74.69	46.31		
	Winchero	Tarea	0.52	1.00	81.97	42.62		
	Ayudante Perforista	Tarea	0.52	1.00	68.75	35.75		
	Peón	Tarea	0.80	1.00	62.65	50.12		
	Ayudante Maderero	Tarea	0.52	1.00	68.95	35.85		
			3.60			261.48	155.64	8.17
Implementos de seguridad								
	Personal operativo normal	Tarea	2.25	1.00	3.02	6.80		
	Personal operativo normal	Tarea	1.29	1.00	3.40	4.39		
						11.18	6.66	0.35
Materiales y herramientas								
	Barreno cónico de 4"	unidad	0.1748	1.00	149.35	26.11		
	Barreno cónico de 6"	unidad	0.0973	1.00	206.85	20.13		
	Manguera de 1"	metros	0.0083	35.00	7.86	2.28		
	Manguera de 1/2"	metros	0.0083	35.00	3.25	0.94		
	Conexiones	unidad	0.0083	4.00	25.10	0.83		
	Aceite	gl	0.4175	1.00	17.35	7.24		
	Herramientas	Tarea	1.0000	1.00	2.54	2.54		
						60.08	35.76	1.88
Equipos contratados								
	Perforadora jack leg	pp	1.00	232.87	0.28	65.20		
	Repuestos de lámpara	Tarea	1.00	4.26	0.86	3.66		
						68.87	40.99	2.15
						401.60	239.05	12.55

COSTOS INDIRECTOS	UNIDAD	Incidencia	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$		
Contingencias	%		5.00		20.08	11.95	0.63
Vivienda	%		2.25		9.04	5.38	0.28
Medicinas	%		1.55		6.22	3.71	0.19
Gastos Generales	%						
Utilidad	%		18.00		72.29	43.03	2.26
					107.63	64.07	3.36
TOTAL COSTO						303.11	15.92
						U\$/ml	U\$/t

d) Estructura de precios unitarios de producción de tajo 570 de 9' x 7' (avance de labor de 8')

- Método: Cámaras y pilares
- Equipos: Perforadora Jack Leg – Winche
- Sección: 2.70m x 2.10m
- N° taladros: 42
- N° Taladro cargado: 39
- Avance: 2.15 m / 42.05 t/disparo

Tabla 11. Estructura de costo labor de 8"

Código	Descripción Recurso	UNIDAD	Incidencia	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$	Parcial U\$/ml	Parcial U\$/t
Mano de obra								
	Maestro perforista	Tarea	0.73	1.00	81.97	59.84		
	Maestro maderero	Tarea	0.62	1.00	74.69	46.31		
	Winchero	Tarea	0.52	1.00	81.97	42.62		
	Ayudante Perforista	Tarea	0.52	1.00	68.75	35.75		
	Peón	Tarea	0.95	1.00	62.65	59.52		
	Ayudante Maderero	Tarea	0.68	1.00	68.95	46.89		
			4.02			290.92	137.23	6.92
	Implementos de seguridad	UNIDAD	Inciden	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$		

	Personal operativo normal	Tarea	2.25	1.00	3.02	6.80	
	Personal operativo normal	Tarea	1.29	1.00	3.40	4.39	
						11.18	5.27
						0.27	
	Materiales y herramientas	UNIDAD	Incidencia	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$	
	Barreno cónico de 4"	unidad	0.1650	1.00	149.35	24.64	
	Barreno cónico de 6"	unidad	0.0973	1.00	206.85	20.13	
	Manguera de 1"	metros	0.0083	35.00	7.86	2.28	
	Manguera de 1/2"	metros	0.0083	35.00	3.25	0.94	
	Conexiones	unidad	0.0083	4.00	25.10	0.83	
	Aceite	gl	0.4175	1.00	17.35	7.24	
	Herramientas	Tarea	1.0000	1.00	2.54	2.54	
						58.61	27.65
						1.39	
	Equipos contratados	UNIDAD	Incidencia	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$	
	Perforadora jack leg	pp	1.00	316.85	0.28	88.72	
	Repuestos de lámpara	Tarea	1.00	5.02	0.86	4.32	
						93.04	43.88
						2.21	
						453.75	214.03
						10.79	
	COSTOS INDIRECTOS	UNIDAD	Incidencia	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$	
	Contingencias	%		5.00	22.69	10.70	0.54
	Vivienda	%		2.25	10.21	4.82	0.24
	Medicinas	%		1.55	7.03	3.32	0.17
	Gastos Generales	%					
	Utilidad	%		18.00	81.68	38.53	1.94
						121.61	57.36
						2.89	
					TOTAL COSTO	271.40	13.68
						U\$/ml	U\$/t

e) Indicadores de rendimientos en voladura programado y real

Tabla 12. Indicadores de rendimientos en voladura programado y real

DISEÑO DE OPERACIONES PROGRAMADAS EN VOLADURA					
OPERACIÓN	PROGRAMADO Y REAL		VARIACIÓN		
LABOR	Tajo 660	Tajo 570	Variación	unidad	Variación %
SECCIÓN	2.70m x 2.10m	2.70m x 2.10m			
COMPONENTES					
Semexsa 80%	13.6	18.25	4.65	kg	25.5%
Gelatina especial 75%	3.82	4.85	1.03	kg	21.2%
Exadit 45%	1.43	2.12	0.69	kg	32.5%
Carmex	35	37	2.00	Unidad	5.4%
Cordón detonante	11	12.33	1.33	m	10.8%
Mecha rápida	18	18	0.00	m	0.0%
Factor de potencia	1.7	1.75	0.05	kg/m3	2.9%
Factor de carga/metro lineal	12.14	12.56	0.42	kg/m	3.3%
Factor de carga/taladro	0.5	0.65	0.15	kg/taladro	23.1%

f) Costos de explosivos

Tabla 13. Costos de accesorios de explosivos

Tipo de Accesorio	Precio s/.	Unidad
Semexsa 80%	5.44	kg
Gelatina especial 75%	8.63	kg
Exadit 45%	5.07	kg
Fulminante N°6	0.31	Unidad
Conector para mecha rápida	0.75	m
Cordon detonante	0.40	m
Mecha de seguridad	0.86	m
Mecha rápida	1.16	m

g) Indicadores de costos de voladura programado y real

Tabla 14. Indicadores de costos de voladura programado y real

DISEÑO DE OPERACIONES PROGRAMADAS EN VOLADURA					
OPERACIÓN	PROGRAMADO Y REAL		VARIACIÓN		
LABOR	Tajo 660	Tajo 570	Variación	unidad	Variación %
SECCIÓN	2.70m x 2.10m	2.70m x 2.10m			
COMPONENTES	Precio s/.	Precio s/.		U\$\$/	3.75S s/.
Semexsa 80%	73.92	99.20	25.28	kg	25.5%
Gelatina especial 75%	32.98	41.87	8.89	kg	21.2%
Exadit 45%	7.25	10.74	3.50	kg	32.5%
Carmex	10.86	11.48	0.62	Unidad	5.4%
Cordon detonante	4.35	4.88	0.53	m	10.8%
Mecha rápida	20.80	20.80	0.00	m	0.0%
Mecha de seguridad	26.26	34.96	8.70	kg/m3	24.9%
Conector para mecha rápida	17.08	18.11	1.03	kg/m	5.7%
TOTAL s/. Por disparo	193.51	242.05	48.54		20.1%
TOTAL U\$\$/ Por disparo	51.60	64.55	12.94		20.1%

h) Evaluación de la composición de costos en trabajos de explotación frente a barrenos de 6 pies y 8 pies

Por metro lineal (US\$/ml)

Tabla 15. Evaluación de la composición de costos en trabajos por ml

ITEMS	DESCRIPCIÓN	TAJO 660	TAJO 570	DIFERENCIA	VARIACIÓN
		US\$/ml	US\$/ml	US\$/ml	%
1	Mano de obra	155.64	137.23	18.41	11.83%
2	Implementos de seguridad	6.66	5.27	1.39	20.87%
3	Materiales y herramientas	35.76	27.65	8.11	22.68%
4	Equipos	40.99	43.88	-2.89	-7.05%
5	Explosivos	38.41	36.47	1.94	5.05%
6	Subtotal costos directos	277.46	250.50	26.96	9.72%
7	Costos indirectos (18%)	49.94	45.09	4.85	9.72%
8	TOTAL COSTO/METRO LINEAL	327.40	295.59	31.81	9.72%

i) Evaluación de la composición de costos en trabajos de explotación frente a Barreno de 6 pies y 8 pies

Por tonelada (US\$/t)

Tabla 16. Evaluación de la composición de costos en trabajos por toneladas

ITEMS	DESCRIPCIÓN	TAJO 660	TAJO 570	DIFERENCIA	VARIACIÓN
		US\$/ml	US\$/ml	US\$/ml	%
1	Mano de obra	8.17	6.92	1.25	15.30%
2	Implementos de seguridad	0.35	0.27	0.08	22.86%
3	Materiales y herramientas	1.88	1.39	0.49	26.06%
4	Equipos	2.15	2.21	-0.06	-2.79%
5	Explosivos	1.99	1.88	0.11	5.53%
6	Subtotal costos directos	14.54	12.67	1.87	12.86%
7	Costos indirectos (18%)	2.62	2.28	0.34	12.86%
8	TOTAL COSTO/TONELADA	17.16	14.95	2.21	12.86%

j) Evaluación de la composición de costos en trabajos de explotación frente a barreno de 6 pies y 8 pies

Tabla 17. Evaluación de la composición de costos en trabajos por toneladas

INDICADOR	TAJO 660	TAJO 570	VARIACIÓN	VARIACIÓN (%)
Producción	10.89	14.18	3.29	23.20
Recuperación	71.32	71.32	0	0.00
Dilución	12.48	12.48	0	0.00
Seguridad	1.25	1.25	0	0.00
Toneladas rotas por disparo	31.99	42.05	10.06	23.92
Diámetro	1 1/2"	1 1/2"	0	0.00
Burden	0.18	0.17	-0.01	-5.88
Espaciamiento	0.35	0.32	-0.03	-9.37

4.2. Discusión de resultados

4.2.1. Indicadores de productividad en los tajeos de exploración - Galerías

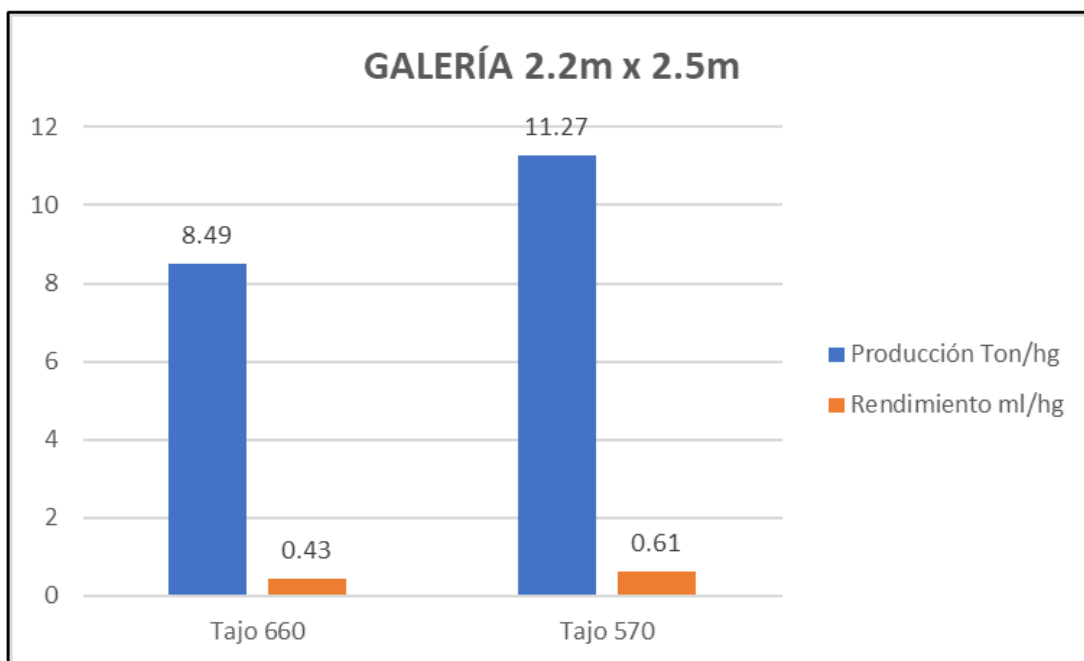


Figura 11. Comparativo de indicadores de exploración en galerías

4.2.2. Indicadores de productividad en los tajeos de exploración - chimeneas

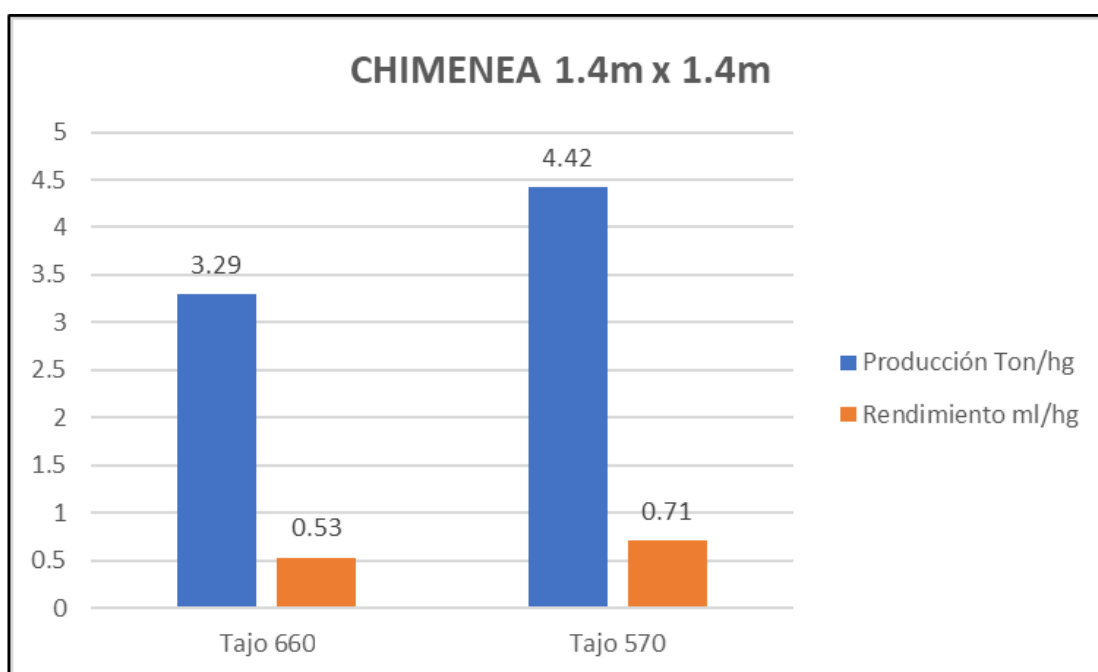


Figura 12. Comparativo de indicadores de exploración en chimeneas

4.2.3. Indicadores de productividad en los tajeos de exploración - subniveles

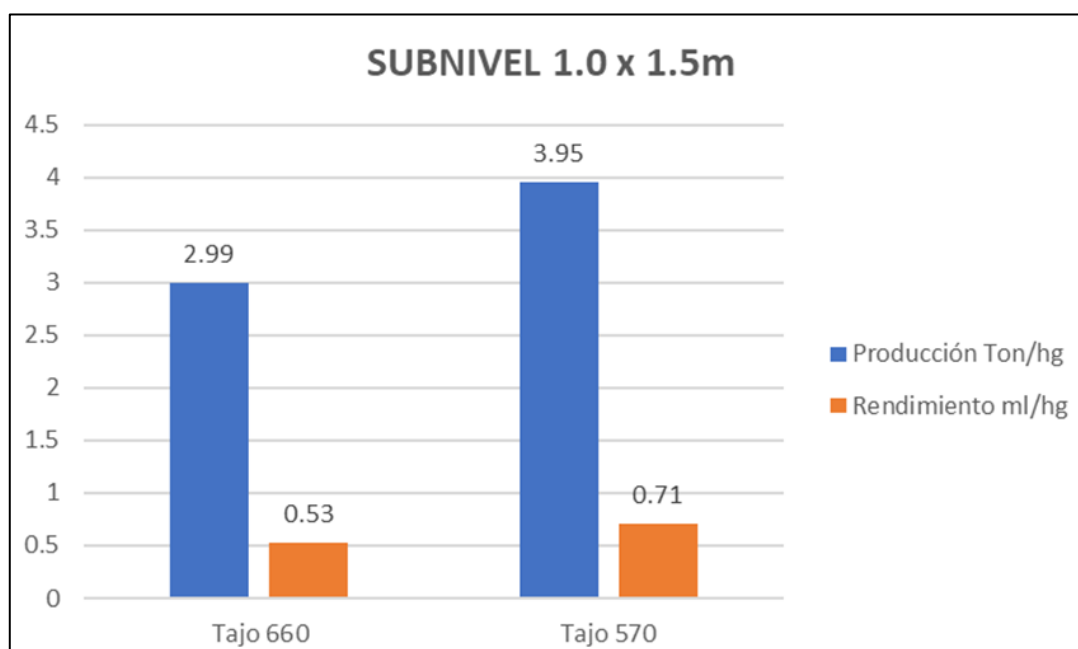


Figura 13. Comparativo de indicadores de exploración en subniveles

4.2.4. Indicadores de productividad y rendimiento por barreno

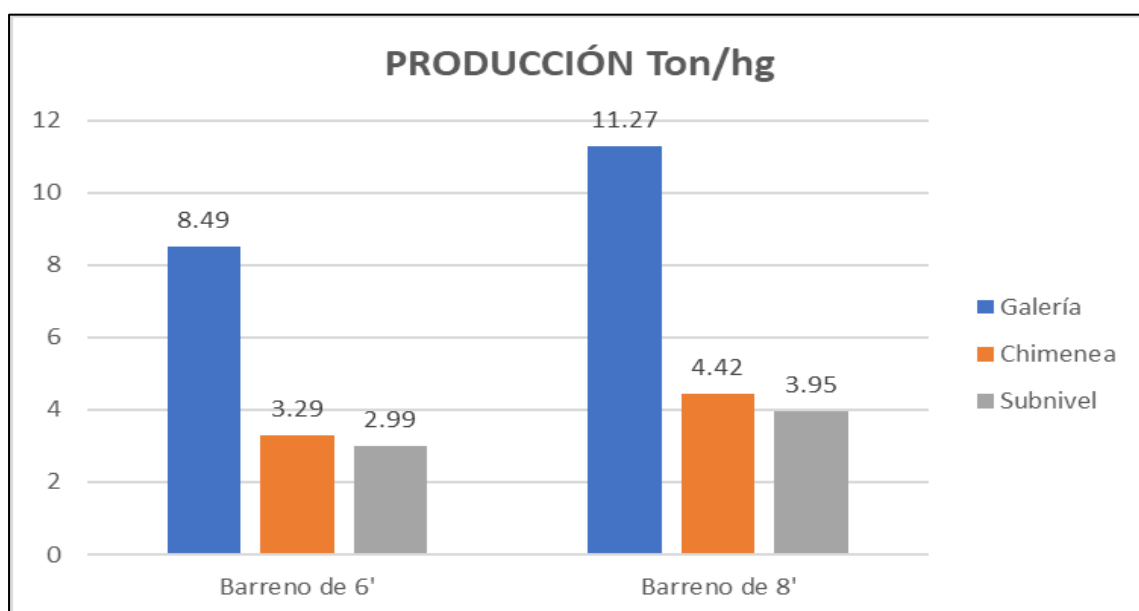


Figura 14. Comparativo de rendimiento de exploración por barreno

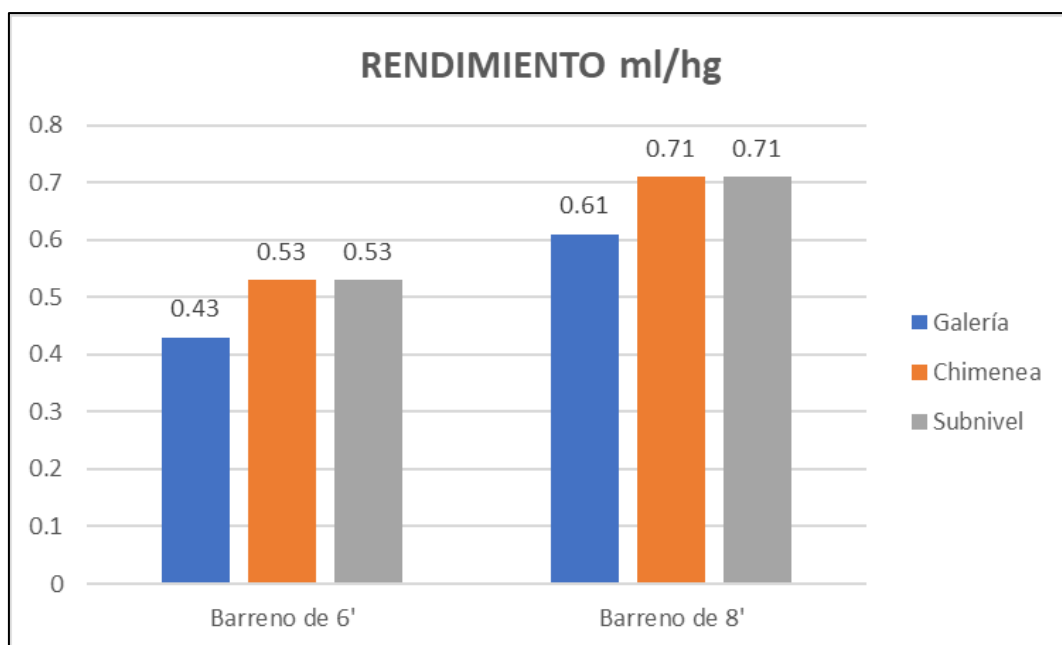


Figura 15. Comparativo de producción de exploración por barreno

Es evidente que el desempeño por metro lineal y la producción por metro lineal en las tareas de exploración, desarrollo y preparación se incrementa conforme el barreno de perforación se alarga y el personal se ajusta al tipo de trabajo.

4.2.5. Indicadores de explotación en tajeos

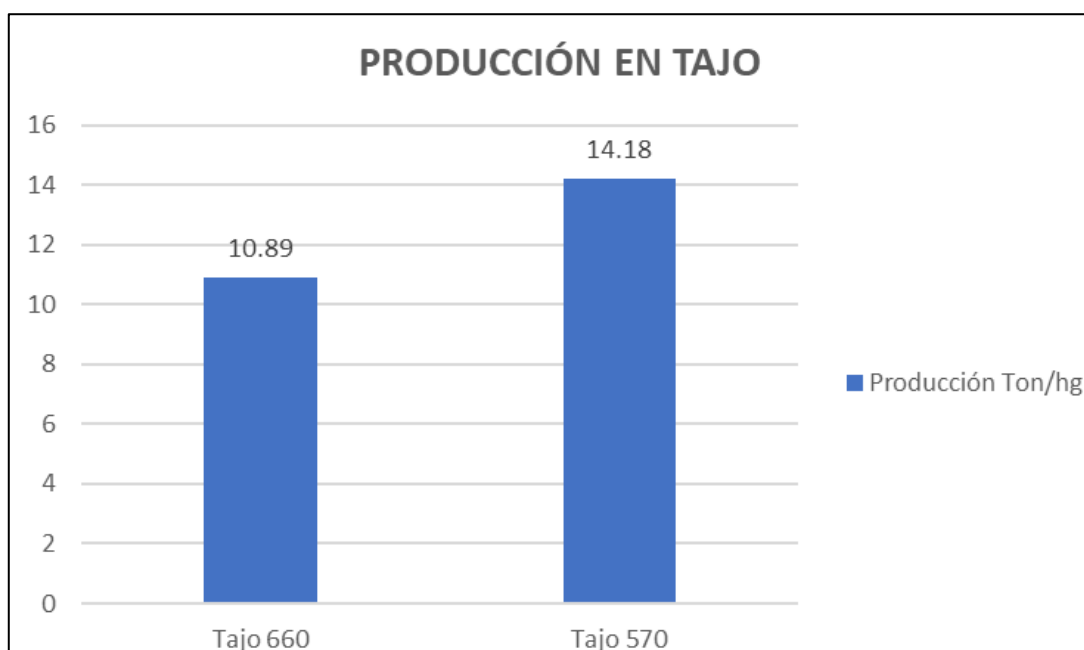


Figura 16. Indicadores de explotación en tajeos

Es evidente que la producción por guardia en tajo se incrementa conforme el barreno de perforación se alarga.

4.2.6. Costo de voladura por disparo

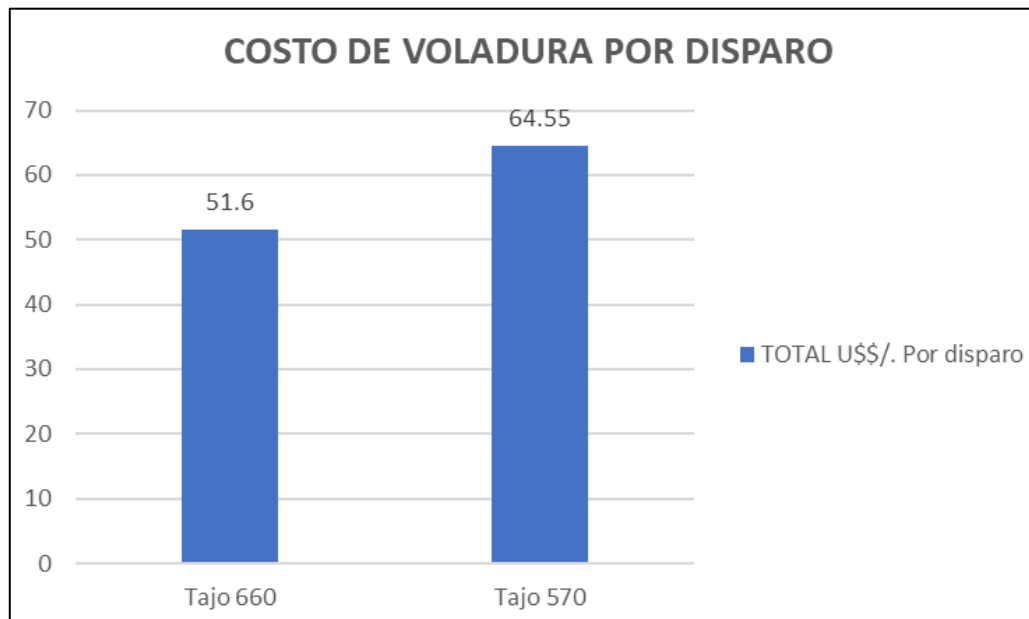


Figura 17. Costo de voladura por disparo

Es evidente que el costo de voladura por disparo es superior en tareas de mayor progreso.

4.2.7. Costo de voladura por metro lineal

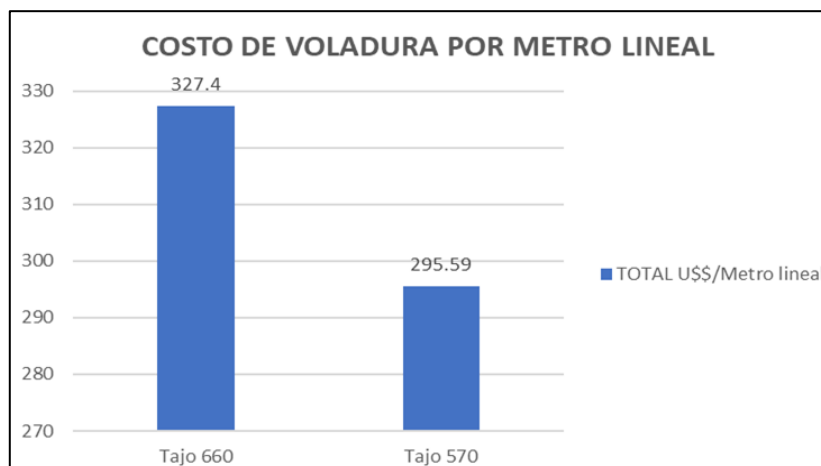


Figura 18. Costo de voladura por metro linea

Es evidente que el costo total de producción por metro lineal es inferior en trabajos de 8 pies.

4.2.8. Costo de voladura por tonelada

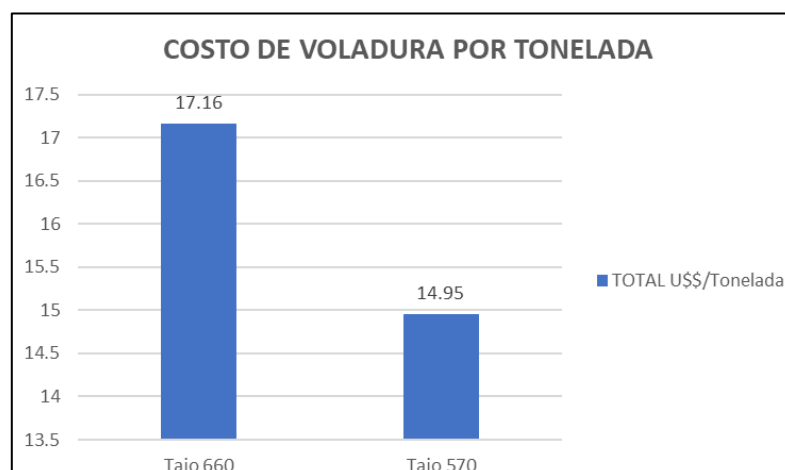


Figura 19. Costo de voladura por tonelada

Las secciones con agujeros de perforación de 8 pies claramente tienen un costo de producción por tonelada más lucrativo en cada turno.

4.2.9. Rendimiento del tajo 660

Tabla 18. Rendimiento del tajo 660

Labor	Estado	Unidad	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Tajo 660	Programado	Tn/Hg	10.5	10.5	10.5	10.5
	Real	Tn/Hg	10.89	10.87	10.9	10.89

4.2.10. Rendimiento del tajo 570

Tabla 19. Rendimiento del tajo 570

Labor	Estado	Unidad	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Tajo 570	Programado	Tn/Hg	13.5	13.5	13.5	13.5
	Real	Tn/Hg	14.18	14.1	14.16	14.17

4.3. Prueba de hipótesis general

H0: Hipótesis nula

H0: El método de voladura utilizado en la construcción de cámaras y pilares NO facilita el logro de productividad y eficiencia en Compañía Minera Poderosa S.A.

H1: Hipótesis alterna

H1: El método de voladura utilizado en la construcción de cámaras y pilares facilita el logro de productividad y eficiencia en Compañía Minera Poderosa S.A.

Tabla 20. Rendimiento de producción Tn/Hg TAJO 660 mes de mayo

DÍAS	PLANEADA	MÍNIMO	MÁXIMO	REAL
1	10.5	9.75	11.25	10.89
2	10.5	9.75	11.25	10.8
3	10.5	9.75	11.25	10.95
4	10.5	9.75	11.25	10.88
5	10.5	9.75	11.25	10.89
6	10.5	9.75	11.25	10.82
7	10.5	9.75	11.25	10.81
8	10.5	9.75	11.25	10.95
9	10.5	9.75	11.25	10.88
10	10.5	9.75	11.25	10.89
11	10.5	9.75	11.25	10.82
12	10.5	9.75	11.25	10.81
13	10.5	9.75	11.25	10.95
14	10.5	9.75	11.25	10.88
15	10.5	9.75	11.25	10.89
16	10.5	9.75	11.25	10.95
17	10.5	9.75	11.25	10.88
18	10.5	9.75	11.25	10.89
19	10.5	9.75	11.25	10.95
20	10.5	9.75	11.25	10.88
21	10.5	9.75	11.25	10.89
22	10.5	9.75	11.25	10.95
23	10.5	9.75	11.25	10.88
24	10.5	9.75	11.25	10.89
25	10.5	9.75	11.25	10.81
26	10.5	9.75	11.25	10.95
27	10.5	9.75	11.25	10.88
28	10.5	9.75	11.25	10.89
29	10.5	9.75	11.25	10.95
30	10.5	9.75	11.25	10.88
31	10.5	9.75	11.25	10.89
			PROMEDIO	10.89

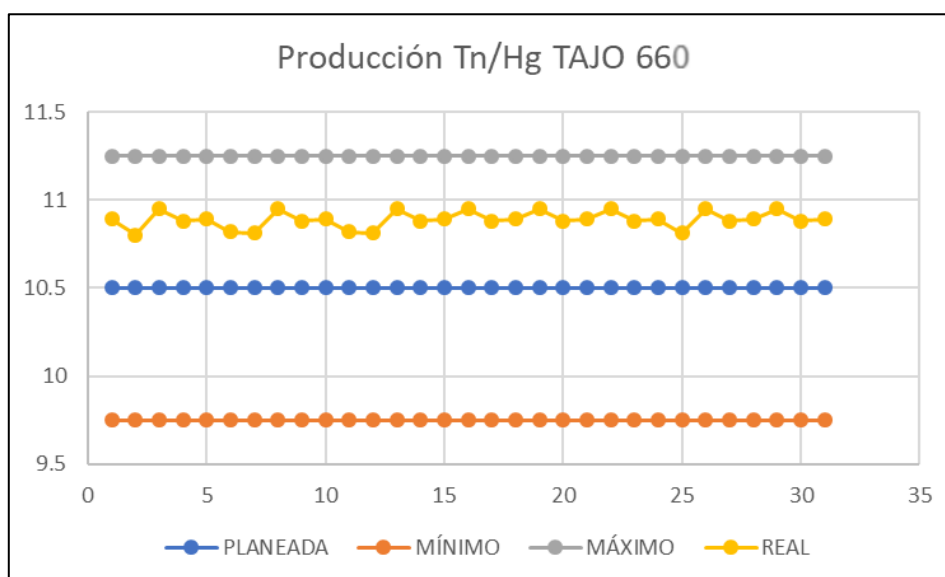


Figura 20. Gráfico de la producción del tajo 660

Tabla 21. Rendimiento de producción Tn/Hg TAJO 570 mes de mayo

DÍAS	PLANEADA	MÍNIMO	MÁXIMO	REAL
1	13.5	12.75	14.25	14.18
2	13.5	12.75	14.25	14.09
3	13.5	12.75	14.25	14.24
4	13.5	12.75	14.25	14.17
5	13.5	12.75	14.25	14.18
6	13.5	12.75	14.25	14.11
7	13.5	12.75	14.25	14.1
8	13.5	12.75	14.25	14.24
9	13.5	12.75	14.25	14.17
10	13.5	12.75	14.25	14.18
11	13.5	12.75	14.25	14.11
12	13.5	12.75	14.25	14.1
13	13.5	12.75	14.25	14.24
14	13.5	12.75	14.25	14.17
15	13.5	12.75	14.25	14.18
16	13.5	12.75	14.25	14.24
17	13.5	12.75	14.25	14.17
18	13.5	12.75	14.25	14.18
19	13.5	12.75	14.25	14.24
20	13.5	12.75	14.25	14.17
21	13.5	12.75	14.25	14.18
22	13.5	12.75	14.25	14.24
23	13.5	12.75	14.25	14.17
24	13.5	12.75	14.25	14.18
25	13.5	12.75	14.25	14.1
26	13.5	12.75	14.25	14.24
27	13.5	12.75	14.25	14.17
28	13.5	12.75	14.25	14.18
29	13.5	12.75	14.25	14.24
30	13.5	12.75	14.25	14.17
31	13.5	12.75	14.25	14.18
			PROMEDIO	14.18

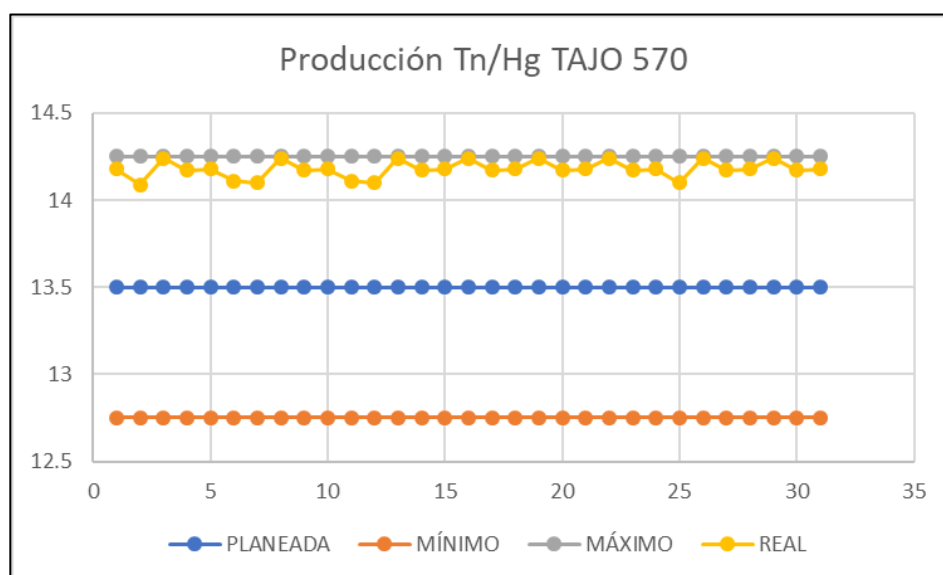


Figura 21. Gráfico de la producción del tajo 570

Conclusión estadística: está en continuo aumento, al igual que la producción diaria de los pozos 660 y 570. El H_0 se acepta y el H_a se rechaza entre los que están permitidos.

Conclusión estadística: la voladura en el procedimiento de cámaras y pilares facilita la obtención de la eficacia y productividad en Compañía Minera Poderosa S. A.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

1. El método de voladura en cámaras y pilares facilita la obtención de la capacidad de voladura. La productividad y la eficiencia en Compañía Minera Poderosa S. A. se incrementan.
2. La administración del capital humano posibilita lograr la productividad y la eficiencia laboral en el proceso de voladura de cámaras y pilares en Compañía Minera Poderosa S. A.
3. La tecnología utilizada facilita el logro de la productividad y la eficiencia, eficacia en la voladura utilizando el método de cámaras y pilares en el ámbito de la voladura en una empresa minera.
4. En el banco 660, el costo operativo (minero) de explotación utilizando el método de cámaras y pilares es de 17.16 dólares por tonelada con perforación de 6 pies, y la producción es de 10.89 toneladas por turno-hombre; en el banco 570, el costo es de 14.95 dólares por tonelada con perforación de 8 pies, y la producción es de 14.18 toneladas por turno-hombre. Como resultado, los costos operativos (mineros) del banco 570 son un 12.86% más bajos que los del banco 660.

5.2. Recomendaciones

1. Proporcionar al personal capacitación e instrucción continua sobre los estándares y protocolos que deben seguirse en cada una de las actividades de las unidades del método de cámaras y pilares.

2. Para minimizar el daño a la caja techo, es necesario llevar a cabo una evaluación constante en el diseño de perforación y voladura.
3. Para aprovechar los bancos, utilice el enfoque de habitación y pilar con perforación de 8 pies. Se requiere un cabrestante eléctrico para la limpieza.
4. Realizar un análisis de otros potenciales métodos de explotación que pueden llevarse a cabo en Compañía Minera Poderosa S. A. con la autorización de la empresa. El objetivo es conseguir una mayor producción al costo más bajo posible y de esta manera generar más producción y mayor ganancia financiera para la Compañía Minera Poderosa S. A.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CRUZ, Nancy. Evaluación del proceso de perforación y voladura en la explotación de yeso de la mina el toro, los santos- Santander. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2018, 107 pp.
2. MEJÍA, Kristell. Optimización del proceso de perforación y voladura subterránea para la Sociedad Minera Oro Sol Uno. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Ecuador: Universidad de Azuay, 2019, 89 pp.
3. DIAZ, Juan, GUARÍN, Melissa, JIMÉNEZ, Jovani. Análisis y diseño de la operación de perforación y voladuras en minería de superficie empleando el enfoque de la programación estructurada. *Boletín Ciencias de la Tierra*, 32, pp. 15-22.
4. GONZÁLES, Carlos. Evaluación de la voladura en el método de cámaras y pilares en la compañía minera Marsa. . Tesis (Título de Ingeniero de Minas).Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2016, 142 pp.
5. ABANTO, Juan y VASQUEZ, Jeyner. Reducción de costos en las operaciones unitarias de perforación y voladura optimizando el mantenimiento de brocas de 45mm, rimadoras de 102mm y el consumo de explosivo en las labores de desarrollo que realiza la Empresa Conmiciv S.A.C en CMH S.A. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2016, 136 pp.
6. VILCA, Yhonny. Voladura controlada y reducción porcentual de dilución y costos en tajeo con uso de exsablock en la minera aurífera retamas S.A. – 2019. Tesis (Título de Ingeniero de Minas).Puno: Universidad Nacional del altiplano, 2019.