

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Aplicación del método de explotación corte y relleno  
ascendente semimecanizado para mejorar la  
productividad en la veta Ximena en los niveles 18 y 19  
en la E.C.M. Gestión Minera Integral S. A. C.  
Compañía Minera Alpayana**

Ken Matos Rojas

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi gratitud a las personas que contribuyeron con este logro, brindándome valiosos consejos, críticas constructivas, apoyo moral y material. Al Ing. Benjamín Ramos Aranda, asesor, maestro, amigo y próximamente colega; quien con mucha preocupación y entusiasmo asesoró este esfuerzo. A mis colegas y amigos de la compañía minera Alpayana S. A., por el apoyo, brindando las facilidades para obtener algunos datos importantes para este trabajo. A mis amigos egresados, de la facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Continental, por su apoyo incondicional.

## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres, a mi hermana y a cada persona, que estuvo ahí para apoyarme siempre en todo momento, porque ellos fueron un gran e importante apoyo en mi vida para este logro.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|   |      |
|---|------|
| <b>Agradecimiento</b> .....   | ii   |
| <b>Dedicatoria</b> .....  | iii  |
| <b>Índice de contenido</b> .....  | iv   |
| <b>Índice de tablas</b> .....   | viii |
| <b>Índice de figuras</b> .....  | ix   |
| <b>Resumen</b> .....  | xi   |
| <b>Abstract</b> .....   | xii  |
| <b>Introducción</b> .....   | xiii |
| <b>CAPÍTULO I</b> .....   | 15   |
| <b>PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO</b> .....  | 15   |
| 1.1. Planteamiento del problema .....   | 15   |
| 1.2. Objetivos .....  | 16   |
| 1.2.1. Objetivo general.....  | 16   |
| 1.2.2. Objetivos específicos .....  | 16   |
| 1.3. Justificación.....   | 17   |
| 1.3.1. Académica .....  | 17   |
| 1.3.2. Metodológica .....   | 17   |
| 1.3.3. Social .....   | 17   |
| 1.3.4. Económica .....  | 17   |
| 1.3.5. Práctica .....   | 17   |
| 1.4. Hipótesis y descripción de variables .....   | 18   |
| 1.4.1. Hipótesis general.....   | 18   |
| 1.4.2. Hipótesis específicas.....   | 18   |
| 1.4.3. Variables .....  | 18   |
| <b>CAPÍTULO II</b> .....  | 19   |
| <b>MARCO TEÓRICO</b> .....  | 19   |
| 2.1. Antecedentes .....   | 19   |
| 2.2. Bases teóricas .....   | 21   |
| 2.2.1. Ubicación y acceso a la unidad económica administrativa americana de la<br>compañía minera Alpayana S. A. .... | 21   |
| 2.2.1.1. Accesibilidad.....   | 22   |
| 2.2.1.2. Geología regional.....   | 22   |
| 2.2.1.3. Estratigrafía.....   | 23   |
| 2.2.1.4. Geología local .....   | 25   |
| 2.2.1.5. Mineralización .....   | 26   |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.2.1.6. Geología estructural .....   | 27        |
| 2.2.1.7. Geología económica.....  | 29        |
| 2.2.1.8. Reservas .....   | 29        |
| 2.2.2. Método de explotación de corte y relleno ascendente convencional .....   | 30        |
| 2.2.3. Método de corte y relleno ascendente semimecanizado .....  | 33        |
| 2.2.4. Ciclo de minado .....  | 34        |
| 2.2.5. Ciclo de minado con el método de explotación de corte y relleno ascendente<br>semimecanizado en la veta Ximena ..... | 36        |
| 2.2.5.1. Preparación.....   | 37        |
| 2.2.5.2. Perforación .....  | 38        |
| 2.2.5.3. Voladura.....  | 38        |
| 2.2.5.4. Limpieza.....  | 39        |
| 2.2.5.5. Relleno .....  | 40        |
| 2.2.6. Ventajas para aplicar el método de explotación por corte y relleno ascendente<br>semimecanizado.....                 | 41        |
| 2.3. Definición de términos básicos .....   | 41        |
| 2.3.1. Método de explotación por corte y relleno ascendente semimecanizado .....  | 41        |
| 2.3.2. Ventilación.....   | 42        |
| 2.3.3. Sostenimiento.....   | 42        |
| 2.3.4. Perforación.....   | 42        |
| 2.3.5. Voladura .....   | 42        |
| 2.3.6. Limpieza .....   | 42        |
| 2.3.7. Productividad en minería subterránea.....  | 43        |
| 2.3.8. Producción mensual.....  | 43        |
| 2.3.9. Evaluación económica .....   | 43        |
| 2.3.10. Criterios de elección.....  | 43        |
| 2.3.11. Breasting .....   | 43        |
| 2.3.12. Eficacia .....  | 44        |
| 2.3.13. Eficiencia.....   | 44        |
| 2.3.14. Equipos .....   | 44        |
| 2.3.15. Labores subterráneas .....  | 44        |
| 2.3.16. Macizo rocoso .....   | 44        |
| 2.3.17. Relleno detrítico .....   | 44        |
| <b>CAPÍTULO III.....</b>  | <b>45</b> |
| <b>METODOLOGÍA .....</b>  | <b>45</b> |
| 3.1. Método y alcance de la investigación .....   | 45        |
| 3.1.1. Método de la investigación .....   | 45        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.1.2. Tipo de investigación.....  | 45        |
| 3.1.3. Nivel de investigación.....   | 45        |
| 3.2. Diseño de la investigación .....  | 45        |
| 3.3. Población y muestra .....   | 46        |
| 3.3.1. Población .....   | 46        |
| 3.3.2. Muestra .....   | 46        |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....  | 46        |
| 3.4.1. Técnicas en la utilización de datos.....  | 46        |
| 3.4.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....   | 46        |
| <b>CAPÍTULO IV.....</b>  | <b>47</b> |
| <b>RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>  | <b>47</b> |
| 4.1. Descripción del trabajo en campo .....  | 47        |
| 4.2. Análisis situacional .....  | 47        |
| 4.3. Evaluación del método de explotación comparado con el sistema convencional.....                             | 49        |
| 4.3.1. Análisis de operaciones unitarias.....  | 50        |
| 4.3.1.1. Comparación del método de explotación comparado con el sistema convencional para la ventilación.....    | 50        |
| 4.3.1.2. Comparación del método de explotación comparado con el sistema convencional para el sostenimiento ..... | 51        |
| 4.3.1.3. Comparación del método de explotación comparado con el sistema convencional para la perforación .....   | 51        |
| 4.3.1.4. Comparación del método de explotación comparado con el sistema convencional para la voladura.....       | 52        |
| 4.3.1.5. Comparación del método de explotación comparado con el sistema convencional para la limpieza.....       | 53        |
| 4.3.2. Análisis de producción mensual .....  | 54        |
| 4.3.2.1. Análisis de producción mensual con respecto a los frentes de trabajo ....                               | 54        |
| 4.3.2.2. Análisis de producción mensual con respecto a los disparos por día.....                                 | 55        |
| 4.3.2.3. Análisis de producción mensual con respecto al tiempo de corte.....                                     | 56        |
| 4.3.2.4. Análisis de producción mensual con respecto al corte por mes .....                                      | 57        |
| 4.3.2.5. Análisis de producción mensual con respecto al tonelaje por disparo ....                                | 57        |
| 4.3.2.6. Análisis de producción mensual con respecto al tonelaje .....   | 58        |
| 4.3.3. Análisis de evaluación económica .....  | 59        |
| 4.3.3.1. Costo de preparaciones .....  | 59        |
| 4.3.3.2. Costo de sostenimiento .....  | 60        |
| 4.3.3.3. Costo de explotación.....   | 60        |
| 4.3.3.4. Costo de limpieza.....  | 61        |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.3.3.5. Costo de servicios generales .....    | 62        |
| 4.3.3.6. Costos de gastos generales .....      | 63        |
| 4.3.3.7. Total de costos .....                 | 64        |
| 4.3.3.8. Tonelaje por mes .....                | 64        |
| 4.3.3.9. Costo del tajo .....                  | 65        |
| 4.3.3.10. Explotación del tajo .....           | 66        |
| 4.3.4. Análisis de criterio de selección ..... | 66        |
| 4.3.4.1. Riesgo de seguridad .....             | 67        |
| 4.3.4.2. Producción .....                      | 67        |
| 4.3.4.3. Costo de explotación .....            | 68        |
| 4.3.4.4. Dilución .....                        | 69        |
| 4.3.4.5. Tiempo de explotación .....           | 70        |
| 4.4. Discusión de resultados .....             | 70        |
| 4.4.1. Análisis de operaciones unitarias ..... | 70        |
| 4.4.2. Análisis de producción mensual .....    | 72        |
| 4.4.3. Análisis de evaluación económica .....  | 73        |
| 4.4.4. Análisis de criterio de selección ..... | 74        |
| <b>Conclusiones .....</b>                      | <b>75</b> |
| <b>Recomendaciones .....</b>                   | <b>77</b> |
| <b>Lista de referencias .....</b>              | <b>78</b> |
| <b>Anexos .....</b>                            | <b>81</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Reservas de la mina Alpayana 2021 .....  | 30 |
| Tabla 2. Características del desarrollo y preparación en el método corte y relleno ascendente convencional..... | 32 |
| Tabla 3. Caracterización del Scooptram de 2.2 yd <sup>3</sup> .....   | 39 |
| Tabla 4. Operaciones unitarias.....   | 50 |
| Tabla 5. Tiempo de ventilación .....  | 50 |
| Tabla 6. Tiempo de sostenimiento .....  | 51 |
| Tabla 7. Tiempo de perforación.....   | 51 |
| Tabla 8. Tiempo de voladura .....   | 52 |
| Tabla 9. Tabla de limpieza.....   | 53 |
| Tabla 10. Producción mensual .....  | 54 |
| Tabla 11. Tabla de frentes de trabajo.....  | 54 |
| Tabla 12. Tabla de disparos por día .....   | 55 |
| Tabla 13. Tiempo de corte .....   | 56 |
| Tabla 14. Corte por mes.....  | 57 |
| Tabla 15. Tonelaje por disparo .....  | 57 |
| Tabla 16. Tonelaje por mes.....   | 58 |
| Tabla 17. Evaluación económica .....  | 59 |
| Tabla 18. Costo de preparaciones .....  | 59 |
| Tabla 19. Costo de sostenimiento .....  | 60 |
| Tabla 20. Costos de explotación .....   | 60 |
| Tabla 21. Costos de limpieza .....  | 61 |
| Tabla 22. Costo de servicios generales .....  | 62 |
| Tabla 23. Costo de gastos generales .....   | 63 |
| Tabla 24. Total de costos .....   | 64 |
| Tabla 25. Tonelaje por mes.....   | 64 |
| Tabla 26. Costo del tajo .....  | 65 |
| Tabla 27. Explotación del tajo .....  | 66 |
| Tabla 28. Criterio de selección .....   | 66 |
| Tabla 29. Riesgo de seguridad .....   | 67 |
| Tabla 30. Producción .....  | 67 |
| Tabla 31. Costo de explotación.....   | 68 |
| Tabla 32. Dilución .....  | 69 |
| Tabla 33. Tiempo de explotación.....  | 70 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación y acceso a la compañía minera Alpayana.....                  | 22 |
| Figura 2. Columna estratigráfica Alpayana S. A .....                             | 25 |
| Figura 3. Formaciones geológicas de Casapalca .....                              | 28 |
| Figura 4. Método de explotación de corte y relleno ascendente .....              | 31 |
| Figura 5. Método de corte y relleno ascendente mecanizado .....                  | 34 |
| Figura 6. Malla de perforación en secciones de 3.5 x 3.5 m.....                  | 36 |
| Figura 7. Diseño de mallas en labores verticales .....                           | 38 |
| Figura 8. Carguío de taladros.....   | 39 |
| Figura 9. Diseño de operación del scooptram de 2.2 yd <sup>3</sup> (perfil)..... | 40 |
| Figura 10. Diseño de operación del scooptram de 2.2 yd. (planta).....            | 40 |
| Figura 11. Comparación de métodos para la ventilación .....                      | 50 |
| Figura 12. Comparación de métodos para el sostenimiento .....                    | 51 |
| Figura 13. Comparación de métodos para la perforación .....                      | 52 |
| Figura 14. Comparación de métodos para la voladura.....                          | 53 |
| Figura 15. Comparación de métodos para la limpieza.....                          | 54 |
| Figura 16. Frente de trabajo .....   | 55 |
| Figura 17. Medida de disparos por día.....                                       | 55 |
| Figura 18. Medida de tiempo de corte .....                                       | 56 |
| Figura 19. Medida de cortes por mes.....   | 57 |
| Figura 20. Medida de toneladas por disparo .....                                 | 58 |
| Figura 21. Medida del tonelaje por mes.....                                      | 58 |
| Figura 22. Costo de preparaciones.....   | 59 |
| Figura 23. Costo de sostenimiento.....   | 60 |
| Figura 24. Costo de explotación .....  | 61 |
| Figura 25. Costo de limpieza .....   | 62 |
| Figura 26. Costo de servicios generales.....                                     | 62 |
| Figura 27. Costo de gastos generales .....                                       | 63 |
| Figura 28. Total de costos.....  | 64 |
| Figura 29. Tonelaje por mes .....  | 65 |
| Figura 30. Costo del tajo.....   | 65 |
| Figura 31. Explotación del tajo.....   | 66 |
| Figura 32. Riesgo de seguridad.....  | 67 |
| Figura 33. Producción.....   | 68 |
| Figura 34. Costo de explotación .....  | 68 |
| Figura 35. Dilución .....  | 69 |

Figura 36. Tiempo de explotación ..... 70

## RESUMEN

La investigación aborda el estudio comparativo entre la aplicación tecnológica del método de corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) y el método de corte y relleno convencional (CRAC), diferenciados en la inclusión de maquinaria y equipos para la mejora de la productividad en el ciclo de minado subterráneo. Por tal, el objetivo de la investigación se avoca a lograr con el método de explotación minera de corte y relleno ascendente semimecanizado la mejora de la productividad en la veta Ximena en los niveles 18 y 19 en la E. C. M. Gestión Minera Integral S. A. C. – compañía minera Alpayana. La metodología sigue entonces el método científico, siendo el tipo de investigación aplicado, de nivel descriptivo y diseño no experimental, además se toma como muestra representativa a los niveles 18 y 19 de la veta Ximena para la toma de datos, siendo las técnicas aplicadas la observación directa y la revisión de documentos. De esta manera, los resultados permiten indicar una mejora sustancial en la productividad a partir de la aplicación del método CRASM, ya que el análisis comparativo entre el método CRAC y CRASM indica una mejora en la productividad de 2950 TM/mes (CRAC = 2400 TM/mes, CRASM = 5400 TM/mes). Además, se refiere que el costo de explotación ha visto una disminución debido a CRASM (22.52 \$/t versus los 26.87 \$/t del método CRAC), así como el tiempo de explotación pasó de 24 meses con el método CRAC a 10 meses con CRASM. Finalmente, se concluye que el método CRASM ha permitido optimizar las operaciones unitarias del ciclo de minado, lo que ha afectado positivamente a los niveles de productividad en la mina, y, por ende, al beneficio económico para la empresa contratista, no obstante, el método CRASM requiere de mayores consideraciones logísticas, así como tiempos de preparación mejor planificados.

**Palabras clave:** corte y relleno ascendente, mecanización, productividad

## ABSTRACT

The research addresses the comparative study between the technological application of the semi-mechanized ascending cut-and-fill method (CRASM) and the conventional cut-and-fill method (CRAC), differentiated in the inclusion of machinery and equipment to improve productivity in the mining cycle. Underground. Therefore, the objective of the research is to achieve, through the semi-mechanized ascending cut-and-fill mining method, the improvement of productivity in the Ximena vein at levels 18 and 19 in the E.C.M. Integral Mining Management S.A.C. – Alpayana mining company. The methodology then follows the scientific method, being the type of applied research, descriptive level and non-experimental design, in addition, levels 18 and 19 of the Ximena veins are taken as a representative sample for data collection, the techniques applied being observation direct and document review. In this way, the results indicate a substantial improvement in productivity from the application of the CRASM method, since the comparative analysis between the CRAC and CRASM methods indicates a productivity improvement of 2,950 MT/month (CRAC= 2,400 MT/month). month, CRASM= 5400 MT/month). In addition, it is reported that the exploitation cost has seen a decrease due to CRASM (\$22.52/t versus the \$26.87/t of the CRAC method), as well as the exploitation time went from 24 months with the CRAC method to 10 months with CRASM. Finally, it is concluded that the CRASM method has allowed to optimize the unitary operations of the mining cycle, which has positively affected the productivity levels in the mine, and therefore, the economic benefit for the contractor company, however, the method CRASM requires greater logistical considerations, as well as better planned preparation times.

**Keywords:** ascending cut and fill, mechanization, productivity

## INTRODUCCIÓN

La investigación aborda los aspectos técnicos y económicos de la aplicación tecnológica en la explotación minera subterránea, específicamente, el método corte y relleno ascendente (*cut and fill*) se ha visto inmerso en la inclusión mecanizada de los procedimientos fundamentales en el ciclo de minado, tales cambios pretenden una mejora sustancial u optimización del costo de inversión frente a la productividad y beneficios económicos para la empresa minera. El estudio se desarrolla entonces en el contexto de la mina Alpayana, concretamente en la veta Ximena, explotada por E. C. M. Gestión Minera Integral S. A. C. En todo caso, se resalta la importancia de un análisis comparativo entre las diferencias del método convencional y el semimecanizado a partir de criterios de selección centrados en la mejora de la productividad en mina. Bajo esta premisa, el objetivo es lograr mejores resultados en la productividad de los niveles 18 y 19 en la veta Ximena, por lo que, el estudio se divide de la siguiente manera.

En el Capítulo I se presenta el planteamiento del problema, donde se describe la situación problemática del tema de investigación, siendo la principal, mejorar la tasa de producción y, por ende, el ingreso económico en la explotación minera de la mina Alpayana. De tal forma, el estudio tiene como objetivo lograr a través del método de explotación minera de corte y relleno ascendente semimecanizado la mejora de la productividad en la veta Ximena en los niveles 18 y 19 en la E. C. M. Gestión Minera Integral S. A. C. – compañía minera Alpayana. Así mismo, se indica la justificación de la investigación a nivel académico, metodológico, social, económico y práctico. Además, se presentan las variables en estudio.

En el Capítulo II se desarrolla el marco teórico, a partir de la recopilación de antecedentes vinculados al tema de estudio, así mismo, se presentan las bases teóricas que fundamentan el estudio, así como, el marco contextual y descriptivo del objeto de estudio (consideraciones técnicas de la veta Ximena), de igual manera que, se presentan los términos básicos utilizados en el trabajo de investigación.

En el Capítulo III se describe la metodología de la investigación, para ello se consideró que el tipo de investigación es aplicada, de nivel descriptivo, de diseño no experimental. Además, se parte de una población constituida por todas las zonas de las vetas de la Oroya alta y baja de la compañía minera Alpayana, siendo de esta manera, la muestra conformada por la veta Ximena, específicamente, las zonas 18 y 19. Así mismo, se presentan las técnicas e instrumentos implementados para la recolección de datos.

En el Capítulo IV se presentan los resultados desglosados por dimensiones para cada variable indicada (productividad y método CRASM), siendo las principales unidades de análisis la variación entre los resultados para CRASM y CRAC (método corte y relleno ascendente convencional). Además, se desarrolla la discusión de resultado, que es tratada en función de las hipótesis planteadas.

Finalmente, en el último apartado se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas para la investigación, así como los anexos.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

El sector minero se ha vuelto más exigente respecto a décadas pasadas, no solo en cuanto a la productividad sino también a las medidas de seguridad y el empleo de nuevas tecnologías. De hecho, actualmente, se considera que el crecimiento de este sector debe contemplar las dimensiones de la productividad (mayor extracción), sostenibilidad (métodos y tecnologías menos dañinas y riesgosas) y seguridad (dirigida a los empleados y personal a cargo) (1). El caso de la compañía minera Alpayana muestra que deberían seguirse estas nuevas exigencias en todos sus niveles para un desempeño moderno de la minería (2).

Alpayana, llamada antes compañía minera Casapalca, fundada en 1987, está ubicada en la provincia de Huarochirí (Lima) a 4200 m s. n. m. Esta compañía produce zinc, plomo, cobre y plata, y tiene entre uno de sus yacimientos a la veta Ximena, hallada en la zona de La Oroya (3). Para la extracción del mineral, la compañía cuenta con 38 empresas contratistas, entre las que se halla Gestión Minera Integral (4), cuyo método de extracción subterránea requiere optimización (5).

En ese sentido, el método de corte y relleno ascendente semimecanizado, que consiste en la extracción de franjas horizontales y el relleno del espacio vacío con materia estéril (muchas veces útil como piso) (6), resulta conveniente para el caso de la veta Ximena dadas las condiciones geológicas y geomecánicas de la zona de La Oroya. El método de corte y relleno se emplea cuando la roca se torna moderada a débil incompetente, ya que ayuda a «disminuir

el problema de inestabilidad de labores, por cuanto, esta es de inmediato rellenada, evitando desestabilización de la roca caja» (7).

Asimismo, cabe mencionar que la compañía minera Alpayana ha sido estudiada en relación a otras problemáticas. Así, Palomino (8) ha determinado la influencia significativa de la perforación y voladura en las tareas de exploración de la compañía Alpayana. Herrera (9), por su parte, ha señalado el impacto negativo de la carga operante en los tajos de la compañía. Huamán (4) ha expuesto en el caso específico de la empresa Gestión Minera Integral, en las labores realizadas para Alpayana, las necesidades de optimización de las condiciones de seguridad. Hace falta, en ese sentido, un estudio sobre una problemática tan importante y acorde con las exigencias de los tiempos que corren: la mejora del método de extracción, en este caso, por parte de la empresa contratista y en la veta Ximena de la zona de La Oroya.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Lograr, con el método de explotación de corte y relleno ascendente semimecanizado, la mejora de la productividad en la veta Ximena en los niveles 18 y 19 en la E. C. M. Gestión Minera Integral S. A. C., compañía minera Alpayana.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Lograr, con el método de explotación de corte y relleno ascendente semimecanizado, la mejora de la producción mensual en la veta Ximena en los niveles 18 y 19 en la E. C. M. Gestión Minera Integral S. A. C., compañía minera Alpayana.
- Lograr, con el método de explotación de corte y relleno ascendente semimecanizado, la mejora de la evaluación económica en la veta Ximena en los niveles 18 y 19 en la E. C. M. Gestión Minera Integral S. A. C., compañía minera Alpayana.
- Lograr, con el método de explotación de corte y relleno ascendente semimecanizado, la mejora de los criterios de selección en la veta Ximena en los niveles 18 y 19 en la E. C. M. Gestión Minera Integral S. A. C., compañía minera Alpayana.

### **1.3. Justificación**

#### **1.3.1. Académica**

El estudio permitirá dar una visión sobre el aporte de la investigación académica en el desarrollo de propuestas para la mejora del sector minero y de casos concretos de minería. Esta contribución, asimismo, servirá de ejemplo para estudiantes y especialistas, así como, para interesados en la materia que deseen profundizar en el conocimiento de la minería y sus procedimientos.

#### **1.3.2. Metodológica**

La proyección y aplicación que plantea el estudio sobre el método de extracción de corte y relleno se presenta como un modelo metodológico que puede ser replicado en otros casos concretos de compañías mineras que se propongan optimizar sus métodos y procedimientos de extracción, reducir costos, incrementar la productividad y velar por la seguridad de sus empleados.

#### **1.3.3. Social**

La optimización del método de corte y relleno que propone la investigación trae consecuencias positivas a nivel social, no solo porque este método incrementa la productividad y el beneficio social, sino porque es mucho menos dañino y riesgoso para los empleados y las comunidades circundantes a los yacimientos, esto es que, la repercusión sobre la salud y el bienestar son positivas.

#### **1.3.4. Económica**

La productividad de la veta Ximena se incrementaría siguiendo el método de extracción de corte y relleno ascendente semimecanizado, por lo que, los beneficios económicos tanto para la empresa como para la región serían mayores. Esto sin descuidar la seguridad de los trabajadores y el medio ambiente del yacimiento, ya que la probabilidad de accidentes se reduce considerablemente.

#### **1.3.5. Práctica**

La tasa de accidentes y la pérdida de equipamiento se reduciría gracias al método de corte y relleno, ya que este procedimiento de extracción es mucho más seguro y eficiente. Asimismo, se controlaría el problema de los costos para la empresa contratista y las demoras para la compañía Alpayana, causados por el método convencional de extracción.

#### **1.4. Hipótesis y descripción de variables**

##### **1.4.1. Hipótesis general**

El método de explotación de corte y relleno ascendente semimecanizado mejora la productividad en la veta Ximena en los niveles 18 y 19 en la E. C. M. Gestión Minera Integral S. A. C., compañía minera Alpayana.

##### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- El método de explotación de corte y relleno ascendente semimecanizado mejora la productividad en la veta Ximena en los niveles 18 y 19 en la E. C. M. Gestión Minera Integral S. A. C., compañía minera Alpayana.
- El método de explotación de corte y relleno ascendente semimecanizado mejora la evaluación económica en la veta Ximena en los niveles 18 y 19 en la E. C. M. Gestión Minera Integral S. A. C., compañía minera Alpayana.
- El método de explotación de corte y relleno ascendente semimecanizado mejora los criterios de selección en la veta Ximena en los niveles 18 y 19 en la E. C. M. Gestión Minera Integral S. A. C., compañía minera Alpayana.

##### **1.4.3. Variables**

**Variable X:** Método de explotación corte y relleno ascendente semimecanizado

**Variable Y:** Productividad

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes**

En la investigación «*Optimización de la producción en mantos auríferos mediante el método de corte y relleno ascendente semimecanizado en la empresa minera J. H. S. e Hijos S. R. Ltda., 2018*» se busca mejorar la productividad a través de una propuesta de procesos mecanizados en la extracción aurífera. El objetivo establecido fue optimizar la producción de la extracción en mantos auríferos inclinados mediante el método de corte y relleno ascendente semimecanizado. El tipo de investigación es aplicado, descriptiva porque desarrolla y compara el método de corte y relleno ascendente semimecanizado con el método convencional de la muestra en estudio, que se compone por el yacimiento UEA Ana María. Debido al trabajo de recolección de datos muestrales para establecer parámetros geológicos y estructurales se obtuvieron resultados que confirman que mediante el método de explotación semimecanizado se ha incrementado la producción del mineral en 17.03 t/día (donde la producción para el método convencional es de 33.53 t/días, y 50.30 t/día para el método semimecanizado). Finalmente, se recomienda llevar a cabo una propuesta de cierre progresivo de los pasivos subterráneos procedentes del método de cámaras y pilares, con el fin de recuperar material y mejorar la estabilidad geomecánica del yacimiento UEA Ana María (10).

En la investigación «*Análisis del método de corte y relleno ascendente semimecanizado, frente al método Long Wall en la producción de mineral del Tajo 6520, nivel 2760, compañía minera Poderosa S. A.*» se desarrolla una comparativa a nivel de eficiencia entre los métodos de explotación tradicional y semimecanizado. El objetivo se establece en función de la evaluación de ambos métodos de explotación minera para determinar las ventajas

en cuanto a la producción del método de explotación por corte y relleno ascendente semimecanizado. La investigación es de carácter experimental y tecnológica, ya que busca descubrir y conocer el método más eficiente a largo plazo, ya que a partir de la muestra, el Tajo 6520, se lleva a cabo una comparativa entre el nivel 2760, explotado con el método semimecanizado, y el 6520, explotado con el método convencional Long Wall. De los resultados obtenidos se resalta que a pesar de que el método semimecanizado signifique un costo de inversión alto, la versatilidad de la semimecanización ha demostrado ser más redituable a largo plazo, ya que el aporte a la productividad del *scoop* ha disminuido los tiempos de ciclo de minado, del mismo modo, el cambio de método de explotación ha traído mayores ganancias a la empresa, ya que se refiere a una ganancia adicional de 600 mil soles anuales a comparación del método Long Wall (11).

La investigación «*Ventajas económicas del método de explotación de corte y relleno ascendente semimecanizado, sobre el método Long Wall, Cía. minera Poderosa*», se basa en un estudio comparativo que permite analizar aquellas variaciones de la eficiencia económica alcanzada al pasar de un sistema de explotación tradicional hacia un sistema mecanizado. El objetivo se establece entonces en función del análisis comparativo entre el costo de capital invertido y las ganancias a largo plazo obtenidas con la variación del sistema de explotación del proyecto minero. En base a ello, la metodología implementada en la investigación sigue un método analítico comparativo a partir de los datos recopilados de estudios preliminares y que se obtuvieron a través de la observación y medición, la muestra está conformada por la veta *Samy*, ubicada en el nivel 2760 dentro de la unidad Santa María. Los resultados indican que existe mayor versatilidad en las operaciones realizadas con el método semimecanizado, lo que permite un mayor beneficio económico a corto plazo, ya que es posible apreciar una mejor efectividad en el tiempo de explotación de mineral (75 % del bloque en un año) frente al método convencional (100 % del bloque en dos años), no obstante, es importante resaltar que la desventaja del sistema mecanizado radica en los tiempos de preparación que deben seguirse para una correcta ejecución del método (12).

En la investigación «*Incremento de la producción mediante el método de explotación de corte y relleno ascendente semimecanizado en el tajo 767, Cía. minera Caudalosa S. A. 2018*» se desarrolla un panorama descriptivo acerca de los factores clave en el incremento de la productividad de los procesos de explotación minera bajo un sistema de procesos mecanizados, especialmente aplicados a actividades de perforación y limpieza. De esta manera, el objetivo es lograr una mejora sustancial en la productividad del tajo 767 a través de la explotación mediante el método de corte y relleno ascendente semimecanizado. La metodología aplicada a la investigación sigue una esquematización de carácter descriptivo explicativo,

donde se hace hincapié a la evaluación del control del tonelaje producido por el *scoop* y el tonelaje producido con el método de CRA semimecanizado. De los resultados obtenidos en la investigación, la evaluación económica permite determinar que la explotación semimecanizada es la mejor alternativa frente a la explotación convencional, así mismo, la mayor ventaja del método de explotación semimecanizado es una recuperación de mineral al 100 %, ya que la dilución mineral está bien controlada, además es un método que brinda mayor seguridad y versatilidad a comparación del método convencional, en todo caso, se evidencia una mejora en el rendimiento operativo del tajo 767, ya que el *scoop* permite dinamizar las actividades de limpieza y relleno para disminuir los tiempos muertos durante la operación minera (13).

La investigación «*Comparación del método de explotación de corte y relleno ascendente semimecanizado y el método Long Wall minning en la veta Valeria de una mina subterránea, La Libertad, 2020*» se basa en el análisis comparativo de las ventajas económicas y productivas del método de explotación de corte y relleno ascendente semimecanizado y el método *Long Wall minning*, abarcadas desde la evaluación por eficiencia de las actividades de abastecimiento a planta y las labores de extracción. El objetivo entonces es determinar la ventaja del método semimecanizado frente al método convencional en un proyecto minero. Por ello, la investigación es de tipo explicativo aplicativo, con un diseño no experimental, además se refiere a un estudio de corte transversal, puesto que se hace un análisis de datos a partir del estudio de la muestra en el nivel 2770 de la veta Valeria en el tajo 464 en un periodo de tiempo que permita generar una base de datos adecuada para el análisis de la producción mensual para ambos métodos de explotación minera. De esta forma, los resultados obtenidos indican que en relación a la evaluación económica, el método *Long Wall minning* presenta menores ingresos redituables frente al método semimecanizado, esto es respaldado por una variación de 4.88 U\$\$/TM entre ambos métodos, además se refiere que a pesar de que el tiempo de preparación del método semimecanizado es mayor a comparación con el método *Long Wall minning*, el beneficio económico de este método es mucho más elevado (14).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Ubicación y acceso a la unidad económica administrativa americana de la compañía minera Alpayana S. A.**

#### **Ubicación**

Las operaciones de la compañía minera Casapalca S. A. se ubican en el distrito de Chicla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima. A una altura promedio de 4 400 m s. n. m. de la cordillera occidental de los Andes (15).

Las coordenadas geográficas del centro minero:

- Latitud Sur: 11° 30"
- Latitud Oeste: 76° 10" 22

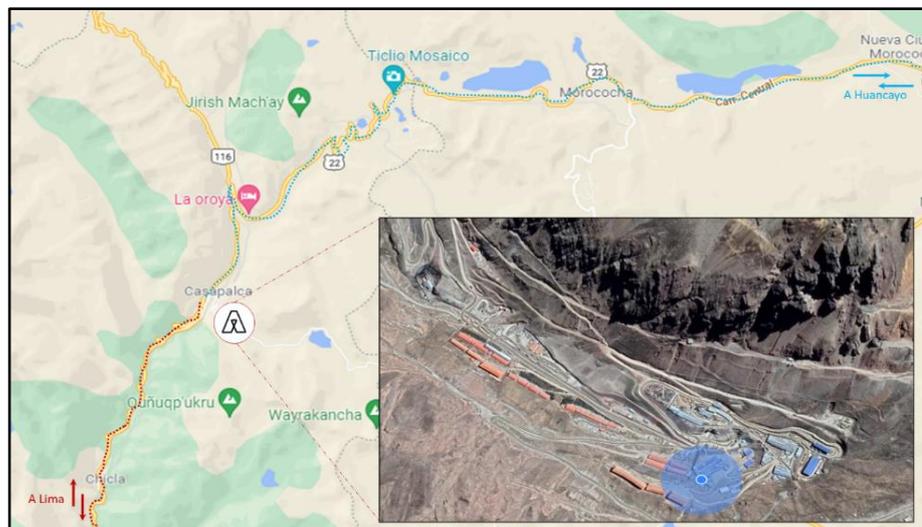
Encontrándose el campamento Casapalca a los 4 350 m s. n. m. en las coordenadas UTM:

- 366 761,70 E
- 8 710 455,60 N

### 2.2.1.1. Accesibilidad

Es por la vía que se recorre de Lima - Casapalca con una distancia aproximada de 129 km en un tiempo de llegada de tres horas, aproximadamente (15).

Otra de las vías es de Huancayo - La Oroya - Casapalca con una distancia de 194 km en un tiempo de tres horas, aproximadamente (15).



*Figura 1. Ubicación y acceso a la compañía minera Alpayana. Tomada del Informe Anual Gerencial. Casapalca (15)*

### 2.2.1.2. Geología regional

Geológicamente, la unidad minera se encuentra sobre depósitos cuaternarios que están suprayaciendo a rocas sedimentarias e intrusivas del Cretáceo Superior y Terciario Inferior. La estructura de más prominencia es el anticlinal de Casapalca que se encuentra en la parte central de la mina, siendo este un pliegue con 80 grados de inclinación del eje axial, que presenta plegamientos menores (anticlinales y sinclinales) en sus flancos NE y SW. En

el subsuelo se ha reconocido fallas preminerales que desplazan a las vetas, como la «Gran falla» que tiene rumbo N55 °W (15).

Los plegamientos, estratigráficamente, las unidades del distrito están plegadas, teniendo los ejes con rumbo de N20 °W, lo que hace que sean casi paralelos al lineamiento general de la cordillera de los Andes (15).

La estructura de mayor importancia es el anticlinorium Casapalca que presenta plegamientos (anticlinales y sinclinales) menores en sus flancos, el sinclinal americano posee estructuras volcánicas terciarias expuestas, su núcleo son las calizas Bellavista, se ubica bordeando el flanco noreste del anticlinorium Casapalca (15).

Se encuentran tres grandes fallas en la zona de Casapalca, conservando cierto paralelismo entre sí, estas fallas son: Infiernillo con Rb. N38 °W y Bz. 70 °SW, Rosaura de Rb. N43 °W y Bz. 80 °SW (presenta mineralización), Americana con Rb. N38 °W y Bz. 70 °NE y Río Blanco con Rb. N35 °E ubicado en la zona SW (15).

En el subsuelo la gran falla de rumbo N35 °W, desplaza a las vetas, siendo dicho desplazamiento ligeramente mayor en profundidad (15).

### **2.2.1.3. Estratigrafía**

La zona está conformada por calizas, areniscas y lutitas, también completan la columna estratigráfica brechas y flujos volcánicos (15).

- **Formación Jumasha**

Las rocas de esta formación no afloran en superficie dentro del área de Casapalca; sin embargo, una secuencia correlacionable con esta formación está conformada por calizas de color gris con algunas intercalaciones de lutitas (15).

- **Formación Casapalca**

Es la formación más antigua que aflora en el área, formando un amplio anticlinal denominado Casapalca que es cortado por el río Rímac; esta formación ha sido dividida en los siguientes miembros (15):

- **Capa Rojas**

Formada por interestratificaciones de areniscas y lutitas calcáreas.

- **Conglomerado Carmen**

Sobreyace a las capas rojas, con una serie de conglomerados y calizas.

- **Formación Carlos Francisco**

Dividida en tres miembros:

- **Volcánicos Tablachaca**

Ubicados sobreyaciendo al miembro Carmen y separado de este por lutitas de potencia variable, se encuentra una sucesión de rocas volcánicas constituidas por tufos, brechas, conglomerados, aglomerados y rocas porfiríticas efusivas (15).

- **Volcánicos Carlos Francisco**

Ubicados sobre la misma formación Tablachaca (15).

- **Tufos Yauliyacu**

Los tufos sobreyacen a los volcánicos Carlos Francisco concordantemente, está constituido de tufos de grano fino (15).

- **Formación Bellavista**

Constituida por calizas, tufos y lutitas, esta formación también consiste en capas delgadas de calizas de color gris (15).

- **Formación Río Blanco**

Consiste en volcánicos bien estratificados constituidos por tufos de lapilli de color rojizo, con intercalaciones de brecha y riolitas. En el área afloran hacia el SE, pero su mayor exposición se encuentra entre Chicla y Río Blanco a 12 km al SW de Casapalca (15).

A continuación, se detalla la columna estratigráfica de la unidad americana de Alpayana S. A. en la que se describe el periodo de formación de la roca, el sistema al que pertenece, la serie, la unidad litoestratigráfica, el

grosor en metros, la litología y la descripción de cada elemento que la componen (15).

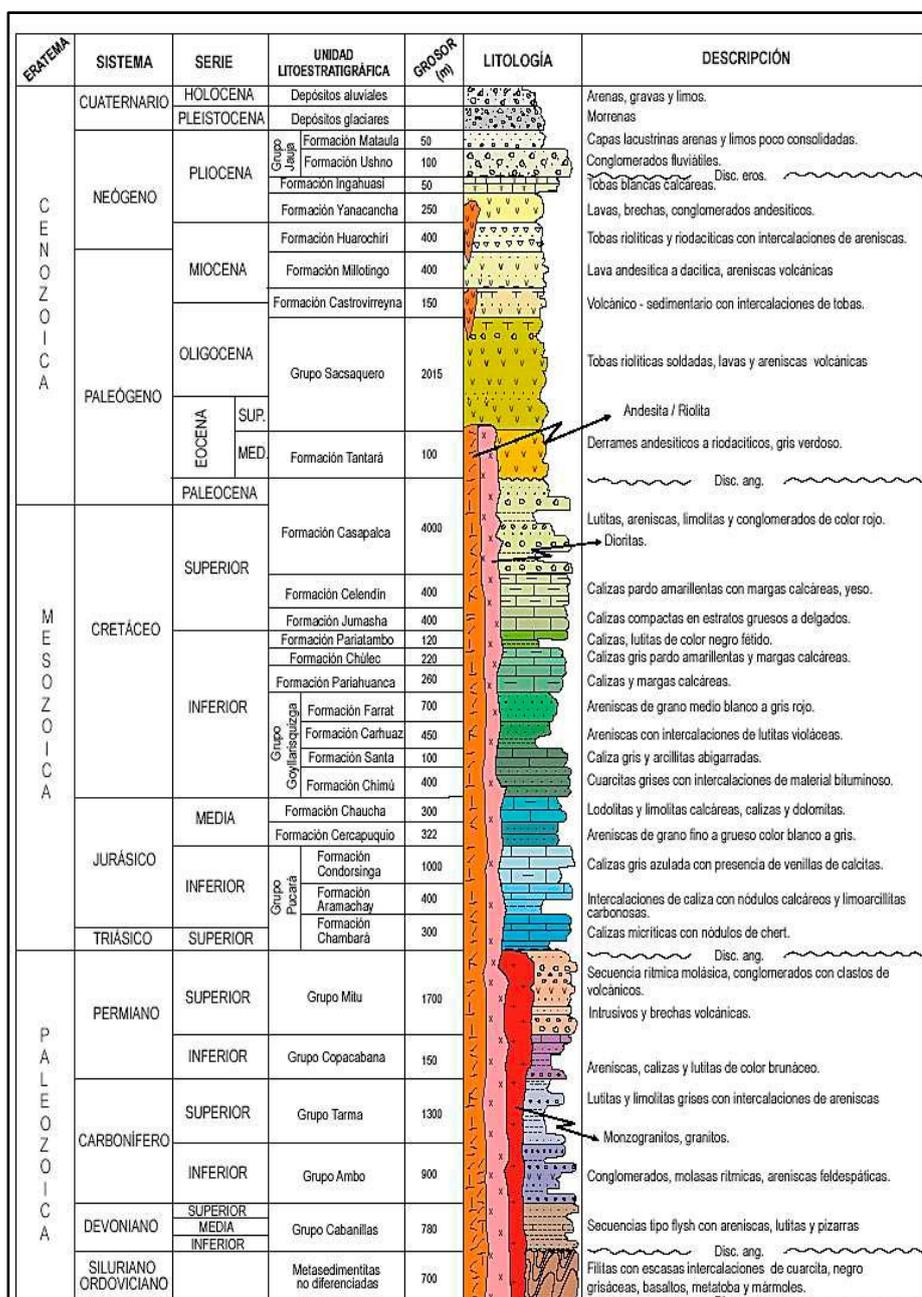


Figura 2. Columna estratigráfica Alpayana S. A  
Tomada del Informe Anual Gerencial. Casapalca (15)

#### 2.2.1.4. Geología local

Las rocas que contienen las dos formas de mineralización están formadas por una secuencia plegada de sedimentos cretáceos continentales, en los extremos Este y Oeste de la mina, conocidos como formación Casapalca, con dos miembros litológicos: el miembro inferior «Capas Rojas Casapalca», formado por areniscas, limonitas y lutitas rojizas, con algunos niveles de

calizas blanquecinas y el miembro superior conocido como conglomerado Carmen, formado por areniscas arcillosas silicificadas de color rojizo, blanqueadas por efecto de la alteración hidrotermal, con algunos horizontes lenticulares de conglomerados (15).

Es importante indicar que las vetas en las capas rojas forman pequeños lazos sigmoides y fracturamientos con relleno de mineral; y, en el conglomerado Carmen, forman cuerpos de mineral relleno de la matriz de los conglomerados (15).

Ligeramente concordantes se presentan las rocas de la formación Carlos Francisco, compuestas al piso por el «conglomerado Tablachaca» con clastos redondeados de cuarcita, volcánicos andesíticos y menor cantidad de clastos calcáreos. En el techo de la secuencia se presenta un conjunto de derrames volcánicos andesíticos e intrusiones subvolcánicas que en conjunto afloran en la parte central y superior de Casapalca (15).

Intrusiones hipabisales dioríticas porfiríticas a granodioritas se presentan en el sector central y noreste de la zona de vetas, conocidos como pórfidos Taruca y Victoria. En estos volcánicos de la formación Carlos Francisco e intrusivos se encuentra la mineralización de vetas, en la que se presentan ensanchamientos y ramales mineralizados (15).

Al sur, en la parte alta y formando parte de un sinclinal, se presentan afloramientos de calizas grises de la formación Bellavista. Estas rocas también se fracturan favorablemente para el emplazamiento de vetas con mineralización económica (15).

#### **2.2.1.5. Mineralización**

En el distrito minero de Casapalca se presentan varias clases de mineralizaciones siendo las principales las «vetiforme» con relleno de fracturas. Las vetas son de carácter mesotermal, lo que indica su gran profundidad de mineralización y las de reemplazamiento (15).

También existen mantos no reconocidos y brechas hidrotermales, todos ellos con diferentes características y grados de mineralización. La mineralización de las vetas constituye esfalerita, galena, calcopirita,

tetrahedrita; y, en menor porcentaje proustita, pirargirita, polibasita y electrum. Las gangas son piritita, cuarzo y carbonatos (15).

### **Zona de vetas**

Este tipo de mineralización corta toda la secuencia litológica desde las capas rojas Casapalca, los conglomerados Carmen y Tablachaca, el volcánico Carlos Francisco y las calizas Bellavista. Son cuerpos tabulares con anchos de 0,20 m a 2,50 m con ensanchamientos locales; cuando cruzan los conglomerados forman cuerpos de relleno de intersticios de la brecha formando «cuerpos» mineralizados de mayor ancho. Dentro del distrito minero de Casapalca ocurren cuatro estructuras mayores (principales) acompañadas de otras estructuras menores, siendo estas principalmente carbonatos manganíferos (calcita y rodocrosita). En algunas labores se observa mineralización en textura bandeada (15).

### **Zona de cuerpos**

La zona de cuerpos forma parte de las estructuras mineralizadas del distrito minero de Casapalca, se encuentra ubicada al NE del campamento El Carmen de la empresa minera Alpayana S. A. y se tienen dos tipos de mineralización:

#### **○ Relleno de fracturas**

Las venillas se encuentran con el mismo rumbo de la veta «Madres», su mineralización es de galena, tetraedrita y carbonatos (15).

#### **○ Reemplazamiento**

Se presenta siguiendo el rumbo de los estratos/horizontes de areniscas calcáreas, o reemplazando los clastos o matriz calcárea, en el conglomerado presenta minerales de escalerita y galena (15).

### **2.2.1.6. Geología estructural**

El patrón estructural regional sigue el alineamiento general de los Andes peruanos (N 10° - 30 °W). Localmente, las rocas se presentan plegadas formando anticlinales y sinclinales (15).

A este sistema corresponde la falla americana. Fallas transversales de los sistemas N 50° E a N 75 °W cruzan la secuencia litológica y desplazan



### **2.2.1.7. Geología económica**

La mina Alpayana es un yacimiento polimetálico del tipo «Cordillerano» con minerales de plata plomo, zinc y cobre, cuya mineralogía cambia de acuerdo con el zoneamiento vertical y horizontal (15).

Debido al carácter meso termal de las vetas, estas van a tener una gran extensión vertical que alcanzaría por debajo de la cota 3 900 m s. n. m. En las rocas sedimentarias se emplazan cuerpos mineralizados de forma muy irregular, producto del reemplazamiento de la matriz calcárea por soluciones hidrotermales; y, con presencia de alteración propílica y silicificación de muy leve a regular (15).

En el área de la concesión minera Casapalca se encuentran diversos afloramientos desde simples fracturas rellenadas con carbonato (calcita), hasta vetas anchas rellenadas con carbonatos, cuarzo y sulfuros (15).

Se presentan varias vetas casi paralelas siendo las principales:

- a) Veta Esperanza-Mariana- Mercedes
- b) Veta La Oroya Principal (dos ramales)
- c) Ramal Norte, veta La Oroya 1 o La Oroya Este (misma veta)
- d) Ramal Sur, veta La Oroya–Americana–Prolongación Eloida
- e) Veta Don Reynaldo
- f) Veta Juanita con ramal Victoria
- g) Veta Escondida, que corresponde a un *split* de la veta Mariana.

Existen otras vetas no reconocidas cuyo carácter económico es bajo, en las zonas de cuerpos se presentan los cuerpos Mery, Anita, Micaela, Emilia, Sorpresa, Vera, Mariana Techo, Negrita y Chiara.

### **2.2.1.8. Reservas**

En la minera Alpayana principalmente se puede determinar cuatro cuerpos estructurales que están posicionados entre los 2 000 m s. n. m. y 4 500 m s. n. m., puesto que estas afloran irregularmente con discontinuidades, dando una extensión aproximada de 13 km, tomando en cuenta un ancho de veta promedio de 1.1 m, una altura referencial de 2000 m, un peso específico de 2.9 y un castigo del 70 % por motivos de seguridad, el margen de seguridad contempla diversas irregularidades como partes estériles, *ore shoot*, etc. (15).

Al 31 de diciembre del 2021 se logró muestrear más áreas y al continuarse la profundización, se obtuvo un incremento de las reservas llegando a 5.1 millones de TM para el 2022 (15).

**Tabla 1. Reservas de la mina Alpayana 2021**

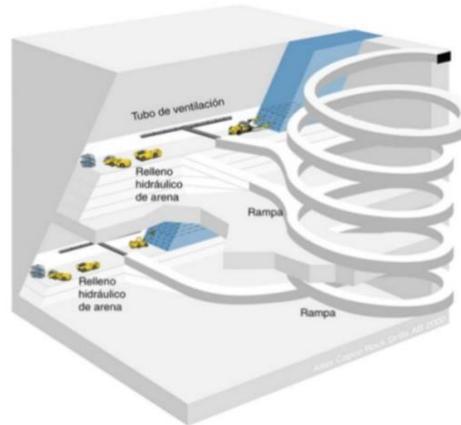
| Tipo           | T.M.S.           | Ag Oz/TC    | Pb %        | Cu %        | Zn %        |
|----------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Vetas</b>   |                  |             |             |             |             |
| Probado        | 1052390          | 5.97        | 1.52        | 0.24        | 2.05        |
| Probable       | 668880           | 5.69        | 1.51        | 0.23        | 2.13        |
| <b>Cuerpos</b> |                  |             |             |             |             |
| Probado        | 1945131          | 1.33        | 0.29        | 0.33        | 3.51        |
| Probable       | 598634           | 1.46        | 0.39        | 0.31        | 3.28        |
| <b>TOTAL</b>   | <b>5'165,035</b> | <b>3.61</b> | <b>0.93</b> | <b>0.28</b> | <b>2.74</b> |

*Nota:* tomada del Informe Anual Gerencial de Alpayana (15)

### 2.2.2. Método de explotación de corte y relleno ascendente convencional

Arranca de franjas horizontales que han sido dispuestas a través de un sistema de rampas paralelas al cuerpo mineralógico a explotar, se empieza por la parte inferior del tajo y el avance es vertical; se puede optar por más de un frente de intervención durante el tiempo de explotación o ciclo de minado. En cuanto al proceso operativo de extracción entre franjas horizontales, Guevara refiere «cuando se ha extraído la franja completa, se rellena el volumen correspondiente con material estéril (relleno) que sirve como piso de trabajo para obreros y permite sostener las paredes del caserón» (12) (p. 20).

Tal material de relleno de roca estéril puede estar conformado por relaves, que han sido desechados de plantas de concentración de mineral, no obstante, se opta por el uso general de una mezcla de arena y agua en una relación de 40 % a 60 % respectivamente. Este material es transportado y distribuido al interior de la franja horizontal mediante un sistema de tuberías, luego se drena la cantidad de agua suministrada para dejar un relleno conformado que permita las condiciones necesarias para el sostenimiento de las paredes o techo de la franja, en algunas ocasiones se puede adicionar cemento para constituir una superficie más dura que permita un mejor tránsito (16).



**Figura 4. Método de explotación de corte y relleno ascendente (16)**

Existe una condición generalizada para optar por el método de explotación de corte y relleno ascendente cuando se presentan características como fuerte buzamiento (superior a los 50° de inclinación), o características geomecánicas de la roca de caja que no cumplan con las condiciones adecuadas para su extracción (potencia de veta de 2.5 m en promedio).

La etapa de preparación del bloque para el método de corte y relleno ascendente convencional inicia con la construcción de chimeneas sobre las vetas, deben estar distanciadas en promedio 40 metros, Pérez realiza una descripción detallada acerca de las consideraciones mínimas en el diseño de chimeneas (17):

Las chimeneas deben tener una sección de 4' x 8', su inclinación es respecto a la veta, el sostenimiento es generalmente con cuadros de madera, la preparación de subniveles, se inicia a partir de la chimenea central de doble compartimiento (chut y camino), el subnivel se sella centrado en el mineral con sección de 1.2 x 1.8 m en ambas alas (sur y norte) dejando un puente de mineral de 3 m del techo o corona de la galería y al finalizar el laboreo del subnivel se construye una loza de cemento anclado con fierros corrugados a las cajas del subnivel para luego empezar la explotación del tajeo. También vale recalcar que algunas veces no se deja el pilar (considerando la calidad de terreno) y se explota desde la galería colocando cámaras de 7" de diámetro sobre los cuadros de galería para empezar la explotación (17 pág. 18).

Otras consideraciones expuestas para la aplicación del método de explotación por corte y relleno ascendente son expuestas en la tabla 2.

**Tabla 2. Características del desarrollo y preparación en el método corte y relleno ascendente convencional**

| <b>DESARROLLO Y PREPARACIONES</b>     | <b>Unidad</b>      | <b>C &amp; R<br/>CONVENCIONAL</b> |
|---------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| <b>VARIABLES DE YACIMIENTO</b>        |                    |                                   |
| Potencia de Veta Promedio             | m                  | 2.5                               |
| Buzamiento de Veta                    | °                  | 50                                |
| Longitud de Tajo                      | m                  | 50                                |
| Altura de Tajo                        | m                  | 40                                |
| p.e. Mineral                          | ton/m <sup>3</sup> | 3                                 |
| p.e. Desmorte                         | ton/m <sup>3</sup> | 2.5                               |
| Reservas                              | ton                | 18750                             |
| Ley geológica                         | gr/ton             | 15                                |
| Ley diluida                           | gr/ton             | 14.3                              |
| <b>VARIABLES DE PRODUCCIÓN</b>        |                    |                                   |
| Ancho de Minado                       | m                  | 1.2                               |
| Altura de corte                       | m                  | 1.8                               |
| Longitud de perforación               | m/tal              | 1.2 - 1.6                         |
| Producción por disparo                | ton/disparo        | 12.5                              |
| Producción x día                      | ton/día            | 37.2                              |
| Producción x mes                      | ton/mes            | 1041                              |
| Periodo de explotación - Vida de tajo | meses              | 8                                 |
| <b>PERFORACION VOLADURA</b>           |                    |                                   |
| Diámetro taladro                      | mm                 | 38                                |
| Taladros por disparo                  | unid               | 9 - 12                            |
| Longitud de perforación               | m/disparo          | 1.2 - 1.5                         |
| <b>LIMPIEZA</b>                       |                    |                                   |
| Equipo de limpieza                    | 20 HP              | Winche                            |
| Producción horaria equipo limpieza    | ton/hr             | 5                                 |
| Tiempo limpieza                       | hr/disparo         | 2.5                               |
| <b>SOSTENIMIENTO</b>                  |                    |                                   |
| Instalación de cuadro                 | hr/unid            | 1.5                               |
| <b>PRODUCCION MENSUAL</b>             |                    |                                   |
| Frentes de operación                  |                    | 1                                 |
| disparos por día                      | disparos/día       | 2                                 |
| Periodo por corte                     | días/corte         | 25                                |
| Cortes por mes                        | corte/mes          | 0.9                               |
| <b>TMS x Método Explotación mes</b>   | <b>ton/mes</b>     | <b>1041</b>                       |

Nota: tomada de Pérez (17)

Para la extracción del mineral se puede optar por la perforación horizontal o vertical (*breasting* y bancos invertidos respectivamente), la elección para el tipo de extracción dependerá de las dimensiones del cuerpo mineralizado, de la disposición de los espacios y sobre todo de la capacidad productiva que se pueda alcanzar, en todo caso, esta etapa suma una evaluación para mejorar el ciclo de minado. Por otro lado, en cuanto al manejo del material se puede hacer uso de winches que transportan el material extraído a través de las chimeneas de traspaso, por lo que se debe considerar la inclusión de sistemas de rieles u otros medios de transporte para acercar la roca extraída hacia los puntos de extracción (16).

En cuanto a la evaluación por rendimiento del método de corte y relleno ascendente convencional se establecen algunas desventajas, sobre todo, en la posible incidencia de un ritmo de producción lento debido a los tiempos muertos entre las operaciones de relleno del material estéril, la discontinuidad en los trabajos de

conformación del relleno se ven plasmados en la variación de los equipos y herramientas usados para estas operaciones, además, la mano de obra requerida para actividades no productivas es alto, lo que desemboca en un alto costo (14).

### **2.2.3. Método de corte y relleno ascendente semimecanizado**

En contraste al método de corte y relleno ascendente convencional, la mecanización de procesos o la progresiva implementación tecnológica de equipos mecanizados para el desarrollo de operaciones viene a ser una alternativa de innovación que permite una mayor versatilidad en el ciclo de minado.

Mayormente, las aplicaciones tecnológicas realizadas al método de corte y relleno ascendente se realizan en la inclusión de máquinas *Jack Leg* para trabajos de perforación y uso de *scooptram* como equipo de limpieza. Por lo que, la mecanización de estos procesos requiere una mejor condición de la rampa operativa que permita asegurar un tránsito óptimo hacia la estructura o galería a lo largo del rumbo de la veta y por la longitud del tajo. Para los trabajos de relleno con material estéril se hace uso de la misma maquinaria que realiza estas actividades mediante desmontes (11).

Una de las ventajas de mecanizar operaciones como la perforación y limpieza es que la dilución de mineral está altamente controlada y las pérdidas de esta forma se minimizan. Aunque este método requiere de mayores tiempos de preparación en cuanto a las rampas y accesos, una vez terminado tales trabajos, la efectividad de la mecanización permite compensar los tiempos muertos generados en el método convencional (12).

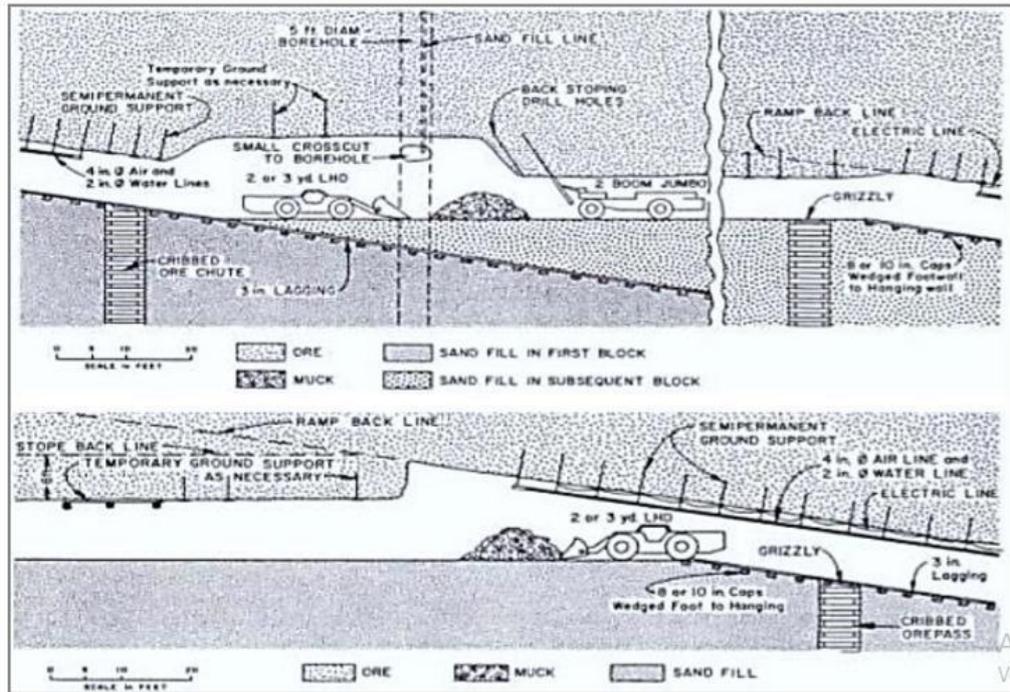


Figura 5. Método de corte y relleno ascendente mecanizado (13)

En la unidad americana de Alpayana S. A., el área de planeamiento y costos determinó las características que se emplearían en este método y que como optimización consistirá en romper en franjas horizontales el mineral económico, empezando por la parte inferior del tajo y avanzando verticalmente en cada corte; cuando se ha extraído la franja completamente, se rellenará el espacio libre con relleno detrítico o hidráulico; esto dependerá del RQD que presente la roca, de acuerdo a los estudios geomecánicas previos realizados en la zona mineralizada.

El acceso al tajo será a través de un brazo pivotante que se irá rebatiendo para cada corte desde la rampa auxiliar, la perforación se realiza en forma horizontal (*breasting*) con *Jackleg* con barreno de 8 pies y la limpieza del mineral roto se realiza con *scooptram Diesel* de 2.2 yd<sup>3</sup> evacuando el mineral a través del brazo basculante hasta el echadero de mineral, luego será extraído desde el nivel inferior mediante sistema de rieles compuesta por locomotoras de 30 t y carros mineros tipo *gramby*.

#### 2.2.4. Ciclo de minado

Se inicia con la construcción de los accesos y la rampa que permita el libre transporte entre la veta y la planta, la programación y ejecución de las labores más relevantes tienen que ver con el suministro adecuado de agua, aire y los equipos de limpieza, para Castillo estos siguen el siguiente orden (13):

- a. Desarrollo
- b. Preparación
- c. Perforación
- d. Voladura
- e. Limpieza
- f. Relleno

La ventilación, se debe diseñar el sistema de ventiladores y mangas de ventilación en función al marco normativo del reglamento interno de seguridad de la compañía minera, en todo caso, existe una medida referencial de 24" a 30" de diámetro para el sistema de mangas de ventilación (11).

Para el regado se indica el uso de la cantidad de agua suficiente y en las condiciones ideales para evitar la presencia de polvos finos durante las operaciones de extracción, así como, la eliminación de gases que se encuentren alojados en los intersticios del material volado (11).

El desatado es un trabajo orientado a la seguridad del trabajador dentro de la mina subterránea, se realiza con el fin de reducir al mínimo la caída de rocas, según Castillo, se recomienda hacer uso de dos juegos de barretillas de 4", 6", 8" y 10" de longitud antes, durante y después de la actividad que se ha programado (13).

En el método semimecanizado, luego del disparo mediante el *scoop* se realiza la limpieza de tal forma que el material acumulado sea usado para el relleno del tajo, siempre y cuando este cumpla con las condiciones de material estéril, de no ser el caso será transportado fuera de la zona de operaciones hacia la superficie.

El sostenimiento es vital al momento de realizar las operaciones dentro del tajo, ya que mediante el uso de Jumbo electrohidráulico es posible reforzar el interior del tajo de acuerdo a las condiciones geomecánicas de la roca.

En la etapa de perforación se puede optar por la aplicación de mallas de perforación, que serán calculadas y diseñadas por el ingeniero especialista, considerando el número de taladros a usar en función del cálculo del *burden* y el espaciamiento entre puntos de perforación. El equipo mecanizado de perforación por excelencia es el Jumbo electrohidráulico, que permite menor tiempo de perforación, ya



Las vetas se delimitan por medio de chimeneas simples o de doble compartimiento que a su vez servirán para el acceso del personal, traslado de materiales, herramientas, maquinarias y también para mejorar los flujos de ventilación.

Estas chimeneas se ejecutarán de manera convencional desde el nivel inferior (nivel de transporte) hasta el nivel superior; serán de doble compartimiento considerando dos guardias consecutivas de disparos de 1.20 metros y una tercera guardia fue el forrado y acondicionamiento de la chimenea en su totalidad; se elaborará con máquina neumática tipo *Jack leg* con barrenos de 6 pies y la limpieza se hará en la base de la labor con *scooptram Diesel* de 2.2. yd<sup>3</sup>.

En esta actividad se considerará un factor muy importante, el sistema de ventilación que deberá ser de manera permanente mientras se perfore las labores y luego de cada disparo; además se implementará el uso de autorrescatadores a todos los colaboradores que realicen trabajos en la labor.

#### **2.2.5.1. Preparación**

La preparación consiste en la ejecución de la chimenea principal de explotación de triple compartimiento con sección de 3.60 m x 1.20 m, una chimenea auxiliar de doble compartimiento con sección de 2.40 m x 1.20 m, el subnivel intermedio con sección de 1.20 m x 1.80 m, *by pass* y ventanas con sección de 3.00 m x 3.00 m que sirven para la extracción del mineral roto.

El tajo se iniciará con la ejecución de una rampa auxiliar positiva que tendrá una gradiente positiva de 15 % con una sección de 3 m x 3 m a partir del crucero principal. Luego se construirá la rampa basculante desde el inicio de la rampa hasta la zona mineralizada con una gradiente negativa de 15 % y que se realizan hasta alcanzar una pendiente positiva de 5 %, ambas basculantes servirán para iniciar la explotación del tajo.

Se construirán dos chimeneas de sección 1.50 m x 1.50 m (echadero de mineral y desmonte) desde el nivel inferior que se conectará al inicio de la rampa basculante para darle mayor velocidad a la limpieza y la extracción del mineral o desmonte.

### 2.2.5.2. Perforación

Según pruebas de perforación y voladura realizadas en terrenos similares en labores superiores, se determinó usar máquinas neumáticas tipo Jackleg aplicando una perforación en *breasting* para los tajos; ya que la veta tiene una calidad de roca no favorable para el empleo de equipo mecanizado

Se utiliza máquina Jackleg y barreno de 6 pies de longitud aplicando un *burden* de 0.70 m y un espaciamiento de 0.70 m (según recomendación geomecánica).

El diámetro será de 38 mm y se considerará un mínimo de avance lineal de 1.70 m por disparo; el ancho de corte será de 1.50 m y la altura de corte será de 2.4 m.

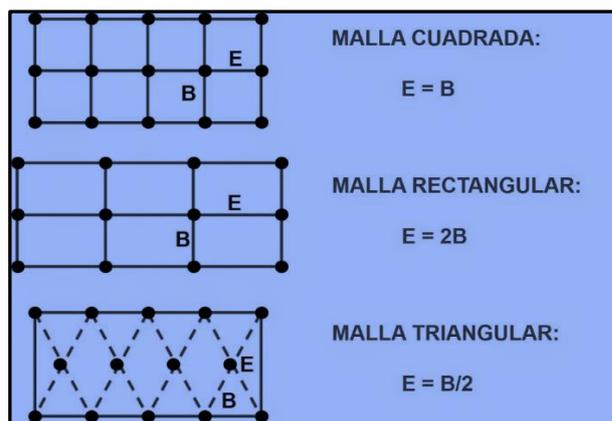


Figura 7. Diseño de mallas en labores verticales

### 2.2.5.3. Voladura

De acuerdo con pruebas realizadas en voladura en zonas similares (niveles superiores que presentan la misma roca) se ha determinado el empleo de un alto explosivo como es el Emulnor de 1000, 3000 y 5000 de un diámetro de 1'' x 7'' con la finalidad de minimizar el daño al macizo rocoso y por ser muy resistente al agua; como sistemas de iniciación se utiliza el carmex, fanel y pentacord 5P.

El emulnor será utilizado según indique las mallas de voladura; en las que se prioriza como tema de seguridad, el cuidado de las cajas para evitar sobrerrotura y desestabilización de la zona de trabajo.

El carguío con material explosivo se realizará de acuerdo con los análisis previos de geomecánica y el área de voladura quienes determinarán la forma más efectiva de carguío de taladros.

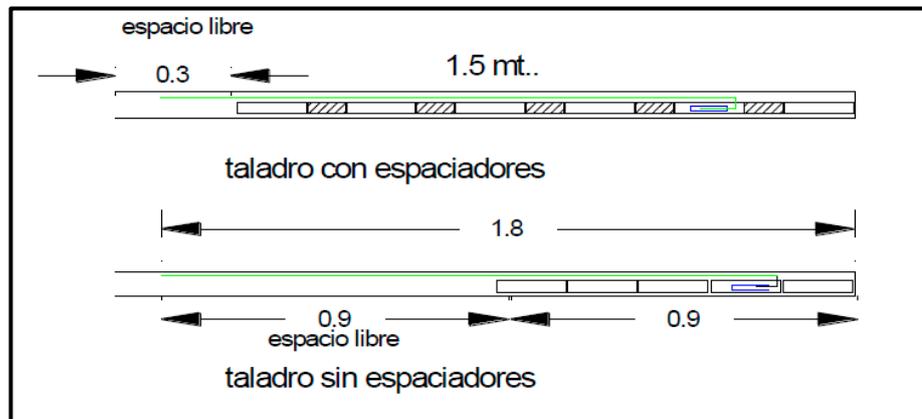


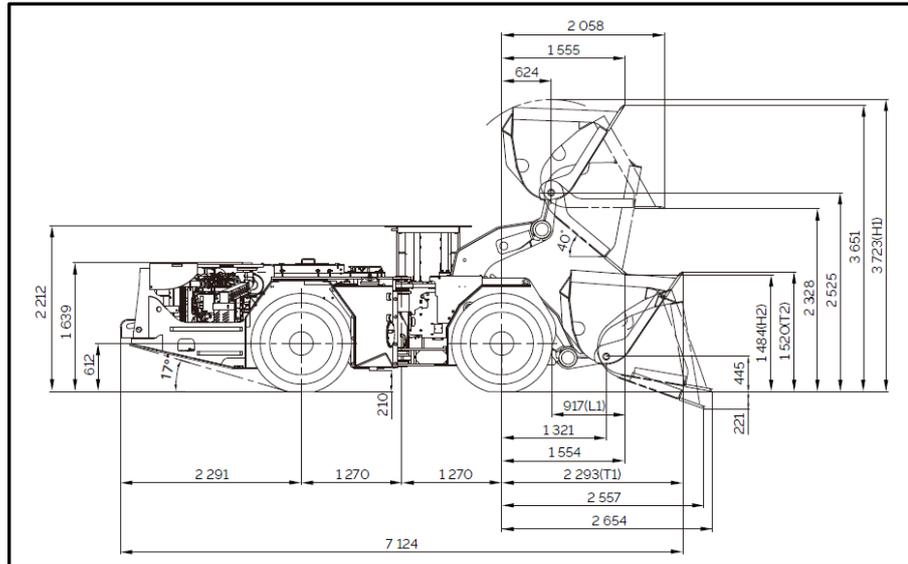
Figura 8. Carguío de taladros

#### 2.2.5.4. Limpieza

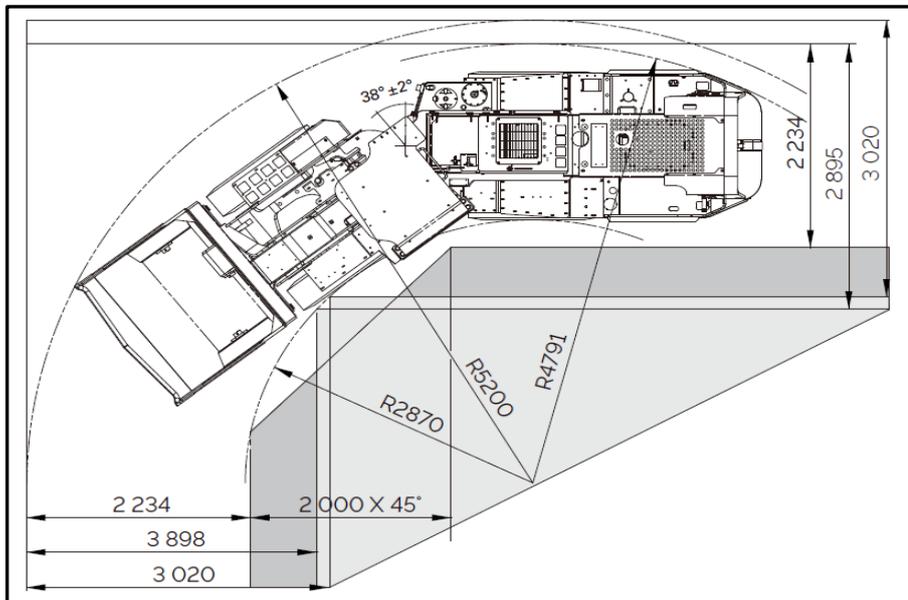
Para esta actividad se utilizará un *scooptram Diesel* de 2,2 yd<sup>3</sup>; este equipo cautivo trasladará el mineral roto desde el tope del tajo hasta el echadero de mineral o desmonte en las tolvas respectivas; posteriormente, en el nivel inferior el material es transportado por locomotoras a *trolley* con carros tipo *gramby* o de la quinta rueda hasta los echaderos de mineral y luego será izada a superficie para ser transportada a planta concentradora.

Tabla 3. Caracterización del *Scooptram* de 2.2 yd<sup>3</sup>

|                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| Marca                  | Epiroc                  |
| Modelo                 | ST2G                    |
| Dimensión (L-W-H)      | 7.075 x 1.820 x 2.050 m |
| Capacidad              | 0,5 toneladas métricas  |
| Peso (operativo)       | 13.900 kg               |
| Fuerza de la pala      | 81 KN                   |
| Tracción               | 102 KN                  |
| Potencia del motor     | 120 kW                  |
| Radio de giro interior | 2800 mm                 |
| Girando radio afuera   | 5010 mm                 |
| Sistema                | Diesel                  |



**Figura 9. Diseño de operación del scooptram de 2.2 yd<sup>3</sup> (perfil)**



**Figura 10. Diseño de operación del scooptram de 2.2 yd. (planta)**

### 2.2.5.5. Relleno

Este proceso es muy importante, ya que ayudará como un soporte y es muy necesario ejecutarla en los tajos explotados o vacíos. El objetivo es evitar la afectación de otras áreas de trabajo, minimizando el hundimiento a medida que se vayan profundizando las labores; además que servirá como piso para ejecutar los cortes ascendentes sucesivos y poder continuar con la explotación.

El relleno es trasladado hasta el tajo ingresando por la chimenea que comunica al nivel superior, que es vertido por gravedad y es autorizado por el área de geomecánica para su aplicación en tajos.

### **2.2.6. Ventajas para aplicar el método de explotación por corte y relleno ascendente semimecanizado**

El método de explotación de corte y relleno ascendente semimecanizado, luego de la evaluación técnica económica en la unidad americana generará las siguientes ventajas operativas:

- Recuperación teórica del 90 – 95 %.
- Altamente selectivo, lo que significa que se puede trabajar sectores de alta ley y dejar zonas de baja ley como relleno.
- Alcanza un considerable grado de mecanización, se pueden aplicar taladros largos.
- Mayor producción de tonelaje en los tajos controlando la dilución.
- Mayor rentabilidad en comparación con el método convencional.
- Menor tiempo en el minado del block.

#### **Consideraciones geomecánicas del macizo rocoso**

Entendiéndose «macizo rocoso» como al tipo de roca atravesado por los planos de discontinuidad en la que se realizan los trabajos de explotación minera, se pueden establecer algunos parámetros de evaluación para su estudio (18).

- a. Resistencia y composición de la roca
- b. Caracteres geomecánicos de las discontinuidades
- c. Conjunto de discontinuidades existentes
- d. Fracturación del macizo
- e. Condiciones del agua de las juntas
- f. Tensiones *in situ*, naturales o inducidas
- g. Grado de alteración por excavación en macizo rocoso

## **2.3. Definición de términos básicos**

### **2.3.1. Método de explotación por corte y relleno ascendente semimecanizado**

Es un método donde se usan equipos mecanizados para reemplazar los convencionales, por ejemplo, en lugar de usar máquina Jack leg se usan jumbos para la perforación o *scooptram* en vez de winche de izaje para la limpieza; la recuperación de mineral se hace con cortes longitudinales, ya sea en realce o *breasting* de acuerdo a las condiciones del macizo rocoso, que se van a rellenar con material, ya sea relleno hidráulico, en pasta o detritico para darle estabilidad al hueco explotado y servir como piso de perforación hasta completar el block diseñado (18).

### **2.3.2. Ventilación**

Son la disposición de un sistema de ventiladores y mangas de ventilación que cumplen la función de inyectar aire a los diferentes niveles del tajo, así como, a los niveles de transporte. El aire viciado al interior de la mina debe extraerse por chimeneas de ventilación o accesos hacia la superficie con el fin de asegurar el bienestar de los trabajadores (17).

### **2.3.3. Sostenimiento**

Son trabajos de estabilización de cuerpos rocosos en riesgo de derrumbe, se aplica a cuerpos tabulares de roca encajonante poco competente, existen diversas técnicas para el sostenimiento como el empernado sistemático de paredes con cintas metálicas, mallas de acero o cables tensionados. Por otro lado, la fortificación se entiende como los trabajos de estabilización del techo, para ello se puede optar por mallas electrosoldadas (13).

### **2.3.4. Perforación**

La perforación en la mecanización sigue un proceso de uso de brazos electrohidráulicos o taladros en el bloque mineral a volar. El fin de la perforación es disponer la posición ideal para una carga explosiva con los mejores resultados posibles. En todo caso, se deben tomar en cuenta características físicas y geomecánicas del cuerpo rocoso a volar (13).

### **2.3.5. Voladura**

Detonación o explosión de un cuerpo rocoso mediante una reacción química, tiene el fin de fragmentar la roca a extraer y las condiciones o características del explosivo deben evaluarse en función de las características y dimensiones del bloque a volar, en todo caso, existe el término de *burden* y espaciamiento para calcular el número de puntos de perforación para luego realizar la voladura (16).

### **2.3.6. Limpieza**

De acuerdo con Guevara, comprende la etapa más delicada del ciclo de minado, ya que luego de la perforación-voladura suelen aparecer desprendimientos de falsas cajas o la roca encajonante es bastante colapsada, en estos casos es necesario realizar una limpieza manual y traslado de material con carretilla hasta los puntos de extracción, bajo este escenario es inevitable la pérdida de mineral o dilución. En el método semimecanizado, el uso del *scoop*, en cambio, permite limpiar y rellenar el tajo con el

mismo material procedente de la voladura, siempre y cuando cumpla con las condiciones de material estéril (12).

### **2.3.7. Productividad en minería subterránea**

Refiere a los resultados esperados en aspectos como la cantidad de mineral extraído por unidad métrica, existen parámetros de productividad para la evaluación económica de los diferentes métodos de explotación minera, estarán en función principalmente de una comparativa entre el volumen de mineral extraído y el costo de inversión total (19).

### **2.3.8. Producción mensual**

La producción mensual de mineral extraído es una forma de control temporal de la productividad de un tajo, estos sirven como base de datos para el análisis de acuerdo con indicadores financieros que se adecuen de mejor manera a las interpretaciones planteadas (19).

### **2.3.9. Evaluación económica**

En un proyecto minero es necesario tener claro si la inversión fija será redituable, por lo que se estiman el uso de indicadores financieros para predecir la factibilidad de diversas propuestas de inversión, en el caso del método por corte y relleno ascendente, se hace una comparativa entre el tipo convencional y semimecanizado (20).

### **2.3.10. Criterios de elección**

Los criterios de elección de los métodos de extracción minera se realizan en función de los parámetros geomecánicos del tajo a intervenir, se puede considerar que dentro de las consideraciones estructurales se debe tomar en cuenta los cambios de rumbo, cambios de buzamiento, intersecciones de falla, diques, litología de la roca huésped y fallas transversales (18).

### **2.3.11. Breasting**

Es aquella perforación que se realiza de forma horizontal para la posible extracción del mineral del tajo, va a contar con una cara libre que se va a encontrar ubicada debajo del mineral, del mismo modo, va a contar con un espacio libre entre el relleno y el mineral. El uso de la perforación en *breasting* se debe a la menor calidad de roca que tiene con respecto al realce.

#### **2.3.12. Eficacia**

Es la evaluación en términos de logros de metas propuestas a través del análisis de la relación entre lo ejecutado y programado del gasto.

#### **2.3.13. Eficiencia**

Se evalúa la utilización de recursos existentes a través del análisis del rendimiento y productividad de estos y del costo de las acciones ejecutadas.

#### **2.3.14. Equipos**

Son estructuras mecánicas que facilitan el desarrollo y preparación de las diferentes labores.

#### **2.3.15. Labores subterráneas**

Son excavaciones en el macizo rocoso tanto en forma horizontal, así como vertical y pueden ser de preparación y desarrollo.

#### **2.3.16. Macizo rocoso**

Presenta carácter heterogéneo, comportamiento discontinuo y normalmente anisótropo, consecuencia de la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad, que condicionan su comportamiento geomecánico.

#### **2.3.17. Relleno detrítico**

Es un relleno convencional cuyo material procede de la desagregación de los cuerpos baja ley o estériles (frentes, labores pobres, etc.)

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Método y alcance de la investigación**

##### **3.1.1. Método de la investigación**

El método de investigación es el método científico, específicamente el no experimental, ya que se observan los fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlos.

##### **3.1.2. Tipo de investigación**

El tipo de investigación es aplicada porque está orientada a la aplicación de un método de explotación subterránea ya definido.

##### **3.1.3. Nivel de investigación**

El nivel de investigación es descriptivo, porque describe las características del macizo rocoso para aplicar el método de explotación propuesto y explicativo, porque demuestra la relación que existe entre la elección del método de explotación y la producción.

#### **3.2. Diseño de la investigación**

El diseño que se utiliza en la investigación es descriptivo de observación naturalista.

En un experimento, el investigador plantea deliberadamente una situación a la que se exponen varios casos o individuos. Esta situación consiste en recibir un tratamiento, condición o estímulo bajo ciertas circunstancias, y luego evaluar los efectos de la exposición o aplicación de dicho tratamiento o condición.

### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población**

La población está constituida por toda la zona de vetas – Oroya alta y baja de la compañía minera Alpayana.

#### **3.3.2. Muestra**

La muestra está conformada por la veta Ximena en los niveles 18 y 19 de la zona de vetas – Oroya baja.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.4.1. Técnicas en la utilización de datos**

Durante la investigación se han utilizado técnicas de forma continua adecuadas para la obtención de los datos, entre ellas:

- **Observación directa**

Se formó parte del grupo de trabajo operativo de explotación para obtener datos detallados de la investigación.

- **Revisión de documentos**

En la investigación se han revisado datos de tipo bibliográfico y fueron recolectados de un gran número de fuentes, con la finalidad de obtener una revisión exhaustiva de los documentos.

#### **3.4.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos**

- Flexómetro, distanciómetro, escalímetro, martillo de Smith
- Ordenador, software de Microsoft Office, para la elaboración y procesamiento de los datos obtenidos
- Acceso al servicio de internet, para la obtención de información
- Útiles de escritorio para la toma de datos

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

#### **4.1. Descripción del trabajo en campo**

En vista de la necesidad de incrementar la producción en los frentes de operaciones de las vetas Ximena se establece un punto de control para la producción de los dos métodos de explotación aplicados tanto en la zona 18 y 19, del mismo modo, se realiza una verificación del costo de minado y cómo se desarrolla tal evolución en la misma unidad minera.

Asimismo, se sabe que las empresas mineras no controlan los precios de los metales, por lo que, necesariamente se tiene que ser más eficientes en el tema de costos. Por eso, en el presente trabajo se plantea monitorear cada uno de los procesos que involucran los costos de minado.

Esto conlleva al uso de criterios técnicos de métodos de explotación y se define el mejor y más eficiente que permita el control de los costos, que permitan alcanzar un mejor uso de los parámetros y utilización de insumos que permitan alcanzar la eficiencia en las operaciones mineras.

#### **4.2. Análisis situacional**

Debido a la coyuntura de la pandemia, la capacidad de inversión de capital para evaluar un cambio de métodos de explotación convencional a uno semimecanizado se ha visto reducido. Los costos considerados para tal proceso son muy elevados y los resultados económicos de extracción juegan un papel decisivo al momento de realizar el proceso de selección del método que cumpla con un análisis general y sistemático de los parámetros específicos del yacimiento minero como cantidad de reservas, leyes de minerales, características geomecánicas del macizo rocoso, condiciones sociales y las diferentes limitaciones ambientales en la zona de influencia.

Los avances logrados en tecnología durante las últimas décadas han permitido establecer unos métodos generales de explotación con procesos numéricos de selección, válidos durante la etapa de estudio de viabilidad de un proyecto, que dio resultados económicos positivos.

Bajo estos términos, la Gerencia General y la Alta Gerencia aceptó el reto de realizar un comparativo entre los métodos de explotación de corte y relleno ascendente convencional y corte y relleno ascendente semimecanizado en la zona de profundización de la unidad minera, y que comprende principalmente los niveles 18 y 19 de la zona Ximena; zona de vetas con altas leyes.

La responsabilidad la asumió la empresa contratista minera Gestión Minera Integral, empresa especialista en la ejecución de labores de desarrollo, preparación, explotación, carguío y transporte de mineral en operaciones mineras subterráneas; quienes pusieron a disposición de todo lo requerido para la ejecución de estos trabajos.

Este hito en la unidad minera se dio en base a la visión que tiene la empresa titular de incrementar la producción mensual de mineral y ejecutarla en cumplimiento de altos estándares de trabajo que incluya el cumplimiento estricto de normativas en seguridad y salud ocupacional, medio ambiente y calidad en cumplimiento a las certificaciones internacionales con las que cuenta Alpayana S. A.

Cabe resaltar que las operaciones mineras se desarrollaron bajo la coyuntura mundial de pandemia y se tuvo todos los controles necesarios para que el personal desarrolle actividades en interior de mina cumpliendo los pilares de trabajo exigidos por el titular que contemplan el distanciamiento social, uso de mascarillas (respirador en el caso de mina) y la continua desinfección de manos, equipos y herramientas manuales utilizadas por todos los colaboradores.

Se consideró también como una exigencia de la empresa la vacunación de las dosis de acuerdo con las disposiciones gubernamentales, logrando que toda la población de la unidad pueda tener dichas vacunas previa coordinación con el Ministerio de Salud – región Lima provincias (Red Asistencial Chicla) en fechas determinadas por los responsables del área de Salud Ocupacional.

Durante la ejecución de los trabajos no se presentaron casos de contagiados o personas con sintomatología Covid, teniendo un cuidado riguroso con el personal que ingresaba a interior de mina por los medios necesarios (uso de unidades móviles o uso de piques de izaje).

#### **4.3. Evaluación del método de explotación comparado con el sistema convencional**

La unidad Americana, unidad de referencia, en su zona de profundización viene ejecutando el método de explotación de corte y relleno ascendente mecanizado, ya que la estructura es de tipo cuerpos y en la zona alta e intermedia se viene ejecutando el método de corte y relleno ascendente convencional por su estructura tipo vetas.

Del mismo modo, en la zona de Ximena se tiene una estructura de tipo vetas y se evaluó hacer una modificación del método de explotación utilizando las mejores ventajas de ambos métodos. Por ello, el área de seguridad, geología, planeamiento, operaciones de mina, mantenimiento mecánico y servicios generales realizan un análisis técnico económico para determinar el mejor sistema y lograr la mejor rentabilidad en la explotación de los niveles 18 y 19 de la mina.

Una vez ejecutado los planes piloto en la zona de vetas, se realiza la recolección de datos y posteriormente los análisis respectivos por el cuerpo técnico capacitado. Este análisis fue de carácter técnico-económico, que se fundamenta y expone a la Alta Gerencia, Gerencia General y Gerencia de Operaciones. La comparativa de los métodos de explotación evaluados entonces se presenta en un informe resumen, entendiendo las siguientes codificaciones:

- CRASM: corte y relleno ascendente semimecanizado
- CRAC: corte y rellenos ascendente convencional

Del análisis comparativo entre ambos métodos de explotación subterránea, se llegó a determinar los siguientes cuadros estadísticos de operaciones unitarias, producción mensual y la evaluación económica respectiva para finalmente incluir el tema de criterios operacionales que definieron el mejor método de explotación a implementar; en resumen, se tuvo:

#### 4.3.1. Análisis de operaciones unitarias

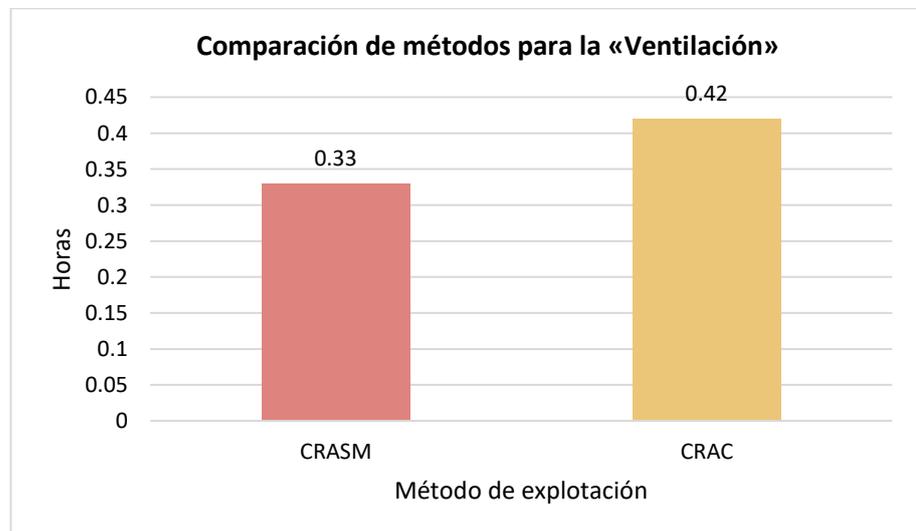
**Tabla 4. Operaciones unitarias**

| Operaciones unitarias      | Unidad      | CRASM | CRAC |
|----------------------------|-------------|-------|------|
| Ventilación                | h           | 0.33  | 0.42 |
| Sostenimiento              | h           | 0.92  | 0.92 |
| Perforación                | h           | 1.08  | 1.83 |
| Voladura                   | h           | 0.5   | 0.92 |
| Limpieza                   | h           | 0.75  | 2.08 |
| Total de ciclo             | h           | 3.58  | 6.17 |
| Guardias por día           | gdía/día    | 2     | 2    |
| Horas efectivas de trabajo | h/gdía      | 7     | 7    |
| Ciclo de guardia           | ciclos/gdía | 1.95  | 1.14 |

##### 4.3.1.1. Comparación del método de explotación comparado con el sistema convencional para la ventilación

**Tabla 5. Tiempo de ventilación**

| Ventilación |       |
|-------------|-------|
|             | Horas |
| CRASM       | 0.33  |
| CRAC        | 0.42  |



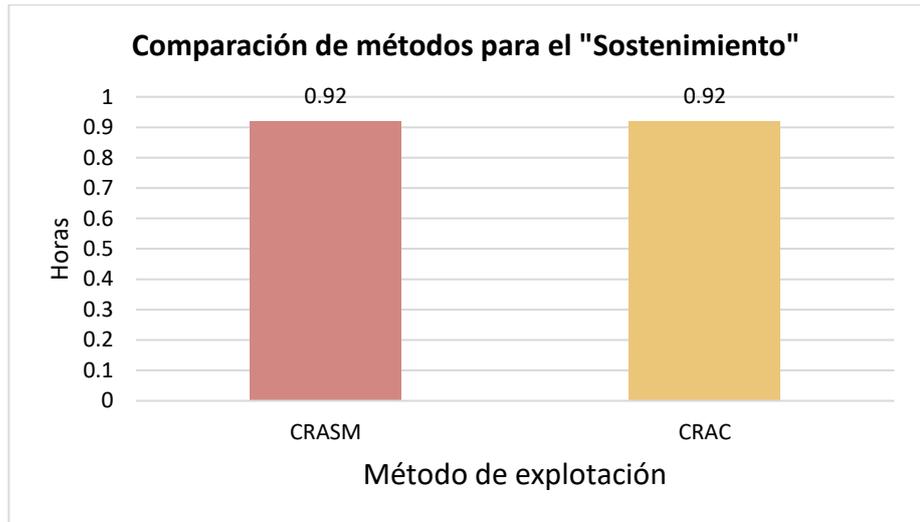
**Figura 11. Comparación de métodos para la ventilación**

En la figura 11 se observa que para el método corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) el tiempo de ventilación para la explotación subterránea es 0.33 horas y para el método de corte y rellenos ascendente convencional (CRAC) el tiempo fue 0.42 horas, donde se puede concluir que el CRASM es más eficiente en cuanto al tiempo que emplea para el proceso de ventilación.

#### 4.3.1.2. Comparación del método de explotación comparado con el sistema convencional para el sostenimiento

**Tabla 6. Tiempo de sostenimiento**

| Sostenimiento |       |
|---------------|-------|
|               | Horas |
| CRASM         | 0.92  |
| CRAC          | 0.92  |



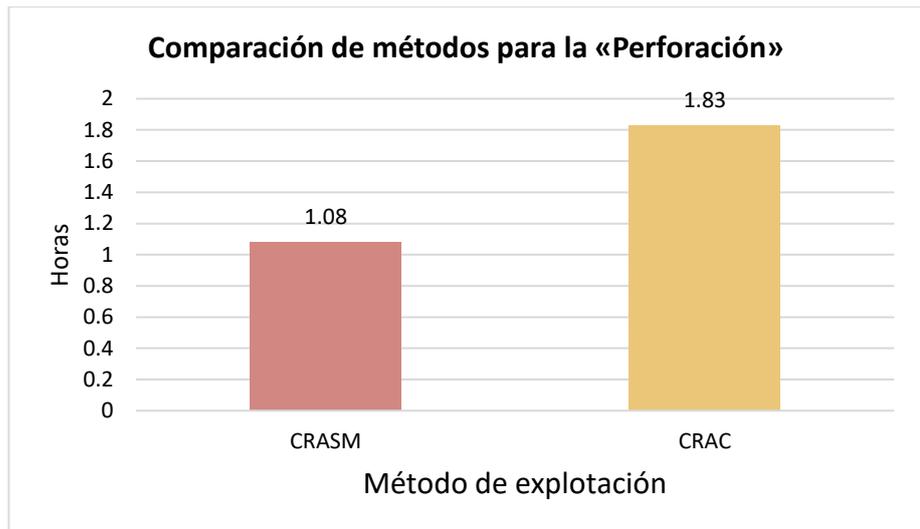
**Figura 12. Comparación de métodos para el sostenimiento**

En la figura 12 se observa que para el método corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) el tiempo de sostenimiento para realizar la explotación subterránea es 0.92 horas y para el método de corte y relleno ascendente convencional (CRAC) el tiempo fue de 0.92 horas. A partir de los datos obtenidos se puede concluir que el tiempo para realizar el sostenimiento para ambos métodos es el mismo.

#### 4.3.1.3. Comparación del método de explotación comparado con el sistema convencional para la perforación

**Tabla 7. Tiempo de perforación**

| Perforación |       |
|-------------|-------|
|             | Horas |
| CRASM       | 1.08  |
| CRAC        | 1.83  |



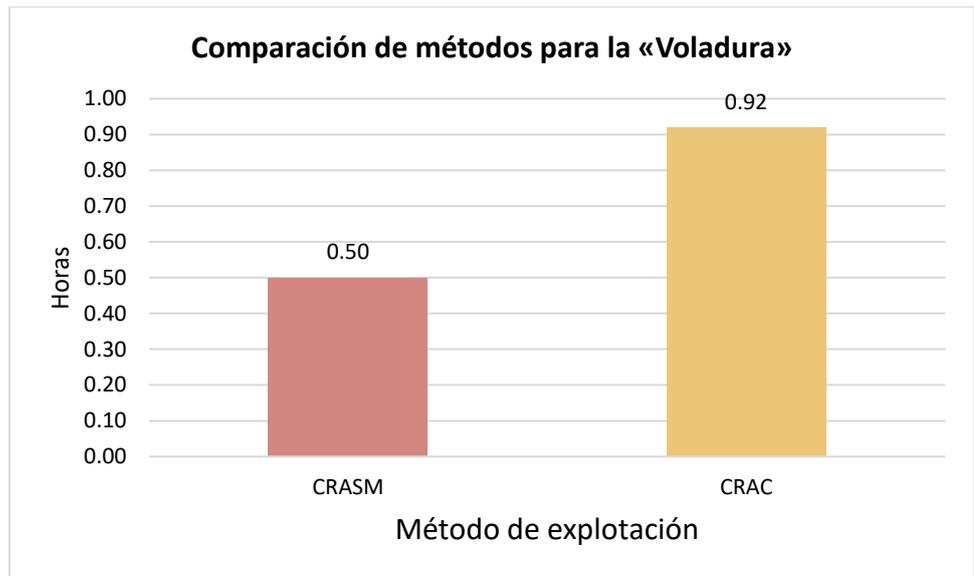
**Figura 13. Comparación de métodos para la perforación**

En la figura 13 se observa que para el método corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) el tiempo de perforación es 1.08 horas y para el método de corte y rellenos ascendente convencional (CRAC) el tiempo fue 1.83 horas. Realizando la comparación entre el tiempo en cada método se puede concluir que el CRASM es más eficiente en cuanto al tiempo que emplea para el proceso de perforación.

#### **4.3.1.4. Comparación del método de explotación comparado con el sistema convencional para la voladura**

**Tabla 8. Tiempo de voladura**

| Voladura |       |
|----------|-------|
|          | Horas |
| CRASM    | 0.50  |
| CRAC     | 0.92  |



*Figura 14. Comparación de métodos para la voladura*

En la figura 14 se observa que para el método corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) el tiempo de voladura para la explotación subterránea es 0.50 horas y para el método de corte y rellenos ascendente convencional (CRAC) el tiempo fue 0.92 horas. Por lo que, se puede concluir que el CRASM es más eficiente en cuanto al uso de tiempo para el proceso de voladura.

#### **4.3.1.5. Comparación del método de explotación comparado con el sistema convencional para la limpieza**

**Tabla 9. Tabla de limpieza**

| <b>Limpieza</b> |              |
|-----------------|--------------|
|                 | <b>Horas</b> |
| <b>CRASM</b>    | 0.75         |
| <b>CRAC</b>     | 2.08         |

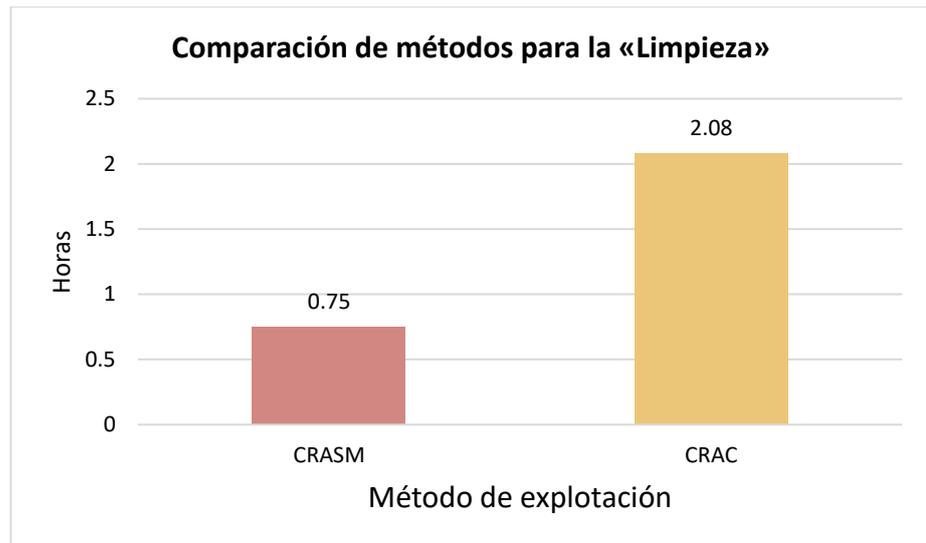


Figura 15. Comparación de métodos para la limpieza

En la figura 17 se observa que para el método corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) donde el tiempo de ventilación para la explotación subterránea es 0.75 horas y para el método de corte y rellenos ascendente convencional (CRAC) el tiempo fue 2.08 horas. Por lo que se puede concluir que el método CRASM es más eficiente en cuanto al tiempo que emplea para el proceso de explotación.

#### 4.3.2. Análisis de producción mensual

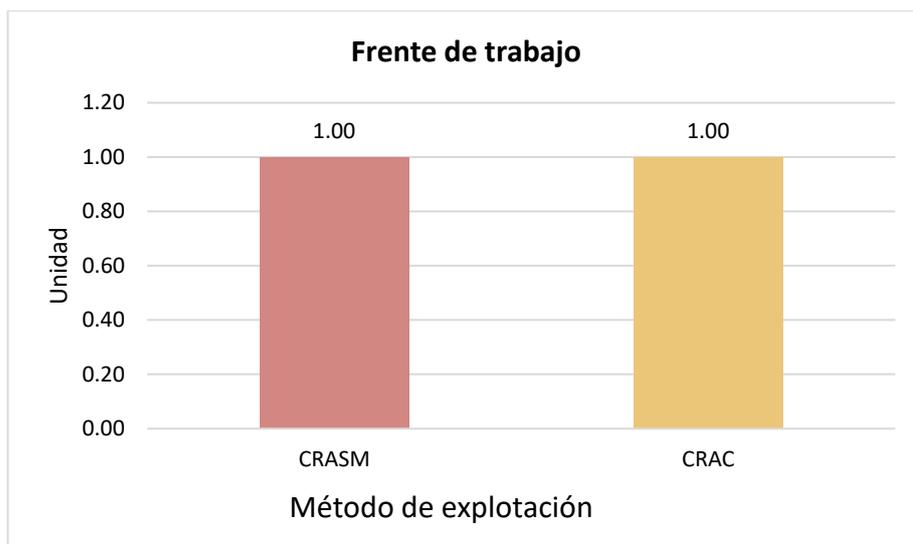
Tabla 10. Producción mensual

| Producción mensual    | Unidad     | CRASM   | CRAC    |
|-----------------------|------------|---------|---------|
| Frentes de trabajo    | unidad     | 1.00    | 1.00    |
| Disparos por día      | disp/día   | 2.00    | 1.00    |
| Tiempo por corte      | días/corte | 18.00   | 11.00   |
| Corte por mes         | corte/mes  | 1.67    | 2.73    |
| Toneladas por disparo | ton/disp   | 90.00   | 75.00   |
| Tonelaje              | TMH/mes    | 5400.00 | 2250.00 |

##### 4.3.2.1. Análisis de producción mensual con respecto a los frentes de trabajo

Tabla 11. Tabla de frentes de trabajo

| Frente de trabajo |        |
|-------------------|--------|
|                   | Unidad |
| CRASM             | 1.00   |
| CRAC              | 1.00   |



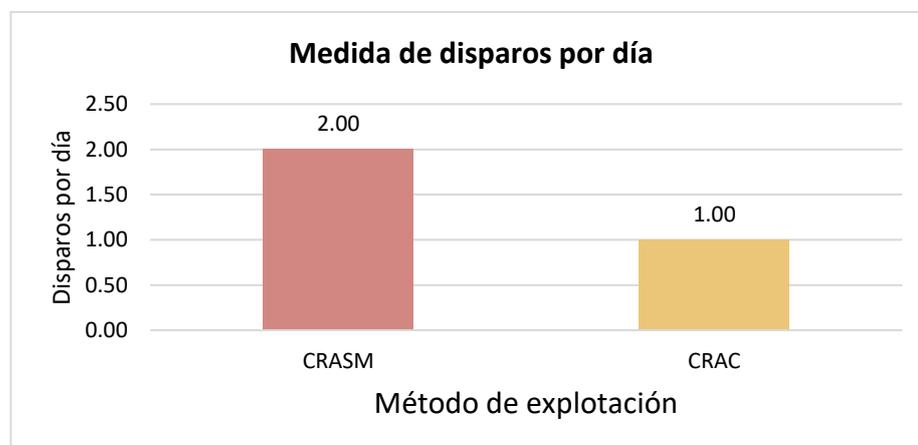
*Figura 16. Frente de trabajo*

En la figura 16 se observa que para el método corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) y para el método de corte y rellenos ascendente convencional (CRAC) los frentes de trabajo son solo 1.00. Por lo que, se puede concluir que para ambos métodos hay la misma cantidad de frentes de trabajo.

#### 4.3.2.2. Análisis de producción mensual con respecto a los disparos por día

**Tabla 12. Tabla de disparos por día**

| Disparos por día |          |
|------------------|----------|
|                  | Disp/día |
| <b>CRASM</b>     | 2.00     |
| <b>CRAC</b>      | 1.00     |



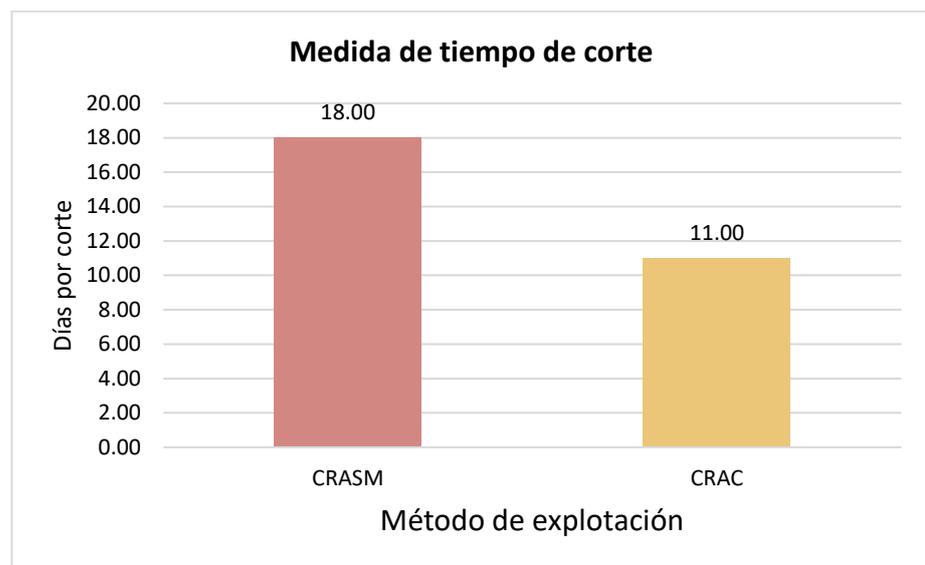
*Figura 17. Medida de disparos por día*

En la figura 17 se observa que para el método corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) el total de disparos por día es 2.00 y para el método de corte y rellenos ascendente convencional (CRAC) el número de disparos fue 1.00 por día. Por lo que, se puede concluir que el método CRASM es más eficiente en cuanto al número de disparos que se logra concretar para un día en el proceso de explotación.

#### 4.3.2.3. Análisis de producción mensual con respecto al tiempo de corte

**Tabla 13. Tiempo de corte**

| Tiempo de corte |            |
|-----------------|------------|
|                 | Días/corte |
| CRASM           | 18.00      |
| CRAC            | 11.00      |



**Figura 18. Medida de tiempo de corte**

En la figura 18 se observa que para el método corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) el tiempo de corte es de 18.00 días por corte y para el método de corte y rellenos ascendente convencional (CRAC) el tiempo de corte fue de 11.00 días. Por lo que se puede concluir que con el método CRASM se logra realizar el procedimiento de corte por 7 días más por las preparaciones previas a empezar un corte nuevo.

#### 4.3.2.4. Análisis de producción mensual con respecto al corte por mes

Tabla 14. Corte por mes

| Corte por mes |           |
|---------------|-----------|
|               | Corte/mes |
| CRASM         | 1.67      |
| CRAC          | 2.73      |

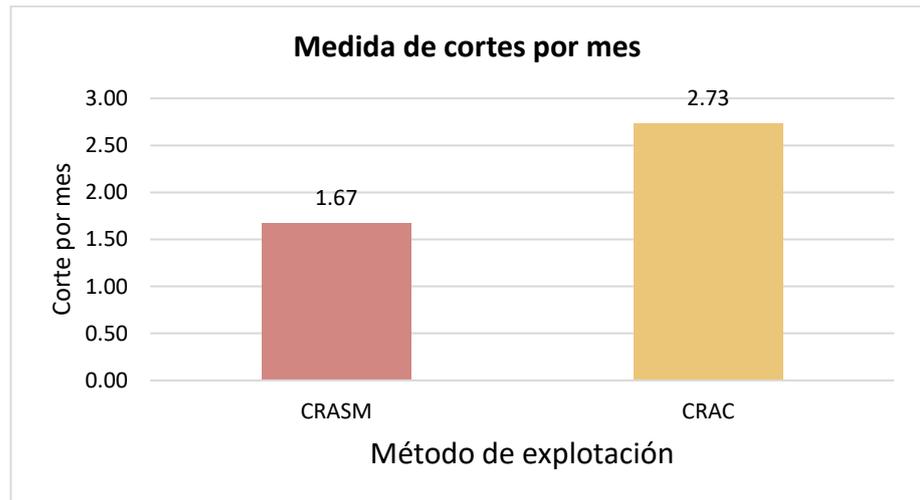


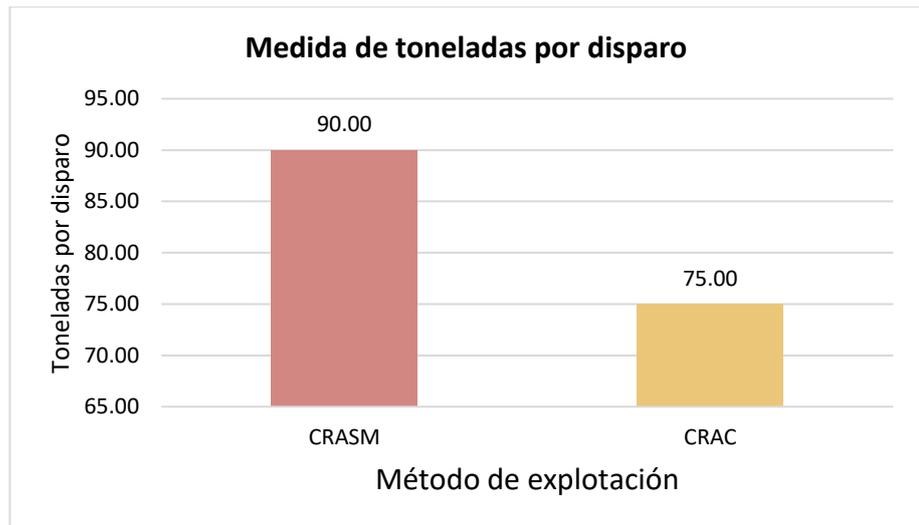
Figura 19. Medida de cortes por mes

En la figura 19 se observa que para el método corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) el número total de cortes por mes es 1.67 y para el método de corte y rellenos ascendente convencional (CRAC) el número de cortes por mes fue 2.73. Por lo que, se puede concluir que el método CRAC es más eficiente en cuanto al número de cortes por mes, ya que al emplearlo se logra realizar más cortes para concretar el proceso de explotación.

#### 4.3.2.5. Análisis de producción mensual con respecto al tonelaje por disparo

Tabla 15. Tonelaje por disparo

| Toneladas por disparo |         |
|-----------------------|---------|
|                       | t/ disp |
| CRASM                 | 90.00   |
| CRAC                  | 75.00   |



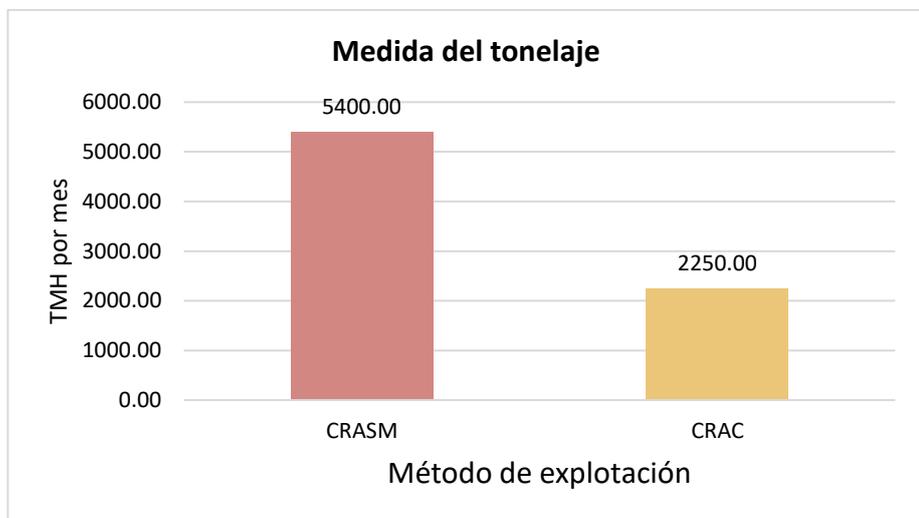
*Figura 20. Medida de toneladas por disparo*

En la figura 20 se observa que para el método de corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) se logra procesar 90.00 toneladas por disparo y para el método de corte y rellenos ascendente convencional (CRAC) se procesa 75.00 toneladas por disparo realizado. Por lo que, se puede concluir que aplicando el método CRASM se logra obtener mayor tonelaje por disparo.

#### 4.3.2.6. Análisis de producción mensual con respecto al tonelaje

**Tabla 16. Tonelaje por mes**

| Tonelaje     |         |
|--------------|---------|
|              | TMH/mes |
| <b>CRASM</b> | 5400.00 |
| <b>CRAC</b>  | 2250.00 |



*Figura 21. Medida del tonelaje por mes*

En la figura 21 se observa que con el método de corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) se logra procesar 5400 toneladas por mes y con el método de corte y relleno ascendente convencional (CRAC) se logra procesar 2250 toneladas por mes. Por lo que, se puede llegar a concluir que con el método CRASM es más eficiente por producir más tonelaje de material por mes.

#### 4.3.3. Análisis de evaluación económica

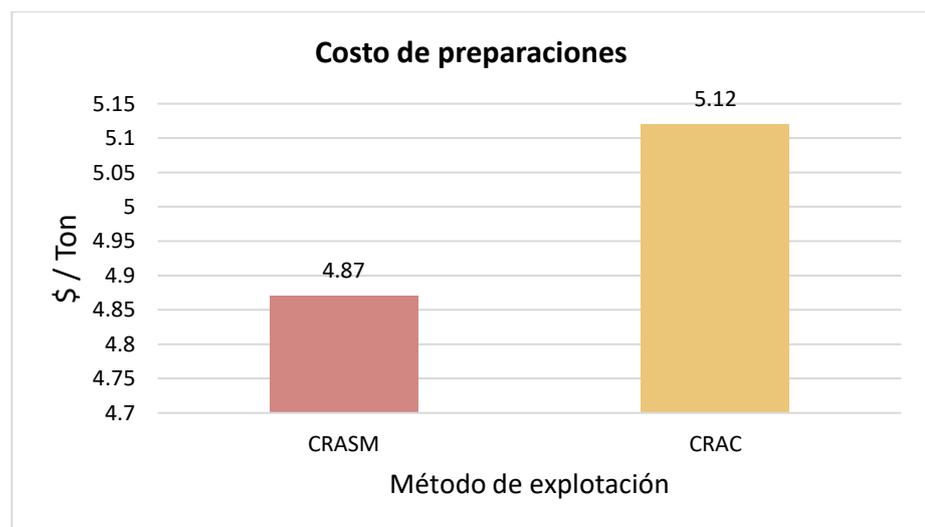
**Tabla 17. Evaluación económica**

| Evaluación económica         | Unidad | CRASM      | CRAC       |
|------------------------------|--------|------------|------------|
| Costo de preparaciones       | \$ / t | 4.87       | 5.12       |
| Costo de sostenimiento       | \$ / t | 3.09       | 3.64       |
| Costo de explotación         | \$ / t | 24.12      | 23.12      |
| Costo de limpieza            | \$ / t | 2.22       | 3.17       |
| Costo de servicios generales | \$ / t | 27.90      | 27.90      |
| Costos de gastos generales   | \$ / t | 17.97      | 18.07      |
| Total de costos              | \$ / t | 80.17      | 81.02      |
| Tonelaje por mes             | t      | 5400.00    | 2250.00    |
| Costo del tajo               | \$     | 432,918.00 | 182,295.00 |
| Explotación del tajo         | mes    | 10         | 24         |

##### 4.3.3.1. Costo de preparaciones

**Tabla 18. Costo de preparaciones**

| Costo de preparaciones |        |
|------------------------|--------|
|                        | \$ / t |
| CRASM                  | 4.87   |
| CRAC                   | 5.12   |



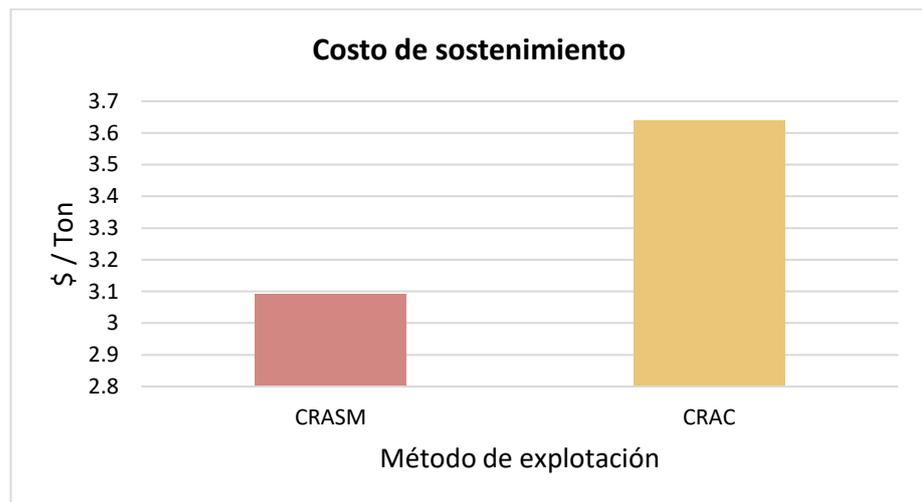
**Figura 22. Costo de preparaciones**

En la figura 22 se observa que con el método de corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) el costo de preparaciones es de 4.87 dólares por tonelada y con el método de corte y rellenos ascendente convencional (CRAC) el costo es de 5.12 dólares por tonelada. Por lo que, se concluye que con el método CRASM se logra reducir el costo de preparación en 0.25 dólares por tonelada.

#### 4.3.3.2. Costo de sostenimiento

**Tabla 19. Costo de sostenimiento**

| Costo de sostenimiento |        |
|------------------------|--------|
|                        | \$ / t |
| CRASM                  | 3.09   |
| CRAC                   | 3.64   |



**Figura 23. Costo de sostenimiento**

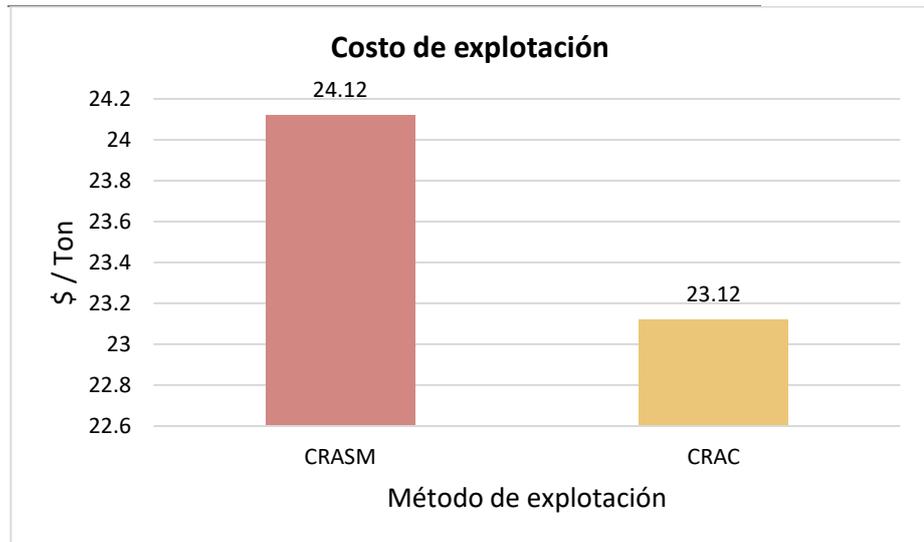
En la figura 23 se observa que con el método de corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) el costo de sostenimiento es de 3.09 dólares por tonelada y con el método de corte y relleno ascendente convencional (CRAC) el costo es de 3.64 dólares por tonelada. Por lo que, se puede llegar a concluir que con el método CRASM se logra reducir el costo de sostenimiento en 0.55 dólares por tonelada.

#### 4.3.3.3. Costo de explotación

**Tabla 20. Costos de explotación**

| Costo de explotación |        |
|----------------------|--------|
|                      | \$ / t |

|       |       |
|-------|-------|
| CRASM | 24.12 |
| CRAC  | 23.12 |



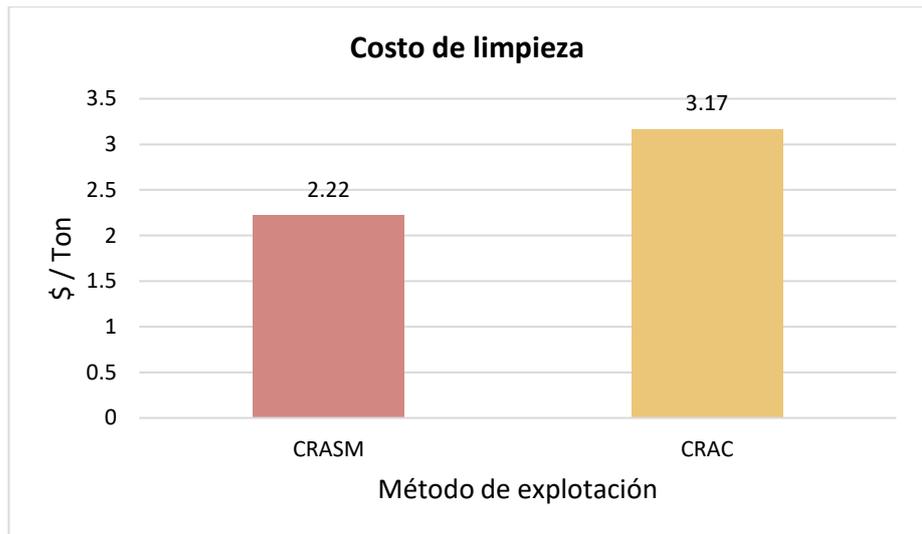
*Figura 24. Costo de explotación*

En la figura 24 se observa que con el método corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) el costo de explotación es de 24.12 dólares por tonelada y con el método de corte y rellenos ascendente convencional (CRAC) el costo es de 23.12 dólares por tonelada. Por lo que, se concluye que con el método CRASM el costo de explotación es 1 dólar más por tonelada.

#### **4.3.3.4. Costo de limpieza**

**Tabla 21. Costos de limpieza**

| Costo de limpieza |        |
|-------------------|--------|
|                   | \$ / t |
| CRASM             | 2.22   |
| CRAC              | 3.17   |



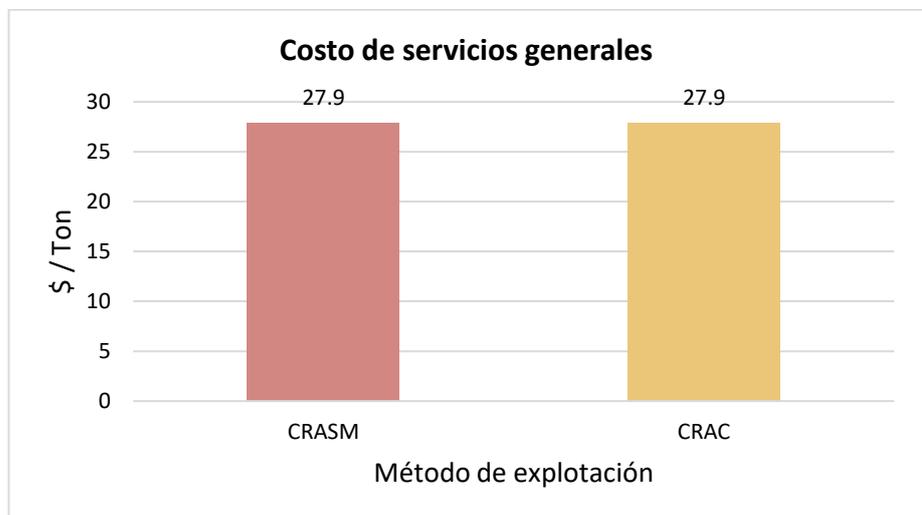
**Figura 25. Costo de limpieza**

En la figura 25 se observa que con el método de corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) el costo de limpieza es de 2.22 dólares por tonelada y con el método de corte y relleno ascendente convencional (CRAC) el costo es de 3.17 dólares por tonelada. Por lo que, se concluye que con el método CRASM se logra reducir el costo de explotación en 0.95 dólares por tonelada.

#### 4.3.3.5. Costo de servicios generales

**Tabla 22. Costo de servicios generales**

| Costo de servicios generales |        |
|------------------------------|--------|
|                              | \$ / t |
| CRASM                        | 27.9   |
| CRAC                         | 27.9   |



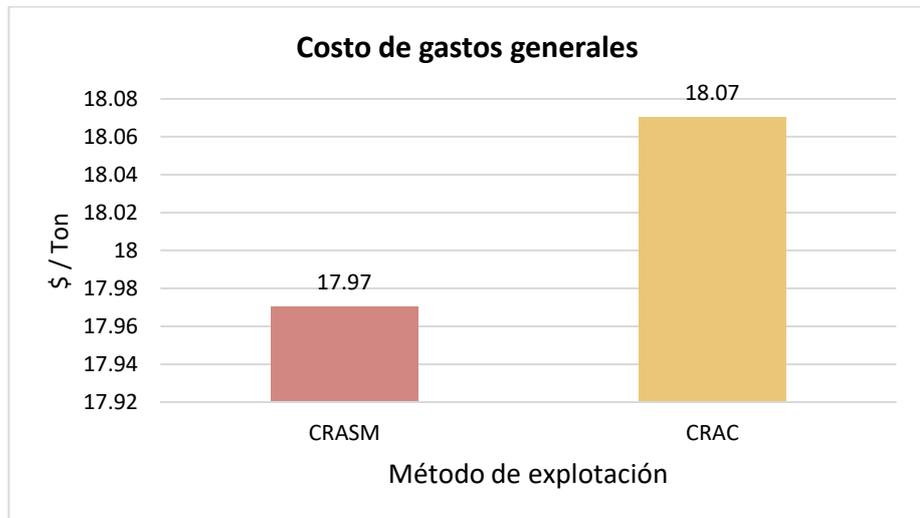
**Figura 26. Costo de servicios generales**

En la figura 26 se observa que con el método de corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) el costo de servicios generales es de 27.9 dólares por tonelada y con el método de corte y relleno ascendente convencional (CRAC) el costo es de 27.9 dólares por tonelada. Por lo que, se concluye que con ambos métodos el costo de servicios generales es el mismo.

#### 4.3.3.6. Costos de gastos generales

**Tabla 23. Costo de gastos generales**

| Costo de gastos generales |       |
|---------------------------|-------|
|                           | \$/t  |
| CRASM                     | 17.97 |
| CRAC                      | 18.07 |



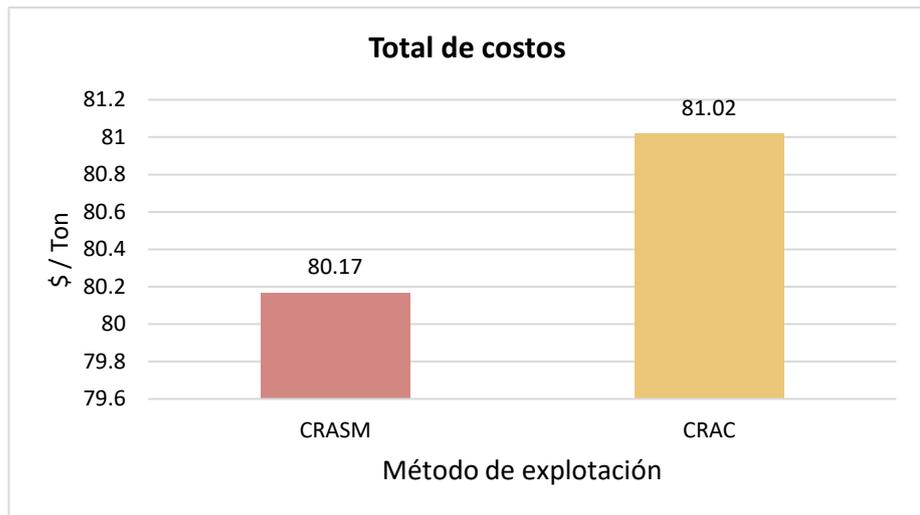
**Figura 27. Costo de gastos generales**

En la figura 27 se observa que con el método de corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) el costo de gastos generales es de 17.97 dólares por tonelada y con el método de corte y relleno ascendente convencional (CRAC) el costo es de 18.07 dólares por tonelada. Por lo que, se observa que con el método CRASM se logra abaratar el costo en 0.1 dólares por tonelada.

#### 4.3.3.7. Total de costos

**Tabla 24. Total de costos**

| Total de costos |        |
|-----------------|--------|
|                 | \$ / t |
| CRASM           | 80.17  |
| CRAC            | 81.02  |



**Figura 28. Total de costos**

En la figura 28 se observa que con el método de corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) el costo total es de 80.17 dólares por tonelada y con el método de corte y rellenos ascendente convencional (CRAC) el costo es de 81.02 dólares por tonelada. Por lo que, se concluye que con el método CRASM se logra reducir el costo en 1 dólar por tonelada.

#### 4.3.3.8. Tonelaje por mes

**Tabla 25. Tonelaje por mes**

| Tonelaje por mes |      |
|------------------|------|
|                  | t    |
| CRASM            | 5400 |
| CRAC             | 2250 |

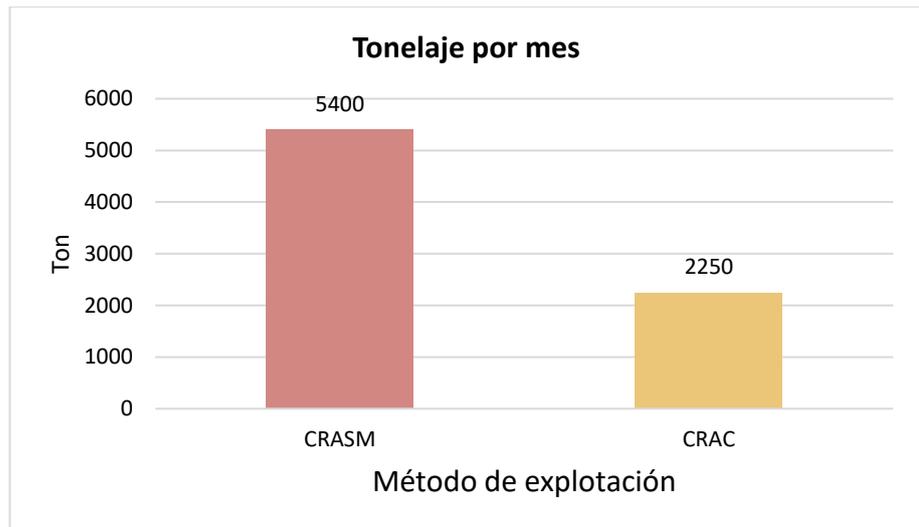


Figura 29. Tonelaje por mes

En la figura 29 se observa que con el método de corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) se logra procesar 5400 toneladas por mes y con el método de corte y relleno ascendente convencional (CRAC) se logra procesar 2250 toneladas por mes. Por lo que se puede llegar a concluir que con el método CRASM se logra procesar mayor tonelaje de material por mes.

#### 4.3.3.9. Costo del tajo

Tabla 26. Costo del tajo

| Costo del tajo |            |
|----------------|------------|
| \$             |            |
| CRASM          | 432,918.00 |
| CRAC           | 182,295.00 |

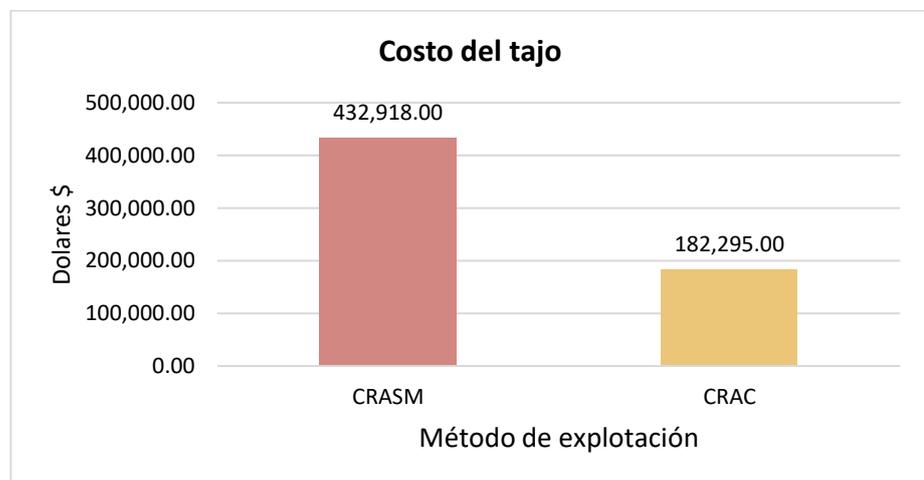


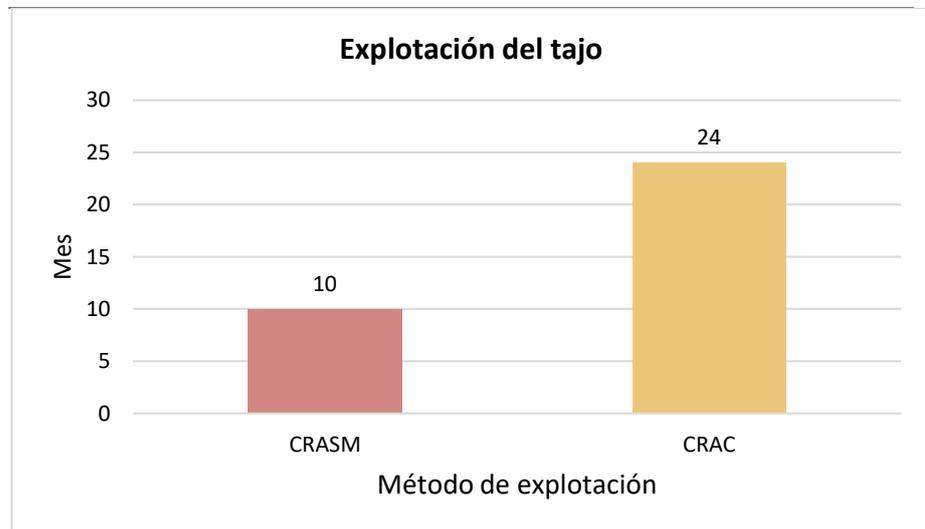
Figura 30. Costo del tajo

En la figura 30 se observa que con el método de corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) el costo del tajo es de 432,918.00 dólares y con el método de corte y relleno ascendente convencional (CRAC) el costo es de 182,295.00 dólares. Por lo que, se concluye que con el método CRASM incrementa el costo del tajo en 250,623.00 dólares

#### 4.3.3.10. Explotación del tajo

**Tabla 27. Explotación del tajo**

| Explotación del tajo |     |
|----------------------|-----|
|                      | mes |
| CRASM                | 10  |
| CRAC                 | 24  |



**Figura 31. Explotación del tajo**

En la figura 31 se observa que con el método de corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) la explotación del tajo se realiza en 10 meses y con el método de corte y relleno ascendente convencional (CRAC) la explotación del tajo se realiza en 24 meses. Por lo que, se concluye que con el método CRASM se logra procesar el tajo en su totalidad en 14 meses menos que con el método CRAC.

#### 4.3.4. Análisis de criterio de selección

**Tabla 28. Criterio de selección**

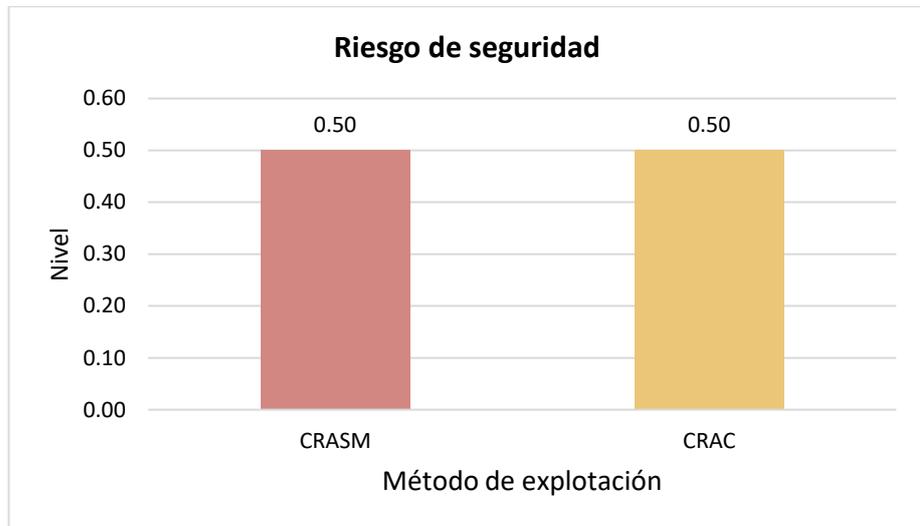
| Criterio             | Unidad  | CRASM   | CRAC    |
|----------------------|---------|---------|---------|
| Riesgo de seguridad  | Nivel   | Medio   | Medio   |
| Producción (Tj 565)  | TMH/mes | 1512.00 | 1048.80 |
| Costo de explotación | \$ / t  | 22.52   | 26.87   |
| Dilución             | %       | 5.6     | 4.7     |

|                              |     |    |    |
|------------------------------|-----|----|----|
| <b>Tiempo de explotación</b> | mes | 10 | 24 |
|------------------------------|-----|----|----|

#### 4.3.4.1. Riesgo de seguridad

**Tabla 29. Riesgo de seguridad**

| <b>Riesgo de seguridad</b> |      |       |
|----------------------------|------|-------|
| <b>Nivel</b>               |      |       |
| <b>CRASM</b>               | 0.50 | medio |
| <b>CRAC</b>                | 0.50 | bajo  |



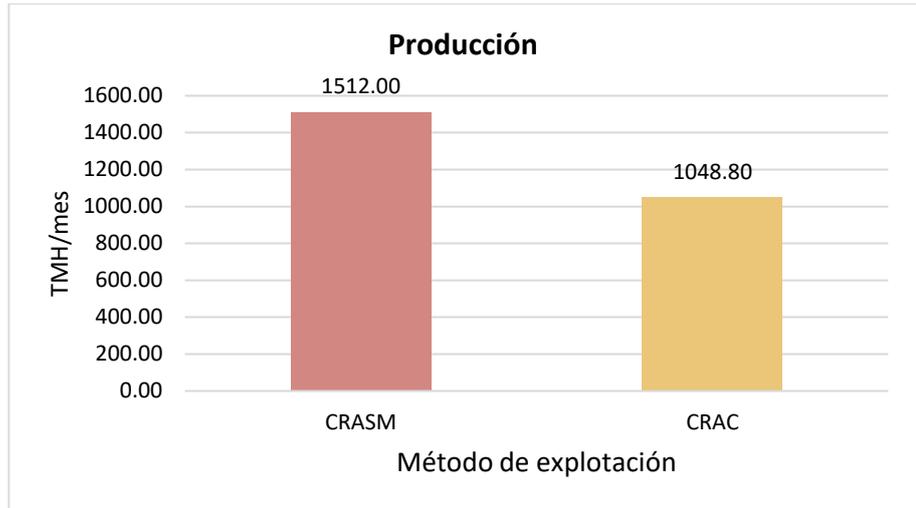
**Figura 32. Riesgo de seguridad**

En la figura 32 se observa que con el método de corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) y el método de corte y rellenos ascendente convencional (CRAC) el riesgo de seguridad se encuentra en el nivel intermedio.

#### 4.3.4.2. Producción

**Tabla 30. Producción**

| <b>Producción – Tj 565</b> |         |
|----------------------------|---------|
| <b>TMH/mes</b>             |         |
| <b>CRASM</b>               | 1512.00 |
| <b>CRAC</b>                | 1048.80 |



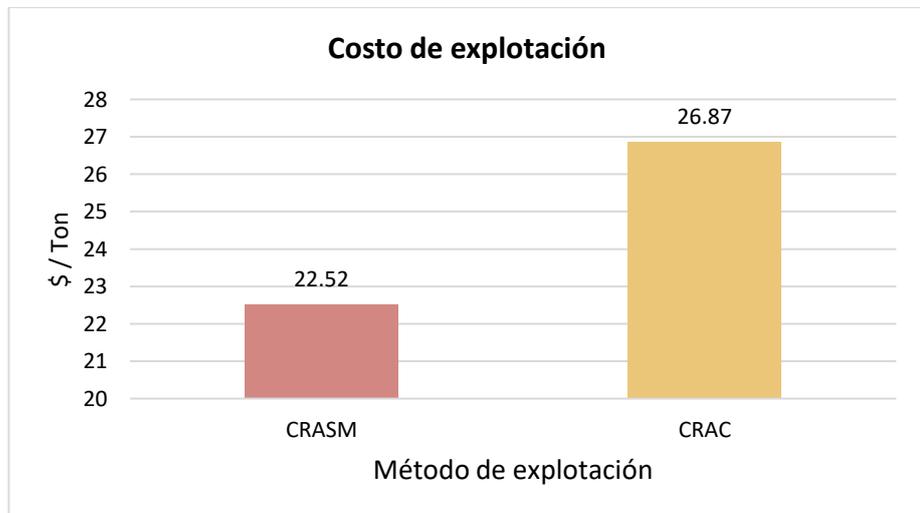
**Figura 33. Producción**

En la figura 33 se observa que con el método de corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) la producción en toneladas por mes es de 1512.00 y con el método de corte y relleno ascendente convencional (CRAC) es de 1040.00 toneladas por mes. Por lo que, se concluye que con el método CRASM se logra procesar mayor tonelaje de material por mes.

#### 4.3.4.3. Costo de explotación

**Tabla 31. Costo de explotación**

| Costo de explotación |       |
|----------------------|-------|
|                      | \$/t  |
| CRASM                | 22.52 |
| CRAC                 | 26.87 |



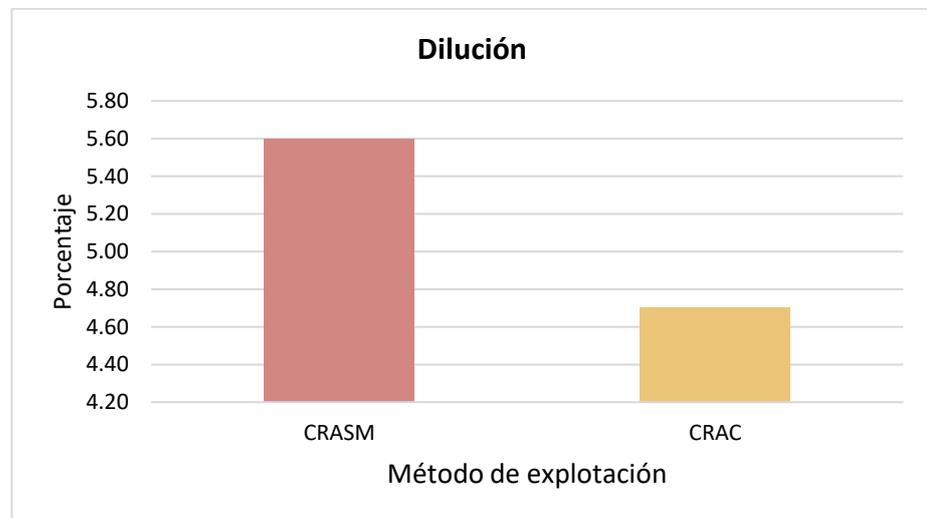
**Figura 34. Costo de explotación**

En la figura 34 se observa que con el método de corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) el costo de explotación es 22.52 dólares por tonelada y con el método de corte y relleno ascendente convencional (CRAC) es 26.87 dólares por tonelada. A partir de lo que, se concluye que con el método CRASM el costo de explotación es menor, ahorrando 4.35 dólares por tonelada.

#### 4.3.4.4. Dilución

**Tabla 32. Dilución**

| Dilución     |      |
|--------------|------|
|              | %    |
| <b>CRASM</b> | 5.60 |
| <b>CRAC</b>  | 4.70 |



**Figura 35. Dilución**

En la figura 35 se observa que con el método de corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) el porcentaje de dilución es 5.60 y con el método de corte y relleno ascendente convencional (CRAC) dicho porcentaje es 4.70. A partir de lo que, se concluye que con el método CRASM la dilución es mayor.

#### 4.3.4.5. Tiempo de explotación

Tabla 33. *Tiempo de explotación*

| Tiempo de explotación |       |
|-----------------------|-------|
|                       | mes   |
| CRASM                 | 10.00 |
| CRAC                  | 24.00 |

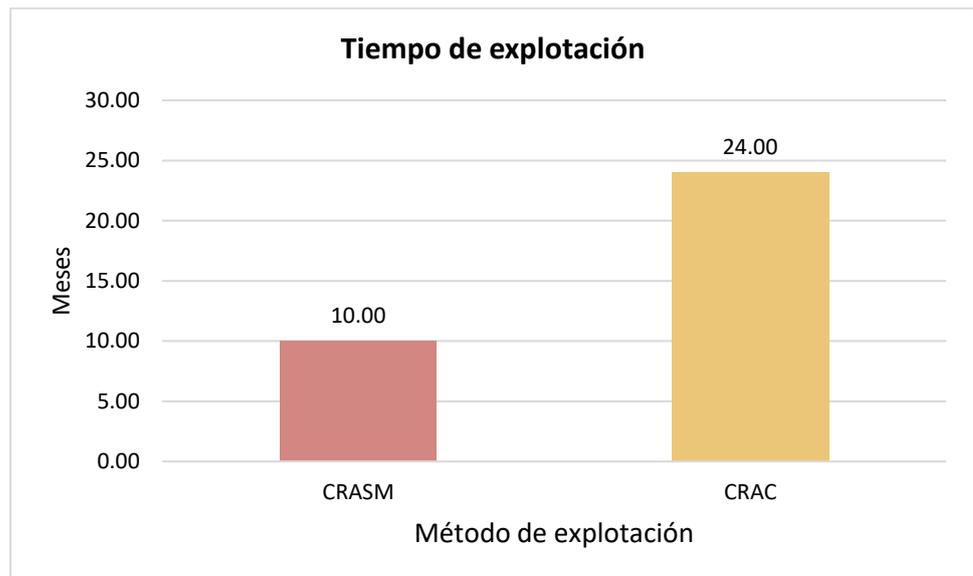


Figura 36. *Tiempo de explotación*

En la figura 36 se observa que con el método de corte y relleno ascendente semimecanizado (CRASM) el tiempo de explotación es de 10 meses y con el método de corte y relleno ascendente convencional (CRAC) es 24.00 meses. A partir de lo que, se concluye que con el método CRASM el proceso se realiza de forma óptima, ya que se evidencia una diferencia de 14 meses en el tiempo de explotación.

#### 4.4. Discusión de resultados

##### 4.4.1. Análisis de operaciones unitarias

De acuerdo con los resultados señalados en la tabla 4, se tiene un mejor desempeño y optimización de las operaciones unitarias en ventilación, sostenimiento, perforación, voladura y limpieza para el método CRASM, es decir, existe una disminución de 2.59 horas frente al CRAC para el total del ciclo de minado. Gonzales (14) dentro de los resultados que desarrolla señala una similitud en la mejora de la capacidad operativa y la optimización de los procesos de mayor interés en la explotación por corte y relleno ascendente, inclusive sugiere que el CRASM dota de

una mayor economía, seguridad, rendimiento y, sobre todo, versatilidad a comparación del método convencional.

Específicamente, las horas de operación para ventilación están relacionadas a un mejor desempeño del CRASM por requerir menores tiempos de ventilación. No obstante, se debe tener en cuenta que la aplicación del método de explotación subterráneo depende además de las condiciones locales del propio yacimiento. En cuanto el sostenimiento no se ha evidenciado cambio significativo entre ambos métodos de explotación.

Para los trabajos de perforación y voladura, el método CRASM presenta un total 1.13 horas, mientras que el CRAC un 2.75 horas, es decir, existe un 58 % de diferencia entre el método convencional y el semimecanizado, siendo el CRASM aquel que mejor resultado representa por reducir el tiempo de perforación y posteriormente de voladura en el porcentaje indicado. Ante ello, Pérez (17) indica que los trabajos de perforación y voladura son necesariamente inseparables durante el proceso de extracción, por lo que, existe un interés adicional en reducir los tiempos muertos entre ambas operaciones. Es de esta forma, que la inclusión de equipos como el Jack leg y maquinaria como los *scooptram* no solo permite aumentar la capacidad operativa en la zona de extracción, sino también, es crucial para reducir aquellas transiciones improductivas entre el término de la perforación y la preparación de la voladura.

En cuanto a los tiempos de limpieza para ambos métodos, el CRASM resalta con mayor notoriedad en este apartado, puesto que, la diferencia entre ambos se estima en 1.33 horas, es decir existe un 63.94 % de disminución en los tiempos requeridos para la limpieza. Castillo (13) refiere que una de las formas de dinamizar la limpieza y relleno en el método semimecanizado es a través de la operación estratégica del *scooptram*, si bien su inclusión permite disminuir ampliamente las horas muertas, se puede optar por algunos ajustes entre los tiempos de limpieza y la preparación de otros sectores donde se requiera maquinaria.

Guevara (12), quien señala una de las principales ventajas de la mecanización en el método de corte y relleno ascendente, refiere que la versatilidad en las operaciones unitarias requerirá además de un mayor apoyo logístico para alcanzar altos niveles de productividad, atendiendo estratégicamente cada etapa desarrollada durante la extracción del mineral.

#### 4.4.2. Análisis de producción mensual

De acuerdo con los resultados en la tabla 10, el número de disparos realizados por día para CRASM duplica al CRAC, siendo las condiciones de frentes de trabajo para ambos métodos similares en cantidad. Además, se presenta una variación significativa en los tiempos de corte y corte por mes entre ambos métodos. Ello se refleja ampliamente en las toneladas por disparo y posteriormente en el tonelaje mensual total producido para las zonas estudiadas de la veta Ximena.

Ello se contrasta con los resultados de Pérez (17) quién indica una variación de 4.7 % en el ciclo de minado y un aumento del volumen de producción del 67 % con respecto al método CRAC. Rojas (10), indica que el método de explotación CRASM ha optimizado la producción de 33.53 t/día a 50.30 t/día en cuanto a la extracción de mantos auríferos inclinados.

Además, Sucasaca (16) quien refuerza la evidencia de una mejora de la productividad para el método CRASM al referir que la explotación de tajos por medio de este método ha permitido el incremento de la producción en 285 t/día en los yacimientos mineros de la minera Ariahua S. A., en todo caso, la semimecanización se experimentó a través del uso de taladros de 6 pies para trabajos de perforación y Dumper y sistemas *track les mining* para el acarreo. Es decir, que el uso del Jack leg estima un aumento de los niveles de producción al aplicarse directamente a la mejora de las operaciones de perforación y voladura.

Frente a ello, Córdova (11) señala que la voladura realizada de manera convencional debe considerar que un 60 % del material detrítico puede ser aprovechado como relleno de tajo.

Palomino (8), señala por su parte que, uno de los factores por los que se experimenta mayor productividad para CRASM se entiende como la propia semimecanización de los procesos de explotación, por lo que, está claro que el método semimecanizado debe salvar algunas consideraciones adicionales para la mejora de la productividad, tales como los expuestos por Pérez (17), quién reitera la importancia del adecuado control y disposición de la malla de perforación, el burden y espaciamento, y cómo los equipos utilizados facultan la mayor precisión y control posible de esta operación.

#### 4.4.3. Análisis de evaluación económica

De acuerdo con los resultados de la tabla 17, el total de costos refiere una diferencia del 0.85 \$ / t, y una producción de tonelaje por mes de 3150 t, siendo el método CRASM el que demanda menor inversión y proporciona mayores beneficios para la empresa. Sin embargo, debe resaltarse que, dentro del total de categorías de costos de inversión, el método CRASM contempla una mayor inversión del costo de explotación por tonelada, este incremento se debe en general a la propia implementación de la semimecanización de los procesos de perforación, voladura y limpieza. Aunque el costo del tajo del método CRASM es mayor al método CRAC, el tonelaje total producido compensa esta inversión.

Pérez (17), refiere que el CRASM, aunque con mayores tiempos de preparación resulta de mayor eficacia al momento de evaluar la productividad a largo plazo del método, el análisis económico comparativo entonces necesita estar basado en periodo donde el método CRASM esté definitivamente consolidado. Sucasaca (16), por otra parte, indica que el método de *cut and fill* o de corte y relleno ascendente es el adecuado de acuerdo con un análisis económico para explotación subterránea, ya que se ajusta a las condiciones del macizo rocoso, la forma de yacimiento, la inclinación de la veta, calidad de roca, cizallamiento del mineral, buzamiento entre otros, con ello se asegura el sostenimiento del proyecto. Del mismo modo, Espedilla (5) indica que la rentabilidad del método CRASM se puede constatar generalmente una vez estandarizadas las operaciones en el ciclo de minado. Gonzales (14), en cambio, refiere que de acuerdo a los resultados de la evaluación económica de su estudio, el método CRASM no representa una mejor alternativa al método CRAC, ya que demanda una gran cantidad de recursos, es decir, «el método óptimo, aceptable y adecuado es el método *Long Wall Mining* por el avance, seguridad, tiempo, producción, abastecimiento completo a la planta e inversión que este brinda y es sumamente ventajoso a comparación del método de corte y relleno ascendente semimecanizado» (pág. 89).

Una de las consideraciones para una aplicación adecuada del CRASM tiene que ver con lo desarrollado por Palomino (8), quién refiere que las labores de exploración y desarrollo son importantes para cualquier método de explotación de minería subterránea, ya que, sirven como accesos a la zona mineralizada y permiten la explotación del yacimiento económicamente rentable. Por otra parte, Castillo (13) refiere que el costo de explotación pasa de 14.58 \$/t a 12.43 \$/t cuando se realiza un cambio del método de explotación convencional al semimecanizado.

#### 4.4.4. Análisis de criterio de selección

De los resultados indicados en la tabla 28, se estima la variación en la producción entre el método CRASM y CRAC, así como la dilución del mineral y el tiempo de explotación. En todo caso, aquel apartado de mayor interés es la variación en la dilución de ambos métodos, ya que la mayor pérdida de mineral debido a las operaciones unitarias se da con el método CRASM, aunque el costo y tiempo de explotación es menor al CRAC, debe tomarse en cuenta este indicador para determinar la eficacia del método.

Frente al análisis de la reducción de costos de producción. Pérez (17) indica que la explotación en veta bajo el método CRASM ha permitido una reducción del costo de producción en 22 %, lo que es respaldado por Córdova (11), quién señala que el método CRASM resulta de gran economía, seguridad, versatilidad y rendimiento en comparación con el CRAC, ya que se ve plasmado en el incremento de los niveles de producción de la veta. Sin embargo, es importante prestar una mayor atención a la etapa de preparación, ya que esto permite más volumen, en todo caso, el uso de la maquinaria destinada a estos trabajos será intensivo, ya que se pretende mejorar los niveles de producción anteriores.

Castillo (13) indica, entonces, que la inclusión del *scoop* dentro de los procesos de limpieza y relleno dinamiza los tiempos de operación, brinda mayor versatilidad, y la eficiencia en las actividades del tajo se ven plasmadas en la precisión de los trabajos y en cumplimiento de los cronogramas asignados. Además, el método CRASM ha demostrado brindar una fructuosa ganancia a las empresas que han decidido implementar este método.

Lo cual contrasta con los resultados de Ortiz (18), quien refiere que el método CRASM ha permitido incrementar la producción en mina, con 101, 612 TMS con una potencia diluida de 2.71 m y ley diluida promedio de 12.63 g/TM para la mina en estudio. Además, que el método CRASM se ha ajustado adecuadamente a las características geomecánicas de la roca caja y el mineral. Guevara (12), indica entonces la importancia de considerar el análisis geomecánico de la zona de explotación, ya que ello tendrá directa relación con los factores de dilución para la selección del método a aplicar.

Córdova (11), señala que uno de los problemas principales dentro del ciclo de minado son los elevados costos de sostenimiento, la limpieza del mineral y la dilución. Por tal, el método CRASM interviene directamente ante una ralentización de la

producción de mineral, ya que el objetivo primario de la mecanización de ciertos procesos es el de reducir al mínimo todas las pérdidas. No obstante, los resultados de investigación indican que el método CRASM ha ocasionado mayores pérdidas por dilución con respecto al CRAC, lo que sugiere una mejor adecuación o control de la mecanización.

## CONCLUSIONES

- El futuro operativo de la unidad minera Americana de Alpayana S. A., se encuentra focalizado en los trabajos de profundización, principalmente en la zona de vetas Ximena; por presentar una mineralización de tipo vetiforme desde las capas Rojas Casapalca, los conglomerados Carmen y Tablachaca, con anchos de 0,20 m a 2,50 m con ensanchamientos locales. Además, de presentar leyes altas que sirven como reguladores de la ley marginal a la unidad minera.
- Para el presente trabajo de investigación se ha utilizado el método de investigación del tipo método científico, específicamente el no experimental, ya que se observan los fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlos.
- Las técnicas de recolección de datos realizado durante la presente investigación fueron de forma continua y adecuadas para la obtención de los datos, como la observación directa, la entrevista no estructurada y la revisión de documentos; ya que se han revisado datos de tipo bibliográfico y fueron recolectados de un gran número de fuentes, con la finalidad de obtener una revisión exhaustiva de los documentos.
- A fines del año 2021 se inició la profundización de la mina como parte del proceso de optimización de operaciones; obteniéndose un incremento de las reservas probadas de mineral, llegando a 5.1 millones de TMS, cifra que garantiza y paga la inversión en la implementación de nuevos métodos de trabajo y el incremento de personal para el cumplimiento de esta producción.
- Con la aplicación del método de explotación de corte y relleno ascendente semimecanizado para explotar los tajeos de la zona Ximena, se ha incrementado la producción de 5400

TM/mes versus los 2450 TM/mes con el método convencional, incrementándose en un 44 %.

- La optimización del método de explotación se logró con la implementación de un equipo de carguío cautivo en los tajos; que realiza labores de limpieza de mineral de los tajos y desmonte de las labores de desarrollo; la inversión ahorrada en todo el tiempo de explotación del tajo fue de S/ 250,623 y se redujo el tiempo de explotación total del tajo a 10 meses; siendo el tiempo de culminación con el método convencional de 24 meses.
- El costo de explotación se redujo en 4 dólares/t; siendo el costo total en el método actual de 22.52 \$/t versus los 26.87 \$/t con el método convencional. Se debe considerar que la dilución con el método de explotación de corte y relleno ascendente semimecanizado es de 5.6 % y en el caso del método de corte y relleno ascendente convencional es de 4.7 %.
- El método de explotación de corte y relleno ascendente semimecanizado consistirá en romper en franjas horizontales del mineral económico, empezando por la parte inferior del tajo y avanzando verticalmente en cada corte, al final se rellenará el espacio libre con relleno detrítico o hidráulico; el acceso al tajo será a través de un brazo pivotante que se irá rebatiendo para cada corte desde la rampa auxiliar, la perforación se realiza en forma horizontal (*breasting*) equipo neumático y la limpieza del mineral roto se realiza con sistema *trackless* evacuando el mineral a través del brazo basculante hasta el echadero de mineral, luego será extraído desde el nivel inferior mediante sistema de rieles, cerrando el ciclo de minado de los tajos en los niveles 18 y 19 de la zona Ximena de vetas.

## RECOMENDACIONES

- Es muy importante determinar los estudios de los factores geológicos y geomecánicos de los yacimientos minerales para elegir el método de explotación más adecuado dependiendo de las características propias del terreno y del tipo de mineralización.
- Luego de la evaluación del presente trabajo se debe implementar el método de explotación de corte y relleno ascendente semimecanizado como parte del ciclo de minado de la unidad minera, con el objetivo de mejorar los estándares de trabajo y el cuidado de las personas.
- Como empresa se debe priorizar la implementación de métodos de explotación subterránea de movimiento masivo de mineral; para lograr mejores eficiencias operativas y económicas que se verán reflejados en la mejora continua de los procesos mineros subterráneos.
- Con la implementación del método de explotación de corte y relleno ascendente semimecanizado; se debe invertir en la adquisición de equipos de carguío con emisiones de gases según normas internacionales o generar la construcción de chimeneas de ventilación de mayor diámetro para compensar el requerimiento de aire limpio en las labores de profundización.
- Se debe implementar estándares de trabajo de acuerdo a los rendimientos óptimos de los equipos a implementar dentro de los tajos y revisar los Iperc de línea base que actualmente se están utilizando en la zona de vetas Ximena en la zona de profundización de los niveles 18 y 19.

## LISTA DE REFERENCIAS

1. **MARTINEZ, Kimeyra.** Rumbo Minero Internacional. *Automatización, digitalización y control para la industria minera: mayor productividad y eficiencia en los procesos mineros.* [En línea] 09 de junio de 2022. [Citado el: 28 de junio de 2022.] <https://www.rumbominero.com/revista/informes/automatizacion-digitalizacion-y-control-para-la-industria-minera-ed-145/>.
2. **Alpayana S. A.** Bnaméricas25. *Pérfil de Compañía Alpayana S.A.* [En línea] 15 de junio de 2022. [Citado el: 28 de junio de 2022.] <https://www.bnamericas.com/es/perfil-empresa/compania-minera-casapalca-sa>.
3. **Alpayana.** *Campo de Operaciones.* [En línea] 05 de mayo de 2022. [Citado el: 29 de junio de 2022.] <https://www.alpayana.com/Operaciones>.
4. **HUAMÁN LANDEO, Renzo Lemer.** *Gestión de riesgos para reducir accidentes en la E.C.M. Gestión Minera Integral S.A.C. - CIA Minera Alpayana S.A.* Junin, Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo : Tesis para optar el Título de Ingeniero de Minas, 2020.
5. **ESPEDILLA BELLIDO, Roger Nelson.** *Optimizaciòn de la explotación de la veta polimetálica Oroya entre niveles 3550 Y 3700 mediante el método C&Ra Compañía Minera Casapalca.* Arequipa, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa : Tesis para optar el Título de Ingeniero de Minas, Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2014, 147 pp. [Fecha de consulta: 25 de junio del 2022].
6. **RUTBER AQUISE, Cornejo.** Gestipolis. *Corte y relleno, cámaras y pilares: métodos de minería subterránea.* [En línea] 10 de septiembre de 2015. [Citado el: 25 de junio de 2022.] <https://www.gestipolis.com/corte-y-relleno-camaras-y-pilares-metodos-de-mineria-subterranea/>.

7. **MAQUERA ORDOÑEZ, Raúl.** *Criterios de selección de métodos de explotación subterránea para optimizar la producción.* Puno, Universidad Nacional del Altiplano. Puno : Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, 2019.
8. **PALOMINO HUARCAYA, Jimmy Joseph.** *Influencia de la perforación y voladura en las labores de exploración y desarrollo en Compañía Minera Alpayana S.A.* Junín, Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo : Tesis para optar el Título de Ingeniero de Minas, 2021.
9. **HERRERA BARRIOS, Angela Flor.** *Influencia de la carga operante en taladros largos en la reducción de vibraciones en la Compañía Minera Alpayana S.A.* Junín, Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo : Tesis para optar el Título de Ingeniero de Minas, 2021.
10. **ROJAS BACA, David.** *Optimización de la producción en mantos auríferos mediante el método de corte y relleno ascendente semi mecanizado en la Empresa Minera J.H.S. e hijos S.R.Ltda - 2018.* Puno, Universidad Nacional del Altiplano. Puno : Tesis para optar el Título de Ingeniero de Minas, 2018.
11. **CÓRDOVA MONDRAGÓN, Maria Loidi.** *Análisis del método de corte y relleno ascendente semimecanizado, frente al método long wall en la producción de mineral del tajo 6520, nv 2760, Compañía Minera Poderosa S.A.* Piura, Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas. PIURA : s.n., 2019.
12. **GUEVARA SUAREZ, Jose Juan.** *Ventajas económicas del método de explotación corte y relleno ascendente semi-mecanizado, sobre el método long wall, Cia Minera Poderosa.* La Libertad, Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo : Tesis para optar el Título de Ingeniero de Minas, 2019.
13. **CASTILLO ZEGARRA, Marvin.** *Incremento de la producción mediante el método de explotación corte y relleno ascendente semi-mecanizado en el tajo 767 – Cía. Minera Caudalosa s.a. 2018.* La Libertad, Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo : Tesis para optar el Título de Ingeniero de Minas, 2018.
14. **GONZALEZ AREVALO, Jefferson.** *Comparación del método de explotación corte y relleno ascendente semi – mecanizado y el método Long Wall Mining en la veta Valeria de una mina subterránea, La Libertad – 2020.* La Libertad, Universidad Privada del Norte. Trujillo : Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, 2022.
15. **Área de Geología Alpayana.** *Informe Anual Gerencial.* Casapalca : s.n., 2020.
16. **SUCASACA PACOMBIA, Delvis Lewis.** *Incremento de la producción del mineral en los tajeos Carlota y San José mediante el método de explotación corte y relleno ascendente mecanizado en la minera Arirahua S. A. – Arequipa.* Puno, Universidad Nacional del Altiplano. Puno : Tesis para optar el Título de Ingeniero de Minas, 2018.

17. **PEREZ FLORES, Cristian Juan.** *Mecanización del método de minado corte y relleno ascendente en el tajo 2590 de la Mina Rosa nv.2430, unidad Parcoy – Consorcio Minero Horizonte SAC. para incrementar el volumen de producción.* La Libertad, Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo : Tesis para optar el Título de Ingeniero de Minas, 2019.
18. **ORTIZ BASAURI, José Luis; SIGUENZA RODRÍGUEZ, Alex Cirilo.** *Propuesta del método corte y relleno mecanizado para incrementar la producción en mina “Lourdes”, UEA Parcoy, Consorcio Minero Horizonte S.A. 2016.* Cajamarca, Universidad Privada del Norte. Cajamarca : Tesis para optar el Título de Ingeniero de Minas, 2016.
19. **Instituto Tecnológico Geominero de España.** *Manual de evaluación Técnico-Económica de proyectos mineros de inversión.* Madrid : Gráficas Topacio S.A., 1991. ISBN: 84-7840-77-X.
20. **BUENDÍA MEZA, Cesar José.** *Implementación del método de explotación corte y relleno ascendente en vetas angostas en el tajo Carmelita de la Mina Toctopata – Andahuaylas.* Arequipa, Universidad Continental. Arequipa : Tesis para optar el Título de Ingeniero de Minas, 2021.

## **ANEXOS**



**Anexo 1**  
**Matriz de consistencia**

| <b>Problema</b>   | <b>Objetivo</b>  | <b>Hipótesis</b>   | <b>Variable</b>  | <b>Metodología</b>  |
|---|--|--|--|---|
| <p><b>Problema general</b><br/>¿Cómo mejorar la productividad con el método de explotación minera de corte y relleno ascendente semimecanizado en la veta Ximena en los niveles 18 y 19 se mejora la productividad en la E. C. M. Gestión Minera Integral S. A. C., compañía minera Alpayana?</p> | <p><b>Objetivo general</b><br/>Lograr, con el método de explotación minera de corte y relleno ascendente semimecanizado la mejora de la productividad en la veta Ximena en los niveles 18 y 19 se mejora la productividad en la E. C. M. Gestión Minera Integral S. A. C., compañía minera Alpayana.</p> | <p><b>Hipótesis general</b><br/>El método de explotación minera de corte y relleno ascendente semimecanizado mejora la productividad en la veta Ximena en los niveles 18 y 19 se mejora la productividad en la E. C. M. Gestión Minera Integral S. A. C., compañía minera Alpayana</p> | <p><b>Variable 1</b><br/>Productividad<br/>D1: Producción mensual<br/>D2: Evaluación económica<br/>D3: Criterio de Selección</p> <p><b>Variable 2</b><br/>Método de explotación minero corte y relleno ascendente semimecanizado<br/>D1: Ventilación<br/>D2: Sostenimiento<br/>D3: Perforación<br/>D4: Voladura<br/>D5: Limpieza</p> | <p><b>Tipo de investigación:</b><br/>El método es investigación científica</p> <p><b>Nivel o alcance:</b><br/>Aplicativo</p> <p><b>Diseño de investigación:</b><br/>Descriptivo comparativo</p> <div data-bbox="1744 655 1980 871" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <pre> graph LR     M1 --- O((O))     M2 --- O             </pre> </div> <p>Donde:</p> |

|   |  |   |  |   |
|---|--|---|--|---|
| <p><b>Problemas específicos</b><br/> ¿Cómo mejorar la producción mensual con el método de explotación minera de corte y relleno ascendente semimecanizado en la veta Ximena en los niveles 18 y 19 se mejora la productividad en la E. C. M. Gestión Minera Integral S. A. C., compañía minera Alpayana?</p> <p>¿Cómo mejorar la evaluación económica con el método de explotación minera de corte y relleno ascendente semimecanizado en la veta Ximena en los niveles 18 y 19 se mejora la productividad en la E. C. M. Gestión Minera Integral S. A. C., compañía minera Alpayana?</p> <p>¿Cómo mejorar los criterios de selección con el método de explotación minera de corte y relleno ascendente semimecanizado en la veta Ximena en los niveles 18 y 19 se mejora la productividad en la E. C. M. Gestión Minera Integral S. A. C., compañía minera Alpayana?</p> | <p><b>Objetivos específicos</b><br/> Lograr, con el método de explotación minera de corte y relleno ascendente semimecanizado la mejora de la producción mensual en la veta Ximena en los niveles 18 y 19 se mejora la productividad en la E. C. M. Gestión Minera Integral S. A. C., compañía minera Alpayana.</p> <p>Lograr, con el método de explotación minera de corte y relleno ascendente semimecanizado la mejora de la evaluación económica en la veta Ximena en los niveles 18 y 19 se mejora la productividad en la E. C. M. Gestión Minera Integral S. A. C., compañía minera Alpayana.</p> <p>Lograr, con el método de explotación minera de corte y relleno ascendente semimecanizado la mejora de los criterios de selección en la veta Ximena en los niveles 18 y 19 se mejora la productividad en la E. C. M. Gestión Minera Integral S. A. C., compañía minera Alpayana.</p> | <p><b>Hipótesis específicas</b><br/> El método de explotación minera de corte y relleno ascendente semimecanizado mejora la productividad en la veta Ximena en los niveles 18 y 19 se mejora la productividad en la E. C. M. Gestión Minera Integral S. A. C., compañía minera Alpayana.</p> <p>El método de explotación minera de corte y relleno ascendente semimecanizado mejora la evaluación económica en la veta Ximena en los niveles 18 y 19 se mejora la productividad en la E. C. M. Gestión Minera Integral S. A. C., compañía minera Alpayana.</p> <p>El método de explotación minera de corte y relleno ascendente semimecanizado mejora los criterios de selección en la veta Ximena en los niveles 18 y 19 se mejora la productividad en la E. C. M. Gestión Minera Integral S. A. C., compañía minera Alpayana.</p> |  | <p>M1: veta Ximena en los niveles 18 y 19 antes de aplicar el método de explotación minera de corte y relleno ascendente.</p> <p>M2: veta Ximena en los niveles 18 y 19 después de aplicar el método de explotación minera de corte y relleno ascendente.</p> <p>O<sub>2</sub>: Productividad</p> <p><b>Población:</b><br/> Veta Ximena en todos los niveles</p> <p><b>Muestra:</b><br/> Veta Ximena en los niveles 18 y 19</p> <p><b>Técnica:</b><br/> Análisis documental</p> <p><b>Instrumento:</b><br/> Fichas bibliográficas y de resumen.</p> |
|---|--|---|--|---|

**Anexo 2**  
**Operacionalización de variables**

| Variable                    | Dimensiones                           | Indicadores  | Escala de medición | Instrumento                           |
|-----------------------------|---------------------------------------|--|--------------------|---------------------------------------|
| Variable 1<br>Productividad | D1: Análisis de producción<br>mensual | Frentes de trabajo<br>Disparos por día<br>Tiempo por corte<br>Corte por mes<br>Toneladas por disparo<br>Tonelaje   | Razón              | Fichas bibliográficas y de<br>resumen |
|                             | D2: Evaluación Económica              | Costo de preparaciones<br>Costo de sostenimiento<br>Costo de explotación<br>Costo de limpieza<br>Costo de servicios generales<br>Costos de gastos generales<br>Total de costos<br>Tonelaje por mes<br>Costo del tajo<br>Explotación del tajo |                    |                                       |

---

|                              |                          |                        |       |
|------------------------------|--------------------------|------------------------|-------|
|                              |                          | Riesgo de seguridad    |       |
|                              |                          | Producción             |       |
|                              | D3: Criterio de elección | Costo Explotación      |       |
|                              |                          | Beneficio/Costo        |       |
|                              |                          | Dilución               |       |
|                              |                          | Tiempo de explotación  |       |
|                              | D1: Ventilación          | Horas de ventilación   |       |
| Variable 2                   | D2: Sostenimiento        | Horas de sostenimiento |       |
| Método de explotación minero | D3: Perforación          | Horas de perforación   | Razón |
| corte y relleno ascendente   | D4: Voladura             | Horas de voladura      |       |
|                              | D5: Limpieza             | Horas de limpieza      |       |

---