

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE
SISTEMAS Y COMPUTACIÓN



T E S I S

**Optimización del ciclo de minado para incrementar los beneficios
económicos aplicando programación lineal en la empresa SEPROCAL
S.A.C.**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Sistemas y Computación

Autor:

Bach. Misael Jonás CUBA ATENCIO

Asesor:

Mg. Hebert Carlos CASTILLO PAREDES

Cerro de Pasco – Perú - 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE SISTEMAS Y
COMPUTACIÓN



T E S I S

**Optimización del ciclo de minado para incrementar los beneficios
económicos aplicando programación lineal en la empresa SEPROCAL
S.A.C.**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Zenón Manuel LOPEZ ROBLES
PRESIDENTE

.....
Mg. Lizbeth Gisela NEGRETE CARHUARICRA
MIEMBRO

Mg. Pit Frank ALANIA RICARDI
MIEMBRO

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a Arturo,

Esperanza, Claudia; Seniors y Staff - LIFE

PERU

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión por haberme albergado en sus aulas todos estos años para formarme como un profesional destacado

Agradezco a cada uno de los docentes, de quienes me tocó obtener conocimientos técnicos y aptitudes profesionales, por su alto nivel de exigencia.

También es grato para mí expresar mi agradecimiento a la gerencia de la empresa SEPROCAL S.A.C. por haberme permitido realizar esta investigación.

RESUMEN

La tesis buscó determinar la influencia de la optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal, en los beneficios económicos de la Empresa Seprocal S.A.C. Para ello, el estudio fue aplicado, explicativo en el nivel, se trabajó con un método inductivo - deductivo, mientras que su diseño fue pre experimental. El estudio trabajó con los ciclos de minado a los que incurre la empresa y las Unidades Minera con las que trabaja. Se aplicó la ficha de observación como técnica, instrumentado por la observación. Con la aplicación del análisis de programación lineal, se encontró que el beneficio máximo logrado fue de \$ 241,721,770.09 representando un aumento del 0.114%, con respecto al beneficio actual, y con una reducción en la cantidad de producción minera, siendo esta de 2082930.528 toneladas. Asimismo, se logró reducir notablemente los costos operativos en el ciclo de minado de la Empresa Seprocal S.A.C. Es así que, de acuerdo con los cálculos realizados con la programación lineal, el costo total pasó de \$11,427,271.60 a un mínimo de \$11,289,230.16, representando una reducción de -1.223% en el total de costos operativos. Junto a ello, se concluyó que el uso de los recursos económicos fue eficiente.

Palabras clave: Optimización del ciclo de minado, costos operativos de mina, Solver, programación lineal.

ABSTRACT

The thesis sought to determine the influence of the optimization of the mining cycle, applying linear programming, in the economic benefits of the Company Seprocal S.A.C. For this, the study was applied, explanatory at the level, working with an inductive - deductive method, while its design was pre-experimental. The study worked with the mining cycles incurred by the company and the Mining Units with which it works. The observation sheet was applied as a technique, instrumented by observation. With the application of the linear programming analysis, it was found that the maximum benefit achieved was \$241,721,770.09, representing an increase of 0.114%, with respect to the current benefit, and with a reduction in the amount of mining production, this being 2082930.528 tons. Likewise, it was possible to significantly reduce operating costs in the mining cycle of Empresa Seprocal S.A.C. Thus, according to the calculations made with linear programming, the total cost went from \$11,427,271.60 to a minimum of \$11,289,230.16, representing a -1.223% reduction in total operating costs. Along with this, it was concluded that the use of economic resources was efficient.

Keywords: Mining cycle optimization, mine operating costs, Solver, linear programming.

INTRODUCCIÓN

Optimizar los beneficios económicos implica lograr que los ingresos que se obtienen sean mayores a los costos de producción del bien o del servicio; sin embargo, considerando que en el precio de los metales no puede ser controlado por la empresa, le corresponde a esta disminuir el costo de sus operaciones y de sus recursos. En esta línea, los costos en el sector minero tienen que ver con el dinero que se requiere para las actividades de explotación, para el pago de mano de obra, para las tareas de perforación, y para la adquisición de herramientas y de materiales necesarios para las actividades complementarias. Sin embargo, analizando el contexto nacional, es evidente que la mayoría de las empresas inmersas en el rubro realizan la labor de explotación de una manera convencional en la que se hace un uso excesivo de explosivos, lo cual demanda mayor gasto; asimismo, en los procesos de minado se suele incurrir en sobrecostos por el excesivo consumo de los diversos factores de carga; todos estos excesivos costos hacen evidente que se realiza un manejo inadecuado de las operaciones de perforación y voladura.

En la empresa Seprocal S.A.C se identificó que sus operaciones de perforación tenían serias desviaciones en el paralelismo por la deficiencia de guidores, considerando que el burden no es uniforme y es mayor al fondo del taladro, lo que repercute el fracturamiento y un óptimo desarrollo, sobre todo si los taladros de alivio son más pequeños que los de producción. A raíz de lo expuesto, se requiere dar solución a los costos elevados por consumo de explosivos en el proceso de minado para de este modo optimizar los beneficios económicos de la empresa y lograr un mejor manejo de todos sus recursos en lo que dura el proceso.

El objetivo de la investigación es determinar la influencia de la optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal, en los beneficios económicos de la empresa; para lograr aquello se desarrolla un estudio aplicado y de nivel explicativo en el que se sigue todo el proceso del método científico, en el que hace uso de un diseño pre experimental, y en el que se considera como muestra de la población a las operaciones de minado de la empresa.

El trabajo de investigación cuenta con la siguiente estructura: el Capítulo primero desarrolla el problema identificado y formula los objetivos a desarrollar; el Capítulo segundo desarrolla el marco teórico, que comprende el desarrollo de las bases teóricas y el análisis de antecedentes académicos; el tercer Capítulo comprende la definición y justificación de la metodología que se emplea en todo el proceso de la investigación; y el cuarto Capítulo hace una descripción y análisis de los resultados, y compara lo hallado con las referencias teóricas. Adicionalmente, se desarrollan las conclusiones de la investigación y las recomendaciones que podrían dar solución al problema que motivó la investigación.

El autor

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación.....	3
1.2.1. Delimitación espacial	3
1.2.2. Delimitación temporal	4
1.2.3. Delimitación conceptual.....	4
1.3. Formulación de problema	4
1.3.1. Problema general	4
1.3.2. Problemas específicos	4
1.4. Formulación de objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. Justificación de la investigación	5
1.6. Limitaciones de la investigación.....	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio.....	8
2.1.1. Antecedentes internacionales	8
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	12
2.2. Bases teóricas-científicas	16
2.2.2. Ciclo de minado.....	16
2.2.2. Beneficio económico	33
2.3. Definición de términos básicos	43
2.4. Formulación de hipótesis	44
2.4.1. Hipótesis general	44

2.4.2. Hipótesis específicas	44
2.5. Identificación de variables	45
2.6. Definición operacional de variables e indicadores	45

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	48
3.2. Nivel de investigación.....	48
3.3. Métodos de investigación.....	49
3.4. Diseño de investigación	49
3.5. Población y muestra	50
3.5.1. Población	50
3.5.2. Muestra	50
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	50
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	51
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	51
3.9. Tratamiento estadístico	51
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica	52

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	53
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados	53
4.2.1. Optimización del ciclo de minado.....	54
4.2.2. Aplicación de la programación lineal.....	73
4.3. Prueba de hipótesis.....	80
4.3.1. Hipótesis general	80
4.3.2. Primera hipótesis específica	82
4.3.3. Segunda hipótesis específica	83
4.4. Discusión de resultados.....	84

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables.....	46
Tabla 2 Reporte técnico de reservas minerales	54
Tabla 3 Labores programadas exploraciones	55
Tabla 4 Programa de perforación diamantina por objetivos	56
Tabla 5 Programa de recategorización	56
Tabla 6 Programa de producción.....	69
Tabla 7 Extracción de minerales	69
Tabla 8 Programa de avance.....	70
Tabla 9 Metal fino en concentrados	72
Tabla 10 Objetivos de Ley de concentrados.....	72
Tabla 11. Objetivos de recuperación metalúrgica	72
Tabla 12 Producción anual en mina	73
Tabla 13 Precio de los metales	73
Tabla 14 Ingreso anual de la empresa	74
Tabla 15 Costos operativos de la empresa	74
Tabla 16 Estructura de costos por ciclo de minado y otros costos.....	75
Tabla 17 Análisis de la variación porcentual de los costos	77
Tabla 18 Variación de costos (mínimo-máximo).....	78
Tabla 19 Resultados de solver.....	79
Tabla 20 Ingresos, costos y beneficios	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tareas básicas del ciclo de minado	61
Figura 2 Ciclo de minado	61
Figura 3 Diseño de Slot	63
Figura 4 Estándares de perforación y voladura empleando EMULEX 100 y 65, y EXAMON P (i).....	64
Figura 5 Estándares de perforación y voladura empleando EMULEX 100 y 65, y EXAMON P (ii)	65
Figura 6 Aplicación de solver y restricciones	79

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

En los últimos diez años, y gracias al cambio de dominio del capital financiero, se ha reportado la intensificación y expansión de proyectos con tendencia a la extracción y comercialización de recursos minerales, trayendo consigo la incorporación de nuevos métodos de explotación, uno de ellos: la minera subterránea (Concha, 2017, pág. 82). Conocida como la “planta” ubicada al interior de la mina, trabajada por los operarios, para extraer los minerales ocultos de estratos rocosos, los cuales son transportados a la superficie para su refinación y posterior comercialización (Amstrong y Menon, 1998, pág. 74.8). Esta técnica, para su buen desarrollo, recurre a una serie de operaciones de carácter cíclico y repetitivo, que tienden a ser repetitivas, agrupadas en: rotura de rocas y manipulación del material, hoy por hoy, conocidas como ciclo de minado (Ramani, 2012, pág. 16).

En la actualidad, dentro del territorio nacional, se explotan alrededor de 130 minas subterráneas; sin embargo, a pesar de los altos volúmenes de

producción, aún no logra superar a las operaciones de tajo abierto, que representan el 65% del total de unidades mineras y el 78% del volumen de producción (ContentLab, 2020). No obstante, debido a la coyuntura actual, causada por el COVID-19, se ha registrado una caída de esta actividad en un 40.49%, ocasionando un retroceso en los niveles de producción de los principales minerales como: cobre, plata, plomo, zinc (cuya caída va entre 70 – 80%) y el cobre (-34.72%) (CooperAcción, 2020, pág. 3). Por lo que, actualmente, el enfoque de las operaciones está orientado al control de los costos, reduciendo su base de costos fijos y, dejando de lado el nivel de mejora, optimización de labores y el factor riesgo en sus trabajadores (Mining Global, 2021).

Sin embargo, esta industria, al ser considerada un negocio de costos, controlando los precios de oferta y demanda, sin control a alguno de las empresas sobre el mercado, pero si en las operaciones (perforación, voladura, limpieza, carga, transporte y sostenimiento), dependen del control del margen de ganancias (Quiroz E. , 2019, pág. 88). Por tal razón, las empresas están atentas para ejecutar de manera eficiente cada una de las operaciones, teniendo en cuenta su sostenibilidad a largo plazo y desafíos que puedan presentarse durante su evolución, ocasionando que las Unidades Mineras opten por métodos que minimicen cada uno de los costos e incrementen su productividad; además de, probar soluciones que generen un beneficio económico para la compañía y su entorno (Couceiro et al., 2018). Una de ellas, la programación matemática, mejor conocida como programación lineal.

Esta técnica, recogida bajo un modelo de optimización, selecciona alternativas adecuadas que faciliten la toma de decisiones en la solución de una problemática vinculada a la limitada asignación de recursos para el desarrollo de las actividades en función a sus objetivos y restricciones lineales (Guédez, 2011, pág. 62). De tal manera que, maximice el rendimiento en el beneficio económico y minimice las cantidades de escombros en procedimientos de excavación según requerimientos que incluyan: costos e ingresos generados por las operaciones de la unidad (función objetivo), aportes y requerimientos en los productos (considerando coeficiente insumo/producto) y la disponibilidad de los recursos, junto a las especificaciones técnicas y de seguridad (Alvarado, 2009, pág. 91).

En este marco, se presentó esta problemática en la Empresa Contratista Minera Seprocal S.A.C., la cual trabaja con la Unidad Minera “El Porvenir”, proyecto Nexa, ubicado en la Región Pasco, cuya necesidad se enfocó en la optimización de las operaciones del ciclo de minado que generen un beneficio económico tanto para ellos, como contratistas, y la Unidad Minera.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

La investigación se desarrolló en la Empresa Contratista Minera Seprocal S.A.C., cuya sede central se ubica en Av. Los Jazmines Mz R, Lote 4, Ate Vitarte, Lima, la cual viene trabajando para NEXA, en la unidad minera El Porvenir ubicada en la Región Pasco.

1.2.2. Delimitación temporal

La investigación inició su desarrollo el mes setiembre de 2021 y se proyectó una duración de diez meses; por lo que culminó el mes de junio de 2022

1.2.3. Delimitación conceptual

La investigación analizó las variables *Ciclo de minado* y *Beneficio económico*; para lo cual se hizo el análisis de la teoría desarrollada por Fernández (2013).

1.3. Formulación de problema

1.3.1. Problema general

¿De qué manera la optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal, influye en los beneficios económicos de la Empresa Seprocal S.A.C.?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿De qué manera la optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal, influye en los costos operativos en el ciclo de minado de la Empresa Seprocal S.A.C.?
- ¿De qué manera la optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal, influye en el uso de recursos económicos del ciclo de minado en la Empresa Seprocal S.A.C.?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal, en los beneficios económicos de la Empresa Seprocal S.A.C.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar la influencia la optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal, en los costos operativos del ciclo de minado de la Empresa Seprocal S.A.C.
- Evaluar la influencia de la optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal, en el uso de recursos económicos en el ciclo de minado de la Empresa Seprocal S.A.C.

1.5. Justificación de la investigación

Como justificación teórica, la investigación sirve como base teórica para futuras investigaciones relacionadas a programación lineal, incremento del beneficio económico y optimización de las operaciones de ciclo de minado; así mismo, sirve de guía y referencia para Unidades Mineras, empresas contratistas y otras organizaciones que pretendan implementar nuevas técnicas en la optimización de labores.

Como justificación práctica – social, la investigación estuvo orientada a encontrar un método de programación lineal óptimo dentro del cumplimiento de las operaciones involucradas en el ciclo de minado, donde el producto final cumpla con los requerimientos solicitados por el cliente, reduciendo los altos

costos operativos en los que incurre y regulando el uso de los recursos económicos de los que dispone.

Como justificación metodológica, se empleó un instrumento que facilite la identificación de los puntos críticos dentro del desarrollo de las operaciones y planteamiento de alternativas de solución.

Por otro lado, se considera que la realización de esta investigación es importante debido a que la Programación Lineal ha demostrado ser uno de los métodos más útiles para optimizar los costos y procedimientos, por lo que contribuye a la inclusión de los procesos productivos de la Unida Minera; así mismo, optimiza cada uno de los recursos de manera eficiente para obtener un producto de calidad, según las exigencias del cliente. A su vez, la situación desafiante que vienen enfrentando, brinda un nuevo enfoque a la gestión de sus operaciones, creando valor en las empresas, facilitando la toma de decisiones, en relación a las alternativas de solución propuestas por la alta dirección.

Por lo anterior, la investigación permite la optimización de los ciclos de minado, costos en los que incurre y uso de los recursos con los que dispone, analizando cada una de las fallas o “cuellos de botella” detectados en los ciclos de producción.

1.6. Limitaciones de la investigación

El desarrollo de la investigación estuvo condicionado por la empresa al impedir el acceso a información relacionada a los costos y recursos, puesto que son confidenciales, prohibiendo su divulgación. Además, otra de las limitaciones presentadas se relaciona con el acceso a la empresa y proyecto minero, debido a la coyuntura actual por la pandemia ocasionada por el COVID –

19, retrasando el ingreso a la zona de estudios para la aplicación del instrumento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

Villacrés (2016) en su proyecto *“Optimización de costos al sistema de explotación subterránea en la veta Kathy de la Empresa Produmin S.A.”* presentado a la carrera de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería en Geología Minas Petróleos y Ambiental, Universidad Central del Ecuador, para obtener el título de Ingeniero de Minas. Quito, Ecuador.

Tuvo como objetivo optimizar los sistemas de costos que incurren en las excavaciones subterráneas; por lo que, antes de dar inicio al desarrollo del proyecto, identificó los principales problemas en operaciones de perforación y voladura, sometiendo a dos grupos de prueba a posibles soluciones. Los impactos del proyecto enmarcaron estrategias de mejoras efectivas en el manejo de los recursos minerales y reducción de los costos, materiales e insumos; así mismo, garantizan la seguridad de los operarios y estandarización de cada una de las secciones de la Unidad Minera. El autor concluye con una reducción del

19% a los costos de explotación, detectando que, se produce una mayor inversión en las operaciones de corte y división de las rocas. Por último, recomendó implementar el sistema informático propuesto para continuar y dar seguimiento a la optimización de los costos y procedimientos de explotación.

Orellana (2018) en su trabajo *“Modelo integrado de simulación y optimización para planes mineros de mediano plazo en minería a cielo abierto”*, para optar al grado de Magister en Minería e Ingeniero Civil de Minas, presentado al Departamento de Ingeniería de Minas, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Identificó las potenciales mejoras que podrían ser aplicadas a los sistema de despacho empleando métodos de optimización matemática. Este trabajo, en primer lugar, desarrolló un modelo de optimización, para después aplicar otros de simulación e integración y comparar los resultados con otros estudios realizados. Los resultados muestran tendencias al rendimiento y cumplimiento de actividades, incrementando su productividad en un 6.6% y maximizando la productividad de las operaciones; por tanto, es considerado un modelo que cumple con las expectativas de la industria, lo cual representa una gran ventaja frente a otras técnicas. El autor concluyó que, con la finalidad de incorporar saturación a las rutas del modelo, resultó necesario incorporar nuevos métodos que (además) permitan observar la pérdida productiva real en la operación, cuyo objetivo sea retroalimentar los planes de producción.

Navarro y Moraes (2019) en su artículo *“Optimización innovadora de la mezcla de mineral de hierro en la planificación minera diaria desde un modelo*

de programación lineal” publicado por la Revista de Medio Ambiente Minero y Minería. Brasil.

Desarrolló modelos que optimicen la planificación minera y estudio de nuevas oportunidades en el uso de reservas explotables para el cumplimiento de objetivos económicos. El estudio siguió una metodología orientada a comprender cada uno de los procedimientos en los que incurren las operaciones y las herramientas empleadas; además, identificó los requisitos que guían el desarrollo de los métodos de programación lineal. Los resultados ilustraron las soluciones proporcionadas por los modelos actualizados, destacando la variación diaria en la calidad de los parámetros, considerados como la función objetivo; así también, indicaron el valor mensual de la masa mineral trabajada, comparándola con los límites superiores de la planta de procesamiento. Los autores concluyen que, tras implementar los modelos de programación y realizar las conexiones necesarias, se satisface la demanda del sector y se cumplen con los resultados de optimización en el contexto de planificación de la mina.

Pell et al. (2019), en su artículo *“Optimización ambiental en la programación de la mina mediante la integración de la evaluación de su ciclo de vida”* publicada por la revista Resources, Conservation & Recycling. Reino Unido.

Aplicó evaluaciones del ciclo de vida, útiles para cuantificar los costos ambientales de los proyectos mineros, en retrospectiva de las minas en operación. Este artículo presenta una metodología que lleva a cabo un Análisis del Ciclo Vital para la extracción que genere datos de evaluación de impacto del ciclo de vida que pueden formar un modelo de bloque ambiental de un depósito. Estos datos espacialmente explícitos son usados como una restricción dentro de

las simulaciones de programación de minas a largo plazo. Los resultados indicaron que se pueden lograr reducciones significativas en el impacto del calentamiento global a un pequeño costo económico. Por ejemplo, utilizando una restricción ambiental fue posible lograr el 91,9% del impacto del calentamiento global y alcanzar el 95,9% del valor actual neto en comparación con la línea de base. Se exploran diferentes restricciones y escenarios económicos y se lleva a cabo un análisis de decisiones multicriterio. Este enfoque permitió incluir consideraciones ambientales en la planificación estratégica de la mina. Esto es importante porque la minería seguirá formando una parte importante de la sociedad en el futuro previsible. La integración de consideraciones medioambientales en las primeras etapas de la planificación de la mina puede ayudar a impulsar la extracción de materias primas responsable con el medioambiente.

Nday y Thomas (2019), en su artículo *“Optimización del tiempo de ciclo para aumentar la productividad en la Minera Ruashi”* publicada por la revista del “Southern African Institute of Mining and Metallurgy”. Sudáfrica.

El principal objetivo de la investigación consistió en determinar los componentes reales del tiempo de ciclo, los cuales comprenden el tiempo de espera, carga, acarreo y descarga en los simuladores subterráneos ADT (camiones volquete articulados). Para ello, recopiló datos de dos palas hidráulicas identificando zonas de optimización en tiempo real, comparándolo con los tiempos de ciclo teórico para determinar las limitaciones que afectan la productividad. Así mismo, aplican sistemas de ciclo real creadas por el hombre y las recomendaciones sugeridas para su mitigación. Según los resultados, las

lluvias se convierten en restricciones que afectan negativamente las operaciones, incrementando la producción a medida que alcancen un tonelaje más alto por cantidad producida, medida sobre el tiempo implementado.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Obregón (2016) en su tesis *“Optimización del blending con aplicaciones de programación lineal para el incremento del valor económico del mineral en la Unidad Minera Catalina Huanca S.A.C.”* para optar al título de Ingeniero Metalurgista, presentado a la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Ingeniería de Procesos de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa, Perú.

Propuso la obtención de un mayor rendimiento en la actividad metalúrgica y valor económico en la planta de procesamiento mineral, sustentando su estudio en la problemática detectada en el desarrollo de las operaciones mineras que conforman el Blending. Debido a ello, los resultados indicaron que, el óptimo desarrollo del Blending, permiten a la Unidad Minera, obtener mejores resultados en concentraciones de Zinc y Plomo incrementando un 1% de su calidad de producción y recuperación; así también evidencia un incremento del valor económico en el último trimestre del año 2015. El autor concluyó que, para un incremento en la calidad de recuperación y concentración de los productos minerales, es recomendable el uso de aplicaciones de Programación Lineal y la herramienta Solver; por lo que, recomienda mantener actualizado el stock de los recursos en la zona de labores, lo cual mantendrá los buenos resultados del Blending con el pasar de los años.

Campos y Ricra (2017) en su tesis *“Impacto de la programación lineal con el uso de solver en la optimización de las operaciones de carguío-acarreo*

de mineral en la mina Lagunas Norte, La Libertad 2017” presentada a la Carrera de Ingeniería de Minas, Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada del Norte para optar al título profesional de Ingeniero de Minas. Cajamarca, Perú.

Tuvo como principal objetivo determinar la manera en que la programación lineal impacta en las operaciones de acarreo – carga; por lo que, la investigación emplea un diseño experimental – explorativo, analizando los reportes independientes de tres equipos de carga y memorias anuales, utilizando el software EXCEL SOLVER y Msft. Office (Excel y Word). Los resultados, al verificar el uso correcto del software, evidenciaron una reducción en los costos operativos de producción, dando a conocer la influencia de las decisiones en los procedimientos de optimización. El autor concluyó que la programación lineal y uso del software generaron un gran impacto en la optimización de los costos del proceso, siendo beneficioso para el desempeño de los materiales y equipos. Por último, recomendó realizar investigaciones sobre matemática aplicada y programación lineal aplicada a procesos de minería.

Balvin (2019) en su investigación “*Optimización del ciclo de minado del método de explotación Long Wall para reducir los costos de operación de Marsa*”, presentado a la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Centro del Perú, para optar al título profesional de Ingeniero de Minas. Huancayo, Perú.

Determinó el nivel de influencia de la optimización del ciclo de minado sobre la reducción de costos de operación; por lo que, controla la rigidez de las operaciones de perforación, voladura y sostenimiento. La metodología del

estudio se basó en un enfoque cualitativo, siendo de tipo aplicado, empleando un diseño no experimental y método analítico a 14 tajeos en la zona veta de Cachaco, donde realizó un análisis documental de los reportes y determina los valores de cada una de las condiciones del campo. Los resultados determinaron que la optimización del ciclo de minado se desprende de parámetros como la longitud de las perforaciones, su espaciamiento, la dureza y flexibilidad de la roca, fragmentación del mineral y dilución de los tajeos. El autor concluyó que la optimización de las operaciones sobrepasa las metas trazadas por la Unidad Minera, logrando reducir los costos del ciclo de minado; por lo que, recomendó dar continuidad a los procedimientos y operaciones involucradas en el desarrollo de la investigación.

La Torre (2019) en su investigación *“Optimización y control del ciclo de minado para la reducción de costos operativos en cantera desvío Huachocolpa, Cía. Minera Kolpa 2018”* presentada al Departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de Trujillo para obtener el título de Ingeniero de Minas.

Detalló cada una de las operaciones mineras que inciden en el control de costos operativos de las Unidades Mineras. La investigación empleó una metodología específica, basada en la observación y comparación de las variables de estudio; por lo que, planteó un análisis geomecánico sobre parámetros de operaciones mineras. Los resultados reflejaron que la fragmentación se obtiene de factores de carga y diseño de mallas de sostenimiento; así también, indicaron que el aumento del rendimiento de los equipos en el desarrollo de las operaciones genera también una utilidad sobre la culminación de las obras mineras. Por último, el autor recomendó trabajar y

calcular las operaciones con valores más preciso de los parámetros involucrados en las evaluaciones geotécnicas; así mismo, sugirió realizar un análisis de rendimiento de las maquinarias y establecer un análisis estandar de la producción total.

Gaimés (2019), en su tesis “*Optimización del ciclo de minado para incrementar la productividad diaria en la Cooperativa Minera Limata Ltda.*” presentado a la Carrera de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Tecnológica del Perú, para obtener el título de Ingeniero de Minas.

Propuso optimizar el ciclo de minado de la Cooperativa Minera Limata incrementando la productividad de los equipos y procesos, debido a ello, trabajó bajo una metodología descriptiva y diseño experimental, para una población conformada por todos los bienes de la Compañía Minera, empleando los registros de apuntes y gabinetes según la normativa establecida. El autor concluyó que, la investigación con un incremento en la producción y utilidad diaria, alcanzando una producción de 2492 m³/día. Así mismo, mencionó que se requiere realizar un mantenimiento a cada uno de los equipos y maquinaria pesada (excavadora, volquetes, tolvas, cargadores, motobombas, tractores) cuyo costo asciende a 22550 soles, lo que señala la optimización en las labores, reduciendo las horas de trabajo de 6.9 a 5.5, incrementando su eficiencia en 20%.

2.2. Bases teóricas-científicas

2.2.2. Ciclo de minado

A. *Plan de minado anual*

Documento que detalla cada una de las actividades a realizar por un periodo determinado, en este caso un año. Este plan, de acuerdo a su artículo 34 identifica los posibles riesgos que enfrenta cada uno de los procesos involucrados en la minería, siendo necesario que cuente con estudios de geomecánica, hidrología, geotecnia, hidrogeología, entre otros, los cuales deben basarse en ensayos mecánicos de la roca. Así también, comprende temas como: límites del área de exploración, procedimientos para la preparación y explotación de la zona minera, equipos a utilizar, costos y presupuesto, medidas de seguridad para el personal, temas de salud ocupacional y más (D.S. N° 024-2016-EM, 2016).

a. *Plan de minado explotación a cielo abierto*

Según el Anexo 1 del “Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional” vigente, el Plan de Minado para los procedimientos de explotación a cielo abierto, debe contener:

- Plano general de ubicación de las instalaciones, este debe incluir: la mina, cantera, vías de acceso centros de atención, plano del campamento, coordenadas UTM WGS 84 y otras escalas que sean adecuadas.
- Diseño de tajo, el cual indica los límites de exploración, áreas no minables, secciones verticales y parámetros de diseño de labores.

- Estudio geomecánico, que sustente el ángulo de talud empleado en los tajos y botaderos.
- Diseño del botadero, que incorpore las secuencias de llenado y estabilidad física.
- Diseño del polvorín y casas de fuerza para el almacenamiento de sustancias peligrosas.
- Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional; así mismo, incluir Manual de Organizaciones y Funciones, organigrama, cronograma de capacitación y programas de monitoreo (D.S. N° 024-2016-EM, 2016).

B. Plan de minado explotación subterránea

De la misma manera, el Anexo 1, para planes de minado de explotación subterránea, debe contener:

- Plano general de las instalaciones superficiales.
- Estudio geomecánico para la estabilidad del laboreo, el cual facilita la caracterización del macizo rocoso.
- Diseño de las labores mineras, el cual debe sustentarse según el ciclo de minado.
- Diseño de botaderos, indicado en el punto 3.2.1.1.2.
- Diseño de polvorín y casas de fuerza.
- Diseño del sistema de ventilación, el cual garantice su efectividad.
- Plan de gestión de seguridad y salud ocupacional

- Programa de avance en las labores mineras.
- Cronograma de actividades y su ejecución (D.S. N° 024-2016-EM, 2016).

C. Operaciones mineras

Son consideradas como operaciones mineras (Canfield, 2012).

a. Extracción

Cuyos procedimientos, asociados a la corteza terrestre, están enfocados a la obtención de mayores ganancias, al comprender la extracción del mineral desde su lugar de origen, hasta llegar a la planta de proceso. En esta etapa, resulta indispensable contar con los equipos mineros adecuados, según el método a emplear (open pit) y el volumen del material (mena/ MPNC). Actualmente, los países desarrollados y considerados potencia en minería disponen de: equipos de acarreo y carga con mayor capacidad, palas hidráulicas, palas eléctricas, cargadores frontales, equipos de carga. Y cargadores frontales y verticales (Salomón et al., 2018, pág. 11)

b. Procesamiento

Debido a que la mayoría de los depósitos de rocas concentran en su interior metales y minerales, se opta por el procesamiento, al ser la operación que se dedica a la liberación y concentración de dichos minerales mediante los mecanismos considerados “adecuados” para su tratamiento, los cuales son:

- Preparación y liberación del mineral y su separación (en minería, sinónimo de concentración) de dos o más valores.

- Reducción y control del tamaño, a través de la trituración, donde se produce el mineral en pequeñas partículas. Este mecanismo comprende los siguientes procedimientos: reducción de tamaño, separación (por pantallas y ciclones), enriquecimiento y actualización.
- Enriquecimiento, donde se realiza el proceso de lavado, separación por gravedad y separación magnética.
- Mejora, realiza la sedimentación, deshidratación al someter al mineral a procedimientos térmicos.
- Manipulación de materiales, que comprende las etapas de almacenamiento, alimentación, transporte y descarga.
- Desgaste en funcionamiento y sistema de procesos (Balsubramanian, 2015, págs. 2-5).

c. Fundición

La fundición se define como el proceso de cocción que induce una reacción en la que el metal o mineral se reduce y separa de la ganga. Para realizar esta operación debe tenerse las reacciones requeridas exigen dividir al óxido metálico en sus dos componentes: el metal y oxígeno, mientras se licuaba la fracción de ganga. Este procedimiento requiere mantener en funcionamiento el horno durante la mayor parte de tiempo posible, lo que optimiza la mano de obra y eficiencia de la operación. No obstante, los procedimientos (modernos) que se desarrollan dentro del horno, son desordenados e incompletos, al producirse la transformación de las paredes y sustancias minerales (Universität Heidelberg, 2020).

d. Refinación

Proceso que experimenta el material extraído para eliminar todos los minerales indeseables y separarlos de los elementos deseados. Este proceso se lleva a cabo en relación al contenido de elementos pertenecientes al grupo de platino como los materiales radioactivos, metales raros, litio y fósforo; por lo que, debido a su complejidad, requieren una mayor inversión para incrementar la tasa de recuperación del mineral en la industria (que varía en un 50 – 60%). No obstante, el proceso de refinamiento de tierras raras, normalmente produce solo un pequeño porcentaje de los elementos deseables contenidos en el mineral; entonces, maximizar la tasa de recuperación de elementos de tierras raras a través del desarrollo y la perfección de los procesos de refinamiento es vital para aumentar la capacidad de producción de elementos de tierras raras (REE). Así pues, los factores más importantes a considerar para el análisis del beneficio de los métodos de refinamiento son: la tasa de recuperación, el costo financiero, el impacto ambiental y la velocidad del proceso (Canfield, 2012).

D. Optimización del ciclo de minado

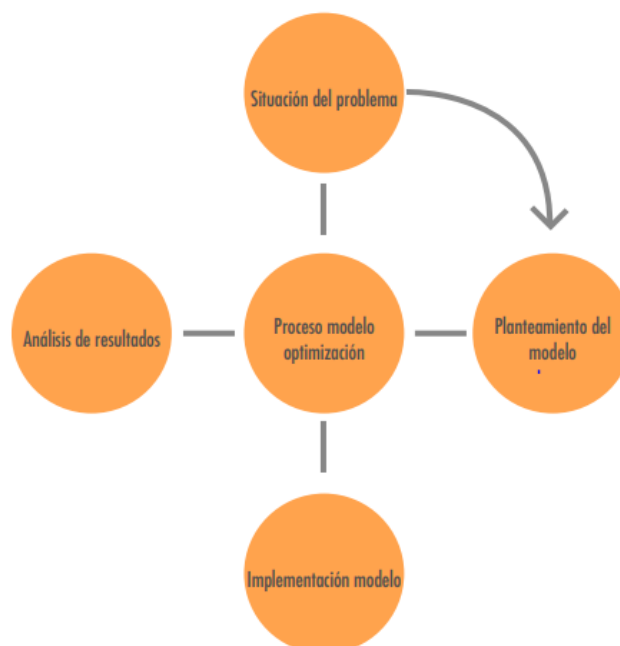
Conocidas como los pasos básicos utilizados en la producción del mineral (durante su extracción) y las operaciones auxiliares que se utilizan para sustentarlos. Estas operaciones se agrupan en: rotura de rocas y manipulación de material, lo cual da origen al ciclo de producción (o minado) y tienden a ser independientes, de naturaleza repetitiva (Ramani, 2012, pág. 16 y 17). Debido a la complejidad de las operaciones, los proyectos de tipo ordinario operan simultáneamente para entregar productos

refinados como oro, plata, carbón y mineral de hierro. Por lo que, si bien cada nuevo proyecto minero tiene sus propios requisitos y necesita un plan individual y personalizado para su descubrimiento, todos los mineros siguen el mismo proceso general que forma la columna vertebral del desarrollo de la mina (K2fly, 2019)

No obstante, para el desarrollo de la investigación, es necesario conocer el concepto de “optimización del ciclo de minado”, entonces, la optimización viene a ser el desarrollo eficiente de una actividad. Es decir, realizar una tarea, que pueda ser aplicada en diferentes ámbitos, de la manera más adecuada, garantizando su funcionamiento (Westreicher, 2020). Los métodos de optimización ayudan a resolver los problemas o “cuellos de botella” presentados en las áreas operativas o administrativas de una organización y, tienen como finalidad, promover el buen uso de los recursos materiales, humanos y financieros (Pérez, 2019, pág. 20).

Figura 1

Esquema de optimización



Nota: Tomado de “Introducción a los modelos de optimización”, Pérez, 2020, pp 20.

Así pues, las aplicaciones de los modelos de optimización, ayudan a encontrar una mejor respuesta para la mejora de los resultados, destacando el incremento de las ganancias, valor de producción y dotación de la mano de obra (López, 2016, pág. 180).

Por tanto, la optimización del ciclo de minado se define como el desarrollo eficiente de las operaciones básicas en la producción de metales y minerales, la cuales generan mayores ganancias o beneficios económicos para la Compañía minera.

E. Fases del ciclo de minado

Son consideradas como fases del ciclo de minado subterráneo (Alianza Mundial de Derecho Ambiental, 2010, pág. 8).

a. Perforación

Operación dentro de la actividad minera, cuyo objetivo es arrancar una máxima cantidad de minerales al ubicar los explosivos en el lugar adecuado; en otras palabras, volar proporciones de rocas o minerales en stopes o tajeos, buscando utilizar la menor cantidad de explosivos en grandes volúmenes de material. Así pues, la perforación se clasifica en los siguientes tipos:

- Manual: la cual emplea el barreno para facilitar la extracción y rotación del mineral. Esta herramienta es sostenida por un ayudante, mientras que otro operario golpea la zona con ayuda de una comba.
- Neumática: emplea una perforadora convencional y el aire comprimido para su funcionamiento, estas herramientas realizan

huecos de diámetro pequeño, al poseer barrenos del tamaño de una punta de bisel, lo que tritura el interior de la roca, simulando un taladro.

- Eléctrica: emplea energía proveniente de un generador para el funcionamiento del barreno helicoidal, realizando perforaciones de hasta 90 cm de profundidad.
- Hidráulica: la cual utiliza la energía hidráulica, en función a un complejo proceso robotizado, de gran avance, y cuenta con una gran ventaja: la precisión.

Así mismo, para el desarrollo de esta operación, es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Clase de terreno: es fundamental identificar las características del macizo rocoso y su comportamiento frente a procesos geológicos para evitar situarse sobre terrenos con un gran número de discontinuidades.
- Caras libres de la labor: conocidas como las zonas a volar, según disposición y contacto con el aire.
- Grado de fragmentación: tamaño o proporción del material perforado.
- Equipo de perforación: herramienta manejada por los perforistas que, para su manejo, tiene en cuenta las habilidades y destrezas del perforista para manipular los equipos (Seguridad Minera, 2016, págs. 10-13).

En tal sentido, la perforación juega un papel importante en la industria minera, ya que los parámetros son parte integral del éxito o fracaso del proyecto, debido que, los operadores y fabricantes exploran continuamente formas de reducir costos y aumentar la productividad de la compañía al mejorar las tasas de penetración de la perforación, disminuyendo su broca (Messaoud, 2006, pág. 1).

b. Voladura

Proceso físico químico, realizado en el disparo de explosivos, el cual rompe los materiales contenidos en los minerales, como el carbón, mena y piedra mineral, cuyo diseño incluye: laLout del patrón del barrenado, selección de explosivos, decoración, tiempo de retraso, patrón de iniciación, derivación y medidas de seguridad necesarias (Adams, 2021). La importancia de esta operación recae en la aplicación de los sistemas de trituración integrado para la optimización de las operaciones mineras, introduciendo un enfoque tradicional donde la influencia de la voladura se traduzca en costos de procesamiento (trituración y separación), rendimiento (ingresos y costos operativos) y ganancias (Cardu, et al., 2014, pág. 338). Así pues, la colocación de explosivos ocurre en diferentes partes, desde las perforaciones o superficie del macizo rocoso, dependiendo de la carga de aplicación adecuada (Adams, 2021). Entonces, resulta necesario responder a la siguiente pregunta ¿qué explosivos se utilizan en la minería?

Los explosivos utilizados en la minería son compuestos químicos o mezclas que reaccionan a gran velocidad, estos liberan gas y calor

resultando en altas presiones. También se complementan de agentes explosivos, los cuales incluyen composiciones de combustión lenta utilizadas para sistemas de iniciación, estos son: detonadores, relés detonantes y cabezas de fusibles. Por lo que, se clasifican en cuatro grupos:

- Altos explosivos: TNT, dinamita, gelatinas, cargas híbridas, ANFO, lodos, emulsiones y lodos ANFO
- Bajos explosivos: pólvora negra.
- Explosivos especiales: sísmicos, de recorte, admisibles, de carga perfilada, binarios, LOX y líquidos.
- Sustitutos: agentes expansores, métodos mecánicos, chorro de agua, perforación por chorro y aire comprimido.

No obstante, la caracterización de explosivos depende de varios factores, como la densidad, velocidad de detonación, calor explosivo, fuerza de la masa, diámetro crítico y resistencia al agua, mientras que la cantidad total, se usa para una tarea específica que afecta el rendimiento y los resultados de fragmentación (Adams, 2021). En este último caso, en función de costos, debe ser producto del costo total mínimo de los parámetros de diseño y las dificultades del proceso sobre su producción total sobredimensionada (Cardu et al., 2014, pág. 339).

c. Ventilación

Para la minería, es el proceso que permite el libre tránsito del flujo de aire por la zona minera que se clasifican en natural, auxiliar y principal,

las cuales brinda las condiciones óptimas para la creación de una atmósfera limpia y agradable entre los trabajadores (Positiva, 2017, pág. 8). Este proceso se realiza estableciendo un circuito de aire a lo largo de las labores, resultando indispensable contar con accesos independientes; no obstante, en labores de un solo acceso, es apoyado por un sistema de tuberías que recorre toda la mina principal (Seguridad Minera, 2020). Por tanto, se detallan las razones por las que es necesario establecer un sistema de circulación de aire en una excavación subterránea.

- Permitir la libre respiración de los operarios.
- Disolución de los gases que, en la mayoría de casos, resultan tóxicos, explosivos y asfixiantes.
- Climatización según la profundidad de la excavación.
- Confort térmico para el incremento de la productividad (Positiva, 2017, pág. 8).

Así también, es fundamental considerar un control adecuado sobre la atmósfera minera, la cual debe contar con una temperatura y grado de humedad óptimo para una mejora en el desarrollo de las labores, garantizando la seguridad de los trabajadores. Por lo que, resulta necesario conocer la composición del aire en las minas, debido que, el aire atmosférico se compone de N₂ (78%), O₂ (20.86%), CO₂ (0.20%), argón (0.93%), otros gases (0.01%) y otras impurezas provenientes de gases o polvo de las labores mineras, y la clasificación de gases, los cuales se dividen en: asfixiantes, tóxicos y explosivos (Positiva, 2017, pág. 9). Entonces, para la óptima instalación de un sistema de ventilación, deben considerarse las siguientes etapas:

- Planeación: considera el diseño ingenieril del sistema según los valores pre establecidos y protocolos de seguridad. Es en esta etapa donde se plantea la proyección y exigencias caudales de las labores.
- Programa de gestión: el cual debe incluir el tipo de ventilación y cronogramas de capacitación a los trabajadores para su fácil manejo.
- Estudio técnico: que comprende aspectos relacionados con el diseño del sistema, medición de gases, medición de humedad, medición de la temperatura dentro de las minas, explosividad y prevención de explosiones.
- Construcción de barreras: estas pueden ser de polvo o agua y deben seguir las recomendaciones que figuran en las normativas.
- Registros, muestras y protocolos: donde resulta fundamental con un registro detallado de cada una de las variables que afecte la condición del aire.
- Recomendaciones generales: donde se mencionan los temas de limpieza y monitoreo constante de los gases (Seguridad Minera, 2020).

d. Limpieza

Debido a que la minería implica (necesariamente) excavar y mover toneladas de rocas y tierra para separar el metal o mineral a través tratamientos químicos y de función, puede ocasionar contaminación

por metales pesados y reducir la productividad de las estructuras y operarios. Así también, puede presentar problemas ambientales como: agua contaminada o ácida, roca estéril y suelos contaminados, que afectan directamente a la comunidad aledaña a la zona minera, impactando en la flora y fauna silvestre, generando pérdidas económicas. Por lo cual, se establecen procedimientos de recuperación o limpieza, los cuales se enfocan en reducir las pendientes y montones de desmonte para minimizar la erosión, lo cual optimiza los procesos. Sin embargo, los procedimientos como: la minimización del contacto del agua meteórica con sulfuros potencialmente generadores de ácido en los botaderos, montones y pilas de relaves, y la eliminación de carreteras que minimicen la entrada innecesaria de vehículos, pueden generar un costo sustancial que, muchas veces, impide su ejecución sin importarle las consecuencias que a futuro pueden causar dentro y fuera de la zona minera (Buck y Gerard, 2001, pág. 3).

e. Transporte y acarreo

Proceso por el cual el metal o mineral obtenido es cargado en los equipos de transporte para ser trasladados a la planta mineral. El Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional Minera, en su artículo 292 establece que, para las labores de carga, descarga y acarreo, debe cumplirse lo siguiente:

- Proveer a las locomotoras y automotores de faros delanteros y posteriores; así también, bocinas y frenos, además de dispositivos y señales portátiles de color rojo.

- Ajustar las dimensiones de los rieles a las especificaciones de fábrica, según el peso de los vehículos de transporte.
- Considerar un espacio de 70cm. entre los puntos salientes de los vehículos.
- Utilizar el método de acarreo mecánico de 6 x 1000, considerando el cálculo de las pendientes.
- Verificar que los carros en planos cuenten con los sistemas de engrape adecuado.
- Utilizar palas mecánicas de estribo durante la limpieza.
- Evitar que los carros excedan la distancia límite de transporte.
- Establecer refugios peatonales a una distancia no mayor a 50 m.
- Aislar los cables de trolley, evitando el contacto con los equipos de seguridad y material combustible.
- No exceder la velocidad de 10 km/hora.

Así también, el artículo 294, precisa la verificación de las herramientas de trabajo y las siguientes consideraciones:

- Señales de silbato para el movimiento del convoy: un toque = parar, dos = acercarse al punto de toque, tres = alejarse y cuatro = reducir velocidad.
- Señales de luz con la lámpara: forma horizontal de pared a pared = parar, subir y bajar de forma vertical = acercarse a la señal, vueltas en círculo = alejarse, tapar y destapar = alejarse.
- Código de señales: el cual debe ser colocado en la casa de winche, sobre cada nivel:
 - ✓ Un toque corto: parar la jaula en movimiento.

- ✓ Un toque largo: parar la jaula cuando el timbrero no entiende o confunde la señal.
- ✓ Dos toques cortos: bajar lentamente.
- ✓ Tres toques cortos: subir lentamente.

Además, para los frenos y embragues, el artículo 299 señala:

- El sistema de frenos debe sostener la jaula y conectarse al sistema si el winche trabaja en su máxima velocidad.
- Los embragues deben de ser aplicados en su totalidad y ser engranados para soltar el freno del tambor.
- La velocidad de transporte varía según especificaciones del fabricante y profundidad del pique.

También, durante el desatoro y carga de mineral o desmonte, es fundamental evitar el desplazamiento del material y cumplirlo siguiente:

- Construir chimeneas de rocas competentes y resistentes a golpes de caída.
- Construir tolvas unidad en codos cercanos a 10 y 15 metros de altura.
- Inspección continua del estado de conservación de la tolva.
- Construir compuertas sólidas metálicas con dispositivos electrónicos o paneles de control (D.S. N° 024-2016-EM, 2016).

f. Sostenimiento

Operación que incide en la productividad y velocidad de la mina el cual contribuye a la seguridad de labores del personal, teniendo en cuenta las consecuencias de la caída o desprendimiento de rocas. Esta

operación tiene por finalidad, movilizar y conservar la inherencia del material rocoso combinando elementos de soporte sobre discontinuidades y cargas individuales. Así pues, la elección del tipo de sostenimiento depende la extensión de la zona de roca suelta o fractura, clasificándose en (Osinergmin, 2017, pág. 94).

- Pernos de anclaje: los cuales proporcionan esfuerzos sobre el material rocoso desde los primeros instantes de su instalación. Estos deben contar con las siguientes propiedades: resistencia del límite elástico y ruptura; así mismo, el tipo de perno a emplear debe considerar las características del macizo rocoso y su efecto sobre este.
- Malla metálica: método eficaz, el cual retiene las caídas de pequeños bloques de material rocoso, siendo empleado junto a los pernos de anclaje.
- Concreto lanzado: mortero transportado mediante mangueras para ser lanzado sobre la superficie de recubrimiento, fraguando la resistencia.
- Cable bolting: método efectivo para detener el movimiento de las rocas sobre la superficie, modificando su fuerza de arranque.
- Cimbras metálicas: estructuras de arco compuestas por perfiles de acero, las cuales soportan las rocas sueltas del techo y paredes de los túneles.
- Puntales de madera: formado por postes de madera, instalados de forma perpendicular las cajas y tajeos de explotación.

- Paquetes de madera: usados como apoyo de los puntales según la carga y altura de la superficie.
- Cuadros de madera: diseñados para soportar cargas verticales debido al peso muerto de la roca del techo del túnel.
- Pre refuerzo del macizo rocoso: método incluido en el sostenimiento al facilitar la excavación del túnel, el cual garantiza la seguridad y condicionamiento apropiado para las condiciones del sostenimiento.

Así mismo, es de vital importancia verificar las suposiciones consideradas en el diseño de los sostenimientos, considerando el control de calidad, el cual sigue los siguientes procedimientos

- Definir las medidas de control para una correcta instalación.
- Cumplir las especificaciones y recomendaciones del fabricante.
- Conocer la normativa de compra y entrega de los elementos del sostenimiento
- Almacenamiento adecuado de los materiales.
- Emplear las buenas prácticas de instalación y manipulación.
- Verificar que el material cuente con las certificaciones de calidad.
- Facilidad de acceso a la excavación.
- Orientar a los operarios, sobre los procesos, durante la instalación.
- Establecer el diseño de una guía que contenga los Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro (PETS).
- Emplear el control visual y de instrumentación sobre el macizo rocoso (Osinergmin, 2017, págs. 100-108.).

2.2.2. Beneficio económico

El Beneficio económico (BE, en adelante) conocido como la diferencia entre el beneficio contable (BFO) y valor de las acciones al multiplicarlos con su rentabilidad (K_e), basado en la siguiente fórmula:

$$\mathbf{BE = BFO - K_e \times Evc}$$

Este beneficio mezcla los parámetros contables dentro del mercado y las compara con la rentabilidad de sus acciones, buscando comprobar el valor neto y contable de sus inversiones, además de la creación de valor, dependiendo de los periodos (Fernández, 2013, pág. 3).

En otras palabras, se refiere al beneficio que toma en cuenta los costos, considerado en los Estados de Resultados, y aquellos que son considerados implícitos en la empresa, sin ser registrados en los reportes, considerando que:

$$\mathbf{BE = INGRESO TOTAL - COSTO ECONÓMICO TOTAL}$$

Donde el costo económico total, se calcula con la suma de los costos implícitos (no registrados) y explícitos (registrados).

No obstante, este beneficio puede ser (o no) positivo para la empresa, debido a que su importancia se fundamenta en el óptimo nivel de producción. Es decir, que reconoce un pago requerido para el uso de los recursos que provee el propietario a su empresa. (Velázquez, 2011, pág. 13).

Entonces, el BE sirve para comparar lo que una empresa obtiene según los recursos utilizados y lo que obtendría si utilizara los recursos de diferente manera (Quiroz B. , 2016, pág. 206).

A. Clasificación del Beneficio económico

El BE puede clasificarse en:

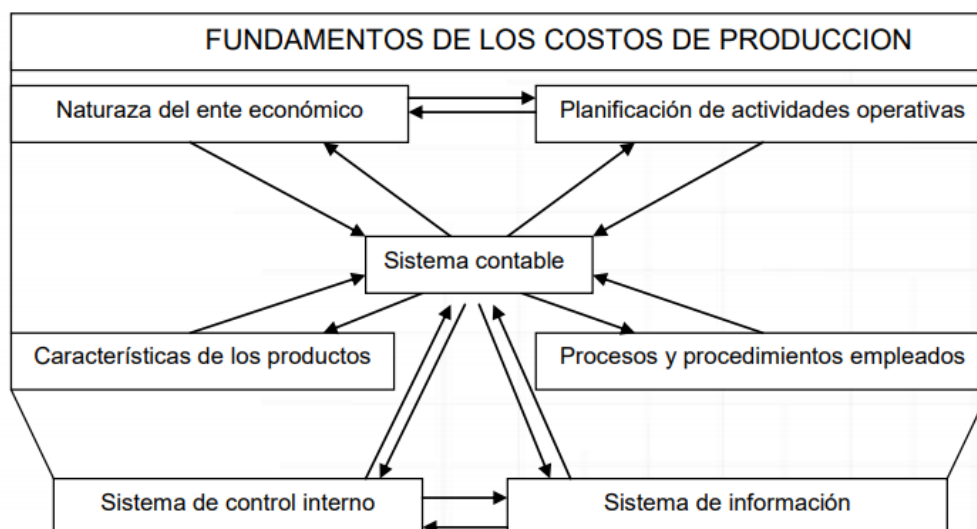
- Beneficio económico negativo: lo que significa que la empresa obtiene menor beneficio, al compararla con diferentes aplicaciones de los mismos recursos (Quiroz B. , 2016, pág. 207).
- Beneficio económico nulo: significa que la empresa obtiene el mismo beneficio al compararlo con nuevas alternativas para utilizar los mismos recursos (Quiroz B. , 2016, pág. 207).
- Beneficio económico positivo: significa la obtención de mayores beneficios comparado con nuevas alternativas para la utilización de los recursos. (Quiroz B. , 2016, pág. 208).

B. Costos:

Definido como la inversión realizada para el desarrollo de actividades que proporcionen un beneficio económico a la empresa inversionista. Los costos se traducen en términos monetarios, según los procesos realizados, estos pueden ser: proceso de producción, de administración o distribución (Universidad Autónoma de México, 2003, pág. 26). Estos, se fundamentan en la naturaleza de la empresa, planificación de actividades y características del bien producido, integrándose a un sistema de contabilidad para un mejor control interno, según los procedimientos y funciones realizadas (Ramírez, 2010, pág. 26).

Figura 2

Fundamento de los costos



Nota: Tomada de “Fundamentos y técnicas de costos”, Ramírez C., 2010, pág. 26.

Así también, los costos se clasifican de la siguiente manera: costos de manufactura, costos de mercado, costo por orden de fabricación, Costo por procesos, costos históricos, costos predeterminados, costos de absorción, costos directos, costo total y costo unitario, costo fijo y costo variable, costo incremental, costo de oportunidad, entre otros (Reyes, 2010).

a. Costo de operaciones mineras

También conocido como el gasto monetario, encargado de medir, en términos de dinero, las operaciones minerometalúrgicas de un proyecto o unidad minera. Estos costos se valorizan en dólares americanos por toneladas (US/Tn) y se clasifican en: costos de operación del usuario, calculado en función al precio de los insumos y su valor en el mercado, y costos de operación de la comunidad, los cuales se calculan sin considerar los subsidios e impuestos.

Los costos, en las operaciones mineras, se calculan en función a las variables que mantienen o reducen la operación, estas son; mano de

obra y tonelaje de mineral extraído (enfocado en la productividad), e insumos y maquinarias (considera la calidad, garantía y criterios preventivos para su funcionamiento); por lo que, reina el siguiente criterio “menor costo, mayor tonelaje y óptima productividad” (Huaypar y Medina, 2010).

C. Recursos económicos

Un recurso, considerado como una fuente o suministro a partir de los cuales se producen beneficios económicos para la institución, los cuales sean capaces de transformarse para producir beneficios, comprendiendo lo siguiente: agua, alimentos o minerales. En el campo de las ciencias económicas estos reconocen tres categorías, también denominados factores de producción: (i) tierra; (ii) mano de obra; y (iii) capital. Los tres son recursos que se encuentran en abundancia en la ciudad, aunque no en proporciones directas.

Dependiendo del tamaño y la distribución espacial de una ciudad, los recursos de la tierra incluyen todos los recursos naturales, tanto en el lugar de producción como la fuente de recursos necesarios para el proceso de producción (materias primas), los recursos laborales o humanos (abundante en las ciudades) y los recursos de capital, los cuales abundan en el lugar de residencia. Los recursos de capital son necesarios para movilizar otros recursos como la tierra y la mano de obra para trabajar para la producción de bienes o medios de producción hechos por el hombre (maquinaria, edificios y otras infraestructuras) utilizadas en la producción de bienes y servicios. Las personas, a su vez, consume los bienes que se producen y

exportan parte de ella; a cambio, los bienes que no son producidos dentro de la zona, son considerados importados (Weng, 2016).

D. Beneficio económico en la minería

La minería, por lo general, depende de variables macroeconómicas clave, como: exportaciones, tributos, inversiones y generación de empleo, para traer consigo una estabilidad en las políticas económicas y abundancia de recursos, al considerar la producción de minerales como actividad de gran demanda en el mercado mundial. Sin embargo, desde el punto de vista financiero, esta actividad presenta algunos inconvenientes, los cuales desplazan los costos, como:

- Volatilidad de los minerales en el mercado.
- Ciclo de vida corto, referente a las minas.
- Riesgos ambientales, afectando directamente a la comunidad, sociedad en general, cultura y el desarrollo del proyecto minero (Espinosa et al., 2016)

a. Programación lineal

Método que hace referencia a las técnicas matemáticas usadas en la asignación de los recursos a la entidad demandante. En otras palabras, es un método de optimización que busca minimizar o maximizar una función lineal, sujeta a restricciones, con miras a la toma de decisiones; así pues, este método es aplicable a diferentes campos económicos como: transporte, producción, minería, telecomunicaciones, etc. (Puente y Gavilánez, 2018, pág. 8). Este método, básicamente, comprende la cantidad de productos según la cantidad de recursos; por

lo que, al hacer referencia a su rendimiento, se habla de la optimización y mejora de los sistemas (Guerrero, 2017, pág. 3), siendo capaz de manejar un sinnúmero de problemas gracias a su versatilidad y la facilidad con la que se adapta a un modelo (Lewis, 2008, pág. 3).

E. Características de la programación lineal

Debido a que la programación lineal es ampliamente utilizada en muchas organizaciones, gracias a su facilidad de formulación y solución de conflictos organizacionales, representa una relación entre una o más variables, directas y proporcionales (Aquino, 2012, pág. 26), cuenta con cuatro propiedades comunes:

- Optimiza cantidades (o función objetivo).
- Tiene en cuenta las restricciones y limitaciones del grado de modificación de las variables que afectan las cantidades.
- Presenta diferentes alternativas relacionadas con la solución del problema.
- Es guiada por una función lineal, la cual expresa las restricciones representadas en ecuaciones o inecuaciones lineales (Valencia, 2018, pág. 26).

F. Ventajas y desventajas de la programación lineal

Son consideradas ventajas de la programación lineal

- Adquiere un alto rango de soluciones alternativas para prevenir consecuencias que puedan perjudicar la actividad.
- Fácil aplicación, selección y distribución.

- Objetividad de decisiones en la formulación de problemas matemáticos y modificación de sus soluciones.
- Identifica, oportunamente, los “cuellos de botella” de cada una de las operaciones.

Por otra parte, este método, presenta ciertas desventajas, propias de toda técnica matemática:

- Presenta complicaciones en la formulación de expectativas de precio, pues los datos no son conocidos por el sistema.
- No estima la relación entre los insumos y producto final.
- No se involucra en situaciones de riesgo (Coronel, 2004, pág. 6).

G. Aplicaciones de la programación lineal

En los últimos años, se han descubierto diferentes campos de aplicación, de manera continua, para la programación lineal, los cuales se detallan son: campo de las matemáticas, economía, industria (petrolera, química y de alimentos, energía eléctrica, minería, transporte, pesca, producción, agricultura, construcción, entre otros (García & Romero, 2004). Además, gracias a sus orientaciones, son aplicadas en los problemas de administración de operaciones, los cuales son:

- Planificación y ventas agregadas, orientada a buscar y encontrar nuevos programas de producción, a un costo mínimo, enfrentando las limitaciones y satisfaciendo la demanda proyectada.
- Análisis de productividad y grado de eficiencia de los procedimientos incluidos en la producción del bien o servicio.

- Planificación de la producción, encargada de encontrar la composición recomendable del producto final, teniendo en cuenta el beneficio económico.
- Ruta del producto, define el camino óptimo de fabricación y caracterización, encontrando el rumbo de los recursos.
- Control de procesos, donde detecta los cuellos de botella y minimiza la merma y desperdicio.
- Control de inventarios y almacenes.
- Programación de la distribución al encontrar una óptima combinación entre el embarque y transporte del producto.
- Evaluación de la ubicación de la planta y los costes de embarque (Puente & Gavilánez, 2018, págs. 9-11).

H. Componentes de la programación lineal:

La programación lineal reconoce tres componentes:

- Función objetivo, definida en forma de ecuación lineal, está orientada a la optimización de los criterios de valor para la solución de los problemas de maximización y minimización.
- Posibles actividades, utilizada en el sentido de los procesos alternativos, orientados a la solución de problemas, ejecutados dentro de la empresa.
- Restricciones, conocidas como las limitaciones condicionadas por los procedimientos (Coronel, 2004, pág. 4).

I. Problema general de la programación lineal

Considerado como la problemática de programación convexa, las cuales exhiben las características especiales de una solución óptima a los problemas que descansan sobre las restricciones y no en el interior de la

región convexa, donde se cumple el sistema de desigualdades. Este problema puede tener una, infinitas o ninguna solución, siendo posible un crecimiento o decrecimiento indefinido. Por tanto, el procedimiento establecido para la solución de problemas es:

- Identificar las interrogantes.
- Describir la función objetivo, en relación a los datos del problema.
- Describir cada una de las restricciones.
- Establecer posibles soluciones.
- Calcular las coordenadas de los vértices de la región de soluciones factibles.
- Calcular el valor de la función objetivo en cada uno de los vértices.

Así mismo, al presentar los factores condiciones de desigualdad, las variables (previamente identificadas) adoptan formas de negatividad al querer maximizar o minimizar la función objetivo, considerando las siguientes formas para la manipulación del problema:

- Desigualdad de restricciones: representando la diferencia entre ambos extremos de las restricciones.
- Variables URS: variable negativa dentro del contexto del problema.
- Minimización / Maximización, según la función objetivo del problema (Lewis, 2008, págs. 6, 7).

J. Condiciones de la programación lineal

Para el planteamiento de un problema de programación lineal, se deben cumplir estas cinco condiciones básicas:

- Recursos limitados: considerando la cantidad de horas de trabajo, maquinarias, equipos e insumos.

- Objetivo explícito: el cual hace referencia a las utilidades y costos, según la maximización o minimización.
- Linealidad, la cual se identifica con la cantidad de los factores y productos.
- Homogeneidad, uniformidad en la producción elaborada.
- Divisibilidad, separación (en fracciones) de los recursos utilizados (Puente y Gavilánez, 2018, pág. 11).

K. Métodos de Programación lineal

Son considerados los principales métodos empleados en la programación lineal:

- a. Método simplex: cuyo cálculo facilita establecer dos requerimientos para las restricciones de la Programación lineal: i) restricciones ubicadas en el lado derecho, no negativos; ii) las variables z son no negativas.
- b. Dualidad y análisis post óptimo: definida a partir del modelo original del problema inicial, relacionándolos de forma automática, como ecuaciones, para su aplicación de forma directa.
- c. Modelo de transporte: basado en transición de los artículos partiendo de la fuente, culminando en el destino o bodega. Este procedimiento tiene como propósito minimizar los costos de transporte y satisfacer el límite establecido por el mercado.
- d. Modelo de redes: optimización de una serie de nodos, entrelazados por ramas para asociarse a cualquier tipo de flujo limitado por su capacidad (Taha, 2004).

2.3. Definición de términos básicos

- **Ciclo de minado:** pasos básicos utilizados en la producción del mineral (durante su extracción) y las operaciones auxiliares que se utilizan para sustentarlos (Ramani, 2012).
- **Barreno** abertura cilíndrica perforada en la roca para la colocación de explosivos (Ramani, 2012).
- **Beneficio:** mejora u optimización de cualquier parámetro de medición de cualquier indicador (Ducardo, 1995).
- **Ecuación lineal:** operación matemática de primer grado, que involucra una o más variables (Taha, 2004).
- **Estado de resultados:** formato de resultados o registro de ganancias y pérdidas que recoge el ingreso y salida de dinero dentro de una organización (Quiroz B. , 2016).
- **Explosivos:** sustancia química, empleada para actividades de perforación o voladura (Messaoud, 2006).
- **Función objetivo:** definida en forma de ecuación lineal, está orientada a la optimización de los criterios de valor para la solución de los problemas de maximización y minimización (Coronel, 2004).
- **Limitación:** condición que limita el desarrollo de una acción (Messaoud, 2006).
- **Maximización:** función que varía en función a una combinación de objetivos, según el software empleado (Taha, 2004).
- **Mineral:** agregado de minerales económicamente rentable dentro de las operaciones de extracción (Ramani, 2012).

- **Minimización:** basada en la función objetivo, halla los bordes de la zona factible del método utilizado (Taha, 2004).
- **Optimización:** desarrollo eficiente de una actividad que garantiza su funcionamiento (Westreicher, 2020).
- **Programación lineal:** método de optimización que busca minimizar o maximizar una función lineal (Puente y Gavilánez, 2018).
- **Recursos:** elemento, factor o instrumento involucrados en la producción del bien y servicio, cuyo propósito está orientado a satisfacer las necesidades de una sociedad (Ducardo, 1995).
- **Restricción:** limitación producida sobre cualquier actividad o acción (Fernández, 2013)

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal, incrementa significativamente los beneficios económicos de la Empresa Seprocal S.A.C.

2.4.2. Hipótesis específicas

- La optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal, reduce notablemente los costos operativos en el ciclo de minado de la Empresa Seprocal S.A.C.
- La optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal, garantiza un uso eficiente de los recursos económicos en el ciclo de minado de la Empresa Seprocal S.A.C.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variables independientes

Optimización ciclo de minado.

2.5.2. Variable dependiente

Beneficio económico.

2.5.3. Variables intervinientes

Sistema de programación lineal.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

- **Optimización ciclo de minado**

Mejora en la ejecución de las operaciones de perforación, voladura, ventilación, limpieza, transporte y sostenimiento, consideradas básicas en la producción de minerales, las cuales generan beneficios económicos para la empresa.

- **Beneficio económico**

Mejora en la ejecución de las operaciones de perforación, voladura, ventilación, limpieza, transporte y sostenimiento, consideradas básicas en la producción de minerales, las cuales generan beneficios económicos para la empresa.

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Escala
Optimización ciclo de minado	Desarrollo eficiente de las operaciones básicas en la producción de metales y minerales, la cuales generan mayores ganancias o beneficios económicos para la Compañía minera.	Mejora en la ejecución de las operaciones de perforación, voladura, ventilación, limpieza, transporte y sostenimiento, consideradas básicas en la producción de minerales, las cuales generan beneficios económicos para la empresa.	Perforación	Tipo de perforación	Tipo y método de perforación empleado.	Razón
				Clase de terreno	Características del terreno.	
				Nº de caras libres de labor	Número de caras libres en la zona minera.	
				Grado de fragmentación	Proporción de la roca a fragmentar.	
				Equipo de perforación.	Tipo de equipo utilizado.	
			Voladura de rocas	Funcionamiento del sistema de trituración	Buen procesamiento del sistema implementado.	
				Control de explosivos	Densidad.	
					Velocidad detonación.	
					Fuerza de la masa.	
					Resistencia al agua.	
			Diámetro crítico.			
			Ventilación	Plan de ventilación	Diseño y supervisión.	
				Manejo del circuito de ventilación.	Plan de ventilación.	
				Control de la atmósfera.	Medición de gases	
			Medición de humedad			
Desate mecanizado	Mecanización del desatado	Intensidad				
		Desatado con scaler				
Sostenimiento	Tipo de sostenimiento	Tipo de sostenimiento empleado en la mina.				
		Sistema de control de	Medidas de control para instalación.			

			calidad.	Control del área de almacenamiento. Mapeo de la zona minera. Periodos de capacitación al personal. Verificar que la zona cuente con las PETS. Control visual del macizo rocoso.		
			Periodo de limpieza.	Días y horas de limpieza a la semana.		
		Limpieza y acarreo de mineral	Procedimiento de limpieza.	Insumos empleados. Equipos empleados.		
			Tipo de vehículo.	Vehículo empleado para el transporte.		
			Sistema de carga.	Señalización. Método de transporte y acarreo.		
		Relleno hidráulico	Relleno hidráulico	Material para el relleno hidráulico Separación de gruesos Separación de finos		
Beneficio económico	Beneficio que mezcla los parámetros contables dentro del mercado y las compara con la rentabilidad de sus acciones, buscando comprobar el valor neto y contable de sus inversiones, además de la creación de valor, dependiendo de los periodos (Fernández, 2013)	Beneficio que compara la rentabilidad de las acciones y valor neto, resultado de las operaciones, considerando los costos y recursos.	Costos	Monto de los costos de operación.	Inversión en maquinarias y equipos. Inversión en operarios. Otros costos en los que incurre.	Razón
			Recursos	Control en la distribución.	Distribución de recursos materiales. Distribución del recurso humano. Control de capital.	Nomina 1
			Ingresos	Ingresos totales	Ingresos totales por contrata	Razón

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La investigación fue de tipo aplicada; este tipo de investigación tiene como propósito generar nuevos conocimientos a partir de la revisión de fuentes bibliográficas y nuevas teorías adquiridas durante el proceso (Lozada, 2014). Así también, la investigación aplicada se limita a seguir una serie de pasos secuenciales que buscan obtener resultados que comprueben las hipótesis planteadas (Hernández et al., 2014). Por tanto, la presente investigación hizo uso de teorías y técnicas aplicadas a la programación lineal y la manera en qué, esta técnica, optimiza las operaciones del ciclo de minado e incrementa el beneficio económico de la empresa Seprocal S.A.C.

3.2. Nivel de investigación

La investigación fue de nivel explicativo, la cual trata de explicar la relación de causa – efecto entre variables independientes y dependientes (Hernández et al., 2014). Entonces, el estudio fue del mencionado nivel ya que

explicó los posibles efectos del uso del sistema de programación lineal sobre el ciclo de minado y cómo incrementa el beneficio económico de la empresa.

3.3. Métodos de investigación

La investigación utilizó el método inductivo – deductivo, el cual parte del descubrimiento inicial de una realidad particular para así buscar conclusiones que pueden ser generalizadas o usadas nuevamente para sustentar nuevo conocimiento científico. Por tanto, la presente investigación, hizo uso del mencionado método al partir de la búsqueda de nuevas alternativas para lograr la optimización del ciclo de minado, el cual incrementa el beneficio económico, permitiendo generar conclusiones genéricas (Hernández et al., 2014).

3.4. Diseño de investigación

La investigación empleó un diseño pre-experimental, considerado de utilidad para el acercamiento del investigador y la problemática formulada; sin embargo, el control sobre el grupo seleccionado para el estudio es el mínimo (Hernández et al., 2014). En tal sentido, la presente investigación evaluó el nivel del beneficio económico, antes y después de aplicar la programación lineal para la optimización del ciclo de minado, guiándose del siguiente esquema:

GE: O1..... x O2

Donde:

GE: grupo experimental.

O1: Beneficio económico antes de la aplicación de la programación lineal en la optimización del ciclo de minado.

X: Programación lineal del ciclo de minado.

O2: Beneficio económico después de la aplicación de la programación lineal en la optimización del ciclo de minado.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Se define como población al conjunto de individuos, con características en común, sobre los cuales se desarrolla la investigación, mientras que la muestra, es el subconjunto de la población, seleccionada por diferentes técnicas de muestreo, a criterio del investigador (Hernández et al., 2014). Para la presente investigación la población estuvo conformada por la Empresa Contratista Minera SEPROCAL S.A.C.

3.5.2. Muestra

La muestra de la población de esta investigación la componen los ciclos de minado a los que incurre la empresa y las Unidades Minera con las que trabaja.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La investigación utilizó la observación como técnica de recolección de datos y la ficha de observación, elaborada en base a los indicadores, como instrumento. La observación, conocida como la técnica que se adentra en una situación en específico, donde el investigador mantiene un papel activo al estar pendiente de los detalles, eventos, sucesos e interacciones (Hernández et al., 2014, pág. 399). Durante la observación, quedó a criterio del investigador el utilizar, o no, un formato donde se plasmen los datos obtenidos.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

Considerando que la investigación empleó la técnica de recolección de datos para realizar la programación lineal no resultó necesario contara con validez y confiabilidad.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el desarrollo de la investigación se realizaron los siguientes pasos:

- Identificar las variables de estudio.
- Formular la ficha de observación en base a los indicadores.
- Corroborar la validez de la ficha de observación por medio de los criterios de teoría a utilizar y opinión de expertos.
- Realizar las correcciones correspondientes.
- Aplicar las fichas de observación en la zona de investigación.

Para el análisis de datos, el investigador hizo uso de los softwares Stata14, SPSS y Excel 2016. Para la validación de los datos, se aplicó el test de Shapiro Wilk, el cual determinó el uso de los métodos paramétricos o no paramétricos.

3.9. Tratamiento estadístico

Se manejó la estadística descriptiva para el procesamiento de datos obtenidos al culminar con los procesos de recojo de información. Esta técnica permite ordenar cada uno de los datos mediante tablas, gráficos y distribución de las frecuencias. Para procesar la información se emplearon los softwares SPSS y hojas de cálculo de Ms. Excel.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

La investigación cumplió con el Reglamento General de grados Académicos y Títulos Profesionales de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Se garantiza que la investigación es original y de creación del investigador, de manera que se somete a todas las revisiones y consideraciones que se estime conveniente para su aprobación.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

El trabajo de campo consistió en hacer un análisis del ciclo de minado que realizaba la empresa Seprocal S.A.C y luego evaluar sus beneficios económicos; para ello, se hizo una evaluación geo mecánica, un estudio del método de minado que se aplica, del ciclo de minado, y del programa de producción y avances; por otro lado, en lo que respecta a la evaluación económica, se hizo una recopilación de la cantidad y los costos operativos de la mina en estudio.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Los resultados hallados se presentan, analiza e interpretan a continuación:

4.2.1. Optimización del ciclo de minado

A. Generalidades

a. Resumen

Los recursos y reservas de los cuerpos mineralizados de la empresa Seprocal S.A.C ayudan a que la Unidad Minera realice sus tareas de exploración, desarrollo, y explotación mineral, a fin de darle un tratamiento en la planta de beneficio. La explotación polimetálica se lleva a cabo según el Plan de Minado a través del método de explotación Sublevel Stopping y Corte y Relleno Ascendente Mecanizado con Rampas Basculantes.

Dicho Plan de Minado se sustentó en el Inventario de Recursos y Reservas a junio del año 2022; para ello, se hicieron las estimaciones respectivas. Lo hallado en el Reporte técnico fue:

Tabla 2

Reporte técnico de reservas minerales

Categoría	Tonelaje(kt)	%Zn	%Pb	%Cu	Ag g/t
Probadas	3.764	3.76	0.98	0.25	62.9
Probables	10.086	3.74	0.85	0.22	62.8
Total	13.850	3.75	0.88	0.23	62.8

Buscándose que el Plan Minado se ejecute de una manera adecuada fue necesario que se utilice explosivos, e iniciadores de voladura. Para lograr efectividad, se contó con un tipo de malla de perforación para cada tipo de labor, con la secuencia de iniciación respectiva, y con el propósito de lograr un nivel de fragmentación óptimo, aplicando cierto control sobre la carga que opera y las vibraciones, logrando así reducir la perturbación del macizo rocoso.

b. Marco legal

Se tuvo en consideración el D.S 024-2016-EM que describe las acciones a realizar por 365 días y establece los límites de las zonas de exploración, y otras actividades relacionadas, así como la metodología a utilizar.

B. Geología

a. Exploraciones

- **Programa de exploraciones**

La fuente de datos en una Unidad Minera para aumentar la cantidad de recursos geológicos debe seguir los indicado en los programas de perforación diamantina.

–Programa de recategorización. Ayuda a que los recursos inferidos sean más confiables para que luego se haga una evaluación y se pasen a una categoría de mayor nivel.

–Las perforaciones diamantinas de exploración. Ayudan a que se encuentre nuevos recursos. Para este programa, las máquinas de perforación se ubican en seis cámaras de donde se dará orientación de sondajes con el propósito de lograr los objetivos.

Tabla 3

Labores programadas exploraciones

Cámara	Target	Unid.	Progr.
Cam01	Sara UG (Tunel Longreras)-3600	m.	-
Cam02	Don Lucho_VAM-3700	m.	222
Cam03	CN3_4050	m.	-
Cam04	Integración 4050	m.	88
Cam05	Integración 3790	m.	116
Cam06	Integración 3300	m.	-
Sub total		m.	426

Tabla 4**Programa de perforación diamantina por objetivos**

Perforación para ubicar nuevos recursos (target)		Nivel	Unid	Progr.
Cam01	Sara UG (Tunel Longreras)-3600	3600	m.	7.200
Cam02	Don Lucho_VAM-3700	3790	m.	3.000
Cam03	CN3_4050	4050	m.	3.000
Cam04	Integración 4050	4050	m.	2.000
Cam05	Integración 3790	3790	m.	2.000
Cam06	Integración 3300	3300	m.	2.000
Sub total			m.	19.200

Tabla 5**Programa de recategorización**

Perforación para recategorizar los recursos		Nivel	Unidad	Prog
1	DON ERNESTO	3.970	m	1.500
2	CN3 & SOC	3.970	m	5.930
3	PORVENIR 2 OESTE	3.930	m	5.770
4	PORVENIR 2 SUR	3.830	m	3.490
5	PORV. 2 SUR	3.790	m	1.580
6	ÉXITO	3.790	m	1.000
7	CN3	3.730	m	3.140
8	CN3	3.730	m	2.150
9	C2	3.730	m	1.300
10	CARMEN	3.650	m	1.500
11	C2	3.630	m	300
12	1204	3.630	m	1.000
13	VETA 3N	3.630	m	540
14	VETA 3	3.630	m	1.140
15	PROGRESO	3.630	m	700
16	ÉXITO	3.610	m	1.600
17	CN3	3.570	m	700
18	ÉXITO	3.370	m	1.800
19	PORV. 9	3.015	m	1.960
20	C3	2.910	m	700
Sub total			m	37.800

C. Estudio geo mecánico*a. Geomecánica del yacimiento*

- **Caracterización del yacimiento**

Este análisis ayudó a que se defina las particularidades geomecánicas. En este proceso se midió la resistencia a la compresión, el nivel de fracturamiento, el espaciamiento de los sistemas de discontinuidades, y su condición, además del estado del agua subterránea.

- **Clasificación geomecánica**

A fin de caracterizar de manera geomecánica el macizo rocoso, se utilizó el Sistema propuesto por Bieniawski que se sustenta en cinco parámetros a fin de hacer una definición de las particularidades del macizo rocoso. Los parámetros son: resistencia a la compresión uniaxial, espaciamiento de discontinuidades, RQD, condición de aguas subterráneas, y de discontinuidades.

b. Dimensionamiento de excavaciones

- **Dimensionamiento de los máximos límites abiertos**

Ayuda a definir el camino de mayor nivel de excavación para las actividades de la empresa, teniendo en consideración la calidad del macizo rocoso, el estado geológico – estructural y el efecto del agua subterránea. Con estos factores y haciendo uso de las relaciones empíricas y validaciones numéricas se establecen los máximos límites que se permiten en las excavaciones según el tiempo de vida útil al que se expone.

- **Dimensiones de intersecciones**

En todo el proceso de profundización de las operaciones subterráneas de mina suelen presentarse situaciones complicadas no

solo en la comprensión del modo de actuar del macizo rocoso, sino al modo en que se extraerá el mineral.

- **Dimensionamiento de pilares**

El diseño de pilares no se realiza con un óptimo tratamiento técnico debido, principalmente, a que no se realizan actividades mineras con la profundidad suficiente para generar altos niveles de tensión inducida que determinen la estabilidad del pilar y falla posterior.

c. Dimensionamiento del sostenimiento

Para diseñar el sostenimiento de las operaciones se tiene en cuenta lo siguiente:

- Siempre existe la tendencia de que el macizo rocoso se deformará a nivel de deformación debe ajustarse al uso que se le da en el proceso de excavación.
- Para determinar un elemento básico del sostenimiento, se toma en consideración el tiempo de excavación, teniendo en cuenta el paso que el paso del tiempo requiere una degradación natural de las rocas.
- El tamaño del sostenimiento está en función del primer estado tensional, del tamaño de la excavación, y la calidad de las rocas que integren el macizo rocoso circundante.

D. Método de minado

a. Sublevel Stopping

Teniendo en consideración los modelos geomecánicos, geológicos y económicos que se hayan definido en la evaluación, se realizará este método con una altura promedio de 15m y un Span de 20 m. El ciclo de

minado implica tareas individuales que se empelan para cortar y rellenar, las diferencias se aprecian en los tiempos por ciclo, el sostenimiento que se aplica en menor tamaño y la mayor capacidad de producción.

b. Corte y Relleno Ascendente

La empresa viene haciendo uso del método de corte y relleno ascendente con acceso libre y perforación en breasting, que cuenta con un nivel alto de mecanización que genera buenos márgenes de productividad y mayor estabilidad en los hastiales y de la caja techo.

- **Diseño del Método de Explotación**

Empezando con una rampa principal se generan accesos de 60 m. de longitud con gradientes del 15% que tendrá efectos positivos en la disminución de la inclinación. Con solo contar con acceso libre se puede lograr mejoras en el uso de equipos.

E. Operación mina

a. Ciclo minado

El ciclo de minado se conformó por los procesos de perforación, voladura, acarreo y limpieza; así también, se considera como actividades complementarias al desatado y al sostenimiento. Este ciclo comienza con la organización de todos los accesos con gradiente negativo hacia la estructura mineralizada con diseño a fin de generar bancos de explotación en el tajo. Cuando se haya llegado al mineral se realizan actividades de perforación y voladura en breasting hasta que se llegue a uno de los extremos de la misma estructura de mineral. Posteriormente, se realiza el tajo a relleno hidráulico; inmediatamente

se realiza el acceso con una gradiente que haga posible generar otro banco de, aproximadamente, cinco metros.

Con el propósito que se asegure que los tajeos se estabilicen no debe excavarse y debe hacerse lo posible para que no se generen daños superficiales de la roca a raíz de los disparos. Esto requiere que se consiga un contorno especial del techo con mayor cercanía posible a lo teórico.

La Figura 1 y Figura 2 exponen las tareas básicas del ciclo de minado y las mallas de perforación y voladura que se emplearon en la Unidad minera, para actividades de avance como para actividades relacionadas con la explotación. Específicamente, en la Figura 1 se aprecia que la tarea de perforación se realiza de manera horizontal con jumbo de uno y dos brazos; el carguío, requiere la utilización de anfo loader; la limpieza carguío, con scoops de 6yd³ y dumpers de 20Tn; el desate, se realiza de forma mecanizada con el Scaler; y el sostenimiento con Scissor Bolter.

Figura 1

Tareas básicas del ciclo de minado

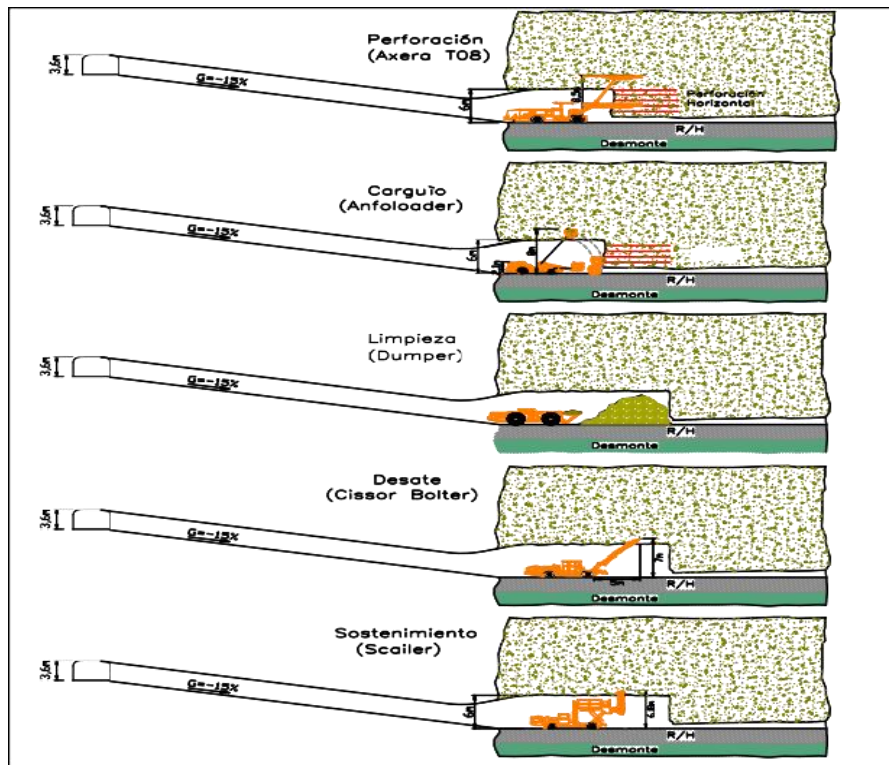


Figura 2

Ciclo de minado



a. Perforación

Es un proceso mecanizado para el método de minado de Corte y relleno ascendente mecanizado; la empresa es la responsable de su ejecución y se utiliza el jumbos electrohidráulicos de 16 pies de longitud de barra. Se realizan entre los 38 y 54 taladros, aproximadamente, en todos los frentes según la calidad del terreno.

La perforación en breasting es muy ventajoso por la estabilidad del techo y las cajas laterales, por el control de dilución y por los factores de seguridad.

La perforación para que se utilice el método AVOCA implica una longitud de perforación de doce a dieciséis metros dependiendo del diseño. Su ratio cambia entre las 6 y 9 toneladas; es decir que cada taladro genera una longitud de quince metros con un tonelaje entre los 90 y 135.

b. Voladura de rocas

El carguío mecanizado fue realizado por una tercera empresa dedicada al servicio de voladura de rocas; para ello se suele utilizar el equipo Anfo Loader. Además, entre los accesorios de voladura que se utilizan en el carguío está el cordón detonante, los detonantes no electrónicos, la mecha de seguridad, y el fulminante común.

Cuando se trata de tajeos, se utilizan detonadores de milisegundos por seis metros de longitud. Con el fin de no realizar una sobre excavación se utilizan métodos de corte en los cuales se emplean taladros de contorno que puedan romper el macizo rocoso que se compone de minerales. El requerimiento más válido de la operación unitaria de

voladura es la rotura del mineral, cuando se realizan voladuras los hallazgos se consideran buenos siempre y cuando la rotura sea uniforme; esto demanda que haya mucha precisión con el propósito de alojar las cargas de explosivo en los lugares previstos.

Figura 3

Diseño de Slot

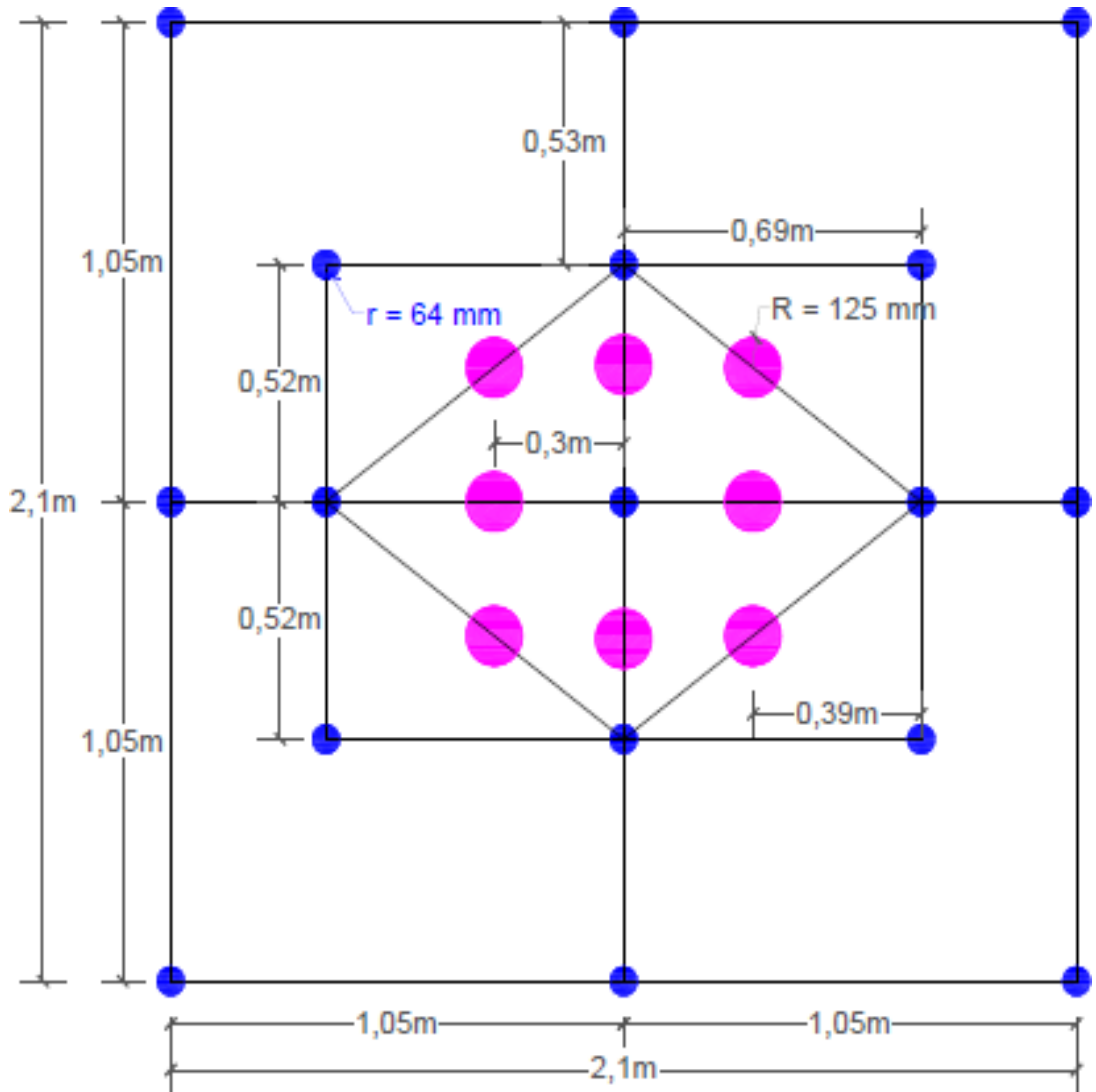


Figura 4

Estándares de perforación y voladura empleando EMULEX 100 y 65, y EXAMON P (i)

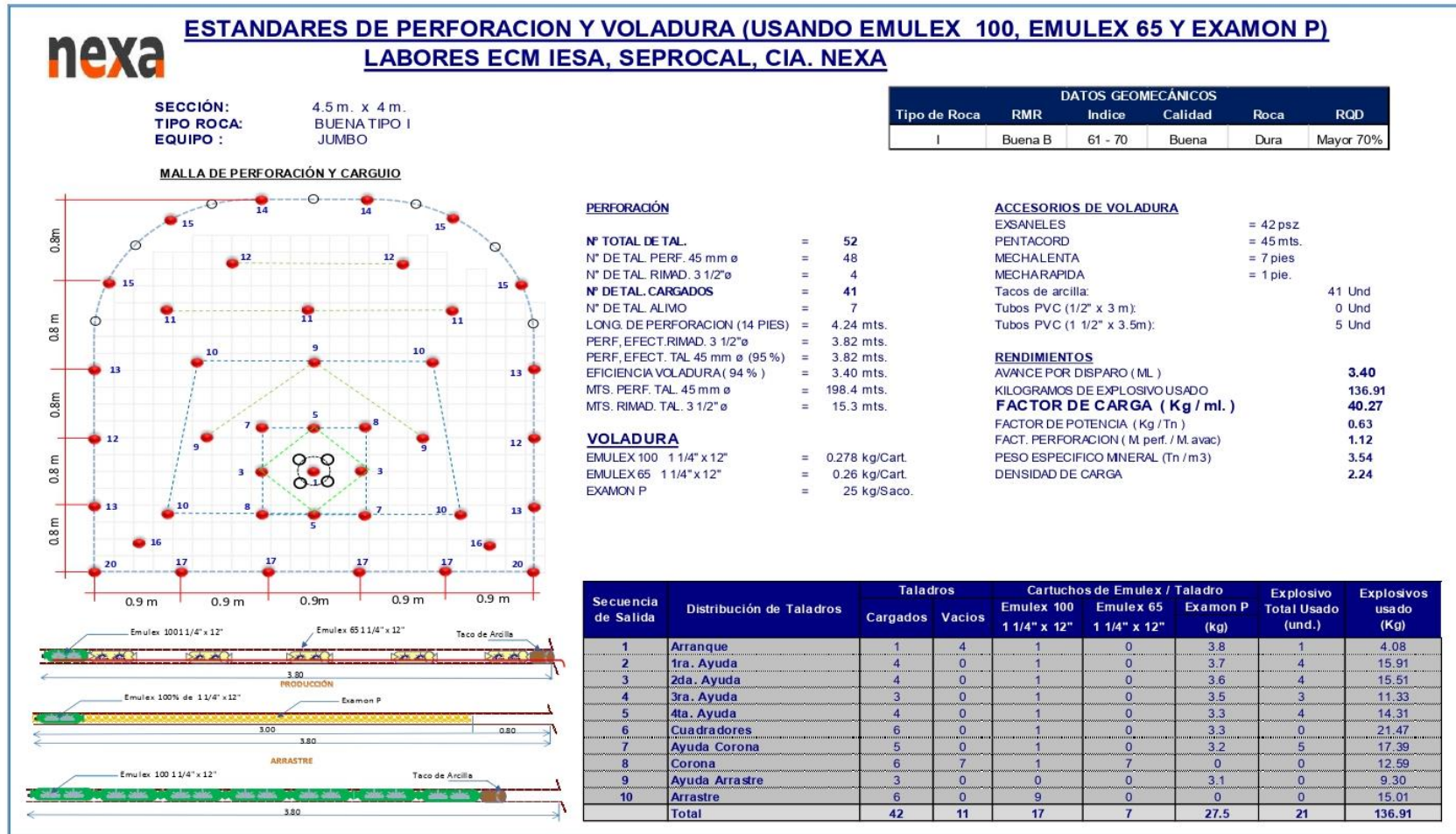
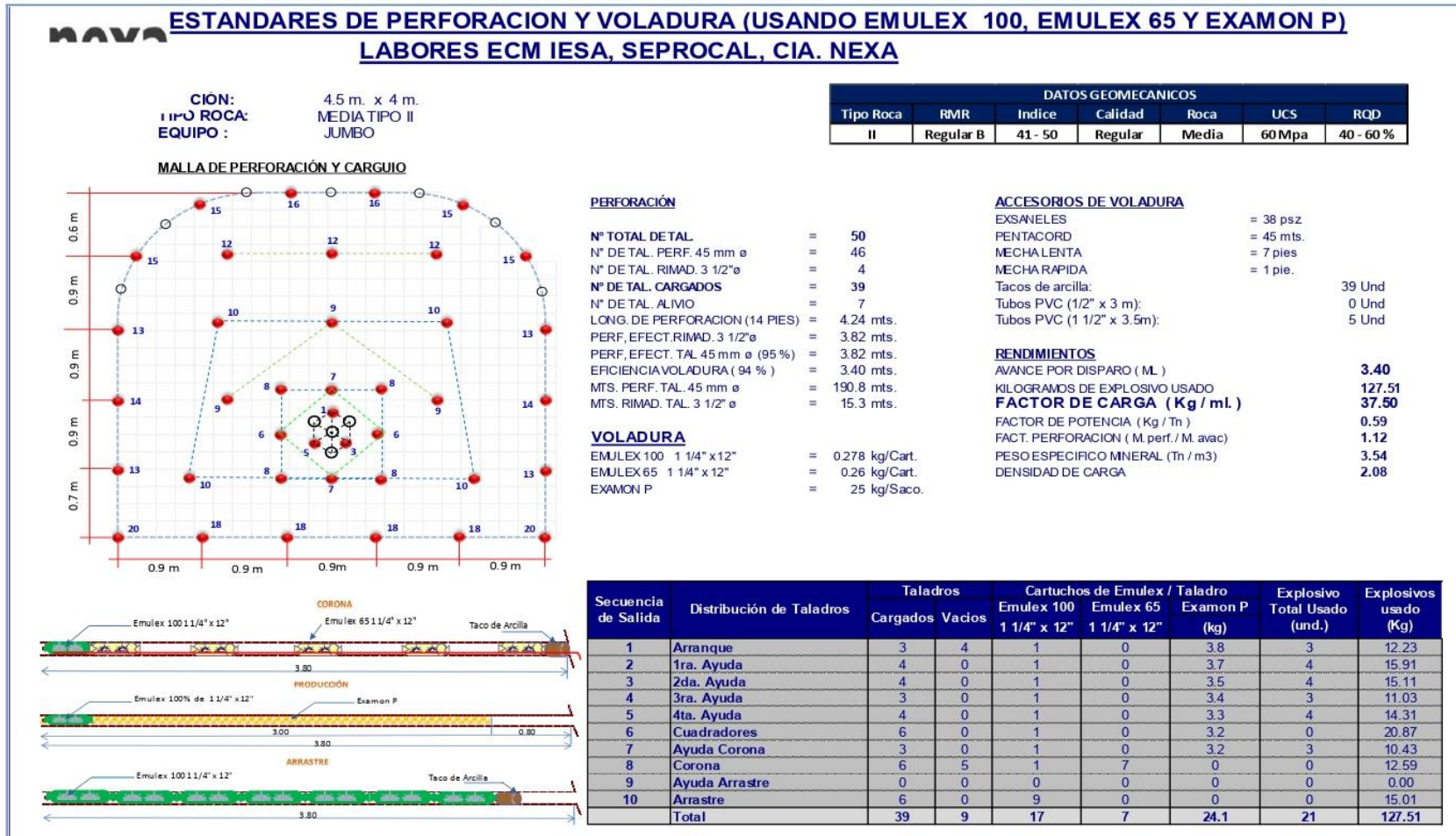


Figura 5

Estándares de perforación y voladura empleando EMULEX 100 y 65, y EXAMON P (ii)



c. Ventilación

Dado que la ventilación es requerida en los frentes de trabajo, los sistemas de ventilación son únicos, y los frentes se modifican o se alejan de manera gradual del lugar de donde proviene el aire fresco. Para esto se necesita continuos cambios en los sistemas de ventilación mineros. Es importante que el sistema de ventilación se evalúe y registre de manera constante. Las normas demandan que se brinde una cantidad óptima de aire fresco, específicamente no menor a 19.5%. Además de lo descrito, es indispensable que el sistema de ventilación controle la cantidad de polvo y las emisiones de diesel en el aire para brindar condiciones ambientales y de óptimo funcionamiento; para ello se exige altos niveles de aire para que el monóxido de carbono se diluya, así como otros gases que fueron emitidos por los motores diesel bajo tierra.

d. Debate mecanizado

Posterior a la voladura se hace uso del equipo Scaler para el proceso de desatado mecanizado de rocas; el proceso solo requiere un operador, que se encarga de toda la zona de voladura: el techo, el frente y las cajas. Dicha mecanización implica una mejora tecnológica desarrollada por la empresa en cada una de sus tareas con el propósito de generar un ambiente de trabajo con la seguridad suficiente para los colaboradores.

e. Sostenimiento

Posterior a la excavación, la roca se ve inmersa en un proceso de esfuerzo; además, crece la posibilidad de que la roca se caiga; a razón

de ello el sostenimiento es indispensable si es que se desea garantizar seguridad y evitar que se produzcan accidentes.

En la empresa Seprocal S.A.C. se hace uso de dos tipos de sostenimiento: el activo y el pasivo. Es importante destacar que el tipo de sostenimiento y los elementos a utilizarse están en función del tipo de roca con el que se trabaje en el yacimiento, de modo que se utilizan Split Set, Pernos helicoidales, Malla electrosoldada y shotcrete.

Para el sostenimiento activo se hace uso del Scissor Bolter que lleva a cabo la perforación hidráulica con un control remoto y tiene una plataforma de levante con la capacidad de almacenaje. Además, el sostenimiento se lleva a cabo utilizando cable Bolting, que dota de estabilidad el macizo rocoso al inyectar cemento tipo V a través de la utilización del Equipo Cabolt.

f. Limpieza y acarreo de mineral

En cada una de las actividades se emplea el Scooptrams Diesel de 6yd3 (10 TM) que se encarga de limpiar; además de ello, se utilizan volquetes de bajo perfil que cuentan con la capacidad de transportar al echadero principal; el mineral se traslada hacia los Ore Pass más cercanos, los cuales se encuentran en cada subnivel.

En los casos en los que la distancia de acarreo es mayor a los 200 metros se utilizan volquetes de bajo perfil Dumper que puede trasladar hasta 20 toneladas; en este caso el mineral es vertido en los Ore Pass que conducen hasta la tolva, las locomotoras y posteriormente a los Skips de donde son transportados a la ruma de gruesos. El desmote que

se recoge es vertido en los Waste Pass o se coloca como relleno hidráulico.

g. *Relleno hidráulico*

Luego de que se limpie el mineral roto, se prepara el tajeo para recibir el relleno hidráulico. El material que se utiliza es el relave que proviene de la planta concentradora; previo a ello, se realiza el tratamiento de un cicloneo en el que las fuerzas centrífugas separan los gruesos de los finos, ya que los del último tipo generan ciertos inconvenientes, como: el decantamiento lento del relleno, el desgaste de las bombas de relleno, un periodo amplio de secado.

El motivo por el cual el relleno es considerado hidráulico es por el modo de transportarlo en forma de pulpa mediante tuberías, empleando un fluido dinámico energizado, como el agua, cumpliendo con las leyes de la hidráulica; este fluido actuará como el vehículo de transporte.

El relleno que se utiliza como un soporte es indispensable en los tajeos vacíos. El propósito es que no repercuta en otras áreas de trabajo, dado que mientras más se profundizan las labores, más presión habrá. Es importante recalcar que el relleno hidráulico es parte importante del ciclo de operación del minado, por lo que se debe acordarse en que momento debe solicitarse, para ello debe coordinarse con el área encargada del relleno para que de este modo no se retrase el ciclo de minado.

A. Programa de producción y avances

a. Producción mina

De acuerdo al Plan Operativo, se tuvo en consideración realizar la producción de 2 108 400 toneladas de mineral de cabeza con una producción diaria, aproximada, de 5 373 toneladas.

Tabla 6

Programa de producción

Producción		2022
		PPTO
Mineral Extraído	tms	2.108.400
Mineral Tratado	tpd	5.973
Mineral Tratado	tms	2.108.400
Ley Cabeza Zn	%	2.88
Ley Cabeza Pb	%	1.10
Ley Cabeza Cu	%	0.15
Ley Cabeza Ag	onz/tms	2.17
Ley Cabeza Au	onz/tms	0.01

Tabla 7

Extracción de minerales

BUDET -2022												Total
1-22	2-22	3-22	4-22	5-22	6-22	7-22	8-22	9-22	10-22	11-22	12-22	2022
173.211	167.239	173.211	179.184	173.211	179.184	173.211	185.157	167.239	185.157	167.239	185.157	2.108.400

b. Programa de avances

El Plan elabora contó con un total de 21 001 metros, de los cuales, aproximadamente, 7 945 metros estuvieron en avance de ejecución, 750 metros en tareas de exploración, 12 305 en avances de preparación, y 1 083 metros en labores verticales.

DE igual manera, en el aspecto de los costos se cuenta con 12 305 metros en OPEX, 7 945 metros en CAPEX y 750 metros en OROS.

Tabla 8*Programa de avance*

KPI	Unit			2022												
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Total Development (Hrzt.)	meters	Labor	Sección	1.684	1.683	1.745	1.766	1.762	1.784	1.779	1.756	1.776	1.776	1.783	1.708	21.000
Primary (CAPEX)				102	220	573	710	722	862	864	687	834	837	903	630	7.945
	meters	Rampas_CAF	4.5x4.5	16	45	198	189	244	266	258	311	407	386	235	160	2.715
	meters	Crucero_CAF	4.0x4.0	24	31	5	167	105	28	35	18	105	97	82	76	774
	meters	By Pass_CAF	4.5x4.0	23	59	149	80	93	234	237	92	0	30	237	151	1.384
	meters	Rampas_SLS	4.5x4.5	17	32	117	124	178	233	208	164	227	138	152	196	1.787
	meters	Crucero_SLS	4.0x4.0	23	53	104	151	101	101	126	102	95	185	197	48	1.285
Secondary (OPEX)				1,526	1,409	1,106	980	957	864	858	1,012	883	876	822	1,014	12.305
	meters	Accesos_CAF	4.5x4.0	342	499	428	252	261	253	181	220	227	202	198	282	3.344
	meters	V_Accesos_CAF	4.5x4.0	341	160	110	185	105	98	204	151	92	112	65	153	1.776
	meters	Galeria_CAF	4.5x4.0	223	177	118	144	201	161	123	229	205	206	224	166	2.178
	meters	Accesos_SLS	4.5x4.0	258	0	99	154	180	345	225	232	150	95	96	123	
	meters	V_Accesos_SLS	4.5x4.0	208	126	15	0	0	0	44	0	3	0	0	0	
	meters	Galeria_SLS	4.5x4.0	155	448	336	245	209	7	80	180	207	262	239	290	
Exploration (ORO)				55	55	67	76	83	58	57	57	59	63	58	63	750
	meters	Crucero	4.5x4.0	55	55	67	76	83	58	57	57	59	63	58	63	750
Total Development (Vert.)	meters	Labor	Seccion	153	284	285	284	284	242	153	153	154	153	153	154	2.452
Raise Borer (OPEX)	meters	RB	2.1x2.1	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	540

Ventilacion																
Raise Borer (CAPEX) Ore Pass	meters	RB	2.1x2.1	88	88	88	88	88								440
Raise Borer (CAPEX) Ventilacion	meters	RB	2.1x2.1	108	108	109	108	108	109	108	108	109	108	108	109	1.300
Raise Climber (CAPEX) Ventilacion	meters	RC	2.1x2.1	43	43	43	43									172
Total, Development (Vert. + Hrzt.)	meters	Labor	Seccion	1.837	1.967	2.030	2.050	2.046	2.026	1.932	1.909	1.930	1.929	1.936	1.862	23.452

c. *Producción concentradora*

El Plan Operativo contaba con el objetivo de hacer el procesamiento de 2 108 400 toneladas de mineral, el cual tratará 5 973 toneladas en todo el año 2022.

Tabla 9

Metal fino en concentrados

Metal fino en concentrados	2022
Concentrados Zn	106 430
Concentrados Pb	36 647
Concentrados Cu	1 690

Los parámetros como objetivos metalúrgicos de la planta de beneficio son los siguientes:

Tabla 10

Objetivos de Ley de concentrados

Objetivos de Ley de Concentrados	2022 (%)
Ley Zn	50.0
Ley Pb	50.0
Ley Cu	19.0

Tabla 11.

Objetivos de recuperación metalúrgica

Objetivos de Ley de Concentrados	2022 (%)
Recuperación Zn	87.66
Recuperación Pb	79.24
Recuperación Cu	9.89

4.2.2. Aplicación de la programación lineal

A. Datos generales financieros (ingresos y costos)

Antes de la aplicación de la programación se cuenta con los siguientes datos:

Tabla 12

Producción anual en mina

Producción	Ley de Proporción	Anual (toneladas)
		2108400
Zn	2.88%	60721.92
Pb	1.10%	23192.4
Cu	0.15%	3162.6
Ag	2.17%	45752.28
Au	0.01%	210.84

Nota. Obtenido de la Empresa Seprocal S.A.C.

La producción anual de la mina se estima en 2 108 400 toneladas de mineral de cabeza, de los cuales, se tienen 5 tipos de minerales que se extraes cada uno con una ley de proporción. Este dato sirve para estimar el ingreso total que percibirá la empresa al año, producto de la venta de los metales.

Tabla 13

Precio de los metales

Medida	Precio al 14/10/2022	\$
Tonelada métrica	Zn	2960
Tonelada métrica	Pb	2060
Tonelada métrica	Cu	7688
Onza	Ag	18.29
Onza	Au	1645.3

Nota. Los precios se estiman a la fecha de 14/10/2022.

Tabla 14

Ingreso anual de la empresa

Metal	Precio	Cantidad	Ingreso
Zn	\$ 2,960.00	60721.92	\$ 179,736,883.20
Pb	\$ 2,060.00	23192.4	\$ 47,776,344.00
Cu	\$ 7,688.00	3162.6	\$ 24,314,068.80
Ag	\$ 18.29	45752.28	\$ 836,809.20
Au	\$ 1,645.30	210.84	\$ 346,895.05
Ingreso total anual			\$ 253,011,000.25

Nota. Los precios se estiman a la fecha de 14/10/2022.

En la **Tabla 14** se observa que el ingreso anual de la Empresa Seprocal S.A.C. asciende a \$ 253,011,000.25 anuales, de este monto se le tiene que restar los costos operativos, a fin de obtener el beneficio. Es por ello que en la **Tabla 15** se tiene un resumen de los costos operativos de la empresa al año, que asciende a \$ 11,427,271.60.

Tabla 15

Costos operativos de la empresa

Tipo	Descripción	Mensual	Anual
Costo directo	Costo mano de obra directa	\$ 105,114.83	\$ 1,261,377.95
	Aceros de perforación	\$ 47,239.23	\$ 566,870.76
	Materiales herramientas y accesorios	\$ 31,328.73	\$ 375,944.79
	Perforación y voladura	\$ 13,181.24	\$ 158,174.90
	Elementos de sostenimiento	\$ 65,043.84	\$ 780,526.08
	EPPS	\$ 13,411.08	\$ 160,932.92
	Equipos	\$ 375,811.21	\$ 4,509,734.46
	Bombas sumergibles	\$ 9,699.44	\$ 116,393.28
	Ventiladores	\$ 16,281.52	\$ 195,378.26
	Cargador de Anfo	\$ 2,143.22	\$ 25,718.62
	Estandarización	\$ 561.07	\$ 6,732.81
Combustible	Petróleo	\$ 30,683.90	\$ 368,206.75
Gastos generales	Gastos de cuadrilla	\$ 174,920.90	\$ 2,099,050.78
Otros gastos	Obras prelimianres	\$ 1,039.23	\$ 12,470.77
	Mantenimiento de	\$ 8,730.76	\$ 104,769.08

campamentos			
Servicios	\$	4,140.90	\$ 49,690.78
Transporte y alimentación	\$	41,841.55	\$ 502,098.61
Valorización-COVID	\$	11,100.00	\$ 133,200.00
Total	\$	952,272.63	\$ 11,427,271.60

Nota. Obtenido de la Empresa Seprocal S.A.C.

Ahora dentro del ciclo de minado se tienen ciertos costos ligados a la operación de mina, estos costos son:

- Costos de perforación
- Costo de voladura
- Costos de ventilación
- Costo de desate mecanizado
- Costo de sostenimiento
- Costo de limpieza y acarreo de mineral
- Costo de relleno hidráulico

A continuación, se presenta la estructura de estos costos:

Tabla 16

Estructura de costos por ciclo de minado y otros costos

Tipo	Descripción	Costo Mensual	Costo Anual
Costos de perforación y voladura	Acero de perforación	\$ 47,239.23	\$ 566,870.76
	Perforación y voladura Jumbo	\$ 21,547.93	\$ 258,575.19
	Materiales, herramientas y accesorios	\$ 26,398.08	\$ 316,777.01
	Supervisor técnico de Operaciones	\$ 7,877.14	\$ 94,525.72
	Operador de Jumbo	\$ 9,564.18	\$ 114,770.11
	Ayudante de Jumbo	\$ 7,173.13	\$ 86,077.58
	Operador de Scoop	\$ 18,172.96	\$ 218,075.54
	Operador de Telehandler	\$ 8,171.11	\$ 98,053.27
	Jumbo	\$ 62,166.17	\$ 745,993.99

	Scoop	\$ 115,476.99	\$ 1,385,723.84
	Telehandler	\$ 42,740.48	\$ 512,885.82
Costos de ventilación	Ventilador	\$ 12,032.91	\$ 144,394.86
	Ventilador 30,000 cfm	\$ 4,248.62	\$ 50,983.40
Costo de desate mecanizado	Operador de scaler	\$ 8,622.62	\$ 103,471.40
	Scaler	\$ 39,004.09	\$ 468,049.13
Costo de sostenimiento	Pernos helicoidales	\$ 2,254.07	\$ 27,048.86
	split set 7'	\$ 42,222.00	\$ 506,664.00
	split set 2'	\$ 1,049.40	\$ 12,592.80
	malla	\$ 19,518.37	\$ 234,220.42
	Bodeguero	\$ 4,205.00	\$ 50,459.97
	Operador de Bolter	\$ 11,088.09	\$ 133,057.10
	Ayudante de Bolter	\$ 8,316.33	\$ 99,795.92
	Bolter	\$ 80,720.91	\$ 968,650.91
Costo de limpieza y acarreo de mineral	Maestro Cargador	\$ 7,169.69	\$ 86,036.28
	Ayudante Cargador	\$ 6,691.71	\$ 80,300.53
	Maestro Servicios	\$ 3,090.54	\$ 37,086.46
	Ayudante Servicios	\$ 2,678.47	\$ 32,141.60
Costo de relleno hidráulico	bomba achique	\$ 568.65	\$ 6,823.83
	bomba 15	\$ 1,870.79	\$ 22,449.45
	bomba 30 hp	\$ 7,260.00	\$ 87,120.00
	Operador de Dumper	\$ 2,293.87	\$ 27,526.45
	Dumper	\$ 35,702.56	\$ 428,430.77
Otros costos	Cargador de ANFO	\$ 2,143.22	\$ 25,718.62
	Estandarización	\$ 561.07	\$ 6,732.81
	Combustible	\$ 27,507.29	\$ 330,087.43
	EPPS	\$ 13,151.64	\$ 157,819.72
	Gastos generales	\$ 174,920.90	\$ 2,099,050.78
	Obras preliminares	\$ 1,039.23	\$ 12,470.77
	Mantenimiento de campamentos	\$ 8,730.76	\$ 104,769.08
	Servicios	\$ 4,140.90	\$ 49,690.78
	Transporte y alimentación	\$ 41,841.55	\$ 502,098.61
	Valorización-COVID	\$ 11,100.00	\$ 133,200.00
Total	\$ 952,272.63	\$ 11,427,271.60	

Nota. Obtenido de la Empresa Seprocal S.A.C.

B. Modelo funcional

Ya que se tienen los datos de ingreso y costos operativos del ciclo de minado, lo que procede es estimar la función objetivo, el cual es maximizar el beneficio:

a. Función objetivo:

$$\text{Max } \pi = IT - CT$$

Dónde:

- $IT = P_{Cu}Q_{Cu} + P_{Zn}Q_{Zn} + P_{Pb}Q_{Pb} + P_{Ag}Q_{Ag} + P_{Au}Q_{Au}$

- $CT = \sum c_i$

$$c_i = C_{perf} + C_{venti} + C_{desate} + C_{sosteni} + C_{limpieza} + C_{relleno} +$$

$$C_{Otros}$$

b. Restricciones:

Tabla 17

Análisis de la variación porcentual de los costos

Tipo de costos	Enero	Febrero	Marzo	Promedio	Variación
Costo directos	116,691.21	115,495.08	120,769.80	117,652.03	1.666%
Gasto general (administración, etc.)	149,682.73	144,146.86	152,379.51	148,736.37	0.781%
Provisiones	100,861.25	98,312.22	103,426.72	100,866.73	1.176%
Promedio de variación					1.208%

Nota. Obtenido de la Empresa Seprocal S.A.C.

Para evaluar las restricciones de los costos, se evaluó la variación de los mismos durante 3 meses, en la **Tabla 17** se observa, por ejemplo, que los costos directos tiene una variación mensual de 1.666 %; es decir, en todos los meses no es fijo. En cuanto a los gastos generales, la variación en 0.781%, y para las provisiones, la variación es de 1.176%, con estos porcentajes es que oscilarán la mayoría de los costos de ciclado de mina; es decir, se tomará en cuenta la variación promedio de 1.208%.

- $IT = \$ 253,011,000.25$
- Producción de mina = 2108400 toneladas
- $C_i \geq 0$
- Variación de los costos

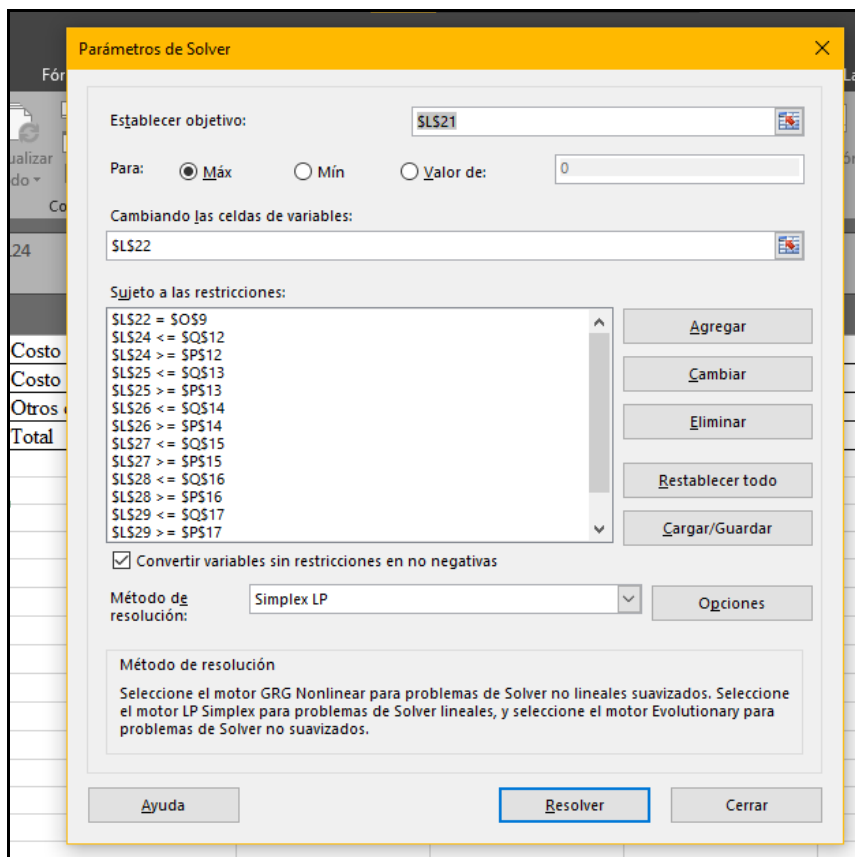
Tabla 18
Variación de costos (mínimo-máximo)

Costo	Total	Variación (1.208%)
Costos de perforación y voladura	\$ 4,398,328.84	\$ 53,131.81
Costos de ventilación	\$ 195,378.26	\$ 2,360.17
Costo de desate mecanizado	\$ 571,520.53	\$ 6,903.97
Costo de sostenimiento	\$ 2,032,489.98	\$ 24,552.48
Costo de limpieza y acarreo de mineral	\$ 235,564.87	\$ 2,845.62
Costo de relleno hidráulico	\$ 572,350.51	\$ 6,913.99
Otros costos	\$ 3,421,638.61	\$ 41,333.39
Total	\$ 11,427,271.60	\$ 138,041.44

c. Aplicando solver:

Figura 6

Aplicación de solver y restricciones



d. Resultado de solver:

Tabla 19

Resultados de solver

Beneficio	\$ 241,721,770.09
Producción de mina	2082930.528
Ingreso	\$ 253,011,000.25
Costos de perforación y voladura	\$ 4,345,197.03
Costos de ventilación	\$ 193,018.09
Costo de desate mecanizado	\$ 564,616.56
Costo de sostenimiento	\$ 2,007,937.50
Costo de limpieza y acarreo de mineral	\$ 232,719.25
Costo de relleno hidráulico	\$ 565,436.51
Otros costos	\$ 3,380,305.22

De la **Tabla 19** se observa que para que el beneficio sea el óptimo, el máximo, la producción en mina debe ser de 2 082 930.528 toneladas de mineral al año, que representa una reducción de 1.208% en la producción actual, esto se traduce en menores costos operativos, pero manteniendo el nivel de ingresos.

Tabla 20

Ingresos, costos y beneficios

Descripción	Valor	Cantidad
Ingreso actual (A)	\$ 253,011,000.25	2108400
Costo total actual (B)	\$ 11,427,271.60	2108400
Costo mínimo (C)	\$ 11,289,230.16	2082930.528
Costo máximo (D)	\$ 11,565,313.04	2108400
Beneficio actual (A-B)	\$ 241,583,728.65	2108400
Beneficio mínimo (A-D)	\$ 241,445,687.21	2108400
Beneficio óptimo (A-C)	\$ 241,721,770.09	2082930.528

En la **Tabla 20** se muestra que el beneficio óptimo, calculado con SOLVER es de \$ 241,721,770.09, para una cantidad anual de 2082930.528 toneladas, que representa un aumento del 0.114% a diferencia del beneficio actual. Asimismo, el costo mínimo calculado con solver fue de \$ 11,289,230.16, que representa una reducción de -1.223% con respecto al costo actual total del ciclado de mina.

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Hipótesis general

i. Hipótesis a probar:

La optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal, incrementa significativamente los beneficios económicos de la Empresa Seprocal S.A.C.

ii. Argumentación:

Según el resultado de la programación lineal el beneficio máximo logrado fue de \$ 241,721,770.09 representando un aumento del 0.114%, con respecto al beneficio actual, y con una reducción en la cantidad de producción minera, siendo esta de 2082930.528 toneladas.

Este incremento en el beneficio, es significativo para la empresa Seprocal S.A.C., ya que con la programación lineal se determinó la mejor combinación de actividades que no utilizarán mayores recursos de los que se tiene disponible y con ello se optimizó la función objetivo planteada. Además, esta técnica matemática, permitió comparar una gama de soluciones alternar y analizar sus consecuencias en el beneficio deseado. Por otro lado, la programación lineal brinda información sobre como emplear los factores de manera eficaz, distribuyéndolos y seleccionándolos de la mejor manera. En otras palabras, permite que los encargados del ciclo de minado sean mucho más objetivos en la toma de decisiones financieras y uso de recursos de la Empresa Seprocal S.A.C., ya que al contar con un modelo matemático permite la visualización e introducción de restricciones que posibiliten identificar los “cuellos de botella” en las operaciones del ciclo de minado.

En suma, con la aplicación de la programación lineal se logró maximizar el beneficio de la Empresa Seprocal S.A.C., ello gracias a la reducción de costos en las actividades de perforación, carguío, voladura, etc. y al uso eficiente de los recursos económicos con los que cuenta la empresa, tomando en cuenta las restricciones de ingresos, de valore máximos y mínimos de cada una de las actividades evaluadas del ciclo del minado. Es

por ello que la programación lineal brindó de un plan óptimo y detallado con su respectivo análisis de sensibilidad que logre el beneficio óptimo con los recursos disponibles en la Empresa Seprocal S.A.C.

iii. Conclusión:

Se concluye que la optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal logró incrementar, de manera significativa, los beneficios económicos de la Empresa Seprocal S.A.C.

4.3.2. Primera hipótesis específica

i. Hipótesis a probar:

La optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal, reduce notablemente los costos operativos en el ciclo de minado de la Empresa Seprocal S.A.C.

ii. Argumentación:

De acuerdo con los cálculos realizados con la programación lineal, el costo total pasó de \$11,427,271.60 a un mínimo de \$11,289,230.16, representando una reducción de -1.223% en el total de costos operativos.

Estos resultados se dieron gracias a que la programación lineal al ser una técnica para plantear modelos matemáticos, mediante sistemas de ecuaciones, que resuelvan eficientemente la asignación de recursos limitados, sirvió para minimizar un criterio de valor, en este el costo total de la operación de mina, y los costos de cada uno de los procesos del ciclo de minado.

En el modelo propuesto, la función objetivo se definió de manera clara y en términos matemáticos mediante una función lineal. Dicha función logró optimizar los costos de perforación y voladura, costos de

ventilación, costo de desate mecanizado, costo de sostenimiento, costo de limpieza y acarreo de mineral, costo de relleno hidráulico y otros costos, minimizándolos y estando sujeto las restricciones descritas, la función matemática logró resolver la minimización de los costos.

iii. Conclusión:

Se concluye que la aplicación de la programación lineal en la optimización del ciclo de minado, logró reducir notablemente los costos operativos en el ciclo de minado de la Empresa Seprocal S.A.C.

4.3.3. Segunda hipótesis específica

i. Hipótesis a probar:

La optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal, garantiza un uso eficiente de los recursos económicos en el ciclo de minado de la Empresa Seprocal S.A.C.

ii. Argumentación:

Como se mencionó en las hipótesis previas, utilizando la programación lineal se logró maximizar el beneficio de la Empresa Seprocal S.A.C., ello con la optimización del beneficio y la minimización de costos operativos del proceso de mina. En ambos casos, los recursos económicos de la empresa se optimizaron; es decir, fueron utilizados de una manera mucho más eficiente, al encontrar la mejor combinación de dichos recursos que logren un máximo beneficio. El resultado fue gracias a que la programación lineal no solo es una técnica matemática para resolver problemas, sino también es una herramienta financiera que ayuda en la toma de decisiones con gran utilidad en las finanzas empresariales ya que permite asignar de manera eficiente los recursos limitados disponibles.

Este uso óptimo de recursos limitados disponibles, se da gracias a que la programación lineal permite evaluar costos y recursos de sustitución, determina un rango de precios y costos por actividad que pueden o no modificarse dentro de la solución, identifica los costos de oportunidad interno que posee cada recurso limitado y define el rango (restricciones) en el cual se mantiene cada recurso económico para brindar la mejor opción posible.

iii. Conclusión:

Se concluye que optimizar el ciclo de minado, con el uso de programación lineal, garantizó que los recursos económicos en el ciclo de minado de la Empresa Seprocal S.A.C sean utilizados de manera eficiente.

4.4. Discusión de resultados

De los resultados arribados en la investigación, se concluye que maximizando el beneficio y minimizando los costos con el uso de la mejor combinación de recursos, aplicando la programación lineal, se logró optimizar el ciclo del minado incrementando significativamente los beneficios económicos de la Empresa Seprocal S.A.C. Este resultado es similar al realizado por Obregón (2016), quien en su resultado señala que para aumentar la calidad en relación a la concentración y recuperación de los productos minerales, por ello se recomienda emplear y aplicar la Programación Lineal. A ello, también se le recomienda actualizar el stock de los recursos del área de labores, manteniendo una serie de buenos resultados; asimismo, gracias a la optimización del blending luego de aplicarse la programación lineal, se extendieron las ventajas económicas de la organización. En la tesis de Gaimes (2019) se encontró un resultado parecido, hallando que la optimización del ciclo de minado, el

reconocimiento de los tiempos, costos y recursos empleados; asimismo, al aplicar la programación lineal, se logró evidenciar el impacto positivo en los procesos mineros, y con ello optimizando los resultados en la actividad de carguío y acarreo de minerales de su mina de estudio. de tal manera que los beneficios fueron los máximos al obtener la mejor combinación de recursos disponibles en la mina. En resumen, este antecedente demuestra que existe una investigación relacionada al resultado obtenido en la presente investigación, resultados limitados por la capacidad de inversión en proyectos de esta magnitud.

A nivel teórico, también se evidencia que la maximización del beneficio y la reducción de los costos, y otros beneficios pueden ser logrados por la aplicación de la programación lineal. De acuerdo a diferentes autores, a nivel de las mineras, siempre debe realizarse un adecuado ciclo de minado, este tiende a contar con una serie de pasos, los cuales son necesarios para culminar con el procesamiento de los recursos que cada una de las minas trabajan (Ramani, 2012). Ahí es donde se aplica la programación lineal, siendo este método de optimización que busca minimizar o maximizar una función lineal (Puente y Gavilánez, 2018). Por ende, se tiene conocimiento que existen diferentes métodos, entre ellos está la progresión lineal, el cual ayuda a la mejora del ciclo del minado y brinda demás beneficios a la minera en sí, principalmente en la reducción de costos.

En correspondencia al primer objetivo específico, al aplicar la programación lineal en la optimización del ciclo del minado se redujo de manera notable los costos operativos del ciclo de minado de la Empresa

Seprocal S.A.C. Un resultado similar fue encontrado en la investigación de Villacrés (2016), se evidenció que al optimizar los sistemas de costos incurridos en las excavaciones subterráneas; se logró reducir un 19% a los costos de explotación, logrando detectar que se produce una mayor inversión en las operaciones de corte y división de las rocas. Se concluye que cuando se usa el método de programación lineal, se pudo reducir los costos. Un similar estudio lo realizó Campos y Ricra (2017) en su investigación, concluyendo que la aplicación de la programación lineal y uso del software impactan con mucha relevancia en la optimización de los costos del proceso, por ello es ventajoso para el desempeño de los materiales y equipos. Acotando también que debe de realizarse investigaciones sobre matemática aplicada y programación lineal aplicada a procesos de minería. Asimismo, otro resultado que corrobora lo encontrado fue obtenido por Balvin (2019), quien señala que optimizar las operaciones sobrepasa las metas trazadas por la Unidad Minera, con ello se reducen los costos del ciclo de minado, finalmente se resalta que gracias a la aplicación de la programación lineal se llegó a reducir los costos, corroborando lo hallado también en la investigación presente.

Respecto a las bases teóricas, se evidencia que la programación lineal no solo es parte integral de las matemáticas, su importancia radica en que es una herramienta financiera que ayuda en la toma de decisiones, y para los interesados, es de gran utilidad en las PYMES porque puede asignar de manera efectiva recursos limitados (Westreicher, 2020). Los beneficios de la programación lineal, ayudan a que la institución se desarrolle debidamente principalmente en pasos básicos utilizados en la producción del mineral (durante

su extracción) y las operaciones auxiliares que se utilizan para sustentarlos (Ramani, 2012).

Sobre el segundo objetivo específico, se halló que la optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal, garantizó un uso eficiente de los recursos económicos en el ciclo de minado de la Empresa Seprocal S.A.C. En la tesis Navarro y Moraes (2019), se encontraron resultados parecidos donde se indica que luego de la aplicación de la programación y después de hacer las conexiones necesarias, se satisface toda demanda del área y se logran los resultados de optimización en el contexto de planificación de la mina; asimismo, los recursos económicos mejoraron con la aplicación de la programación lineal, con la aplicación de esta se logró la optimización de la mezcla del mineral de hierro, haciendo que se tenga un mejor uso eficiente de los recursos económicos. En la tesis de Nday y Thomas (2019), se evidenció que al usar la programación lineal se logró optimizar el tiempo de ciclo, aumentando la productividad de la mina de estudio, eso se debe a que se realizó un análisis del tiempo de espera, de carga y descarga del ciclo de minado.

Al realizar una comparativa con la investigación con la teoría, se sabe que la programación lineal tiende a resultar útil para brindar una serie de ventajas a las instituciones que la aplican (Puente y Gavilánez, 2018). En este caso, al aplicar la programación lineal, el cual es el campo de la programación matemática dedicado a maximizar o minimizar (optimizar) una función lineal llamada función objetivo tal que las variables de dicha función también son lineales sujetas a un conjunto de restricciones expresadas por un sistema de ecuaciones o desigualdades (Westreicher, 2020).

CONCLUSIONES

1. Se concluye que la optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal logró incrementar, de manera significativa, los beneficios económicos de la Empresa Seprocal S.A.C. Toda vez que, conforme con el resultado de la programación lineal el beneficio máximo logrado fue de \$ 241,721,770.09 representando un aumento del 0.114%, con respecto al beneficio actual, y con una reducción en la cantidad de producción minera, siendo esta de 2082930.528 toneladas.
2. Se concluye que la aplicación de la programación lineal en la optimización del ciclo de minado, logró reducir notablemente los costos operativos en el ciclo de minado de la Empresa Seprocal S.A.C. Es así que, de acuerdo con los cálculos realizados con la programación lineal, el costo total pasó de \$11,427,271.60 a un mínimo de \$11,289,230.16, representando una reducción de -1.223% en el total de costos operativos.
3. Se concluye que optimizar el ciclo de minado, con el uso de programación lineal, garantizó que los recursos económicos en el ciclo de minado de la Empresa Seprocal S.A.C sean utilizados de manera eficiente.

RECOMENDACIONES

4. A la Empresa Seprocal S.A.C. desarrollar más modelos de función objetivo que estén ligados al ciclo de minado y la maximización de beneficios utilizando la programación lineal, utilizando información mucho más detallada, a fin de que se logre identificar mejor aquellos costos y recursos que pueden ser optimizados en beneficio financiero de la empresa.
5. Se recomienda que la Empresa Seprocal S.A.C., realice un análisis de su estructura de costos en cada uno de los procesos de operación en mina en especial en la ventilación, desate mecanizado, sostenimiento y relleno hidráulico, ello con la finalidad de identificar costos que puedan ser minimizados.
6. A los profesionales encargados de la administración en mina, se les recomienda desarrollar habilidades en el manejo de la programación lineal, toda vez que estos conocimientos les brindarían mayores posibilidades de encontrar alternativas para que la mina tenga un desarrollo sustentable, utilizando de manera eficiente sus recursos económicos y no económicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, T. (06 de Abril de 2021). *Global Road Technology (GRT)*. Recuperado el 26 de Agosto de 2021, de Global Road Technology (GRT): <https://globalroadtechnology.com/blasting-practices-in-mining/>
- Alianza Mundial de Derecho Ambiental. (2010). *Guía para evaluar EIAs de proyectos mineros*. Eugene: ELAW.
- Alvarado, J. (2009). La programación lineal aplicación de las pequeñas y medianas empresas . *Reflexiones*, 89-105.
- Aquino, J. (2012). *Investigación de operaciones*. México D.F.: Red Tercer Milenio.
- Balsubramanian. (2015). *Overview of mineral processing methods*. Mysore: Centre for advanced studies in earth science - University of Mysore.
- Balvin, S. (2019). *Optimización del ciclo de minado del método de explotación Long Wall para reducir los costos de operación de Marsa*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Campos, M., & Ricra, R. (2017). *Impacto de la programación lineal con el uso de solver en la optimización de las operaciones de carguío-acarreo de mineral en la mina Lagunas Norte, La Libertad, 2017*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Canfield, M. (07 de Junio de 2012). Etapas del Proceso Productivo de una Mina. *Etapas del Proceso Productivo de una Mina*. Antofagasta, Antofagasta, Chile: Grupo Antofagasta Minerals.
- Concha, E. (2017). Minería global contemporánea o financiarizada. *Minería global y financiarización*, 10, 81-116.

- ContentLab. (28 de Octubre de 2020). *El Comercio*. Recuperado el 27 de Agosto de 2021, de El Comercio: <https://especial.elcomercio.pe/mineriasostenible/estas-son-las-5-minas-subterraneeas-mas-profundas-del-pais/>
- CooperAcción. (2020). *Actualidad Minera del Perú*. Lima: Cooperación.
- Coronel, M. (2004). *La programación lineal aplicada al manejo forestal*. Santiago del Estero, Argentina: Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- Ducardo, J. (1995). Introducción a los recursos económicos. *Ánfora: Revista Científica de la Universidad Autónoma de Manizales*, 3(6), 53-55.
- Fernández, P. (2013). *Valoración de empresas y sensatez*. Barcelona: Gestión 2000 - Grupo Planeta.
- Gaimes, D. (2019). *Optimización del ciclo de minado para incrementar la productividad diaria en la Cooperativa Minera Limata Ltda*. Arequipa: Universidad Tecnológica del Perú.
- García, M., & Romero, J. (2004). *Investigación de operaciones I*. México D.F.: UAM - AZCAPTZALCO.
- Guédez, C. (2011). Programación Lineal e Ingeniería Industrial: una Aproximación al Estado del Arte. *Ingeniería Industrial: actualidad y nuevas tendencias*, II(6), 61-78.
- Guerrero, H. (2017). *Programación lineal aplicada* (Segunda ed.). Bogotá, Colombia: Eco Ediciones.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Santa Fé: Mc Graw Hill.
- K2fly. (29 de Abril de 2019). *Decipher*. Recuperado el 26 de Agosto de 2021, de Decipher: <https://www.decipher.com.au/blog/mining-resources/the-5-stages-of-the-mining-life-cycle>

- La Torre, J. (2019). *Optimización y control del ciclo de minado para la reducción de costos operativos en cantera desvío Huachocolpa, Cía. Minera Kolpa 2018*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Lewis, C. (2008). *Linear programming: theory and applications*. Washington: Whitman College.
- López, G. (2016). Optimización del plan de producción: Estudio de caso carpintería de aluminio. *Universidad y Sociedad*, 9(1), 178-186.
- Lozada, J. (2014). *Investigación aplicada: Definición, propiedad intelectual e industria*. Quito, Ecuador: Centro de Investigación en Mecatrónica y Sistemas Interactivos.
- Messaoud, L. (2006). Drilling technology in mining industry. *Acta Montanistica Slovaca*, 11, 113-118.
- Mining Global. (20 de Abril de 2021). *Mining*. Recuperado el 27 de Agosto de 2021, de Mining: <https://miningglobal.com/supply-chain-and-operations/how-increase-profitability-and-productivity-smart-rostering>
- Navarro, V., & Moraes, E. (2019). Innovative optimization of iron ore blending in daily mine planning from a linear programming model. *Medio ambiente minero y minería*, 4(2), 37-42.
- Nday, I., & Thomas, H. (2019). Optimization of the cycle time to increase productivity at Ruashi Mining. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 119, 631-638.
- Obregón, C. (2016). *Optimización del blending con aplicaciones de programación lineal para el incremento del valor económico del mineral en la Unidad Minera Catalina Huanca S.A.C*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

- Orellana, F. (2018). *Modelo integrado de simulación y optimización para planes mineros de mediano plazo en minería a cielo abierto*. Santiago: Universidad de Chile.
- Osinergmin. (2017). *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas*. Lima : Osinergmin.
- Pell, R., Tijsseling, L., Palmer, L., Glass, H., Yan, X., Wall, F., . . . Li, J. (2019). Environmental optimisation of mine scheduling through life cycle assessment integration. *Resources, Conservation & Recycling*, 267-276.
- Pérez, R. (2019). *Introducción a los modelos de optimización*. Alto Magdalena: Universidad Piloto de Colombia.
- Positiva. (2017). *Guía de seguridad para ventilación de minas subterráneas*. Bogotá: Positiva.
- Puente, M., & Gaviláñez, Ó. (2018). *Programación lineal para la toma de decisiones*. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Quiroz, B. (2016). *Microeconomía*. Chimbote: Econ. Baldemar Quiroz Calderon.
- Quiroz, E. (2019). Programación por objetivos para el dimensionamiento y la asignación de una flota de camiones en una empresa minera. *Interfases*(12), 87-112.
- Ramani, R. (2012). Surface mining technology: progress and prospects. *Procedia Engineering*, 46, 9-21.
- Ramírez, C. (2010). *Fundamentos y técnicas de costos*. Cartagena: Universidad Libre.
- Reyes, Y. (2010). *Apunte de costos*. Valparaíso: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Seguridad Minera. (2016). Perforación: pasos indispensables en minería subterránea. *Seguridad Minera*(126), 10-13.

- Seguridad Minera. (05 de Junio de 2020). *Revista Seguridad Minera*. Recuperado el 26 de Agosto de 2021, de Revista Seguridad Minera: <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/metodos-y-planeacion-de-ventilacion-de-minas-subterraneas/>
- Taha, H. (2004). *Investigación de operaciones*. México D.F.: Pearson .
- Universidad Autónoma de México. (2003). *Tutorial para la asignatura de costos y presupuestos*. México D.F.: Universidad Autónoma de México.
- Universität Heidelberg. (15 de Octubre de 2020). *Institute of chinese studies*. Recuperado el 26 de Agosto de 2021, de Institute of chinese studies: <https://www.zo.uni-heidelberg.de/sinologie/research/mining-sw/minerals/ms.html>
- Valencia, E. (2018). *Investigación operativa: programación lineal, problemas resueltos con soluciones detalladas*. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Velázquez, F. (2011). Análisis comparativo entre las perspectivas económica y administrativa de la determinación del nivel de producción y beneficio de la empresa. *Análisis económico*, XXVI(61), 5-19.
- Villacrés, R. (2016). *Optimización de costos al sistema de explotación subterránea en la veta Kathy de la Empresa Produmin S.A.* Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Weng, N. (2016). *Resource basis of our life*. Malasia: Universiti Sains Malasya.
- Westreicher, G. (24 de Mayo de 2020). *Economipedia.com*. Obtenido de Economipedia.com: <https://economipedia.com/definiciones/optimizacion.html>

ANEXOS

Anexo 1 Instrumento de recolección de datos

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN					
OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE MINADO PARA INCREMENTAR LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS APLICANDO PROGRAMACIÓN LINEAL EN LA EMPRESA SEPROCAL S.A.C.					
PROYECTO:			UNIDAD MINERA ANIMON, VOLCAN CÍA.		
COMPAÑÍA MINERA:					
UBICACIÓN:			EVALUADOR:		
ÁREA DE LA UNIDAD (m2):			FECHA:		
OPERACIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR	VALOR	MÉTODO	OBSERVACIÓN
PERFORACIÓN	Tipo de perforación	Tipo y método de perforación empleado.			
	Clase de terreno	Características del terreno.			
	Nº de caras libres de labor	Número de caras libres en la zona minera.			
	Grado de fragmentación	Proporción de la roca a fragmentar.			
	Equipo de perforación.	Tipo de equipo utilizado.			
VOLADURA	Funcionamiento del sistema de trituración	Buen procesamiento del sistema implementado.			
	Control de explosivos	Densidad.			
		Velocidad detonación.			
		Fuerza de la masa.			
		Resistencia al agua.			
Diámetro crítico.					
VENTILACIÓN	Plan de ventilación	Diseño y supervisión.			
	Manejo del circuito de ventilación.	Plan de ventilación.			
	Control de la atmósfera.	Medición de gases			
		Medición de humedad			
Intensidad					
LIMPIEZA	Periodo de limpieza.	Días y horas de limpieza a la semana.			
	Procedimiento de limpieza.	Insumos empleados.			
		Equipos empleados.			
TRANSPORTE Y ACARREO	Tipo de vehículo.	Vehículo empleado para el transporte.			
	Sistema de carga.	Señalización.			
		Método de transporte y acarreo.			
SOSTENIMIENTO	Tipo de sostenimiento	Tipo de sostenimiento empleado en la mina.			
	Sistema de control de calidad.	Medidas de control para instalación.			
		Control del área de almacenamiento.			
		Mapeo de la zona minera.			
		Periodos de capacitación al personal.			
		Verificar que la zona cuente con las PETS.			
Control visual del macizo rocoso.					

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN				
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN				
OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE MINADO PARA INCREMENTAR LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS APLICANDO PROGRAMACIÓN LINEAL EN LA EMPRESA SEPROCAL S.A.C.				
PROYECTO:		UNIDAD MINERA ANIMON, VOLCAN CÍA.		
COMPAÑÍA MINERA:				
UBICACIÓN :		EVALUADOR:		
ÁREA DE LA UNIDAD (m2) :		FECHA :		
DIMENSIÓN	INDICADOR	ITEM	VALOR	OBSERVACIÓN
COSTOS	Monto de los costos de operación.	Inversión en maquinarias y equipos.		
		Inversión en operarios.		
		Otros costos en los que incurre.		
RECURSOS	Control en la distribución.	Distribución de recursos materiales.		
		Distribución del recurso humano.		
		Control de capital.		
INGRESOS	Ingresos totales	Ingresos totales por contrata		

Anexo 2 Análisis de programación lineal

Informe de límites

Microsoft Excel 16.0 Informe de límites
 Hoja de cálculo: [COSTOS SISTEMAS.xlsx]SOLVER
 Informe creado: 18/10/2022 15:50:13

Objetivo	
Celda Nombre	Valor
\$L\$21 Beneficio	\$ 248,665,803.23

Variable		Inferior Objetivo		Superior Objetivo	
Celda Nombre	Valor	Límite	Resultado	Límite	Resultado
\$L\$22 Q	2082930.528	2082931	248665803	2133869	248559540

Informe de sensibilidad

Microsoft Excel 16.0 Informe de sensibilidad
 Hoja de cálculo: [COSTOS SISTEMAS.xlsx]SOLVER
 Informe creado: 18/10/2022 15:50:13

Celdas de variables

Celda	Nombre	Final Valor	Reducido Coste	Objetivo Coeficiente	Permisible Aumentar	Permisible Reducir
\$L\$22 Q		2082930.528	0	-2.086097926	2.086097926	1E+30

Restricciones

Celda	Nombre	Final Valor	Sombra Precio	Restricción Lado de derecho	Permisible Aumentar	Permisible Reducir
\$L\$24	Costos de perforación y voladura	4345197.028	0	4451460.653	1.0E+30	1.1E+05
\$L\$24	Costos de perforación y voladura	4345197.028	0	4345197.028	8.9E-10	1.0E+30
\$L\$25	Costos de ventilación	193018.089	0	197738.4277	1.0E+30	4.7E+03
\$L\$25	Costos de ventilación	193018.089	0	193018.089	4.0E-11	1.0E+30
\$L\$26	Costo de desate mecanizado	564616.5594	0	578424.4954	1.0E+30	1.4E+04
\$L\$26	Costo de desate mecanizado	564616.5594	0	564616.5594	1.2E-10	1.0E+30
\$L\$27	Costo de sostenimiento	2007937.503	0	2057042.461	1.0E+30	4.9E+04
\$L\$27	Costo de sostenimiento	2007937.503	0	2007937.503	4.1E-10	1.0E+30
\$L\$28	Costo de limpieza y acarreo de mineral	232719.2498	0	238410.4971	1.0E+30	5.7E+03
\$L\$28	Costo de limpieza y acarreo de mineral	232719.2498	0	232719.2498	4.8E-11	1.0E+30
\$L\$29	Costo de relleno hidráulico	565436.5134	0	579264.5016	1.0E+30	1.4E+04
\$L\$29	Costo de relleno hidráulico	565436.5134	-7.68467715	565436.5134	1.4E+04	1.2E-10
\$L\$30	Otros costos	3380305.217	0	3462972.005	1.0E+30	8.3E+04
\$L\$30	Otros costos	3380305.217	0	3380305.217	7.0E-10	1.0E+30

Informe de respuesta

Microsoft Excel 16.0 Informe de respuestas

Hoja de cálculo: [COSTOS SISTEMAS.xlsx]SOLVER

Informe creado: 18/10/2022 15:50:13

Resultado: Solver encontró una solución. Se cumplen todas las restricciones y condiciones óptimas.

Motor de Solver

Opciones de Solver

Celda objetivo (Máx)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$L\$21	Beneficio	\$ 253,011,000.25	\$ 248,665,803.23


Celdas de variables

Celda	Nombre	Valor original	Valor final	Entero
\$L\$22	Q	0	2082930.528	Continuar

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Demora
\$L\$24	Costos de perforación y voladura	\$ 4,345,197.03	\$L\$24<=Q\$12	No vinculante	106263.6248
\$L\$24	Costos de perforación y voladura	\$ 4,345,197.03	\$L\$24>=P\$12	Vinculante	\$ -
\$L\$25	Costos de ventilación	\$ 193,018.09	\$L\$25<=Q\$13	No vinculante	4720.338722
\$L\$25	Costos de ventilación	\$ 193,018.09	\$L\$25>=P\$13	Vinculante	\$ -
\$L\$26	Costo de desate mecanizado	\$ 564,616.56	\$L\$26<=Q\$14	No vinculante	13807.93594
\$L\$26	Costo de desate mecanizado	\$ 564,616.56	\$L\$26>=P\$14	Vinculante	\$ -
\$L\$27	Costo de sostenimiento	\$ 2,007,937.50	\$L\$27<=Q\$15	No vinculante	49104.95798
\$L\$27	Costo de sostenimiento	\$ 2,007,937.50	\$L\$27>=P\$15	Vinculante	\$ -
\$L\$28	Costo de limpieza y acarreo de mineral	\$ 232,719.25	\$L\$28<=Q\$16	No vinculante	5691.247342
\$L\$28	Costo de limpieza y acarreo de mineral	\$ 232,719.25	\$L\$28>=P\$16	Vinculante	\$ -
\$L\$29	Costo de relleno hidráulico	\$ 565,436.51	\$L\$29<=Q\$17	No vinculante	13827.98826
\$L\$29	Costo de relleno hidráulico	\$ 565,436.51	\$L\$29>=P\$17	Vinculante	\$ -
\$L\$30	Otros costos	\$ 3,380,305.22	\$L\$30<=Q\$18	No vinculante	82666.78884
\$L\$30	Otros costos	\$ 3,380,305.22	\$L\$30>=P\$18	Vinculante	\$ -

Anexo 3 Estándares de perforación y voladura



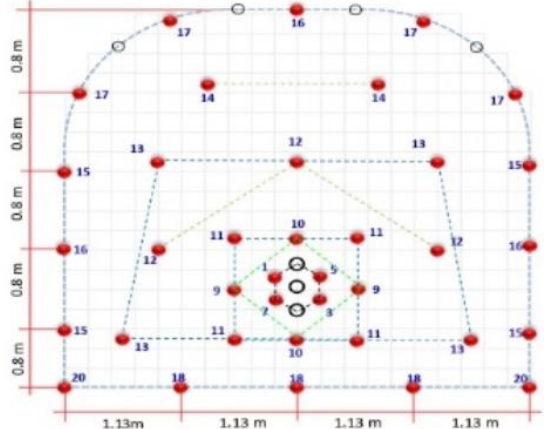
ESTANDARES DE PERFORACION Y VOLADURA (USANDO EMULEX 100, EMULEX 65 Y EXAMON P)

LABORES ECM IESA, SEPROCAL, CIA. NEXA

SECCIÓN: 4.5 m. x 4 m.
 TIPO ROCA: SUAVE TIPO IV - A
 EQUIPO: JUNBO

DATOS GEOMECANICOS						
Tipo Roca	RMR	Indice	Calidad	Roca	UCS	RQD
IV	Mala A	31 - 40	Mala	Suave	45 Mpa	25 - 40%

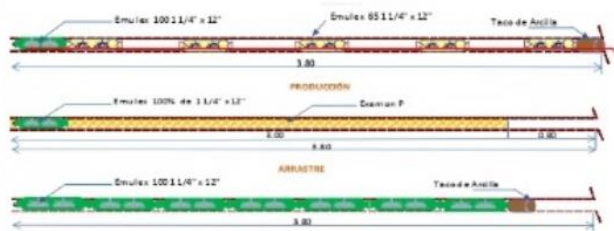
MALLA DE PERFORACIÓN Y CARGUIO



PERFORACIÓN		ACCESORIOS DE VOLADURA	
N° TOTAL DE TAL.	= 44	EXSANELES	= 38 psz.
N° DE TAL. PERF. 45 mm ø	= 41	PENTACORD	= 40 mts.
N° DE TAL. RIMAD. 3 1/2" ø	= 3	MECHA LENTA	= 10 pies
N° DE TAL. CARGADOS	= 37	MECHA RAPIDA	= 1 pie.
N° DE TAL. ALIVO	= 4	Tacos de arcilla:	37 Und
LONG. DE PERFORACION (14 PIES)	= 4.24 mts.	Tubos PVC (1/2" x 3 m):	0 Und
PERF. EFECT. TAL. 45mm ø (95 %)	= 3.86 mts.	Tubos PVC (1 1/2" x 3.5m):	5 Und
EFICIENCIA VOLADURA (94 %)	= 3.8 mts.		
MTS. PERF. TAL. 45 mm ø	= 167.9 mts.	RENDIMIENTOS	
MTS. RIMAD. TAL. 3 1/2" ø	= 11.4 mts.	AVANCE POR DISPARO (M.)	3.40
		KILOGRAMOS DE EXPLOSIVO USADO	121.71
		FACTOR DE CARGA (Kg / ml.)	35.80
		FACTOR DE POTENCIA (Kg / Tn)	0.56
		FACT. PERFORACION (M.perf. / M. avac)	1.12
		PESO ESPECIFICO MINERAL (Tn / m3)	3.54
		DENSIDAD DE CARGA	1.99

VOLADURA

EMULEX 100 1 1/4" x 12"	= 0.278 kg/Carf.
EMULEX 65 1 1/4" x 12"	= 0.26 kg/Carf.
EXAMON P	= 25 kg/Saco.



Secuencia de Salida	Distribución de Taladros	Taladros		Cartuchos de Emulex / Taladro			Explosivo Total Usado (und.)	Explosivos usados (Kg)
		Cargados	Vacios	Emulex 100 1 1/4" x 12"	Emulex 65 1 1/4" x 12"	Examon P (kg)		
1	Arranque	4	3	1	0	3.6	0	15.51
2	1ra. Ayuda	4	0	1	0	3.6	0	15.51
3	2da. Ayuda	4	0	1	0	3.5	0	15.11
4	3ra. Ayuda	3	0	1	0	3.4	0	11.03
5	4ta. Ayuda	4	0	1	0	3.4	0	14.71
6	Cuadradores	6	0	1	0	3.1	0	20.27
7	Ayuda Corona	2	0	1	0	3	0	6.56
8	Corona	5	5	1	7	0	0	10.49
9	Ayuda Arrastre	0	0	0	0	0	0	0.00
10	Arrastre	5	0	9	0	0	0	12.51
Total		37	8	17	7	23.6	0	121.71



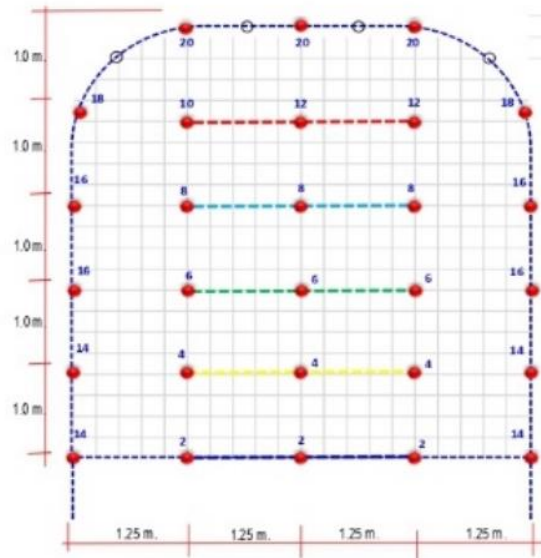
ESTANDARES DE PERFORACION Y VOLADURA BREASTING (USANDO EMULEX 100, EMULEX 65 Y EXAMON P)

SECCIÓN 5.0 MTS x 5.0 MTS - ROCA BUENA TIPO I - ZONA INTERMEDIA

SECCIÓN: 5 m. x 5 m.
 TIPO ROCA: BUENA TIPO I
 EQUIPO: JUMBO

DATOS GEOMECÁNICOS					
Tipo de Roca	RMR	Indice	Calidad	Roca	RQD
I	Buena B	61-70	Buena	Dura	Mayor 70%

MALLA DE PERFORACIÓN Y CARGUIO



PERFORACIÓN

N° TOTAL DE TAL.	=	32
N° DE TAL. PERF. 45 mm ø	=	32
N° DE TAL. RIMAD. 3 1/2" ø	=	0
N° DE TAL. CARGADOS	=	28
N° DE TAL. ALIVIO	=	4
LONG. DE PERFORACION (16 PIES)	=	4.54 mts.
PERF. EFECT. TAL 45mm ø (95 %)	=	4.31 mts.
EFICIENCIA VOLADURA (94 %)	=	4.05 mts.
MTS. PERF. TAL 45 mm ø	=	138.1 mts.
MTS. RIMAD. TAL 3 1/2" ø	=	0.0 mts.

VOLADURA

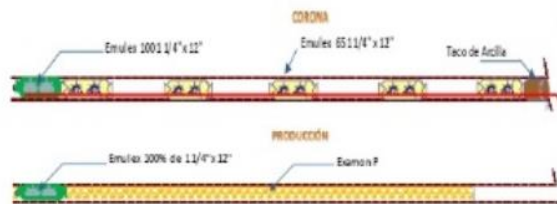
EMULEX 100 1 1/4" x 8"	=	0.27 kg/Cart.
EMULEX 65 1 1/4" x 12"	=	0.25 kg/Cart.
EXAMON P	=	25 kg/Saco.

ACCESORIOS DE VOLADURA

EXSANELES	=	28 psz.
PENTACORD	=	40 mts.
MECHA LENTA	=	10 pies
MECHA RAPIDA	=	1 pie.
Tacos de arcilla	=	28 Und
Tubos PVC (1/2" x 3 m)	=	0 Und
Tubos PVC (1 1/2" x 3.5m)	=	0 Und

RENDIMIENTOS

AVANCE POR DISPARO (ML)	=	4.06
KILOGRAMOS DE EXPLOSIVO USADO	=	98.49
FACTOR DE POTENCIA (Kg / Tn)	=	0.27
FACT. PERFORACION (M perf. / M. avc)	=	1.06
PESO ESPECIFICO MINERAL (Tn / m³)	=	3.54
DENSIDAD DE CARGA	=	0.97



Secuencia de Salida	Distribución de Taladros	Taladros		Cartuchos de Emulex / Taladro			Explosivo Total Usado (und.)	Explosivos usado (Kg)
		Cargados	Vacios	Emulex 100 1 1/4" x 12"	Emulex 65 1 1/4" x 12"	Examon P (kg)		
1	1ra. Fila	5	0	1	0	3.50	5	18.85
2	2da. Fila	5	0	1	0	3.50	5	18.85
3	3ra. Fila	5	0	1	0	3.40	5	18.35
4	4ta. Fila	5	0	1	0	3.40	5	18.35
5	5ta. Fila	5	0	1	0	3.30	5	17.85
6	Corona	3	4	0	8	0.0	0	6.24
	Total	28	4					98.49



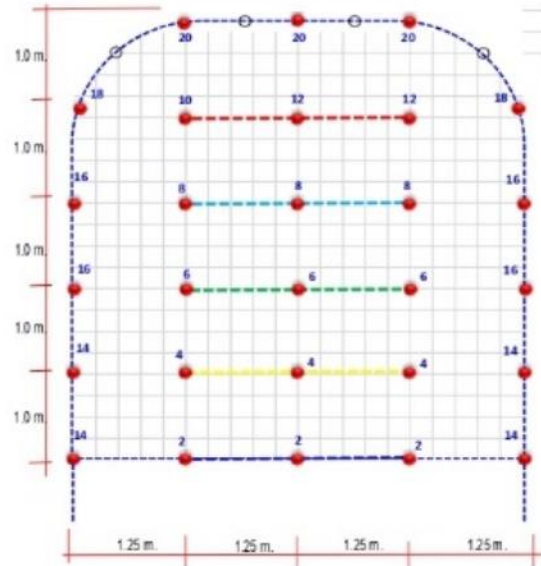
ESTANDARES DE PERFORACION Y VOLADURA BREASTING (USANDO EMULEX 100, EMULEX 65 Y EXAMON P)

SECCIÓN 5.0 MTS x 5.0 MTS - ROCA REGULAR TIPO II - ZONA INTERMEDIA

SECCIÓN: 5 m. x 5 m.
TIPO ROCA: REGULAR TIPO II
EQUIPO: JUMBO

DATOS GEOMECANICOS						
Tipo Roca	RMR	Indice	Calidad	Roca	UCS	RQD
I	Regular B	41-50	Regular	Medio	60Mpa	40-60%

MAPA DE PERFORACIÓN Y CARGUIO



PERFORACIÓN

N° TOTAL DE TAL.	=	32
N° DE TAL. PERF. 45 mm ø	=	32
N° DE TAL. RIMAD. 3 1/2" ø	=	0
N° DE TAL. CARGADOS	=	28
N° DE TAL. ALIVD	=	4
LONG. DE PERFORACION (16 PIES)	=	4.54 mts.
PERF. EFECT. TAL 45mm ø (95 %)	=	4.31 mts.
EFICIENCIA VOLADURA (94 %)	=	4.06 mts.
MTS. PERF. TAL 45 mm ø	=	138.1 mts.
MTS. RIMAD. TAL 3 1/2" ø	=	0.0 mts.

VOLADURA

EMULEX 100 1 1/4" x 8"	=	0.27 kg/Cart.
EMULEX 65 1 1/4" x 12"	=	0.26 kg/Cart.
EXAMON P	=	25 kg/Saco.

ACCESORIOS DE VOLADURA

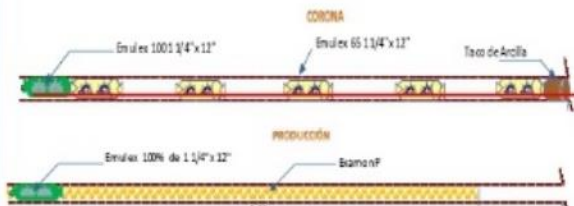
EXSANELES	=	28 pzas.
PENTACORD	=	40 mts.
MECHA LENTA	=	10 pies
MECHA RAPIDA	=	1 pie.
Tacos de arcilla:		28 Und
Tubos PVC (1/2" x 3 m):		0 Und
Tubos PVC (1 1/2" x 3.5m):		0 Und

RENDIMIENTOS

AVANCE POR DISPARO (ML)	=	4.06
KILOGRAMOS DE EXPLOSIVO USADO	=	93.21

FACTOR DE POTENCIA (Kg / Tn)

FACT. PERFORACION (M. perf / M. avac)	=	1.06
PESO ESPECIFICO MINERAL (Tn / m3)	=	3.54
DENSIDAD DE CARGA	=	0.92



Secuencia de Salida	Distribución de Taladros	Taladros		Cartuchos de Emulex / Taladro			Explosivo Total Usado (und.)	Explosivos usado (Kg)
		Cargados	Vacios	Emulex 100 1 1/4" x 12"	Emulex 65 1 1/4" x 12"	Examon P (kg)		
1	1ra. Fila	5	0	1	0	3.40	5	18.35
2	2da. Fila	5	0	1	0	3.40	5	18.35
3	3ra. Fila	5	0	1	0	3.20	5	17.35
4	4ta. Fila	5	0	1	0	3.20	5	17.35
5	5ta. Fila	5	0	1	0	3.00	5	16.35
6	Corona	3	4	0	7	0.0	0	5.46
	Total	28	4					93.21

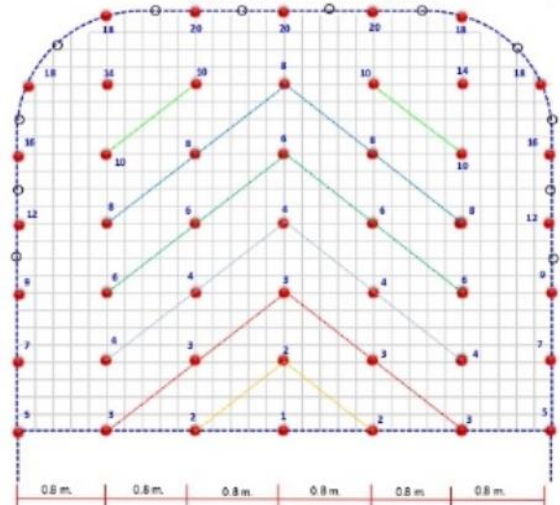


ESTANDAR DE PERFORACION Y VOLADURA EN BREASTING (USANDO EMULEX 100, EMULEX 65 Y EXAMON P)

NIVEL 3050, 3070 - ZONA BAJA - ROCA BUENA TIPO I

SECCIÓN: 5 m. x 5 m.
TIPO ROCA: TIPO I
EQUIPO: JUMBO

MALLA DE PERFORACIÓN Y CARGUIO



PERFORACIÓN

N° TOTAL DE TAL.	=	59
N° DE TAL. PERF. 45 mm ø	=	49
N° DE TAL. RIMAD. 3 1/2" ø	=	0
N° DE TAL. CARGADOS	=	47
N° DE TAL. ALIVIO	=	12
LONG. DE PERFORACION (16 PIES)	=	4.54 mts.
PERF. EFECT. TAL. 45 mm ø (95 %)	=	4.31 mts.
EFICIENCIA VOLADURA (94 %)	=	4.27 mts.
MTS. PERF. TAL. 45 mm ø	=	254.6 mts.
MTS. RIMAD. TAL. 3 1/2" ø	=	0.0 mts.

VOLADURA

EMULEX 100 1 1/4" x 8"	=	0.27 kg/Car.
EMULEX 65 1 1/4" x 12"	=	0.26 kg/Car.
EXAMON P	=	25 kg/Saco.

Datos Geomecánicos

Tipo Roca	RMR	Índice	Calidad	Roca	RQD
I	Buena B	61 - 70	Buena	Dura	Mayor 70%

ACCESORIOS DE VOLADURA

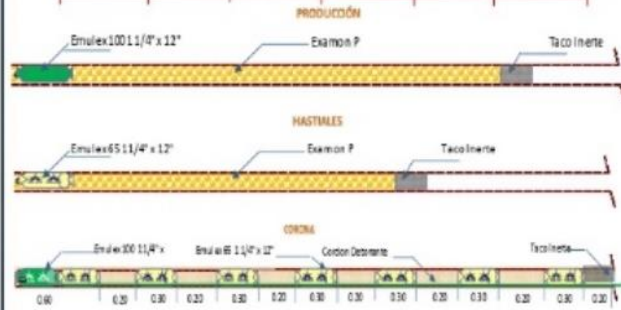
EXSANELES	=	47 Pzas.
PENTACORD	=	40 mts
MECHA LENTA	=	8 Pies
MECHA RAPIDA	=	1 Pie
Tacos de arcilla:	=	47 Und.
Tubos PVC (1/2" x 3 m):	=	0 Und
Tubos PVC (1 1/2" x 3.5m):	=	0 Und

RENDIMIENTOS

AVANCE POR DISPARO (ML)	=	4.27
KILOGRAMOS DE EXPLOSIVO USADO	=	149.79

FACTOR DE POTENCIA (Kg / Tn)

FACT. PERFORACION (M. perf / M. avoc)	=	1.01
PESO ESPECIFICO MINERAL (Tn / m3)	=	3.64
DENSIDAD DE CARGA	=	1.17



Secuencia de Salida	Distribución de Taladros	Taladros		Cartuchos de Emulex / Taladro			Explosivos usado (Kg)
		Cargados	Vacios	Emulex 100 1 1/4" x 12"	Emulex 65 1 1/4" x 12"	Examon P (kg)	
1	1er. Corte retardo MS N° 1	1	0	1	0	3.20	3.47
2	2do. Corte retardo MS N° 2	3	0	1	0	3.20	10.41
3	3er. Corte retardo MS N° 3	5	0	1	0	3.20	17.35
4	4to. Corte retardo MS N° 4	5	0	1	0	3.20	17.35
5	5to. Corte retardo MS N° 5	2	0	0	1	3.20	6.40
6	6to. Corte retardo MS N° 6	5	0	1	0	3.20	17.35
7	7mo. Corte retardo MS N° 7	2	0	0	1	3.20	6.40
8	8vo. Corte retardo MS N° 8	5	0	1	0	3.20	17.35
9	9no. Corte retardo MS N° 9	2	2	0	1	3.20	6.40
10	10mo. Corte retardo MS N° 10	4	0	1	0	3.20	13.88
11	11undmo. Corte retardo MS N° 12	2	2	0	1	3.00	6.00
12	12duomo. Corte retardo MS N° 14	2	0	1	0	3.00	6.54
13	13dmo. Corte retardo MS N° 16	2	2	0	1	2.70	5.40
14	14dmo. Corte retardo MS N° 18	4	2	0	1	2.50	10.00
17	Corona retardo MS N° 20	3	4	1	6	0.00	5.49
Total		47					149.79

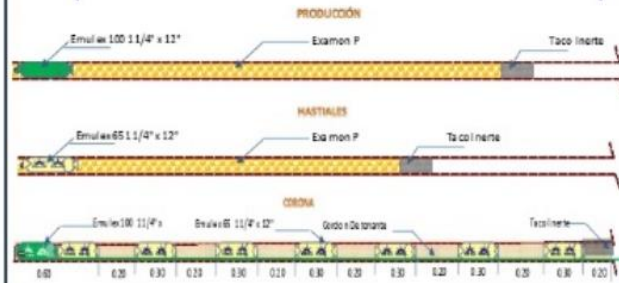
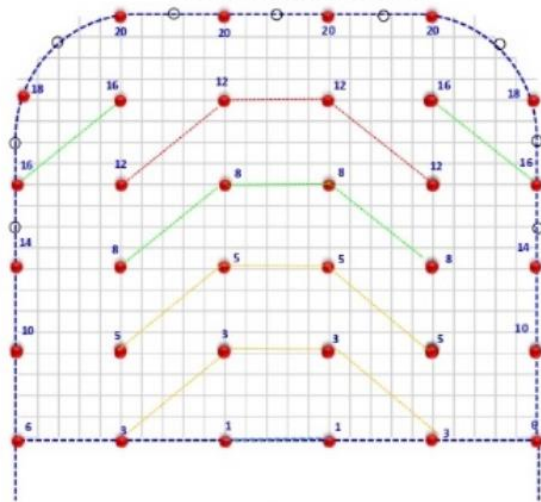


ESTANDARES DE PERFORACION Y VOLADURA BREASTING (USANDO EMULEX 100, EMULEX 65 Y EXAMON P)

NIVEL 3050, 3070 - ZONA BAJA - ROCA REGULAR TIPO II

SECCIÓN: 5 m. x 5 m.
TIPO ROCA: REGULAR
EQUIPO: JUMBO

MAJLA DE PERFORACIÓN Y CARGUO



DATOS GEOMECANICOS						
Tipo Roca	RMR	Indice	Calidad	Roca	UCS	RQD
II	Regular B	41 - 50	Regular	Media	60 Mpa	40 - 60 %

ROCA TIPO II

PERFORACIÓN

N° TOTAL DE TAL.	=	43
N° DE TAL. PERF. 51 mm ø	=	43
N° DE TAL. RIMAD. 3 1/2" ø	=	0
N° DE TAL. CARGADOS	=	34
N° DE TAL. ALIVIO	=	9
LONG. DE PERFORACION (16 PIES)	=	4.54 mts.
PERF. EFECT. TAL. 51 mm ø (95 %)	=	4.41 mts.
EFICIENCIA VOLADURA (94 %)	=	4.36 mts.
MTS. PERF. TAL. 51 mm ø	=	189.4 mts.
MTS. RIMAD. TAL. 3 1/2" ø	=	0.0 mts.

VOLADURA

EMULEX 100 1 1/4" x 8"	=	0.27 kg/Cart.
EMULEX 65 1 1/4" x 12"	=	0.26 kg/Cart.
EXAMON P	=	25 kg/Saco.

ACCESORIOS DE VOLADURA

EXSANELES	=	34 Pzas.
PENTACORD	=	40 mts
MECHA LENTA	=	8 Pies
MECHA RAPIDA	=	1 Pie
Tacos de arcilla	=	34 Und.
Tubos PVC (1/2" x 3 m)	=	0 Und
Tubos PVC (1 1/2" x 3.5m)	=	0 Und

RENDIMIENTOS

AVANCE POR DISPARO (ML)	=	4.36
KILOGRAMOS DE EXPLOSIVO USADO	=	111.30

FACTOR DE POTENCIA (Kg / Tn)

FACT. PERFORACION (M. perf. / M. avac)	=	1.01
PESO ESPECIFICO MINERAL (Tn / m3)	=	3.54
DENSIDAD DE CARGA	=	1.02

Secuencia de Salida	Distribución de Taladros	Taladros		Cartuchos de Emulex / Taladro			Explosivos usado (Kg)
		Cargados	Vacios	Emulex 100 1 1/4" x 12"	Emulex 65 1 1/4" x 12"	Examon P (kg)	
1	1er corte retardo MS N° 1	2	0	1	0	3.20	6.94
2	2do. Corte retardo MS N° 3	4	0	1	0	3.20	13.88
3	3ro. Corte retardo MS N° 5	4	0	1	0	3.20	13.88
4	4to. Corte retardo MS N° 6	2	0	0	1	3.20	6.92
5	5to. Corte retardo MS N° 8	4	0	1	0	3.20	13.88
6	6to. Corte retardo MS N° 10	2	2	0	1	3.20	6.92
7	7mo. Corte retardo MS N° 12	4	0	1	0	3.20	13.88
8	8vo. Corte retardo MS N° 14	2	2	0	1	3.20	6.92
9	9no. Corte retardo MS N° 16	4	0	0	1	3.20	12.80
10	10mo. Corte retardo MS N° 18	2	0	0	1	3.20	6.92
11	Corona retardo MS N° 20	4	5	1	7	0.00	8.36
Total		34					111.30

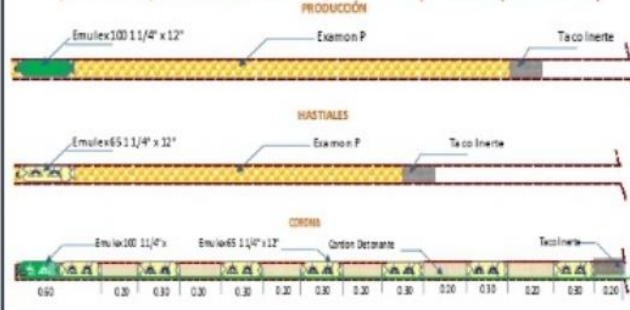
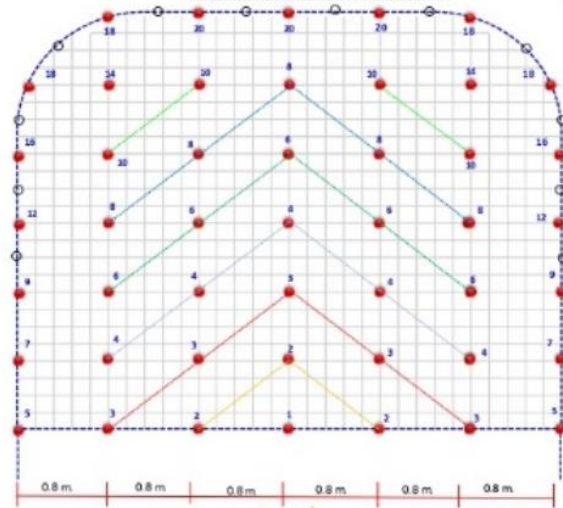


ESTANDAR DE PERFORACION Y VOLADURA EN BREASTING (USANDO EMULEX 100, EMULEX 65 Y EXAMON P)

NIVEL 3050, 3070 - ZONA BAJA - ROCA BUENA TIPO I

SECCIÓN: 5 m. x 5 m.
TIPO ROCA: TIPO I
EQUIPO: JUMBO

MALLA DE PERFORACIÓN Y CARGUIO



Datos Geomecánicos					
Tipo Roca	RMR	Índice	Calidad	Roca	RQD
I	Buena B	61 - 70	Buena	Dura	Mayor 70%

PERFORACIÓN

Nº TOTAL DE TAL.	=	59
Nº DE TAL. PERF. 45 mm ø	=	49
Nº DE TAL. RIMAD. 3 1/2" ø	=	0
Nº DE TAL. CARGADOS	=	47
Nº DE TAL. ALIVIO	=	12
LONG. DE PERFORACION (16 PIES)	=	4.54 mts.
PERF. EFECT. TAL. 45 mm ø (95 %)	=	4.31 mts.
EFICIENCIA VOLADURA (94 %)	=	4.27 mts.
MTS. PERF. TAL. 45 mm ø	=	254.6 mts.
MTS. RIMAD. TAL. 3 1/2" ø	=	0.0 mts.

VOLADURA

EMULEX 100 1 1/4" x 8"	=	0.27 kg/Cart.
EMULEX 65 1 1/4" x 12"	=	0.26 kg/Cart.
EXAMON P	=	25 kg/Saco.

ACCESORIOS DE VOLADURA

EXSANELES	=	47 Pzas.
PENTACORD	=	40 mts.
MECHA LENTA	=	8 Pies
MECHA RAPIDA	=	1 Pie
Tacos de arcilla:		47 Und.
Tubos PVC (1/2" x 3 m):		0 Und.
Tubos PVC (1 1/2" x 3.5m):		0 Und.

RENDIMIENTOS

AVANCE POR DISPARO (ML)	=	4.27
KILOGRAMOS DE EXPLOSIVO USADO	=	149.79

FACTOR DE POTENCIA (Kg / Tn)

FACT. PERFORACION (M. perf / M. avac)	=	1.01
PESO ESPECIFICO MINERAL (Tn / m3)	=	3.54
DENSIDAD DE CARGA	=	1.17

Secuencia de Salida	Distribución de Taladros	Taladros		Cartuchos de Emulex / Taladro			Explosivos usado (Kg)
		Cargados	Vacios	Emulex 100 1 1/4" x 12"	Emulex 65 1 1/4" x 12"	Examon P (kg)	
1	1er. Corte retardo MS N° 1	1	0	1	0	3.20	3.47
2	2do. Corte retardo MS N° 2	3	0	1	0	3.20	10.41
3	3er. Corte retardo MS N° 3	5	0	1	0	3.20	17.35
4	4to. Corte retardo MS N° 4	5	0	1	0	3.20	17.35
5	5to. Corte retardo MS N° 5	2	0	0	1	3.20	6.40
6	6to. Corte retardo MS N° 6	5	0	1	0	3.20	17.35
7	7mo. Corte retardo MS N° 7	2	0	0	1	3.20	6.40
8	8vo. Corte retardo MS N° 8	5	0	1	0	3.20	17.35
9	9no. Corte retardo MS N° 9	2	2	0	1	3.20	6.40
10	10mo. Corte retardo MS N° 10	4	0	1	0	3.20	13.88
11	11undmo. Corte retardo MS N° 12	2	2	0	1	3.00	6.00
12	12duomo. Corte retardo MS N° 14	2	0	1	0	3.00	6.54
13	13dmoro. Corte retardo MS N° 16	2	2	0	1	2.70	5.40
14	14dmo. Corte retardo MS N° 18	4	2	0	1	2.50	10.00
17	Corona retardo MS N° 20	3	4	1	6	0.00	5.49
Total		47					149.79

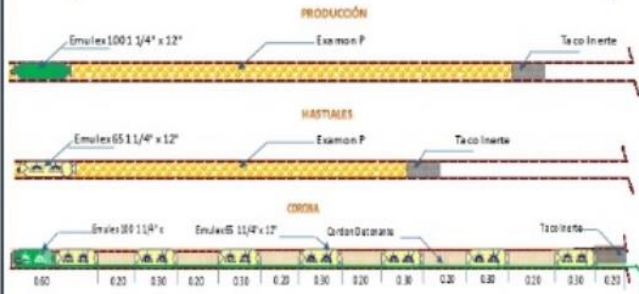
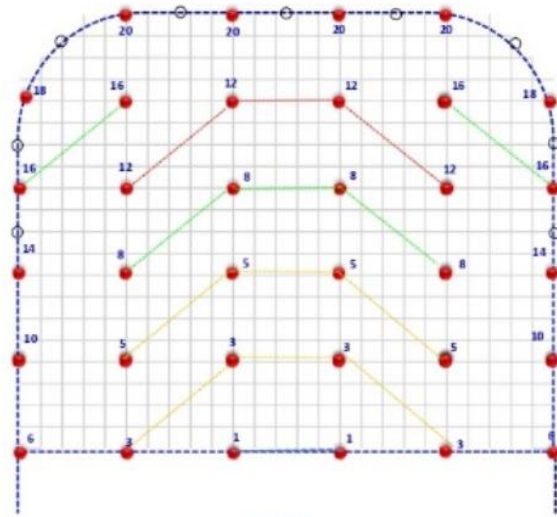


ESTANDARES DE PERFORACION Y VOLADURA BREASTING (USANDO EMULEX 100, EMULEX 65 Y EXAMON P)

NIVEL 3050, 3070 - ZONA BAJA - ROCA REGULAR TIPO II

SECCIÓN: 5m. x 5m.
TIPO ROCA: REGULAR
EQUIPO: JUNBO

MALLA DE PERFORACIÓN Y CARGUIO



DATOS GEOMECANICOS						
Tipo Roca	RMR	Indice	Calidad	Roca	UCS	RQD
II	Regular B	41 - 50	Regular	Media	60 Mpa	40 - 60 %

ROCA TIPO II

PERFORACIÓN

N° TOTAL DE TAL.	=	43
N° DE TAL. PERF. 51 mm ø	=	43
N° DE TAL. RIMAD. 3 1/2" ø	=	0
N° DE TAL. CARGADOS	=	34
N° DE TAL. ALVIO	=	9
LONG. DE PERFORACION (16 PIES)	=	4.54 mts.
PERF. EFECT. TAL 51 mm ø (95 %)	=	4.41 mts.
EFICIENCIA VOLADURA (94 %)	=	4.36 mts.
MTS. PERF. TAL 51 mm ø	=	189.4 mts.
MTS. RIMAD. TAL. 3 1/2" ø	=	0.0 mts.

VOLADURA

EMULEX 100 1 1/4" x 8"	=	0.27 kg/Cart.
EMULEX 65 1 1/4" x 12"	=	0.26 kg/Cart.
EXAMON P	=	25 kg/Saco.

ACCESORIOS DE VOLADURA

EXSANELES	=	34 Pzas
PENTACORD	=	40 mts
MECHA LENTA	=	8 Pies
MECHA RAPIDA	=	1 Pie
Tacos de arcilla:		34 Und.
Tubos PVC (1/2" x 3m):		0 Und
Tubos PVC (1 1/2" x 3.5m):		0 Und

RENDIMIENTOS

AVANCE POR DISPARO (ML)	=	4.36
KILOGRAMOS DE EXPLOSIVO USADO	=	111.30

FACTOR DE POTENCIA (Kg / Tn)	=	0.29
FACT. PERFORACION (M. perf / M. avac)	=	1.01
PESO ESPECIFICO MINERAL (Tn / m3)	=	3.54
DENSIDAD DE CARGA	=	1.02

Secuencia de Salida	Distribución de Taladros	Taladros		Cartuchos de Emulex / Taladro			Explosivos usado (Kg)
		Cargados	Vacios	Emulex 100 1 1/4" x 12"	Emulex 65 1 1/4" x 12"	Examon P (kg)	
1	1er corte retardo MS N° 1	2	0	1	0	3.20	6.94
2	2do. Corte retardo MS N° 3	4	0	1	0	3.20	13.88
3	3ro. Corte retardo MS N° 5	4	0	1	0	3.20	13.88
4	4to. Corte retardo MS N° 6	2	0	0	1	3.20	6.92
5	5to. Corte retardo MS N° 8	4	0	1	0	3.20	13.88
6	6to. Corte retardo MS N° 10	2	2	0	1	3.20	6.92
7	7mo. Corte retardo MS N° 12	4	0	1	0	3.20	13.88
8	8vo. Corte retardo MS N° 14	2	2	0	1	3.20	6.92
9	9no. Corte retardo MS N° 16	4	0	0	1	3.20	12.80
10	10mo. Corte retardo MS N° 18	2	0	0	1	3.20	6.92
11	Corona retardo MS N° 20	4	5	1	7	0.00	8.36
Total		34					111.30

Anexo 4 Matriz de Consistencia

Título: Optimización del ciclo de minado para incrementar los beneficios económicos aplicando programación lineal en la empresa Seprocal S.A.C.

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Problema General: ¿De qué manera la optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal, influye en los beneficios económicos de la Empresa Seprocal S.A.C.?</p>	<p>Objetivo General: Determinar la influencia de la optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal, en los beneficios económicos de la Empresa Seprocal S.A.C.</p>	<p>Hipótesis General: La optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal, incrementa significativamente los beneficios económicos de la Empresa Seprocal S.A.C.</p>	<p>Variable Dependiente: Beneficio económico.</p>	<p>Tipo de Investigación: Aplicada.</p>	<p>Población: Empresa Seprocal S.A.C.</p>	
<p>Problemas Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿De qué manera la optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal, influye en los costos operativos en el ciclo de minado de la Empresa Seprocal S.A.C.? • ¿De qué manera la optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal, influye en el uso de recursos económicos en el ciclo de minado de la Empresa Seprocal S.A.C.? 	<p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analizar la influencia la optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal, en los costos operativos del ciclo de minado de la Empresa Seprocal S.A.C. • Evaluar la influencia de la optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal, en el uso de recursos económicos en el ciclo de minado de la Empresa Seprocal S.A.C. 	<p>Hipótesis Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal, reduce notablemente los costos operativos en el ciclo de minado de la Empresa Seprocal S.A.C. • La optimización del ciclo de minado, aplicando programación lineal, garantiza un uso eficiente de los recursos económicos en el ciclo de minado de la Empresa Seprocal S.A.C. 	<p>Variables Independientes: Optimización del ciclo de minado.</p> <p>Variable interviniente: Programación lineal.</p>	<p>Nivel de Investigación: Explicativa.</p> <p>Método General: Deductivo – Inductivo.</p> <p>Diseño: Pre-experimental.</p>	<p>Muestra: Operaciones de minado de la empresa Seprocal S.A.C.</p> <p>Muestreo: No probabilístico.</p>	<p>Técnicas: Observación.</p> <p>Instrumentos: Ficha de observación.</p>

Anexo 5
Matriz de Operacionalización de Variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Escala
Optimización ciclo de minado	Desarrollo eficiente de las operaciones básicas en la producción de metales y minerales, la cuales generan mayores ganancias o beneficios económicos para la Compañía minera.	Mejora en la ejecución de las operaciones de perforación, voladura, ventilación, limpieza, transporte y sostenimiento, consideradas básicas en la producción de minerales, las cuales generan beneficios económicos para la empresa.	Perforación	Tipo de perforación	Tipo y método de perforación empleado.	Razón
				Clase de terreno	Características del terreno.	
				Nº de caras libres de labor	Número de caras libres en la zona minera.	
				Grado de fragmentación	Proporción de la roca a fragmentar.	
			Voladura de rocas	Equipo de perforación.	Tipo de equipo utilizado.	
				Funcionamiento del sistema de trituración	Buen procesamiento del sistema implementado.	
				Control de explosivos	Densidad.	
					Velocidad detonación.	
			Fuerza de la masa.			
			Ventilación	Resistencia al agua.		
				Diámetro crítico.		
				Plan de ventilación	Diseño y supervisión.	
			Desate mecanizado	Manejo del circuito de ventilación.	Plan de ventilación.	
				Control de la atmósfera.	Medición de gases Medición de humedad Intensidad	
			Sostenimiento	Mecanización del desatado	Desatado con scaler	
Tipo de sostenimiento	Tipo de sostenimiento empleado en la mina.					
Sistema de control de calidad.	Medidas de control para instalación.					
	Control del área de almacenamiento.					
	Mapeo de la zona minera.					
	Periodos de capacitación al personal.					

					Verificar que la zona cuente con las PETS.	
					Control visual del macizo rocoso.	
					Periodo de limpieza.	Días y horas de limpieza a la semana.
			Limpieza y acarreo de mineral		Procedimiento de limpieza.	Insumos empleados. Equipos empleados.
					Tipo de vehículo.	Vehículo empleado para el transporte.
					Sistema de carga.	Señalización. Método de transporte y acarreo.
			Relleno hidráulico		Relleno hidráulico	Material para el relleno hidráulico Separación de gruesos Separación de finos
Beneficio económico	Beneficio que mezcla los parámetros contables dentro del mercado y las compara con la rentabilidad de sus acciones, buscando comprobar el valor neto y contable de sus inversiones, además de la creación de valor, dependiendo de los periodos (Fernández, 2013)	Beneficio que compara la rentabilidad de las acciones y valor neto, resultado de las operaciones, considerando los costos y recursos.	Costos	Monto de los costos de operación.	Inversión en maquinarias y equipos. Inversión en operarios. Otros costos en los que incurre.	Razón
			Recursos	Control en la distribución.	Distribución de recursos materiales. Distribución del recurso humano. Control de capital.	Nomina 1
			Ingresos	Ingresos totales	Ingresos totales por contrata	Razón