

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Industrial

“OPTIMIZACIÓN DE LOS TIEMPOS DEL CICLO EN EL PROCESO DE ACARREO DE MINERAL MEDIANTE LA PROGRAMACIÓN LINEAL, EN UNA UNIDAD MINERA EN LA REGION LA LIBERTAD”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Lorenzo Arteaga Flores

Asesor:

Ing. Luis Roberto Quispe Vásquez

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mis padres y hermanos por el apoyo que me brindaron día a día en mi superación personal y en todas las metas que me he trazado.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a cada uno de mis familiares, en especial a Dios y a mis padres. Por siempre estar apoyándome en cada nuevo reto que me propongo y por hacer de mí una mejor persona con sus incansables consejos y todo su gran apoyo incondicional.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
TABLA DE CONTENIDOS	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Realidad problemática	10
1.2. Formulación del problema	18
1.3. Objetivos	19
1.4. Hipótesis	19
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	20
2.1. Tipo de investigación.....	20
2.2. Población y muestra.....	21
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	22
2.4. Procedimientos de recolección de datos	24
2.5. Análisis de datos/Análisis estadístico	25
2.5. Aspectos éticos.....	25
2.6. Matriz de operacionalización de variables.....	27
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	28
3.1. Diagnóstico del proceso de acarreo de mineral	28
3.2. Aplicación de la Programación Lineal.....	36

3.3. Evaluación de la mejora en el proceso de acarreo	46
3.4. Evaluación del costo por la aplicación de la Programación Lineal	49
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	54
4.1. Discusión.....	54
4.2. Conclusiones	57
4.3. Recomendaciones	59
REFERENCIAS.....	60
ANEXOS.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	24
Tabla 2 Matriz de operacionalización de variables.....	27
Tabla 3 Causas del problema en el proceso de acarreo	29
Tabla 4 Demoras que afectan en el proceso de acarreo de mineral	33
Tabla 5 Proporción de demoras que afectan el proceso de acarreo por mes	34
Tabla 6 Número de horas máquina	35
Tabla 7 Número de toneladas producidas de material	35
Tabla 8 Costo de equipos.....	36
Tabla 9 Resultados con Tora.....	41
Tabla 10 Resultados con Solver.....	42
Tabla 11 Análisis de Sensibilidad con Tora	43
Tabla 12 Análisis de Sensibilidad con Solver.....	44
Tabla 13 Ciclos perdidos por categoría	47
Tabla 14 Costo de demoras en equipos de acarreo	49
Tabla 15 Resultados Método Simplex	50
Tabla 16 Flujos de Caja	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 17 Flujos de Caja con mejoras	53
Tabla 18 Comparación Indicadores de Inversión	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama Ishikawa.....	29
Figura 2. Diagrama de Pareto	30
Figura 3. Ciclos perdidos al mes por categorías de demora	48
Figura 4. Costos al mes por categorías de demora	51

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo optimizar la producción del acarreo de mineral mediante la Programación Lineal para minimizar los costos en una unidad minera en la región LA LIBERTAD. El trabajo de investigación fue de tipo aplicada, con un enfoque cuantitativo, nivel descriptivo - explicativo, diseño cuasi experimental y de método deductivo. Con una población que estuvo conformado por seis camiones mineros y un cargador frontal (activos de la empresa). Asimismo, la técnica de muestreo empleada fue el no probabilístico y el tamaño de la muestra fue el mismo que la población. Se concluyó que, por medio de la aplicación la Programación Lineal, permitió minimizar los ciclos de demoras, significando para la empresa resultados positivos en la producción como en las utilidades. Es decir, se pudo recuperar \$. 4,438.39 dólares mensuales en alquiler de equipos en el ciclo de acarreo. Finalmente se recomendó a la empresa dar un mayor énfasis en el empleo de la programación lineal en otras operaciones mineras, tales como en la explotación de minerales, estimación e inventario de recursos y reservas de la mina, entre otros.

Palabras clave: Programación Lineal y optimización.

ABSTRACT

The objective of this research is to optimize the production of ore hauling through the LINEAR PROGRAMMING to minimize costs at. Mining Unit. of the LA LIBERTAD. The research work was applied, with a quantitative approach, descriptive-explanatory level, quasi-experimental design and deductive method. With a population that consisted of six mining trucks and a front loader (company assets). Likewise, the sampling technique used was non-probabilistic and the sample size was the same as the population. It was concluded that through the application of the linear programming, it will minimize the hours of delays, meaning for the company, positive results in production as well as in profits. That is, \$ could be recovered. \$ 1,130.00 per month for equipment rental in the hauling cycle. Finally, a company with greater emphasis on the use of linear programming in other mining operations is recommended, such as in the exploitation of minerals, estimation and inventory of resources and reserves of the mine, among others.

Keywords: Linear Programming and optimization.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La minería, los minerales y los metales son imprescindibles para el desarrollo económico y social de muchos países, debido a que siguen siendo esenciales para la vida moderna. De acuerdo a Sena (2019) “la industria minera, también conocida como extractiva, es vital y está presente en cada una de las actividades humanas; por ejemplo, en la generación eléctrica, construcción e infraestructura, transporte, comunicación, mecánica, instrumentación, medicina, alimentación, electrodomésticos, ropa y calzado, investigación científica y espacial, así como también en servicios y medios de consumo”. (p.1)

Actualmente, las grandes empresas mineras en sus diferentes procesos que ejecutan, se enfatiza en la minimización de costos y tiempos, para lograr eficazmente una producción económicamente efectiva. Según Cárcamo (2019) “toda empresa minera espera producir a los costos más bajos posibles y debe plantearse objetivos de optimización de costos para las actividades estratégicas de su cadena de valor: exploraciones, minado, concentración, logística comercial, relaciones comunitarias, medioambiente, entre otras”. (p.1)

El acarreo y carguío conforma el proceso de sacar el material volado del frente de trabajo hacia un equipo de transporte, con el fin de transportarlo de forma correcta a la planta de beneficio o al botadero. Este proceso se realiza ya sea en minería superficial o subterránea.

Teniendo en cuenta a Seguridad Minera (2017) menciona que “dentro de los procesos productivos de mayor costo se encuentra el carguío y transporte de material, debido a que es el proceso con mayor cantidad de equipos involucrados, alto grado de mecanización, menor rendimiento productivo por equipo y constituye un proceso de operación prácticamente continuo y lento”. (p.1)

Citando a Cahuari (2019) señala que “la operación con los equipos de acarreo, el costo de acarreo representa el 38% del costo total de operaciones mina y el costo de carguío representa el 8%, por esta razón es necesario la evaluación de los factores y actividades que consumen el tiempo operativo total en estas actividades”. (p.3)

Por tanto, la optimación de la producción, carguío y acarreo de minerales en el sector minero es fundamental debido a que se involucran gran cantidad de equipos haciendo de este proceso lento y continuo. Esta mejora en estos procesos, permitirá a las empresas realizar una adecuada gestión, dando como resultado la reducción de los tiempos muertos en los equipos de carguío y acarreo, alcanzado con esto un incremento en la productividad, generando utilidades a las empresas.

En el Perú, los ciclos de carguío y acarreo de mineral en el área de operaciones en minas a tajo abierto siempre ha sido una parte difícil de solucionar para las empresas mineras, en las cuales las vías de circulación juegan un papel importante para el desarrollo de la producción. Es por ello, que estas vías de circulación deben estar en buenas condiciones, en muchos casos estas están mal diseñadas generando cuellos de botella y sobre todo afectando al rendimiento productivo, debido al alto grado de mecanización, teniendo en cuenta el alto costo que se tiene en los equipos de carguío y acarreo y sus componentes.

Por otro lado, Según Valencia (2015) “el Método Simplex, como parte de la programación lineal, es un método analítico capaz de resolver aquellos modelos que se vuelven complejos en el uso del método gráfico por el número de variables empleadas”. (p.3)

Gómez et al. (2018) señalan que “el Método Simplex trabaja basándose en ecuaciones y las restricciones iniciales que se modelan mediante programación lineal para ello hay que convertir estas inecuaciones en ecuaciones utilizando unas variables denominadas de holgura y exceso relacionadas con el recurso al cual hace referencia la restricción”. (p.71)

Es muy importante en el sector industrial ya que lo emplean, con el fin de solucionar diversos problemas de las empresas, en cuanto a inventarios, ganancias, pérdidas y áreas de transportes.

Como menciona Escamilla (2003) “la Programación Lineal puede ayudar a reducir el ciclo promedio de carga y acarreo, cumplir con los programas de producción y aprovechar al máximo las reservas minerales”. (p.2) Es por esta razón que por medio de la aplicación del Método Simplex se puede desarrollar una estrategia de optimización en los procesos de carguío y acarreo.

Como expresa Campos y Ricra (2017) “la Programación Lineal no es un recurso nuevo, los beneficios del impacto de su aplicación a procesos de producción de diversa índole están bien documentados, la utilización de la capacidad de procesamiento del computador y el avance vertiginoso de nuevas tecnologías ofrecen un marco adecuado para su uso y manejo en entornos de producción de la industria minera”. (p.12)

De igual forma, se detallará la realidad de la problemática en comparación con otros estudios tanto a nivel internacional como nacional:

Girón (2016) en su trabajo de investigación “Aplicación del modelo matemático simplex para optimizar los recursos de una empresa procesadora de verduras, ubicada en la ciudad capital”; demostró que la empresa carece de lineamientos para determinar y controlar la producción de bandejas de verduras, provocando así la alza en los costos, merma y desperdicio de las materias primas, baja productividad, ciclos de tiempo perdidos, abastecimiento irregular a los clientes y como consecuencia una pérdida significativa de utilidades. Asimismo, comprobó que las causas que producen deficiencias en el abastecimiento de materia prima se debe a que la empresa no tiene un conocimiento del volumen de compra de los insumos y la ausencia de un instrumento técnico que permita determinar la producción

óptima y a la vez, minimizar los costos. Mediante el modelo matemático simplex, logró optimizar los recursos, los tiempos y minimizar los costos mensuales. Concluyó que la empresa actualmente no cuenta con un control de producción, lo que genera un descontrol en el inventario de materia prima y al momento de un pedido no se tiene contemplada la disponibilidad, lo que provoca que se realicen compras al precio del día. Además, existe una inadecuada manipulación de la verdura recolectada, provocando merma y desperdicio, todo esto se debe a la ausencia de supervisión en los procesos de recepción.

Carranza y Moncada (2019) en su trabajo de investigación “Optimización de las Utilidades en la Empresa DM&E S.A.S mediante un Modelo de Programación Lineal que permita mejorar su Rendimiento Operacional”; alcanzaron encontrar el valor de la máxima utilidad que podría tener la empresa en un mes, por medio de la programación lineal, en relación a los 1534 productos, la cual tiene un valor de \$112.570.852,44, si decide este mismo dejar de vender los productos que están generando pérdida. Concluyeron que la programación lineal es de gran importancia para cualquier empresa debido a que proporciona una herramienta financiera cuyos resultados permiten obtener un sustento en la toma de decisiones gerenciales, esta metodología de optimización es aplicada generalmente en las pequeñas y medianas empresas (Pymes) como lo es el caso de DM&E S.A.S porque permite un uso eficiente de los recursos con lo que dispone la compañía para su actividad operacional los cuales se verán reflejados en sus estados financieros.

Campana (2011) en su trabajo de investigación “Modelo matemático de programación lineal para optimizar la selección de fertilizantes a través de la disminución de costos en el cultivo de papa”; consiguió visualizar la minimización de los costos relativos de fertilización en el cultivo de papa, facilitando y ahorrando tiempo y recursos en el escogimiento de los fertilizantes. Asimismo, obtuvo como conclusión que los fertilizantes escogidos una vez

realizada la solución del modelo por su costo y aporte de nutrientes son: Rey Papa porque (Xc2) Con 59.208 Kg/ha; Fernical (Xs1) con 356.415 Kg/ha; Fernitrok (Xc11) con 752.779 Kg/ha; Urea (Xs2) 117.933 con Kg/ha; Kelatex (Xm1) con 6.111 Kg/ha; Sulpomag (Xs8) 181.521 Kg/ha y Kelamin Cobre (Xm4) 0.300 Kg/ha. Con estos fertilizantes se cumplen los requerimientos nutricionales necesarios para el cultivo de papa. Por último, a través de la Programación Lineal facilito la metodología de escogimiento de fertilizantes utilizados en el cultivo de papa tomando en cuenta su contenido de nutrientes, así como por su costo.

Galicia (2013) en su trabajo de investigación “Modelo matemático determinístico simplex para optimizar los recursos en una distribuidora de materia prima para calzado en la ciudad de Guatemala” logró demostrar que la empresa no aplica ningún modelo matemático para obtener una combinación optima de productos, para la venta y poder así aprovechar los recursos de la mejor forma posible. Asimismo, en el diagnóstico realizado en la investigación, determinó que la empresa no establece ningún control para optimizar recursos, y así obtener la máxima utilidad. Concluyó que la aplicación del modelo matemático simplex, ayudó a encontrar la combinación optima adecuada en las ventas de los productos de contrafuerte, forro y espuma, para maximizar la utilidad de tales productos. Por último, determinó que, para mejorar el proceso de toma de decisiones, es necesario la aplicación de la programación lineal como herramienta central.

González et al. (2018) en su trabajo de investigación “Modelo de Programación Lineal Aplicado a una Empresa PYME de Calzado”, alcanzaron el planteamiento efectivo de la función objetivo, de las variables de decisión del problema y sus restricciones para después colocarlas en el programa PQM, donde obtuvieron la cantidad de docenas óptimas de cada modelo de zapato (Trekking, deportivos, casual y urbano) que se deben producir para que la utilidad de la empresa sea mayor. Concluyeron que es muy importante que los profesionales

ligados a las PYMES desarrollen mayor habilidad en el manejo de esta técnica, estos conocimientos les otorgarían mayores posibilidades de encontrar respuestas para un desarrollo sustentable. Esto es debido a que la programación lineal propone formas particulares de abordaje a problemas empresariales, aprovechando los actuales avances informáticos, ofreciendo gran ayuda a la hora de valorar futuras estrategias de desarrollo y mejora de una empresa.

Asimismo, a nivel nacional Campos y Ricra (2017) en su trabajo de investigación “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”; consiguieron un impacto positivo, a través de la aplicación de la programación lineal con el uso de Solver, logrando con esto optimizar (minimizar) un 12.35% del costo total y optimizar los ciclos improductivos en el proceso de carguío-acarreo de minerales en la mina Lagunas Norte, la Libertad. Concluyeron que el impacto de la decisión que se toma a través del programa Solver es beneficioso en el óptimo desempeño de los equipos de carguío (palas hidráulicas y cargadores frontales).

Quispe y Sanchez (2019) en su trabajo de investigación “Aplicación de la programación lineal maximizar la eficiencia en hornos de recalentamiento, empresa siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018”; lograron maximizar la eficiencia económica de los hornos de recalentamiento en 0,18; a través de la aplicación de la programación lineal maximizar. Esto se debe a que en el pre test obtuvieron 1.27 (por cada dólar invertido se obtiene una ganancia de 0,27 centavos de dólar) y en el post test 1.45, es decir, por cada dólar invertido se obtiene una ganancia de 0,45 centavos de dólar. Concluyeron que a través de la programación lineal lograron optimizar los ratios de la relación oxígeno - aire, logrando de esta forma reducir el consumo energético en 17 Kwt/tn. Debido a que en el pre test obtuvieron 357 Kwt/tn y en el

post test arrojaron un 374 Kwt/tn logrando de esta forma maximizar la eficiencia energética de los hornos de recalentamiento, resultados que fueron validados por la prueba estadística de diferencia de hipótesis, al 95% de confianza utilizando el software XLSTAT.

Acero (2017) en su trabajo de investigación “Aplicación de método simplex para un modelo en la producción de leche y sus derivados en pequeños y medianos productores”; determino por medio del método simplex el modelo matemático, cuya solución se obtuvo mediante el software Microsoft Excel y el Solver que permitió la simulación del modelo para producción de leche y sus derivados en pequeños y medianos productores. Asimismo, diseñó el algoritmo para optimizar las ganancias de los productores, formulado la función objetivo con sus respectivas restricciones que se obtuvo para optimizar las ganancias y reducir los tiempos de demoras. Concluyó que se debe tener en cuenta la teoría de Programación Lineal para trabajos de investigación para el modelamiento, para problemas reales en pequeñas y medianas empresas en la región Puno, con el fin de optimizar sus ganancias y minimizar sus gastos.

Collado (2017) en su trabajo de investigación “Modelamiento matemático para optimizar la carga metálica en un horno de fusión para la elaboración de fundiciones grises por el método de la programación lineal - método simplex”; logró mediante la aplicación del programa Tora, solucionar el modelo matemático para determinar la carga óptima en el horno de cubilote para la elaboración de la fundición gris Fc – 20. Asimismo, obtuvo que el costo total mínimo de la carga metálica es de 1161.0296 soles por tonelada correspondiente al valor de Z para la elaboración de la Fc – 20. El modelo estuvo conformado por once variables y catorce restricciones, por el cual le facilitó obtener la solución final en la 29 interacción. Concluyó que al optimizar la carga metálica permitirá asegurar recursos limitados, de las once variables que se ha considerado, al resolver el modelo solo toma seis variables que asumen

valores estáticos para la elaboración de la fundición Fc - 20, a su vez, el modelo lo considera como una actividad económica que consume recursos.

Quispe (2016) en su trabajo de investigación “Optimización de la mezcla en base al Mill Revenue (\$/ton) mediante el método simplex dentro de la Unidad Minera Yanacocha”; logró realizar una comparación de la simulación desde el mes de enero del 2015 a diciembre del 2015, donde incluyó la variable Mrev (Mill Revenue) y otra sin considerarla. Denominó simulación 1 a la simulación considerando la variable Mrev, y simulación 2 aquella donde no se incluye en el Método Simplex tal variable. Determinando así una diferencia mínima en el valor actual neto (VAN) de 10000 dólares por mes. Esto permitió optimizar la mezcla del envío de mineral al proceso de Chancado y Molienda, mediante un análisis por Método Simplex, en la Unidad Minera Yanacocha. Concluyó que se debe considerar la disponibilidad de los materiales dispuestos en mina para ser minados y subsecuentemente puedan ser usados en las simulaciones correspondientes; igualmente, un material indisponible para el minado no podrá ser evaluado y mucho menos considerado bajo el mill revenue-Mrev.

Actualmente en una unidad minera en la región LA LIBERTAD. dedicada a la explotación minera de óxidos de oro a tajo abierto desde el 2011, presenta un exceso en demoras para el desarrollo de las operaciones, originando una serie de dificultades en los diferentes procesos de explotación superficial, y esto perjudica enormemente al proceso de acarreo, lo que repercute en la rentabilidad de la empresa. En ese sentido, las demoras que afectan al proceso del acarreo de mineral se describen a continuación.

- **Demoras en Inspección de Máquinas.** Se observa que, en un mes hay una pérdida promedio de 237 ciclos laborales en ambos turnos. Estas condiciones que permite estos retrasos son las siguientes:

- Inspección de equipos (código DP-01),

- Inspección mecánica (código DM-07) y
- Falla mecánica (código DM-09).

- **Tiempos perdidos en preparación de máquina.** En este proceso de la preparación de máquinas se pierde un promedio de 260 ciclos en un día laboral, debido a los trabajos auxiliares que se realizan; siendo estos:
 - Abastecimiento de combustible (código DP-04),
 - Engrase y lubricación (código DM-06).

- **Tiempos de espera.** En los tiempos de espera al mes, las máquinas de acarreo pierden en promedio 331 ciclos, consecuencia de las siguientes actividades auxiliares:
 - Cambio de guardia (código DP-03),
 - Espera en cola (código DP-05) y
 - Falta de equipo de carguío (código DP-13)

Teniendo en cuenta las causantes de demora por ciclos en el proceso de acarreo mencionado anteriormente, se plantea la siguiente interrogante:

1.2. Formulación del problema

¿De qué manera se podrá optimizar los tiempos de ciclo del proceso de acarreo de mineral mediante la Programación Lineal en una Unidad Minera en la región LA LIBERTAD?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Optimizar los tiempos del ciclo en el proceso de acarreo de mineral mediante el uso de la Programación Lineal en una unidad minera en la región LA LIBERTAD.

1.3.2. Objetivos específicos

Diagnosticar los tiempos del ciclo del proceso de acarreo de mineral del área de operaciones en la Unidad Minera en la región LA LIBERTAD.

Aplicar la Programación Lineal para optimizar los tiempos del ciclo del proceso de acarreo de mineral en el área de Operaciones en la Unidad Minera en la región LA LIBERTAD.

Evaluar cuanto ha mejorado los tiempos del ciclo del proceso de acarreo de mineral mediante el uso de la Programación Lineal en la Unidad Minera en la región LA LIBERTAD.

Evaluar el costo por implementación de la aplicación del Método de la Programación Lineal en la optimización del proceso de acarreo en la Unidad Minera en la región LA LIBERTAD.

1.4. Hipótesis

Los tiempos de ciclo del proceso de acarreo de mineral en una Unidad Minera en la región LA LIBERTAD se optimizan mediante la aplicación de la Programación Lineal.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada. De acuerdo con Cabezas et al. (2018) “este tipo de investigación puede tener una aplicación inmediata en la solución de problemas prácticos” (p.34).

Según lo mencionado anteriormente, se va a dar solución a las interrogantes, fórmulas, etc. sobre la optimización de tiempos mediante la mejora del proceso de acarreo utilizando la Programación Lineal en el área de Operaciones de la Unidad Minera en la región LA LIBERTAD.

El nivel de la presente investigación será explicativo. Hernández et al. (2014) menciona que este tipo de estudio va más allá de “la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables”. (p.95).

El diseño de investigación empleado será el pre experimental de corte transversal. Citando a Hernández et al. (2014) “este diseño es de un solo grupo cuyo grado de control es mínimo. Generalmente es útil como un primer acercamiento al problema de investigación en la realidad”. (p.151)

Como dice Cabezas et al. (2018) “Este tipo de investigación recolectan los datos en un solo momento, y por una sola vez. Su propósito es describir las variables y estudiar su incidencia e interrelación en un momento dado”. (p.79)

El enfoque será cuantitativo. Este enfoque “utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías”. (Hernández et al., 2014, p. 4)

El método será deductivo. En la opinión de Cabezas et al. (2018) “este método se fundamenta en el razonamiento formal en el que la conclusión se obtiene por la forma del juicio, del que se parte. La derivación es necesaria. Se considera una conclusión verdadera e imposible de ser falsa si hemos admitido del juicio del que se parte”. (p.17)

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

Una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones (Hernández et al., 2014).

En ese sentido la presente investigación, la población es finita y está conformada por seis camiones mineros y un cargador frontal de la Unidad Minera en la región LA LIBERTAD.

2.2.2. Muestra

La muestra es, en esencia, un subgrupo de la población. Digamos que es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población (Hernández et al., 2014).

Se utilizó el muestreo no probabilístico por conveniencia, donde el tamaño de la muestra es la misma de la población.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnica

Para la elaboración del presente trabajo se usaron dos técnicas, en la cual nos permitió hacer la recolección y análisis de datos. Estos son:

Observación de campo no experimental

“Con frecuencia se usa esta técnica para profundizar en el conocimiento del comportamiento de exploración. En este caso se puede emplear como instrumento una guía de observación o de campo”. (Samán y Orrillo, 2018, p.12)

Observación experimental

Según Samán y Orrillo (2018) “la observación experimental se diferencia de la no experimental porque elabora datos en condiciones relativamente controladas por el investigador, particularmente porque éste puede manipular la o las variables. Además, es una poderosa técnica de investigación científica ya que puede utilizar como instrumento la hoja o ficha de registro de datos”. (p.12)

Recopilación documental y bibliográfica

Arias (2012) menciona que “la investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos”. (p.27).

Cuentan como documentos:

- Cartas
- Actas

- Planillas
- Informes
- Libros
- Imágenes
- Folletos
- Manuscritos
- Videos

2.3.2. Instrumentos

De acuerdo a Hernández et al. (2014) un instrumento de medición adecuado es aquel que registra datos observables que representan verdaderamente los conceptos o las variables que el investigador tiene en mente.

Con respecto a la observación de campo no experimental se empleará la guía de observación o de campo ya que nos permitirá registrar los datos tomados durante el proceso de extracción del mineral de una Unidad Minera en la región LA LIBERTAD, es decir registrar detalladamente toda la operación que se realiza durante el proceso de acarreo, con el fin de analizar la data obtenida posteriormente.

Para la observación experimental se empleará fichas de registro de la producción de los equipos de acarreo, teniendo en cuenta los criterios necesarios para aplicarlos en la programación lineal, para esto se ordenan las toneladas producidas por cada camión, KPI/hora, horas trabajadas, etc.

Por otro lado, para la recopilación documental se utilizarán las fichas de inspecciones técnicas, archivos y base de datos de la producción extractivas de años pasados. Dichos instrumentos serán elaborados en relación directa con la operacionalización de las variables para medir los diferentes valores y cantidades respectivas de cada variable y validados por

ingenieros especialista relacionado al tema de investigación, el cual serán designados por la propia universidad.

Tabla 1
Técnicas e instrumentos de recolección de datos

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
- Observación de campo no experimental	- Guía de observación
- Observación experimental	- Ficha de los reportes del sistema VIMS y de lo que se produce a diario.
- Recopilación documental y bibliográfica	- Ficha de registro de los equipos de acarreo.
	- Ficha de registro del proceso extractivo de años pasados.

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la tabla 1, los instrumentos y técnicas utilizadas en la presente investigación se determinaron en base a los reportes VIMS de la empresa así el reporte de rendimiento de los equipos involucrados en la producción de una Unidad Minera en la región LA LIBERTAD., así como todos los reportes diarios en el proceso de acarreo antes de la aplicación de Método Simplex. Además, se enumeran las fichas de registro de los equipos de acarreo y de los procesos extractivos de años pasados.

2.4. Procedimientos de recolección de datos

Se realizó bajo los siguientes criterios de investigación.

- Reunión preliminar: nuestro primer paso fue dialogar con el superintendente del área de operaciones mina, para ver las posibilidades que había de poder aplicar nuestra investigación en el área de dicha empresa.
- Decisión del superintendente: donde el superintendente accedió a la petición y de manera amable autorizo proceder a la recolección de datos para iniciar dicha investigación.

- Luego de recolectado los datos con la ficha de experimentación, estos serán procesados mediante Hojas de Cálculo de Excel Microsoft versión 2016, y con el programa Solver. Este último nos permitirá encontrar un valor óptimo (mínimo o máximo) para una fórmula en una celda, que está sujeta a restricciones o limitaciones en los valores de otras celdas de fórmula de una hoja de cálculo.

2.5. Análisis de datos

Para el análisis de datos se empleará la programación lineal por medio del programa Solver, con el fin de optimizar los procesos que intervienen durante el acarreo del mineral, y lograr que dicha actividad sea eficaz y eficiente. Asimismo, este método es práctico, porque nos otorga de manera rápida la solución más óptima entre los puntos extremos de un problema de programación lineal; y sencillo, debido a que solo emplea los coeficientes según a las restricciones y su función objetivo del propio sistema que se esté manejando y del cual queremos mejorar.

Los resultados se expresarán en cuadros de una situación antes y una situación después, con el fin de comparar si hubo una mejora significativa en los procesos de acarreo, con el propósito de que la productividad de LA UNIDAD MINERA. se incremente, dando como consecuencia el aumento de las utilidades para la Unidad Minera en la región LA LIBERTAD.

2.5. Aspectos éticos

En la investigación se protegerá la identidad de cada uno de los sujetos de estudio y se tomará en cuenta las consideraciones éticas pertinentes, tales como confidencialidad, consentimiento informado, libre participación y anonimato de la información.

- **Confidencialidad.** La información obtenida no será revelada ni divulgada para otro fin que no sea académico.

- **Consentimiento informado.** La finalidad del consentimiento informado será solicitar autorización al supervisor de la empresa, para la realización del estudio y lograr su participación de manera voluntaria.
- **Libre participación.** Se refiere a la participación de los trabajadores sin presión alguna, pero si motivándolos sobre la importancia de la investigación.
- **Anonimidad.** Se tendrá en cuenta desde el inicio de la investigación

2.6. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 2

Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
PROGRAMACIÓN LINEAL	“La Programación Lineal (Optimización lineal), es el nombre que se le da al cálculo de la mejor solución, a un problema modelado como un conjunto de relaciones lineales. Es comúnmente utilizada en el ejercicio de la ingeniería, para abordar problemas de productividad, de acuerdo a la satisfacción de determinadas restricciones” (Salazar, 2019, pág. 1).	Función Objetivo	Optimización de costos
		Variables de decisión	Ciclos perdidos en el turno día
			Ciclos perdidos en el turno noche
		Restricciones	Ciclos en inspección de máquinas
			Ciclos en preparación de máquinas
Ciclos en tiempos de espera			
TIEMPOS DE CICLO DEL PROCESO DE ACARREO DE MINERAL	“El objetivo del acarreo es retirar el material tronado de la frente y transportarlo adecuadamente a su lugar de destino donde será procesado” (Seguridad Minera, 2017, pág. 1).	Tiempos del proceso	Nº Inspección de Máquinas
			Nº Preparación de Máquinas
			Nº Tiempos de espera
		Costos del proceso	Costo por ciclo en el turno día
Costo por ciclo en el turno noche			

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Los resultados conseguidos en la presente investigación se obtuvieron en base al análisis que ha registrado la empresa en los últimos años, de esta manera se realizó modelos matemáticos basados en los tiempos y a la capacidad de producción diaria, a través de la Programación Lineal, en relación a los objetivos propuestos, con el fin de optimizar el proceso de acarreo en la Unidad Minera en la región LA LIBERTAD.

3.1. Diagnóstico del proceso de acarreo de mineral del área de operaciones en la U.M. EN LA LIBERTAD.

En la UNIDAD MINERA. el propósito del carguío y acarreo es retirar el material tronado del frente y transportarlo a la chancadora o al depósito de desmonte. Esta secuencia se puede resumir de la siguiente manera:

- Preparación de la zona de trabajo.
- Posicionamiento de equipos.
- Retirar el material volado desde la frente de trabajo (Carguío).
- Transporte del material al equipo de acarreo dispuesto para el traslado (Acarreo).
- Transporte del material a su lugar de destino (planta, acopio, pad, etc.).
- Descarga del material.
- Retorno del equipo de transporte al punto de carguío (si es que se requiere su retorno).

Asimismo, este acarreo se realiza a través el camión minero CAT 777F. Por otro lado, durante este proceso se presenta ciertas demoras en el acarreo, es decir tiempos en que el equipo está operativo, pero no está realizando ningún trabajo productivo. Para la identificación de este problema, se realizó un análisis Causa-Efecto basada en la metodología de Ishikawa.

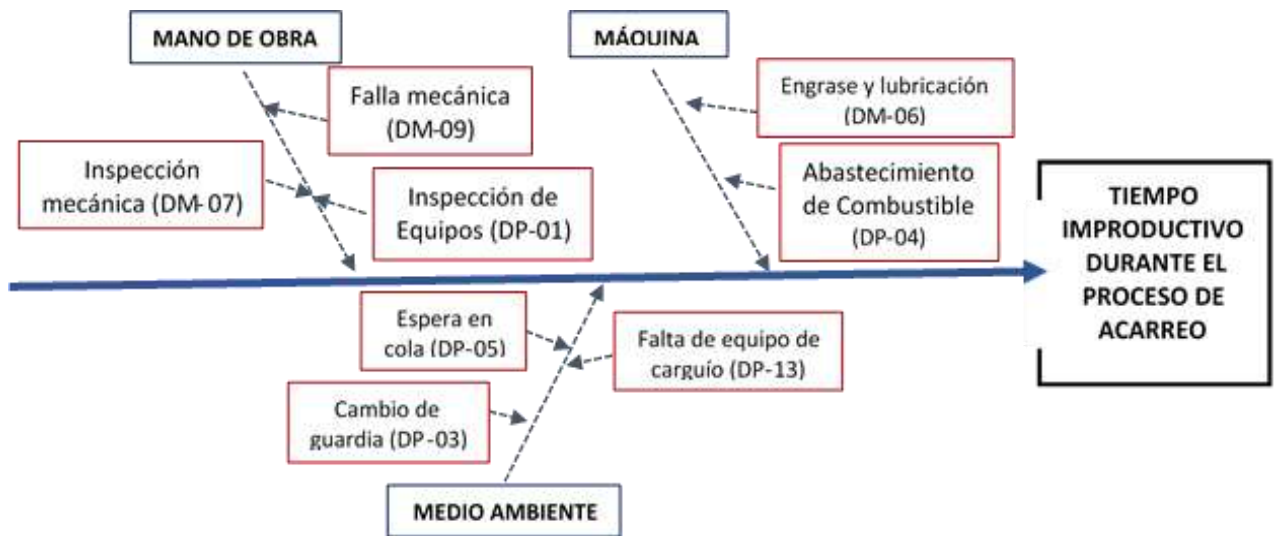


Figura 1. Diagrama Ishikawa

Fuente: Elaboración propia.

Este análisis ayudo a esclarecer las causas de los problemas que se están generando en el proceso del acarreo de mineral, para posteriormente detallar en los resultados si con la aplicación de la Programación Lineal se podrá optimizar los tiempos de ciclo en el área de operaciones de la U.M. en la región LA LIBERTAD.

Otra técnica que nos permite clasificar gráficamente la información de mayor a menor relevancia, con el fin de determinar todos los problemas más significativos, por la que la empresa debería enfocarse y solucionarlo es el Diagrama de Pareto. Esta técnica menciona que, en la mayoría de las situaciones, el 80% de las consecuencias son el resultado del 20% de las causas, es decir, por medio de este grafico se podrá determinar que problemas se deben resolver primero. Por ello, se encuesto a 30 trabajadores sobre que defectos presenta la empresa U.M. en la región LA LIBERTAD. para poder dar solución en ello.

Tabla 3

Posibles causas del problema en el proceso de acarreo en la U.M. en la región LA LIBERTAD.

Posibles causas del problema	Frecuencia	%	% acumulado
Descansos no adecuados por parte de los operadores del camión CAT 777F	78	34.82%	34.82%
Falta de mantenimientos preventivos	45	20.09%	54.91%
Posible fallas no deseadas en los camiones de acarreo CAT 777F	32	14.29%	69.20%
Personal sin experiencia	25	11.16%	80.36%
Obsolencia de los materiales	10	4.46%	84.82%
No cumplir con los PETS	9	4.02%	88.84%
Falta de manual de seguridad ocupacional	9	4.02%	92.86%
Derrames de hidrocarburos	8	3.57%	96.43%
Problemas personales, estrés y fatiga	8	3.57%	100.00%
TOTAL	224	100.00%	

Fuente: Elaboración propia.

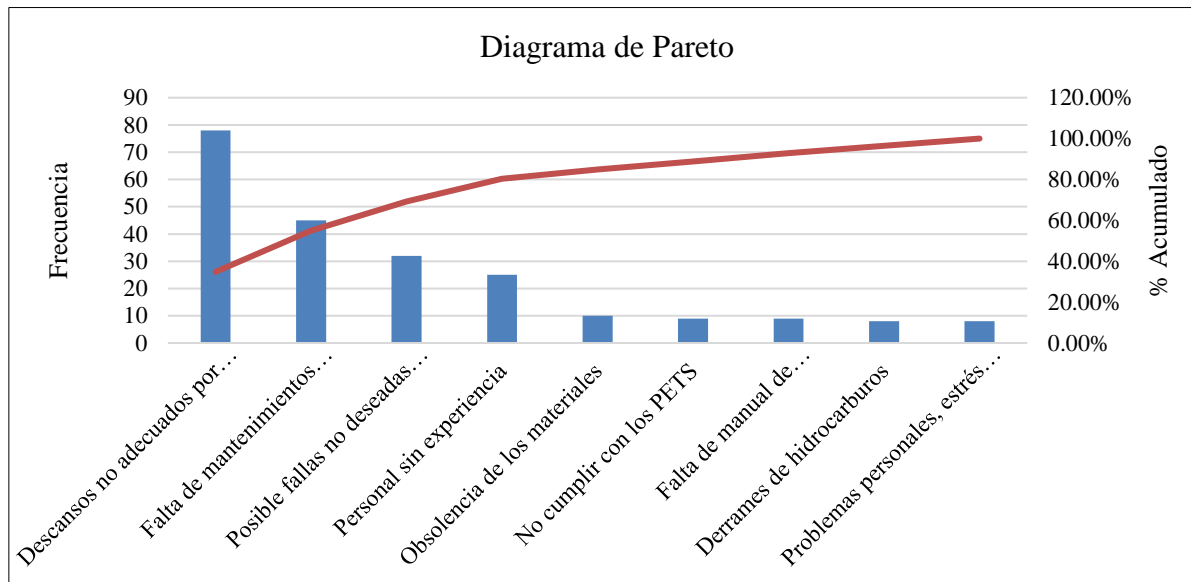


Figura 2. Diagrama de Pareto

Como se observa en la Figura 2, se pudo determinar en forma ordenada el grado de importancia que tienen los diferentes factores en un determinado problema, es decir, cuáles son

los tipos de defectos más frecuentes. A partir del gráfico se concluye que las causas que están ocasionando el 80% de los defectos en el proceso de acarreo de mineral son: descansos no adecuados por parte de los operadores del camión CAT 777F (34.82%), Falta de mantenimientos preventivos (20.09%), Posible fallas no deseadas en los camiones de acarreo CAT 777F (14.29%) y el Personal sin experiencia (11.16%), por lo que los esfuerzos destinados a mejorarlo deberían concentrarse en estos cuatro (4) aspectos.

Posteriormente a esto, se realizará un análisis sobre el tiempo invertido durante la ejecución del proceso de acarreo de mineral en la U.M en la región LA LIBERTAD., con el propósito de conocer las variables y con esto poder definir la función objetivo como las restricciones para la aplicación de la Programación Lineal.

3.1.1. Tiempos del proceso

Identificamos los tiempos de demoras que afectan al ciclo del acarreo de mineral y lo describimos a continuación.

- **Demoras en Inspección de Máquinas.** Se observa que, en un mes hay una pérdida promedio de 237 ciclos laborales en ambos turnos. Estas condiciones que permite estos retrasos son las siguientes:
 - Inspección de equipos (código DP-01),
 - Inspección mecánica (código DM-07) y
 - Falla mecánica (código DM-09).

- **Tiempos perdidos en preparación de máquina.** En este proceso de la preparación de máquinas se pierde un promedio de 260 ciclos en un mes laborado, debido a los trabajos auxiliares que se realizan; siendo estos:
 - Abastecimiento de combustible (código DP-04),
 - Engrase y lubricación (código DM-06).

- **Tiempos de espera.** En los tiempos de espera al mes, las máquinas de acarreo pierden en promedio 331 ciclos, consecuencia de las siguientes actividades auxiliares:
 - Cambio de guardia (código DP-03),
 - Espera en cola (código DP-05) y
 - Falta de equipo de carguío (código DP-13)

A continuación, describimos los tiempos de demoras y los ciclos de trabajo perdido en un mes, y la proporción de las ocurrencias de estas demoras en cada turno de trabajo por un mes.

Tabla 4
Demoras que afectan en el proceso de acarreo de mineral

Descripción	min/ciclo	min/mes	Ciclos perdidos/mes
Inspección de Equipos (DP-01)	9	6050	202
Inspección Mecánica (DM-07)	11	7436	248
Falla Mecánica (DM-09)	12	7832	261
Demoras en Inspección de Máquinas	11	7106	237
Abastecimientos de combustible (DP-04)	9	5676	189
Engrase y Lubricación (DM-06)	15	9900	330
Demoras en Preparación de Máquinas	12	7788	260
Cambios de Guardia (DP-03)	12	8008	267
Espera en cola (DP-05)	21	13860	462
Falta de equipo carguío (DP-13)	12	7920	264
Tiempos de Espera	15	9929	331

Fuente: Elaboración propia.

Turno	Tiempo promedio de ciclo (min)
Día	30
Noche	30

Se aprecia en la tabla 4, que la mayor cantidad de ciclos promedio perdidos es en el Tiempo de espera con 331 ciclos que se pierden en un mes de acarreo de mineral en ambos turnos, esto se debe a las malas condiciones que se ejecutan en el acarreo de mineral y por una mala gestión en las actividades de trabajo, perjudicando directamente en la producción diaria.

Entre Inspección y Preparación de Máquinas acumulan un total de 497 ciclos perdidos durante un mes, los mismos que quizás requieran una atención más idónea en la distribución de los tiempos.

Seguidamente, se realizó una comparación de las demoras que perjudica el proceso de acarreo durante el turno día y el turno noche.

Tabla 5

Proporción de demoras que afectan el proceso de acarreo por mes

Proporción de casos		
Descripción	tur/día	tur/noche
Inspección de Equipos (DP-01)	0.7	0.6
Inspección Mecánica (DM-07)	0.1	0.1
Falla Mecánica (DM-09)	0.1	0.1
Demoras en Inspección de Máquinas	0.3	0.3
Abastecimientos de combustible (DP-04)	0.9	0.8
Engrase y Lubricación (DM-06)	0.3	0.2
Demoras en Preparación de Máquinas	0.6	0.5
Cambios de Guardia (DP-03)	0.3	0.3
Espera en cola (DP-05)	0.7	0.7
Falta de equipo carguío (DP-13)	0.7	0.6
Tiempos de Espera	0.6	0.5

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 5, se muestran la proporción de demoras que afectan al proceso de acarreo, podemos ver que la proporción es ligeramente mayor en el turno día. Para cada una de las 3 categorías de demoras se obtuvo la proporción media mensual por cada turno. Siendo mayor en ambos turnos las demoras por preparación de máquinas y por tiempos de espera, generando cuellos de botellas durante la explotación minera. Esto significa que el proceso de acarreo se vuelve más lento y costosa, porque genera tiempos de parada y retrasos en el resto de la línea de producción en la U.M. en la región LA LIBERTAD.

3.1.2. Costos del proceso

A continuación, se describe las horas trabajadas de cada camión y las toneladas movidas por el camión de código. CM - 17, todo esto con relación a un mes.

Tabla 6
Número de horas máquina

CM-17	Horómetro inicial	Horómetro final
	28325.3	28336.0
total de horas trabajadas por día	10.44	hrs/día
total días trabajados al mes	30	día/mes

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 6, se aprecia las horas que trabaja el camión CM – 17 siendo estas 10 horas con 44 minutos, lo que hace un promedio de 26 ciclos de trabajo en un día.

Tabla 7
toneladas producidas de material

CM-17	Horómetro inicial	Horómetro final
	28325.3	28336.0
total de toneladas por día	2581	Día
total de toneladas por mes	77430	Mes

Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la tabla 7 la producción por día y por mes, siendo este un total de 2581 toneladas y 77430 toneladas respectivamente, los produce el camión CM-17.

Lo que resulta en promedio a 99.27 toneladas por ciclo de trabajo aproximadamente.

Tabla 8
Costo de equipos

Costo de equipos del proceso de acarreo			
Turno	dólares/día	ciclos/día	dólares/ciclo
Turno día	\$ 1,040.00	27	\$ 39.00
Turno noche	\$ 1,040.00	25	\$ 42.00

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 8, podemos observar los costos por el equipo acarreo por turno y los costos por ciclo. Estos costos de equipos son valores fijos, es por eso que el objetivo es disminuir los tiempos improductivos para optimizar el uso de las máquinas y evitar pérdidas.

Estos valores son necesarios para la definición de los constantes en las variables de la función objetivo. Dado que el promedio de ciclos trabajados en el turno día es un poco mayor que el promedio de ciclos trabajados en el turno noche, hace que los costos por ciclo en el turno día sean más económicos que en el turno noche.

3.2. Aplicación la Programación Lineal en la optimización del tiempo en el proceso de acarreo en el área de operaciones en la U.M. en la región LA LIBERTAD.

3.2.1. Análisis de las propuestas de mejora en el proceso de acarreo de mineral utilizando La Programación Lineal

La Programación Lineal, es un método analítico capaz de resolver aquellos modelos que se vuelven complejos en el uso del método gráfico por el número de variables empleada. Asimismo, es una herramienta matemática básica en la toma de decisiones ya que nos permite minimizar costos o maximizar ganancias, esto dependerá de las necesidades de cada empresa o sujeto. Finalmente, este método proporciona un indicador que determina el punto en el cual

se logra una optimización, para nuestro caso es minimizar los costos en ciclos de trabajo perdidos por demoras y con ello maximizar las utilidades.

Analizamos el problema

Como hemos podido observar en la tabla 4, tenemos el promedio mensual de ciclos de demoras agrupados en tres categorías que afectan a la producción mensual de los camiones de acarreo de mineral (CM-17). En la tabla 5 tenemos la proporción en que se presentan estas categorías de demoras al mes. Esta información es muy importante para establecer la función objetivo y las respectivas restricciones de la programación lineal, para la posterior solución con la aplicación la Programación Lineal.

De esa manera estaremos optimizando los ciclos, costos y logrando tener una operación efectiva y rentable dentro de una U.M. en la región LA LIBERTAD.

3.2.2. Implementación de la propuesta

Una vez obtenida la información de las tablas anteriores procedemos con nuestra propuesta de mejora mediante la programación lineal.

➤ Problema

En esta empresa minera se dispone de dos turnos de producción diaria, turno día y turno noche y por ello se desea minimizar los costos por las demoras (ciclos perdidos al mes) que afectan a la producción para alcanzar el máximo beneficio.

Para esto se calcularon los ciclos de demoras que se pierden al mes, a partir de los tiempos perdidos al mes, siendo los resultados presentados de la siguiente manera:

- 1) **Ciclos mínimos invertidos en cada turno:**
 - a) Turno día.- se requiere como mínimo invertir 66 ciclos al mes.
 - b) Turno noche.- se requiere como mínimo invertir 63 ciclos al mes.

- 2) **Demoras en inspección de máquinas:** en ambos turnos se requiere en promedio 237 ciclos perdidos con una probabilidad de ocurrencia promedio de 0,3 (códigos DP-01, DM-07 y DM-09).
 - a) Turno día.- con una probabilidad de ocurrencia por ciclo de 0.3
 - b) Turno noche.- con una probabilidad de ocurrencia por ciclo de 0.3

- 3) **Demoras en preparación de máquinas:** en ambos turnos se requiere en promedio 260 ciclos perdidos con una probabilidad de ocurrencia promedio de 0,6 (códigos DP-04 y DP-06).
 - a) Turno día.- con una probabilidad de ocurrencia por ciclo de 0.6
 - b) Turno noche.- con una probabilidad de ocurrencia por ciclo de 0.5

- 4) **Tiempos de espera:** en ambos turnos se requiere en promedio 331 ciclos perdidos con una probabilidad de ocurrencia promedio de 0,6 (códigos DP-03, DP-05 y DP-13).
 - a) Turno día.- con una probabilidad por ciclo de 0.6
 - b) Turno noche.- con una probabilidad por ciclo de 0.5

Definición del modelo.-

➤ **Costos:**

$C_i =$ Costo por ciclo en el turno "i"

➤ **Definimos las variables**

$p_{ij} =$ probabilidad de ocurrencia de la demora "i" en el turno "j"

$X_1 =$ número de ciclos perdidos al mes en el turno día

$X_2 =$ número de ciclos perdidos al mes en el turno noche

➤ **Función objetivo**

$$\text{Min } Z = C_1 \cdot X_1 + C_2 \cdot X_2$$

$$\text{Min } Z = 39 \cdot X_1 + 42 \cdot X_2$$

➤ **Restricciones**

1.- Restricción por ciclos mínimos perdidos al mes en cada turno.

$$X_1 \geq 66 \text{ (turno día)}$$

$$X_2 \geq 63 \text{ (turno noche)}$$

2.- Restricción por ciclos perdidos al mes en inspección de máquinas.

$$\sum p_{ij} \cdot X_i \leq 237. (p)$$

$$0,3 \cdot X_1 + 0,3 \cdot X_2 \leq 237. (0,3)$$

$$0,3 \cdot X_1 + 0,3 \cdot X_2 \leq 71.1$$

3.- Restricción por ciclos perdidos al mes en preparación de máquinas.

$$\sum p_{ij} \cdot X_i \leq 260. (p)$$

$$0,6 \cdot X_1 + 0,5 \cdot X_2 \leq 260. (0,6)$$

$$0,6 \cdot X_1 + 0,5 \cdot X_2 \leq 156$$

4.- Restricción por ciclos perdidos al mes en tiempos de espera.

$$\sum p_{ij} \cdot X_i \leq 331. (p)$$

$$0,6 \cdot X_1 + 0,5 \cdot X_2 \leq 331. (0,6)$$

$$0,6 \cdot X_1 + 0,5 \cdot X_2 \leq 198.6$$

➤ **Aplicación del Método Simplex**

Tabla 9
Resultados con Tora

TORA Optimization System, Windows®-version 1.00 Copyright © 2000-2002 Hamdy A. Taha. All Rights Reserved viernes, agosto 27, 2021 1:10			
LINEAR PROGRAMMING OUTPUT SUMMARY			
Title: Minimizar gastos			
Final Iteration No.: 1			
Objective Value (Min) =5220.00			
		Next Iteration	All Iterations
		Write to Printer	
Variable	Value	Obj Coeff	Obj Val Contrib
x1: Ciclos td	66.00	39.00	2574.00
x2: Ciclos tn	63.00	42.00	2646.00
Constraint	RHS	Slack-/Surplus+	
1 (<=)	71.10	32.40-	
2 (<=)	156.00	84.90-	
3 (<=)	198.60	127.50-	
LB-x1 Ciclos td	66.00	0.00	
LB-x2 Ciclos tn	63.00	0.00	

Objective Value

Nos muestra el resultado de nuestra función objetivo, en este caso la solución óptima tiene una función objetivo (costos) de \$ 5220.00.

Value

El valor que toman las variables de decisión.

Obj Val Contrib

Es la contribución unitaria de las variables de decisión en la función objetivo.

Slack-/Surplus+

Cuando la restricción en cuestión tiene el operador \leq , corresponde a una holgura, es decir, se puede interpretar como el recurso no utilizado. Cuando la restricción en cuestión tiene el operador \geq , corresponde a un exceso, es decir, se puede interpretar como el recurso utilizado por encima de la restricción de mínimo uso.

Tabla 10
Resultados con Solver

Función objetivo	\$ 5220.00	
valor final	66	63
total de demoras	\$ 39.00	\$ 42.00

Restricciones

ciclos mínimos perdidos al mes en turno día	1	0	66	>=	66
ciclos mínimos perdidos al mes en turno noche	0	1	63	>=	63
ciclos perdidos al mes en inspección de máquinas	0.3	0.3	38.7	<=	71.1
ciclos perdidos al mes en preparación de máquinas	0.6	0.5	71.1	<=	156
ciclos perdidos al mes en tiempos de espera	0.6	0.5	71.1	<=	198.6

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados en ambos programas nos muestran que con un promedio de 66 ciclos perdidos en el turno día y 63 ciclos perdidos en el turno noche, se minimizarán los gastos al mes por ciclos perdidos a un monto de \$ 5 220.00 en equipo de acarreo. (\$ 2 574.00 en el turno día y \$ 2 646.00 en el turno noche)

Los ciclos perdidos al mes en inspección de máquinas se redujeron a un poco más del 54% (38.7 ciclos) del límite mensual.

Los ciclos perdidos al mes en preparación de máquinas se redujeron a un poco más del 45% (71.1 ciclos) del límite mensual.

Los ciclos perdidos al mes en tiempos de espera se redujeron aproximadamente al 35% (71.1 ciclos) del límite mensual.

Tabla 11
Análisis de Sensibilidad con Tora

*** Sensitivity Analysis***					
Variable	Current Obj Coeff	Min Obj Coeff	Max Obj Coeff	Reduced Cost	
x1: Ciclos td	39.00	0.00	infinity	-39.00	
x2: Ciclos tn	42.00	0.00	infinity	-42.00	
Constraint	Current RHS	Min RHS	Max RHS	Dual Price	
1 (<=)	71.10	38.70	infinity	0.00	
2 (<=)	156.00	71.10	infinity	0.00	
3 (<=)	198.60	71.10	infinity	0.00	
LB-x1	66.00	0.00	174.00	39.00	
LB-x2	63.00	0.00	171.00	42.00	

Min and Max Obj Coeff.-

Para un coeficiente de la función objetivo en particular. Este es el rango en que la base actual de la solución sigue siendo la misma.

Reduced Cost.-

No se puede reducir aún más la función objetivo por cada unidad de ciclo perdido. Dado que el valor de la diferencia del coeficiente y el costo reducido por cada variable es igual a cero.

Min RHS.-

Es el mínimo valor reducible de cada restricción, el mismo que corresponde a la solución óptima para cada restricción de demora.

Max RHS.-

Es el máximo valor de cada restricción, el mismo que corresponde al límite de restricción siendo estos infinitos es decir, no es posible definirlo.

Dual Price.-

Llamado en WinQSB como Shadow Price, y en Solver como Multiplicador de Lagrange, corresponde al cambio marginal de la función objetivo cuando el valor del lado derecho de la restricción aumenta en una unidad.

En nuestro caso sería: por cada ciclo de demora adicional en el proceso de acarreo, la función objetivo aumentará en \$39.00 en el turno día y \$42.00 en el turno noche.

El análisis de sensibilidad nos muestra que los ciclos mínimos permitidos para invertir en actividades no productivas son los mismos que los obtenidos por el método simplex, no hay valores menores a esos.

Tabla 12
Análisis de Sensibilidad con Solver

Variables

Nombre	Final Valor	Reducido Coste	Objetivo Coeficiente	Permisible Aumentar	Permisible Reducir
X1	66	0	39	1E+30	39
X2	63	0	42	1E+30	42

Restricciones

Restricción	Final Valor	Sombra Precio	Restricción Lado derecho	Permisible Aumentar	Permisible Reducir
Ciclos mínimos t. día	66	39	66	108	66
Ciclos mínimos t. noche	63	42	63	108	63
Insp. Máquinas	38.7	0	71.1	1E+30	32.4
Prep. Máquinas	71.1	0	156	1E+30	84.9
Tiempo de espera	71.1	0	198.6	1E+30	127.5

Fuente: Elaboración propia.

Por cada unidad adicional de ciclo perdido en el turno noche, se espera un costo adicional de \$ 39.00, mientras que por cada unidad de ciclo perdido en el turno día, se espera un costo adicional de \$ 42.00.

Las filas del Informe de Restricciones corresponden a las restricciones del 1 al 5, respectivamente.

En el caso de la restricción 1 el Precio Sombra es de 39 y el valor de la restricción (lado derecho) es igual a 66. Para dicho parámetro (lado derecho) se permite un aumento de 108 y una disminución de 66, es decir, el lado derecho de la restricción 1 puede variar entre [0; 174] (66-66; 66+108) y el Precio Sombra de magnitud 39 seguirá siendo válido (es decir, se conserva la base óptima).

Esto significa que si, por ejemplo, el lado derecho de la restricción 1 aumenta en 1 unidad y el resto de los parámetros del modelo permanecen constantes, el nuevo valor óptimo será:

$$\boxed{Z = 5220 + 1 * 39 = 5259}$$

Ahora bien, si por ejemplo, el lado derecho de la restricción 1 disminuye a 60 el nuevo valor óptimo será:

$$\boxed{Z = 5220 - 6 * 39 = 4986}$$

Finalmente, si la variación del lado derecho esta fuera del intervalo [0; 174] no se puede utilizar el Precio Sombra para poder predecir cuál será el nuevo valor óptimo. Esto se debe a que la nueva solución óptima ya no se encontrará con las mismas restricciones activas, es decir, cambia la base óptima.

De forma análoga, para la restricción 2 el Precio Sombra es de 42 y este valor es válido si su lado derecho varía entre [0; 171] (63-63; 63+108). Por ejemplo, si el lado derecho de la restricción 2 aumenta en 3 unidades (y el resto de los parámetros permanece constante) el nuevo valor óptimo será:

$$\boxed{Z = 5220 + 3 * 42 = 5346}$$

Con respecto a las restricciones 3, 4 y 5 un precio sombra igual a cero significa que la modificación del parámetro que representa el lado derecho de la respectiva restricción (en un intervalo que conserva la geometría del problema) no tiene un impacto en el valor óptimo del problema. Es decir, el valor optimizado obtenido por la programación lineal (\$ 5 220.00) no se va a modificar.

$$Z = 5220 + 3 * 0 = 5220$$

En estas restricciones está definido los límites permitidos reducir, es decir:

- Permisible reducir 32.4, es decir del valor de la restricción en el lado derecho (71.1) se pudo reducir hasta 38.7 (71.1 – 32.4).
- Permisible reducir 84.9, es decir del valor de la restricción en el lado derecho (156) se pudo reducir hasta 71.1 (156 – 84.9).
- Permisible reducir 127.5, es decir del valor de la restricción en el lado derecho (198.6) se pudo reducir hasta 71.1 (198.6 – 127.5).

Los valores permisibles aumentar en estas restricciones (1E+30) no están definidas debido a que en los límites se planteó establecer que sean menores o iguales, por lo tanto no se puede definir un aumento permisible para estos límites en cada una de las tres restricciones restantes.

3.3. Evaluación de la mejora en el proceso de acarreo en la U.M. en la región LA LIBERTAD a través de la aplicación de la Programación Lineal.

Se realizó una comparación entre la situación actual (ciclos de demoras) y lo analizado después de aplicar nuestra propuesta de mejora mediante la Programación Lineal con su

complemento Tora y Solver, con el fin de evaluar si hubo un cambio significativo en la optimización del proceso de acarreo.

➤ **Comparativa de los ciclos perdidos al mes**

Tabla 13

Ciclos perdidos por categoría de demora al mes

Ciclos perdidos al mes			
Demoras	Actual	Propuesta	Recuperados
Inspección de Máquinas	71.1	38.7	32.4
Preparación de Máquinas	156	71.1	84.9
Tiempos de Espera	198.6	71.1	127.5
Total	141.9	60.3	81.6

Fuente: Elaboración propia.

Con la propuesta de mejora se puede recuperar en promedio aproximadamente 81.6 ciclos al mes para ser empleados en actividades productivas en el proceso de acarreo de mineral.

La mayor cantidad de ciclos recuperados pertenecen a las demoras por Tiempos de Espera (127.5 ciclos), por lo que la unidad minera debería prestar mayor atención a esta categoría de demoras. (Cambio de Guardia (DP-03), Espera en cola (DP-05), Falta de equipo de carguío (DP-13).

Seguido de las demoras por Preparación de Máquinas (84.9 ciclos) un poco más del 50% de ciclos recuperados. Posteriormente la recuperación de ciclos perdidos en Inspección de Máquinas, en tercer lugar con 32.4 ciclos mensuales recuperados al mes.

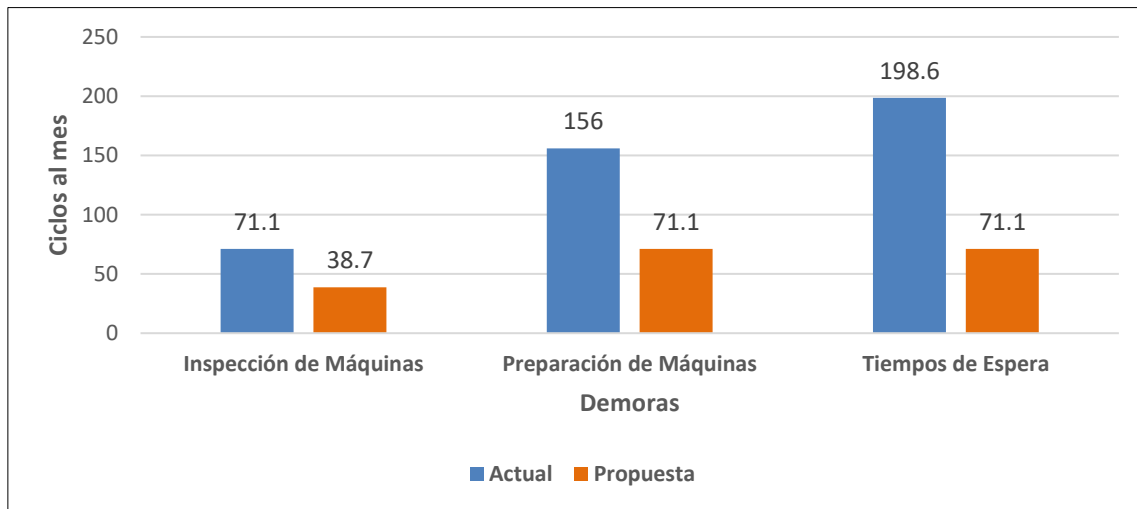


Figura 3
Ciclos perdidos al mes por categorías de demora

Gráfico comparativo de los ciclos perdidos en demoras actualmente por la empresa y los ciclos que se perderían con la propuesta obtenida con la Programación Lineal.

Podemos observar que las demoras con más ciclos perdidos son por Tiempos de espera seguido de la Preparación de Máquinas y la Inspección de Máquinas.

Con un 35.80% de recuperación en los ciclos perdidos, podemos decir que el mayor impacto fue para las demoras por Tiempos de espera.

3.4. Evaluación del costo por la aplicación de la Programación Lineal en la producción del acarreo

Se realizó una evaluación del costo por aplicación de la Programación Lineal, en base a los gastos actuales por ciclos en que los camiones CM-17 se encuentran inactivos por las diferentes demoras detalladas anteriormente, y los gastos más adecuados con las mejoras resultantes por la aplicación de la metodología.

Para esto se calcularon los gastos por ciclo en cada una de las categorías de demoras establecidas, antes y después de la aplicación de la Programación Lineal.

➤ Situación actual, antes de la aplicación de la Programación Lineal.

Tabla 14
Costo de demoras en equipos de acarreo

Costo de demoras en equipos de acarreo			
Demoras	Ciclos perdidos/mes	costo/ciclo	Total
Inspección de Máquinas	71.1	\$ 40.50	\$ 2,879.55
Preparación de Máquinas	156	\$ 40.50	\$ 6,318.00
Tiempos de Espera	198.6	\$ 40.50	\$ 8,043.30
Promedio Mensual			\$ 5,746.95

Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia en la tabla 14, que en promedio se genera un gasto de \$ 5,746.95 mensuales por las diferentes categorías de demora.

El mayor gasto mensual es en Tiempos de Espera, seguido de los ciclos perdidos en Preparación de Máquinas y por ciclos perdidos en Inspección de Máquinas.

➤ **Resultados de propuesta después de la aplicación de la Programación**

Lineal

Tabla 15

Resultados del método simplex

Costo de demoras en equipos de acarreo			
Demoras	Ciclos perdidos/mes	costo/ciclo	Total
Inspección de Máquinas	38.7	\$ 40.50	\$ 1,567.35
Preparación de Máquinas	71.1	\$ 40.50	\$ 2,879.55
Tiempos de Espera	71.1	\$ 40.50	\$ 2,879.55
Promedio Mensual			\$ 2,442.15

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 15, se aprecia que en promedio se generaría un gasto de \$ 2,442.15 mensuales en las diferentes categorías de demora, evitando un gasto en promedio de \$ 3,304.80 mensuales.

Los ahorros mayores son en los ciclos perdidos por Tiempos de Espera y Preparación de Máquinas con un costo promedio mensual de \$ 2,879.55.

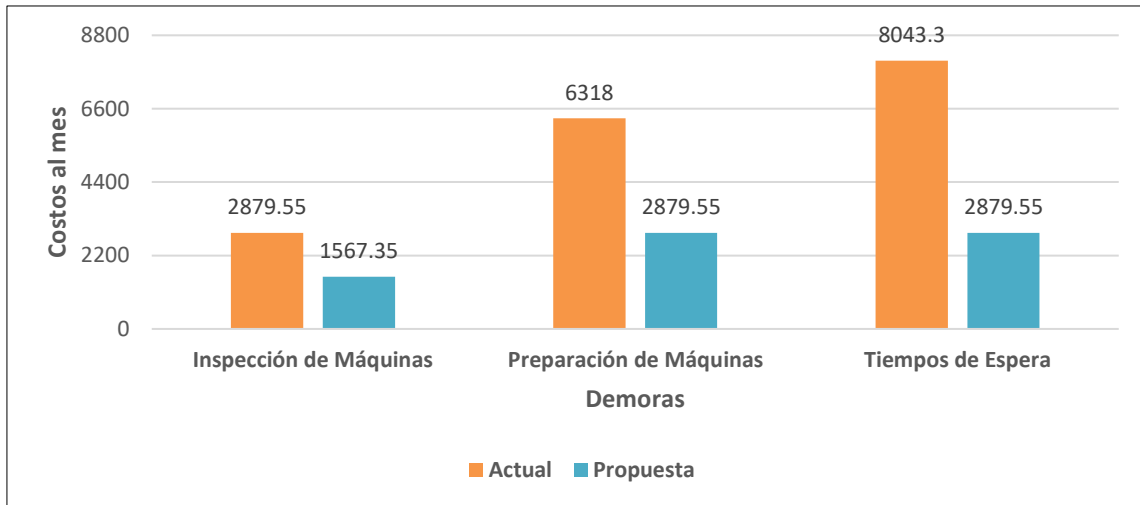


Figura 4

Costos al mes por categorías de demora

Los mayores ahorros corresponden a las demoras en tiempos de espera, con un ahorro promedio de \$ 5,163.75 mensuales.

La preparación de máquinas con un ahorro promedio de \$ 3,438.45 mensuales.

Esta optimización en el proceso de acarreo va de la mano con un cambio o mantenimiento en la ruta de los camiones mineros y cargadores frontales, por ejemplo:

- La creación de un nuevo By Pass
- Mantenimiento en las vías principales, accesos y rampas
- Mejorando la señalización, logrando prevenir accidentes e incidentes durante el horario de trabajo u otro evento que pueda parar el proceso de acarreo.

Por otro parte, de acuerdo a los resultados obtenido, se puede inferir que la selección de esta metodología con sus restricciones a través del programa Tora y el complemento de Excel Solver, es beneficioso y significativo en el óptimo desempeño de los seis camiones mineros y un cargador frontal, logrando con esto optimizar los ciclos de acarreo en la U.M. en la región LA LIBERTAD. Igualmente, la programación lineal se puede emplear con éxito en la

optimización de otras operaciones mineras, tales como en la explotación de minerales, estimación e inventario de recursos y reservas de la mina, por esta razón el software Excel con su complemento Solver constituye una alternativa practica y económica.

3.5. Análisis de la viabilidad de la propuesta.

La aplicación de los resultados obtenidos por la programación lineal, genera un efecto sobre la inversión a lo largo del tiempo. Siendo necesaria una evaluación económica por medio de tres indicadores: VAN, TIR y PR. Estos indicadores nos permitirán comparar los efectos en base a moneda, porcentaje y periodos en ambos casos (proyecto con y sin mejora por parte de la programación lineal).

El área administrativa considera realizar una inversión con las modificaciones de mejora por parte de la programación lineal por un periodo de 5 meses.

Debemos tener en cuenta que las empresas mineras son muy celosas en la información con respecto a los movimientos de caja, es por ello que se nos brindó resúmenes promedio de los mismos para uso particular.

3.5.1. Evaluación Económica del Proyecto

El proyecto de carguío y acarreo con mejoras requiere la misma inversión en activo fijo de \$ 62 400.00, generando por cinco meses flujos de \$ 28 757.85, con una tasa del 25%.

A continuación los resultados.

Tabla 16

Flujos de Caja por 5 meses

Periodo (mes)	Flujos Caja	Saldo actualizado (25%)	Saldo actualizado acumulado
0	-\$ 62 400.00	-\$ 62 400.00	-\$ 62 400.00
1	\$ 28 757.85	\$ 23 006.28	-\$ 39 393.72
2	\$ 28 757.85	\$ 18 405.02	-\$ 20 988.69
3	\$ 28 757.85	\$ 14 724.02	-\$ 6 264.68
4	\$ 28 757.85	\$ 11 779.22	\$ 5 514.54
5	\$ 28 757.85	\$ 9 423.37	\$ 14 937.91

VAN	TIR	PR
\$ 14 937.91	36%	3.53

El proyecto con mejora por la programación lineal puede pagar la inversión de \$ 62 400.00 con un excedente de \$ 14 937.91 en caja.

En términos porcentuales, la tasa de retorno interna es mayor que la tasa de inversión solicitada (25%) en 11%.

En 3 meses y medio aproximadamente es el periodo en que el saldo de caja deja de ser negativo. Ahora procedemos a comparar los resultados de estos tres indicadores económicos de inversión para un periodo de 5 meses a una tasa de inversión fija de 25%.

Estos indicadores, demuestran que la rentabilidad para la inversión en las mejoras pertinentes durante el proceso de acarreo genera un mejor retorno y excedentes en caja para la empresa minera. En suma, la programación lineal demuestra que es necesaria para diferentes campos de actividades y que puede optimizar de manera significativa los tiempos, ingresos y ganancias.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

De los resultados obtenidos en esta investigación podemos decir que, minimizando los ciclos de demoras en el acarreo de mineral, mejora notablemente el consumo de la inversión en equipos utilizados en este proceso, de la misma manera mejora en la producción de material minero, aplicando la información brindada. Cabe mencionar que por políticas de la empresa no nos brindó todos los datos esperados, sin embargo, con los datos proporcionados y el análisis realizado se puede afirmar que los ciclos observados afectan gravemente en la producción y económicamente a la empresa.

De esta manera con respecto al objetivo general; se logró optimizar la producción del acarreo de mineral mediante la Programación Lineal; es decir se redujo a 60.3 ciclos las demoras y con ello se pudo ahorrar en promedio \$. 3,304.80 dólares mensuales. Además, este resultado es similar con lo realizado por Quispe (2016) quien en su reciente investigación logró optimizar la mezcla del envío de mineral al proceso de Chancado y Molienda, mediante un análisis por programación lineal, en la Unidad Minera Yanacocha. Este antecedente demuestra que existe una investigación relacionada al resultado obtenido en la presente investigación, aunque la zona del desarrollo de la investigación y las diferencias entre la magnitud de ambas empresas pueden generar diferencias entre los resultados de ambas investigaciones.

Con respecto al objetivo específico 1, se alcanzó diagnosticar el rendimiento del acarreo de mineral que se realiza en la actualidad, y se encontró deficiencias en el proceso que afectan a la producción en la Unidad Minera en la región LA LIBERTAD. Asimismo, estas deficiencias consecuentemente generan pérdidas en la inversión para el uso de maquinaria durante este proceso de extracción. Asimismo, este resultado es semejante con lo realizado por Campos y Ricra (2017), ya que pudieron demostrar el impacto positivo de la programación lineal en los procesos mineros, y con ello optimizando los resultados en la actividad de carguío

y acarreo de minerales de la mina Lagunas Norte, La Libertad. Por lo que, 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.

Por otro lado, con respecto al objetivo específico 2, se consiguió la optimización de los ciclos de demora, es decir se disminuyó los ciclos perdidos en demoras durante el proceso del acarreo de mineral en 60.3 ciclos mensuales en promedio. Encontramos un resultado similar con lo realizado por Campos y Ricra (2017), ya que llegaron a la conclusión que el programa Solver tiene una influencia significativa en la optimización del tiempo en las operaciones de carguío y acarreo en la mina Lagunas Norte, La Libertad. Concluyendo que, este antecedente demuestra la existencia de una investigación relacionada al resultado obtenido en la presente investigación.

A su vez por medio de la aplicación de la Programación Lineal se obtuvo una reducción significativa en promedio del 55% en las demoras que surgen durante el proceso de acarreo por mes y producir en promedio 8100.43 toneladas de material minero extra al mes. Esto permitirá a la empresa optimizar su productividad, y con ello obtener mayores utilidades. Además, este resultado es parecido con lo realizado por Quispe y Sanchez (2019) ya que a través de la aplicación de la programación lineal maximizó la eficiencia económica de los hornos de recalentamiento en 0.18 y logro reducir el consumo energético en un 17 Kwt/tn. Así, este antecedente demuestra que existe una investigación relacionada al resultado obtenido en la presente investigación. A pesar de tratarse de empresas dedicadas a rubros diferentes el efecto significativo de la programación lineal es considerable.

Finalmente, con respecto a al objetivo específico 4, se alcanzó minimizar los tiempos de demora, por lo que permitió disminuir los gastos en ciclos sin producción al monto promedio de \$ 2,442.15 mensuales, evitando un gasto innecesario de \$ 3,304.80 mensuales en promedio

en demoras siendo la más recurrente y más costosa las demoras por tiempo de espera (Cambios de Guardia, espera en cola y falta de equipo de carguío), de acuerdo a los resultados, se logrará un proyecto viable y una buena rentabilidad en el desarrollo de su ejecución. Campos y Ricra (2017) obtuvieron unos resultados similares, llegando a la conclusión que mediante la programación lineal con el uso de Solver, obtuvieron una optimización de un 12,35% del costo total del proceso de carguío-acarreo de minerales en la mina Lagunas Norte, la Libertad. Este antecedente también demuestra que existe una investigación relacionada al resultado obtenido en la presente investigación.

4.2 Conclusiones

- Existe un impacto positivo en base a los resultados conseguidos, mediante la aplicación de la Programación Lineal se ha optimizado las demoras en promedio en un 55% del proceso de acarreo de minerales en la U.M. en la región LA LIBERTAD y con ello se logró optimizar a \$. 2,442.15 dólares mensuales en los gastos en demoras.
- Se diagnosticó el rendimiento del acarreo de mineral que se realiza en la actualidad, y se encontró las deficiencias en el proceso de acarreo que afectan a la producción en la U.M. en la región LA LIBERTAD. y estas deficiencias consecuentemente generan pérdidas en la inversión para el uso de maquinaria durante este proceso de extracción.
- La aplicación de la propuesta de optimización utilizando la programación lineal se logró minimizar los ciclos de demoras, se logró resultados positivos en la producción para la empresa. En otras palabras, se puede recuperar en promedio \$ 3,304.80 dólares mensuales en pago de equipos en el proceso de acarreo, minimizando los ciclos de demora.
- La aplicación de la Programación Lineal obtuvo una reducción significativa en promedio del 55% en las demoras que surgen durante el proceso de acarreo que surgen por mes y producir en promedio 8100.43 toneladas de material minero extra al mes. Esto permitirá a la empresa a optimizar su productividad, y con ello obtener mayores utilidades.
- Con la evaluación económica, minimizando los ciclos de demora se permitió disminuir los gastos en ciclos sin producción al monto promedio de \$ 2,442.15 mensuales, evitando un gasto innecesario de \$ 3,304.80 mensuales en promedio

en demoras, de acuerdo a los resultados, se logrará un proyecto viable y una alta rentabilidad en el desarrollo de su ejecución.

- La comparación de los indicadores de inversión, permitió demostrar que la rentabilidad del proyecto con las mejoras es viable.

4.3. Recomendaciones

- Se recomienda a la UNIDAD MINERA en la región LA LIBERTAD. un mayor énfasis en el empleo de la programación lineal en otras operaciones mineras, tales como en la explotación de minerales, estimación e inventario de recursos y reservas de la mina, entre otros. Determinando así las variables de decisión, función objetivo y restricciones, utilizando herramientas como Solver o CPLEX Optimizer.
- Se recomienda a la UNIDAD MINERA en la región LA LIBERTAD. desarrollar cursos, seminarios y capacitaciones a los trabajadores en las áreas relacionado con las operaciones de extracción y plantas de beneficio, sobre aplicaciones como Solver y CPLEX Optimizer relacionados a temas de optimización de procesos.
- Se recomienda a la UNIDAD MINERA en la región LA LIBERTAD. aplicar; la optimización mediante la Programación Lineal por medio del programa Solver, con el fin de optimizar sus operaciones de explotación como de beneficio.
- Dado que el proyecto tiene una alta rentabilidad en beneficio de la empresa, se recomienda para futuras investigaciones agregar e identificar más variables intervinientes en el proceso de extracción de material minero que afecte directamente en este proceso.

REFERENCIAS

- Acero, L. (2017). *Aplicación de método simplex para un modelo en la producción de leche y sus derivados en pequeños y medianos productores*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6524/Acero_Coaquira_Luz_Marina.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. Caracas: EPISTEME. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/27298565_El_Proyecto_de_la_Investigacion_Introduccion_a_la_Metodologia_Cientifica
- Batis consultores. (2 de 3 de 2020). *Online-tesis*. Obtenido de <https://online-tesis.com/tecnicas-de-recoleccion-de-datos-para-realizar-un-trabajo-de-investigacion/>
- Cabezas, E., Naranjo, D., & Santamaría, J. (2018). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Sangolquí, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Obtenido de repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/15424/1/Introduccion%20a%20la%20Metodologia%20de%20la%20investigacion%20cientifica.pdf
- Cahuari, A. (2019). *Optimización del uso de los equipos de carguío y acarreo en minería superficial en la compañía minera Corporación del Centro Gold Mining S.A.C. - región La Libertad*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12152>
- Campaña, D. (2011). *Modelo matemático de programación lineal para optimizar la selección de fertilizantes a través de la disminución de costos en el cultivo de papa*. Escuela Politécnica Nacional, Quito. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7763/1/CD-3893.pdf>
- 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*. Universidad Privada del Norte, Cajamarca. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/12985/Campos%20V%C3%A1>

- squez%20Miguel%20%20C3%81ngel%20-
%20Ricra%20Quispe%20Rolan%20Diesel_total.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Cárcamo, E. (14 de 3 de 2019). *ESAN*. Obtenido de ESAN:
<https://www.esan.edu.pe/conexion/actualidad/2019/03/14/la-importancia-de-la-gestion-financiera-aplicada-a-la-mineria/#:~:text=La%20miner%C3%ADa%20es%20una%20actividad,multiplicador%20sobre%20otras%20actividades%20productivas.>
- Carranza, D., & Moncada, L. (2019). *Optimización de las Utilidades en la Empresa DM&E S.A.S mediante un Modelo de Programación Lineal que permita mejorar su Rendimiento Operacional*. Universidad Piloto de Colombia, Colombia. Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/6428/Optimizaci%C3%B3n%20de%20las%20Utilidades%20en%20la%20Empresa%20DM%26E%20S.A.%20mediante%20un%20Modelo%20de%20Programaci%C3%B3n%20Lineal%20que%20permita%20mejorar%20su%20Rendimiento%20>
- Collado, E. (2017). *Modelamiento matemático para optimizar la carga metálica en un horno de fusión para la elaboración de fundiciones grises por el método de la programación lineal - método simplex*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4110/MTMcocaen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Escamilla, M. (2003). Optimización de mezclas de minerales mediante programación lineal en una mina de mineral de hierro a cielo abierto. *Conciencia Tecnológica*(22), 6. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/944/94402203.pdf>
- Galicia, S. (2013). *Modelo matemático determinístico simplex para optimizar los recursos en una distribuidora de materia prima para calzado en la ciudad de Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_4386.pdf
- Girón, L. (2016). *Aplicación del modelo matemático simplex para optimizar los recursos de una empresa procesadora de verduras, ubicada en la ciudad capital*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_5372.pdf

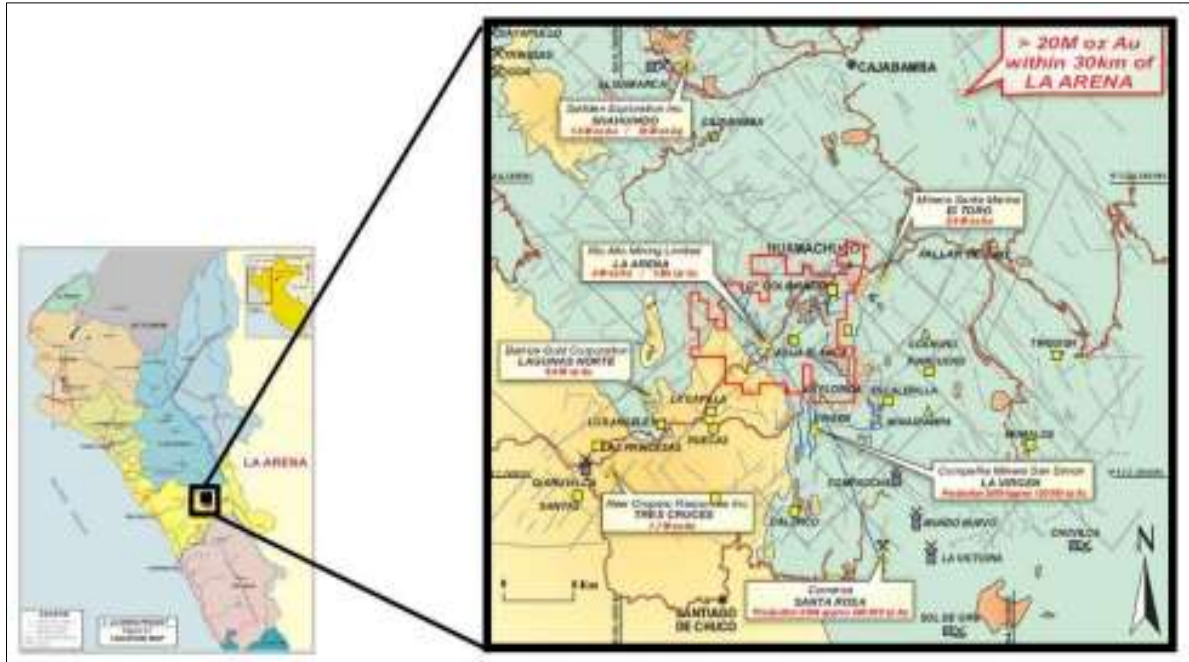
- Gómez, O., Aguilar, R., Quizhpe, L., & Quizhpe, Á. (2018). *Investigación de operaciones I para la administración*. Lima: CIDEPRO. Obtenido de http://www.cidepro.org/images/pdfs/investigacion_operaciones.pdf
- González, V., Barcia, K., & Sabando, D. (2018). *Modelo de Programación Lineal Aplicado a una Empresa PYME de Calzado*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/327564501_Modelo_de_Programacion_Lineal_Aplicado_a_una_Empresa_PYME_de_Calzado
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: Mc Graw Hill Education. Obtenido de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Quispe, M. (2016). *Optimización de la mezcla en base al Mill Revenue (\$/ton) mediante el método simplex dentro de la Unidad Minera Yanacocha*. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/5350/QUISPE%20ESTELA%20C%20Marco%20Andr%C3%A9.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Salazar, B. (11 de 6 de 2019). *Ingeniería Industrial Online*. Obtenido de Ingeniería Industrial Online: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/investigacion-de-operaciones/metodo-simplex/>
- Samán, L., & Orrillo, P. (2018). *Sistem de gestión de aprovisionamiento en el área de post cosecha y su incidencia en la productividad de la empresa Rosas e Invernaderos SAC, Cajamarca 2018*. Universidad Privada del Norte, Lima. Obtenido de https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/15055/Sam%C3%A1n%20Gao%20na%20Luis%20Alberto%20-%20Orrillo%20Ch%C3%A1vez%20Pepe%20Hugo_total.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Seguridad Minera. (20 de 3 de 2017). *Revista Seguridad Minera*. Obtenido de <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/el-carguio-y-transporte-y-su-relacion-con-otras-etapas-de-la-explotacion/#:~:text=El%20objetivo%20del%20cargu%C3%ADo%20y,resumir%20e%20la%20siguiente%20secuencia%3A&text=Transporte%20del%20materi>

Sena, J. (5 de 2 de 2019). *CAMIPE*. Obtenido de CAMIPE: <http://camiperd.org/la-importancia-de-la-mineria-responsable/>

Valencia, K. (2015). *Introducción al método simplex: forma tabular paso a paso*. Universidad Autónoma del Estado de México, México D.F. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/31644/secme-16318.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

1. Ubicación Geográfica.



El Proyecto Minero La Arena se encuentra ubicado a 18 kilómetros de la ciudad de Huamachuco, en la provincia de Sánchez Carrión, Región La Libertad, dentro de un distrito tradicionalmente minero, cercano a las minas: Lagunas Norte (Alto Chicama - Barrick Gold Corp.), COMARSA (Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A.) y La Virgen (Compañía Minera San Simón S.A.); así como de los proyectos de exploración: Shahuindo (Sulliden Exploration Inc.), Tres Cruces (New Oroya Resources Inc.) y El Toro.

2. Imágenes aéreas y en primer plano de la zona de carga-acarreo de material minero y de los puntos de partida y llegada respectivamente.



Figura 01. Zona de partida del carguío de material minero.



Figura 02. Punto de partida, carga de material minero (Tajo Calaorco).



Figura 03. Inicio del proceso de acarreo de material minero.



Figura 04. Recorrido de los equipos de acarreo.



Figura 05. Ingreso a la zona de descarga de mineral.



Figura 06. Descarga de mineral.

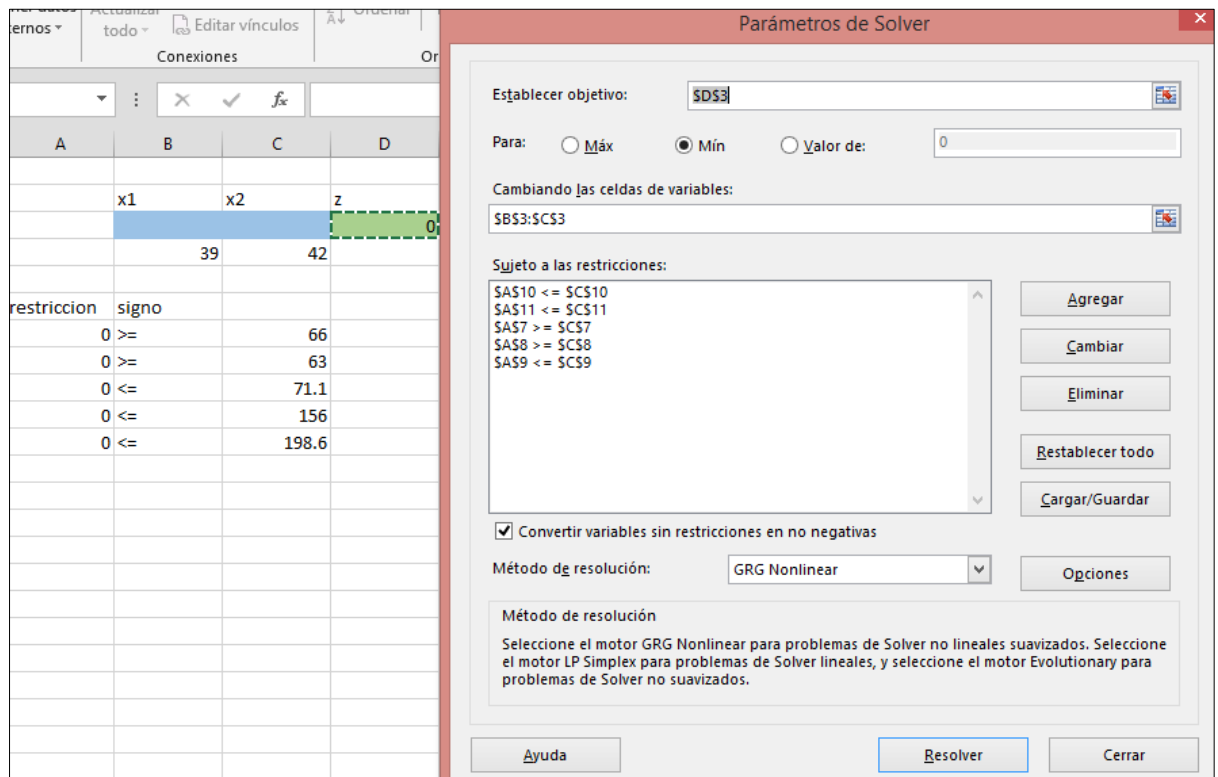


Figura 07. Retorno hacia el punto de carguío.

3. Ingreso del modelo de programación lineal a Excel

	x1	x2	z	
			0	
	39	42		
restriccion	signo			
	0 >=	66		
	0 >=	63		
	0 <=	71.1		
	0 <=	156		
	0 <=	198.6		

4. Ingreso de celdas y parámetros en Solver



Parámetros de Solver

Establecer objetivo:

Para: Máx Mín Valor de:

Cambiando las celdas de variables:

Sujeto a las restricciones:

- \$A\$10 <= \$C\$10
- \$A\$11 <= \$C\$11
- \$A\$7 >= \$C\$7
- \$A\$8 >= \$C\$8
- \$A\$9 <= \$C\$9

Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución:

Método de resolución
Seleccione el motor GRG Nonlinear para problemas de Solver no lineales suavizados. Seleccione el motor LP Simplex para problemas de Solver lineales, y seleccione el motor Evolutionary para problemas de Solver no suavizados.

Ayuda Resolver Cerrar

5. Solución por método Simplex en Solver

	A	B	C	D
		x1	x2	z
		66	63	5220
		39	42	
restriccion	signo			
	66 >=		66	
	63 >=		63	
	38.7 <=		71.1	
	71.1 <=		156	
	71.1 <=		198.6	

6. Informe de respuestas Solver

Celda objetivo (Mín)				
Celda	Nombre	Valor original	Valor final	
\$D\$3	z	5220	5220	

Celdas de variables				
Celda	Nombre	Valor original	Valor final	Entero
\$B\$3	x1	66	66	Continuar
\$C\$3	x2	63	63	Continuar


Restricciones					
Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Demora
\$A\$10	restriccion	71.1	\$A\$10<=\$C\$10	No vinculante	84.9
\$A\$11	restriccion	71.1	\$A\$11<=\$C\$11	No vinculante	127.5
\$A\$7	restriccion	66	\$A\$7>=\$C\$7	Vinculante	0
\$A\$8	restriccion	63	\$A\$8>=\$C\$8	Vinculante	0
\$A\$9	restriccion	38.7	\$A\$9<=\$C\$9	No vinculante	32.4

7. Informe de Límites.

Objetivo		
Celda	Nombre	Valor
\$D\$3	z	5220

Variable			Inferior	Objetivo	Superior
Celda	Nombre	Valor	Límite	Resultado	Límite
\$B\$3	x1	66	66	5220	174
\$C\$3	x2	63	63	5220	171

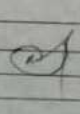
8. Formato de Orden de trabajo

 **PAN AMERICAN SILVER**

FORMATO ORDEN DE TRABAJO N° DE REGI

Fecha: *20-09-21* 20/09/2021 Tajo: *Cadavazo - Botaderos #02 -*
 Hora: *8:00* 07:00 Fase:
 Guardia: *C* C Banco:

SUPERVISOR(ES) QUE GENERAN LA ORDEN:

APELLIDOS Y NOMBRES	FIRMA
1- RAFAEL MUSAYON VASQUEZ	
2- <i>BELARDO RAMON VASQUEZ</i>	
3-	

ORDEN DE TRABAJO:

ACARREO DE MATERIAL			
DESCARGA DE MATERIAL			

RECOMENDACIONES Y ADVERTENCIAS DE SEGURIDAD:


APLICAR MANEJO DEFENSIVO
 CUMPLIR RITLA
 CUIDADO DE PNEUMATICOS
 PRECAUCION EN LA ZONA DE DESCARGA
 COMUNICACION DE ALGUNA CONDICION SUB ESTANDAR

OBSERVACIONES DEL TRABAJADOR O TRABAJADORES:

muchas emisiones de polvo

ORDENES ESPECIALES:

ORDEN RECIBIDA POR:

APELLIDOS Y NOMBRES	FIRMA
1- <i>Musayon Sanchez</i>	
2-	
3-	
4-	
5-	

RECOMENDACIONES DE LA SUPERVISIÓN:

HDRA	SUPERVISOR	RECOMENDACIÓN	FIRMA

PARA TODA ACTIVIDAD EL TRABAJADOR DEBERÁ TENER EN CUENTA:

- Si las condiciones para hacer el trabajo no son seguras, se deberá: parar el trabajo, corregir si se puede hacer; y comunicar en forma inmediata al supervisor.
- Nadie debe hacer un trabajo si no fue capacitado para hacerlo.
- Cumplir siempre el procedimiento escrito de trabajo seguro.
- Nunca realizar un trabajo sin tener los equipos de protección personal completos que se requiera para realizar la tarea.

9. IPERC

SEVERIDAD		MATRIZ DE EVALUACIÓN DE RIESGOS									
Catastrófico	1	2	4	7	11						
Fatalidad	3	5	8	12	16						
Permanente	6	9	13	17	20						
Temporal	10	14	18	21	23						
Menor	15	19	22	24	25						
	A	B	C	D	E						
	Común	Ha sucedido	Podría suceder	Raro que suceda	Prácticamente imposible que suceda						
	FRECUENCIA										

IPERC CONTINUO		NIVEL DE RIESGO		DESCRIPCIÓN		PLAZO DE CORRECCIÓN	
	ALTO			Riesgo intolerable, requiere controles inmediatos. Si no se puede controlar PELIGRO se paraliza los trabajos operacionales en la labor.		0-24 HORAS	
	MEDIO			Iniciar medidas para eliminar/reducir el riesgo. Evaluar si la acción se puede ejecutar de manera inmediata		0-72 HORAS	
	BAJO			Este riesgo puede ser tolerable.		1 MES	

TAREA: acarreo de material

DATOS DE LOS TRABAJADORES:					
FECHA	HORA	NIVEL/ ZONA / AREA	NOMBRES Y APELLIDOS	CARGO	FIRMA
13/09/2021	07:50				

IPERC CONTINUO		
DESCRIPCIÓN DEL PELIGRO	RIESGO	MEDIDAS DE CONTROL A IMPLEMENTAR

EVALUACIÓN IPERC		
A	M	B

EVALUACIÓN RIESGO RESIDUAL		
A	M	B

Inspeccion de Equipo	caidas a diferente nivel											21
carguio de material	choques entre equipos, atropellos	8										17
taludes inestables	caida de rocas	8										17
ruido	hipoacucia, sordera		9									17
polvo	Inhalacion de polvo, silicosis			14								21
vibraciones	problemas musculatorios			14								21
covid 19	enfermedad respiratoria	8										17
descarga de mineral	choques,colisiones,atropellos	8										17
limpieza de carriles	choques,colisiones	8										17
SECUENCIA PARA CONTROLAR EL PELIGRO Y REDUCIR EL RIESGO:												
Elaboración de IPERC												
Aplicación de Medidas												
Ejecución de Tarea												

DATOS DE LOS SUPERVISORES:			
HORA	NOMBRE SUPERVISOR	MEDIDA CORRECTIVA	FIRMA
NOTA: Eliminar Peligros es Tarea Prioritaria antes de Iniciar las Operaciones Diarias			

SEVERIDAD	CRITERIOS		
	Lesión personal	Daño a la propiedad	Daño al proceso
Catastrófico	Varias fatalidades. Varias personas con lesiones permanentes.	Pérdidas por un monto superior a US\$ 100,000	Paralización del proceso de más de 1 mes o paralización definitiva.
Fatalidad (Pérdida mayor)	Una fatalidad. Estado vegetal.	Pérdidas por un monto entre US\$ 10,000 y US\$ 100,000	Paralización del proceso de más de 1 semana y menos de 1 mes.
Pérdida permanente	Lesiones que incapacitan a la persona para su actividad normal de por vida. Enfermedades ocupacionales avanzadas.	Pérdidas por un monto entre US\$ 5,000 y US\$ 10,000	Paralización del proceso de más de 1 día hasta 1 semana.
Pérdida temporal	Lesiones que incapacitan a la persona temporalmente. Lesiones por posición ergonómica.	Pérdidas por un monto entre US\$ 1,000 y US\$ 5,000	Paralización de 1 día.
Pérdida menor	Lesión que no incapacita a la persona. Lesiones leves.	Pérdida menor a US\$ 1,000	Paralización menor de 1 día.

PROBABILIDAD	CRITERIOS	
	Probabilidad de frecuencia	Frecuencia de exposición
Común (muy probable)	Sucede con demasiada frecuencia.	Muchas (6 o más) personas expuestas. Varias veces al día.
Ha sucedido (probable)	Sucede con frecuencia.	Moderado (3 a 5) personas expuestas varias veces al día.
Podría suceder (posible)	Sucede ocasionalmente.	Pocas (1 a 2) personas expuestas varias veces al día. Muchas personas expuestas ocasionalmente.
Raro que suceda (poco probable)	Rara vez ocurre. No es muy probable que ocurra.	Moderado (3 a 5) personas expuestas ocasionalmente.
Prácticamente imposible que suceda.	Muy rara vez ocurre. Imposible que ocurra.	Pocas (1 a 2) personas expuestas ocasionalmente.


10. Check List de Camiones

CHECK LIST - INSPECCION DE CAMIONES MINEROS									
(DEBE ENTREGARSE AL SUPERVISOR DE OPERACIONES QUIEN LO ENTREGARA DIARIAMENTE AL SUPERVISOR MECANICO)									
FECHA: 22/9/2021	GUARDIA: A	TURNO: N	CODIGO DEL EQUIPO: CM-00058						
INSPECCION DE COMPONENTES	ESTADO		INSPECCION DE COMPONENTES			ESTADO		INSPECCION DE COMPONENTES (FIN DE GUARDIA)	
	BIEN	REVISAR	BIEN	REVISAR	BIEN	REVISAR	BIEN	REVISAR	
1. INTERRUPTOR DE PARADA DE EMERGENCIA DE MOTOR	/		20. BOMBA DE AUTOLIBRE	/		1. FUGAS DE ACEITE Y/O REFRIGERANTES	/		
2. NEUMATICO	/		21. MANDOS FINALES	/		2. HOROMETRO	/		
3. FILTROS DE COMBUSTIBLE Y AIRE	/		22. CILINDRO DE SUSPENSION DE LANTERO Y POSTERIOR	/		3. PELDAÑOS, BARANDAS Y ESPEJOS	/		
4. ENRIADORES DE ACEITES	/		23. DIFERENCIAL	/		4. VALVULA DE LLENADO RAPIDO DZ	/		
5. ECM DEL MOTOR	/		24. VARELLA DE CONTROL LATERAL DE LA CAJA DEL EJE TRASERO	/		5. LUCES, BOCINA	/		
6. MOTOR	/		25. ACUMULADORES DE PRESION DE FRENS	/		6. PERRO DE SUJECION DE NEUMATICOS	/		
7. FAJAS DE MOTOR	/		26. FILTRO DE LA TRABA DEL CONVERTIDOR Y FRONDS	/		7. OTROS	/		
8. PERROS DE SUJECION DEL CILINDRO DE SUSPENSION	/		27. PARABRISAS DELANTERO Y LATERAL	/		INSPECCION DE COMPONENTES DE SEGURIDAD	/		
9. PAQUETE DE FRENSOS Y COJINETE	/		28. RETARDADOR MANUAL	/		1. CINTURON DE SEGURIDAD	/		
10. TERMINALES DEL CILINDRO Y TIRANTE DE DIRECCION	/		29. ESPEJOS RETROVISORES	/		2. SENSOR DE PROXIMIDAD (RETROCESO)	/		
11. NIVELES DE FLUJOS	/		30. CONTROL DE VOLANTE DE DIRECCION	/		3. SISTEMA DE MONITOREO DE FATIGA	/		
12. FILTROS DE ALTA PRESION Y TRANSMISION	/		31. CONTROL DE TRANSMISION	/		5. EXTINTOR Y PORTAEXTINTOR	/		
13. BRING DEL BASTIDOR EN "A"	/		32. CONTROL DE LEVANTE DE CAJA	/		6. ASENETO DEL OPERADOR	/		
14. EJE PROPULSOR Y CRUCETAS	/		33. CONTROL DE PEDALES DE ACCELERACION	/		7. TACOS Y CONOS DE SEGURIDAD	/		
15. CONEXIONES DE ENGRASE REMOTO Y LINEAS DE GRASA	/		34. CONTROL DE FRENSOS	/		8. BOTICUIN	/		
16. BARBA TUBULAR DE LOS CILINDROS DE LEVANTE DE CAJA	/		35. SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO	/		9. KIT ANTIDERRAME	/		
17. CILINDRO DE LEVANTE DE CAJA	/		36. TOLVA O CAJA	/		10. OTROS	/		
18. TRANSMISION	/		37. CAMARA DE RETROCESO	/					
19. SISTEMA DE LLENADO DE FLUIDO	/		38. OTROS	/					

HORIMETRO INICIAL: 48919.4	HORIMETRO FINAL: 48924.5	KILOMETRO INICIAL: 110778	KILOMETRO FINAL: 110838
OPERADOR: BARRETO ESQUIVEL NILY ABNER	SUPERVISOR: ING MOISÉS LUJAN		

OBSERVACIONES DE LA REVISION: *Neumáticos p. 3,4,5y6 cortes B/R Y B/L *Parabriza quañada*
Evento de autolubricacion activo nivel 2

Desinfeccion de Equipo (Prevencion Agente Biologicos / Covid 19) Inicio de Guardia Fin de Guardia:

FIRMA: _____	FIRMA: _____	FIRMA: _____
RECIBIDO	MANTENIMIENTO	SUPERVISOR MINA
		OPERADOR

11. Modelo reporte utilizado para obtención de datos

PAN AMERICAN SILVER		PARTE DIARIO DE CONTROL DE EQUIPOS										PARA-SIGLA-CPS- 002-F01 Versión 0				
Operador: <u>eti barreto gomez</u>		Equipo (COD): <u>CM 0040</u>		Fecha: <u>3/8/2021</u>								N				
Supervisor: <u>IGN Moises lujan</u>		Contrata: <u></u>								185						
Horometro: <u>58450,2</u>		kilometraje								Horometro <u>5851</u>						
Inicio: <u>58450,2</u>		inicial								Kilometro: <u>5851</u>						
Final: <u>58460,4</u>		Final: <u></u>														
CONTROL DE UTILIZACION DEL EQUIPO													CONTROL DE DEMORAS			
N°	DESDE			HASTA			Equipo Carguio	Hora inicio	Hora Fin	Materia	Peso (Tn)	Act.	N°	Demora	Hora Inicio	Hora Termino
	Tajo	N° Proy.	Block	Lugar	Nivel	Celda										
1	3272	390	B	B	3468		PH,03	7:40	8:06	D	96	A113				
2	3256			PAD	3397	712	CF,10	8:25	8:50	M	97	A112	2			
3								8:50	9:17		102		3	DP04	9:07	9:12
4								9:17	9:39		99		4			
5								9:42	10:08		97		5			
6								10:14	10:35		96		6			
7				B	3468		PH,03	10:35	11:00	D	90	A113	7			
8								11:05	11:34		92		8			
9								11:34	12:00		95		9			
10								12:04	12:32		94		10			
11				PAD	3397	712		12:35	12:55	M	96	A112	11			
12				B	3468			1:01	1:28	D	93		12			
13				PAD	3397	712		1:34	1:55	M	91	A112	13			
14				B	3468			1:55	3:26	D	90	A113	14			
15				PAD	3397	712		3:36	3:54	M	94	A112	15			
16								4:02	4:24		95		16			
17								4:26	4:47		92		17			
18								4:51	5:12		92		18			
19								5:19	5:39		102		19			
20				B	3468			5:39	6:05	D	90	A113	20			
21				PAD	3397	712		6:05	6:28	M	90	A112	21			
22				B	3468			6:28	6:40	D	90	A113	22			
23													23			
24													24			
25													25			
26													26			
27													27			
28													28			
29													29			
30													30			
31													31			
32													32			

OBSERVACIONES DE Guardia: _____