

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Industrial

“MEJORAS EN EL MOVIMIENTO DE TIERRAS
PARA REDUCIR LOS COSTOS OPERATIVOS EN
LA FLOTA DE CARGUIO DE MINERALES DE UNA
EMPRESA MINERA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

José Antonio Chacaltana Arones

Asesor:

Ing. Oscar Goicochea Ramírez

Lima - Perú

2018

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios y Madre que cuidan de mi persona desde el cielo y me brindan la fuerza necesaria para seguir adelante a pesar de las adversidades que se presentaban en mi vida.

A mi esposa y mis hijos por permitirme quitarles parte de nuestro tiempo juntos, brindándome siempre cariño y comprensión.

A mi padre por siempre alentarme en todas las iniciativas que he desarrollado en mi vida.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a la Universidad Privada del Norte (UPN) por haberme permitido ser parte de ella y brindarme las bases teóricas y el soporte para mi desarrollo profesional.

A mi asesor Oscar Goicochea por su dedicación, conocimiento y orientación que fueron fundamentales para la elaboración de mi tesis.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	viii
ABSTRAC.....	ix
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	32
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	34
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	52
REFERENCIAS	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Target cables de palas 7495.....	32
Tabla 2. Costo Total y Total de detenciones actual de los cables de pala 7495 Año 2017.	40
Tabla 3. Malla de Perforación y Carga Explosiva vs costos unitarios agosto 2016 a mayo 2017.....	42
Tabla 4. Malla de Perforación y Carga Explosiva vs costos unitarios junio a agosto 2017	43
Tabla 5. Costo Total y Total de detenciones de los cables de pala 7495 Año 2017	47
Tabla 6. Mejoras proyectadas por incremento de Target en cables a 1 año y 5 años.....	47
Tabla 7. Costo Total y Total de detenciones Propuesto de los cables de pala 7495 Año 2017	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1 Pala de Cables en Operaciones	10
Figura N°2 Partes de la Pala de Cables	11
Figura N°3 Implemento	12
Figura N°4 Balde	13
Figura N°5 Tambor de izaje	14
Figura N°6 Apertura del Balde	15
Figura N°7 Fase de Carga.....	16
Figura N°8 Fase de Giro.....	17
Figura N°9 Fase de Descarga	17
Figura N°10. Fase de Retorno	18
Figura N°11. Bajar el balde, extender el brazo del balde	18
Figura N°12. Continuar extendiendo el brazo	19
Figura N°13. Continuar extendiendo el brazo; elevar el balde	19
Figura N°14. Elevar el balde del banco	20
Figura N°15. Funciones controladas con la mano Izquierda y Derecha	20
Figura 16. Tipos de taladros según propósito (Precorte, Procedimiento y Producción)	21
Figura 17. Perfilado frente de trabajo	33
Figura 18. Frente de trabajo amarrado.....	33
Figura 19. Fallas y suspensiones en la línea del tiempo – Cable de retracción.....	34
Figura 20. Fallas y suspensiones en la línea del tiempo – cable de empuje	35
Figura 21. Fallas y suspensiones en la línea del tiempo – cable de izar.....	35
Figura 22. Ajuste del target – Cable de empuje pala 7495.....	36
Figura 23. Target promedio y límites de Cable de empuje	36

Figura 24. Ajuste del target – Cable de izar pala 7495.....	37
Figura 25. Target promedio y límites de Cable de izar	37
Figura 26. Ajuste del target – Cable de retracción pala 7495	38
Figura 27. Target promedio y límites de Cable de izar	38
Figura 28. Factor de potencia vs tipo de roca/mineral (kg/TN)	
Figura 29. Factor de potencia vs tipo de roca/desmonte (kg/TN)	
Figura 30. Costo unitario vs tipo de roca/mineral (kg/TN)	
Figura 31. Costo unitario vs tipo de roca/desmonte (kg/TN)	

RESUMEN

El presente trabajo de investigación trata sobre las Mejoras en el Movimiento de Tierras para reducir los Costos Operativos en la Flota de Carguío de Minerales de una Empresa Minera; se realizó con el propósito de determinar la reducción de costos operativos en la flota de carguío de minerales de una empresa minera a través del aumento de la duración del cable de pala y fragmentación de roca, el estudio se realizó utilizando los siguientes tipos de diseños de Investigación: exploratorio, descriptivo y experimental. Con los resultados a través de un Target en función a la reducción de la malla y a las mejoras propuestas en el manejo de la pala 7495 obteniéndose un incremento en la vida de los cables de retracción, empuje e izar con valores de 22%; 6,1% y 18,4% respectivamente. Concluyendo que una buena fragmentación, producto de la voladura, y la operación adecuada del equipo incrementa la vida de los cables en un 15% en promedio y una reducción de los costos del orden de US\$ 146 022,70 al cabo de un año y de US\$ 730 113,51 al cabo de cinco años.

Palabras clave: Movimiento de tierras, Fragmentación de roca, costos operativos.

ABSTRAC

The present research work is about the Earth Movement Improvements to reduce the Operational Costs in the Mineral Loading Fleet of a Mining Company; It was carried out with the purpose of determining the reduction of operating costs in the mineral cargo fleet of a mining company through the increase in the duration of the blade cable and rock fragmentation, the study was carried out using the following types of designs. Research: exploratory, descriptive and experimental. With the results through a Target in function to the reduction of the mesh and to the proposed improvements in the handling of the blade 7495 obtaining an increase in the life of the cables of retraction, push and hoist with values of 22%; 6.1% and 18.4% respectively. Concluding that a good fragmentation, product of the blasting, and the proper operation of the equipment increases the life of the cables by 15% on average and a reduction in costs of the order of US \$ 146 022,70 after one year and of US \$ 730 113.51 after five years.

Key words: Earthworks, Rock fragmentation, operating costs.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad Problemática

El movimiento de tierras, considerada como una de las actividades principales en la minería, cuenta con varias etapas donde destacan el carguío, transporte y descarga. En todas estas se debe cuidar la planificación y programación de los movimientos y rutas. Dentro de las principales máquinas utilizadas se encuentran las excavadoras, cargadoras y camiones tolva que trasladan el material de un lugar a otro. También se usan otras como la rotopala, bulldozers y varios cargadores híbridos para aplicaciones específicas. Debido a los tamaños de la maquinaria utilizada, la prevención y seguridad es un tema muy relevante durante estos procesos. Por eso se busca minimizar y evitar los factores de riesgo, incluyendo el adecuado tratamiento y mantención para rutas y caminos (Construcción Minera, 2014).

Según Díaz et al (2012) citando algunos autores indican que en minería la optimización se lleva a cabo mediante la evaluación y análisis de cada una de las operaciones unitarias necesarias para la extracción del recurso mineral de interés. Una de estas, es la operación de perforación y voladura, la cual es uno de los métodos de arranque de material más utilizado, ya que permite obtener mayor cantidad de material arrancado en un tiempo más cortó. Puede ser empleado en rocas con diferentes propiedades físicas y mecánicas, además ofrece una adecuada fragmentación del material, aspecto que es fundamental para la remoción y transporte de material volado.

Aprovechar las capacidades y habilidades de las personas es una estrategia interna que toda organización debe tomar en cuenta si quiere enfrentar los embates del entorno; lo

que se requiere es tener: coordinación, orientación y apoyo por parte de un ente que sea el conductor del desempeño adecuado indica Bayón et al citado por Chávez (2012). Actualmente las competencias se han convertido en una forma imprescindible del desarrollo de las personas para las empresas. Es importante crear un ambiente laboral en el que existan mayores oportunidades de desarrollo. Las organizaciones están enfocadas a incorporar nuevas estrategias para ser competitivas y que sus empleados tengan los conocimientos, habilidades y destrezas que les permitan mantenerse en el mercado de trabajo y desarrollen competentemente sus procesos productivos (Chávez, 2012).

Los costos son de gran de interés para las empresas, porque les permite mejorar la creciente necesidad de competitividad y es fundamental en la toma de decisiones.

Los costos de operación tienen dos características enfrentadas, que algunas veces no son bien entendidas especialmente en países en desarrollo. La primera es que para obtener un bien se debe gastar; esto en otras palabras es la generación de un costo. La segunda característica es que los costos deberían ser mantenidos lo más bajo posible y eliminados los innecesarios. Un adecuado interés por todos los costos de operación, es un índice de la madurez y desarrollo de la organización en el mercado competitivo internacional.

En el Perú el sector minero ha tenido un crecimiento constante a partir de la década de los 90 gracias a una política favorable hacia la inversión extranjera iniciada en esta década a través del Decreto Legislativo (DL) N°662 publicado el 02 de setiembre de 1991, el cual promueve la inversión extranjera; el DL N°674 publicado el 27 de setiembre de 1991, que promueve la privatización de las empresas estatales; y el DL N°818 publicado el 23 de abril de 1996, que da incentivos para la inversión en recursos

naturales. El desarrollo exponencial de este esquema productivo, induce a que la empresa minera sea cada vez más productiva, bajar los costos y siempre establecer mejores controles en la seguridad para sus trabajadores. Minera Chinalco Perú S.A. es una empresa subsidiaria de Aluminum Corporation of China, la sede principal se encuentra en Beijing y es una de las empresas mineras más importantes de la República Popular China. Chinalco es la segunda productora más grande de aluminio en el mundo y la tercera productora más importante de aluminio primario.

En agosto del año 2007 Chinalco adquirió la totalidad de las acciones de Perú Copper Inc., dueña de Minera Perú Copper, ahora Minera Chinalco Perú S.A., y el 5 de mayo del año siguiente se firmó el Contrato de Transferencia de las concesiones y los activos mineros del proyecto Toromocho, uno de los proyectos cupríferos más grandes del país. Minera Chinalco Perú S.A. está encargada de desarrollar este proyecto, que producirá anualmente un millón de toneladas de concentrado de cobre y 10 mil toneladas de Oxido de Molibdeno. El Proyecto prevé 32 años de operaciones de minado, durante los cuales también se realizará la producción de concentrado y almacenamiento de mineral de baja ley. Posteriormente, por un período adicional de 4 años, las operaciones estarán dirigidas al aprovechamiento del mineral de baja ley almacenado durante los primeros 32 años, sumando en total 36 años de operación propuesta para el Proyecto. Sin embargo, en el propio desarrollo de la mina se evidenciaron situaciones a nivel mundial y el precio de los metales no preciosos en especial el cobre mantiene tendencias a la baja es así que en los años 2013 al 2016 el cobre toco los precios más bajo de la década aproximadamente US\$ 4 600,00 por tonelada.

Ahora en el año 2018 ya con un precio estable de US\$ 7 800,00 por tonelada, nos obliga a optimizar nuestros recursos. Es así que el área de Mantenimiento en mina, se encuentra siempre en busca de la mejora continua, por lo que en el análisis de los costos operativos en la flota de carguío del mineral se ha observado un problema con la frecuencia de cambio en los cables del equipo de trabajo de la flota en mención y así mismo al momento del carguío se ha detectado que el tamaño de la roca ayuda a que se acentúe este problema y esto afecta a los costos de operación.

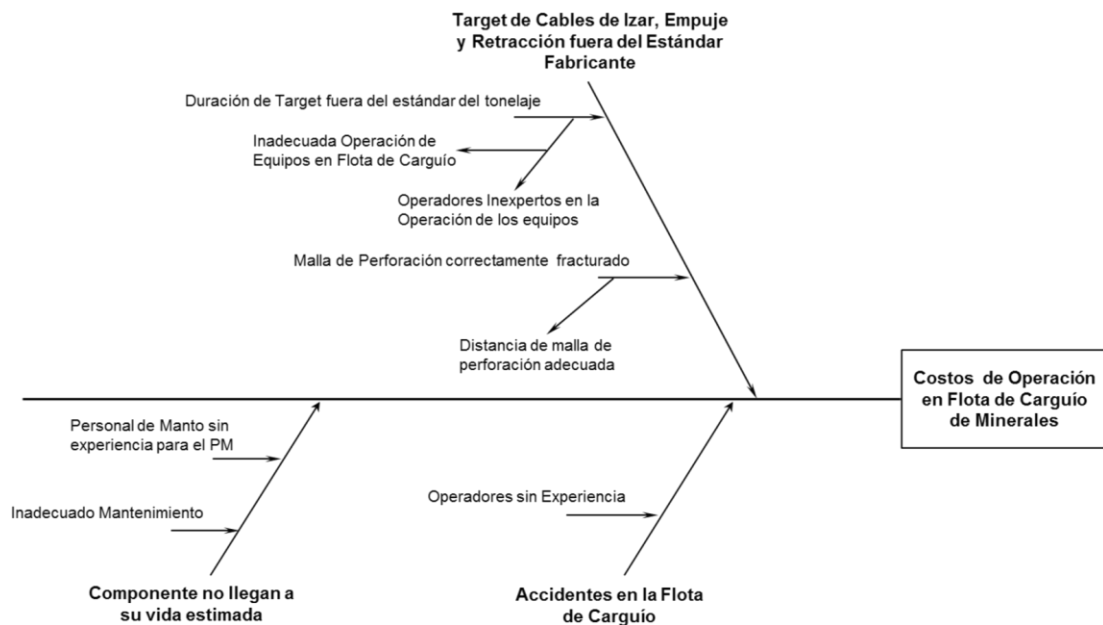


Figura 1. Diagrama de Ishikawa de costos operativos

1.2 Formulación del problema

¿La mejora en el movimiento de tierras reduce los costos operativos en la flota de carguío de minerales de la empresa minera?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar las mejoras en el movimiento de tierras que reducen los costos operativos en la flota de carguío de minerales de una empresa minera.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar las actividades del movimiento de tierras y sus costos asociados de la empresa minera.
- Evaluar las actividades del movimiento de tierras que reducen los costos operativos en la flota de carguío de minerales de la empresa minera.
- Analizar el efecto de las mejoras del movimiento de tierras en los costos operativos de carguío de minerales en la empresa minera.

1.4 Marco Teórico

1.4.1 Antecedentes

Cáceres (2017) en su tesis titulada “Optimización de la Perforación y Voladura con Nuevo Diseño de Malla en el Crucero 10014 de la Empresa Minera Marsa”, presentada a la Universidad Nacional del Altiplano de la ciudad de Puno, para optar el título de Ingeniero de Minas, que tiene como objetivo mejorar los costos operativos de la perforación y voladura con un nuevo diseño de malla de perforación y voladura; en el crucero 10014, permitió determinar un nuevo diseño de malla de perforación y voladura para el desarrollo del crucero 10014 y lograr mayor avance lineal. La malla anterior era de 39 taladros y en la nueva malla requiere de 34 taladros con una optimización en costo y tiempo, como resultado se obtuvo una disminución en el consumo de explosivos de 21,1 kg/disparo a 16,24 kg/disparo, así mismo, una reducción en los costos operativos por metro lineal de US\$ 342,32 a US\$ 247,61 con una diferencia de US\$ 94,71 que significa un ahorro 28% y un rendimiento de avance lineal de 25%.

Ríos (2015), en su tesis titulada “Programa de Capacitación y Adiestramiento del recurso humano para mejorar la cultura de Seguridad en el personal E.E. CCESSOMA E.I.R.L. Mina Constancia”, presentada a la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, para optar al título profesional de Ingeniería de Minas, esta investigación tiene por objeto analizar la necesidad de Capacitación y Adiestramiento para el personal de Stracon GyM que labora en la mina Constancia. CCESSOMA EIRL., está consciente de la importancia que implica la preparación continua del capital humano, que permitan la aplicación de procesos de capacitación y adiestramiento que conlleven al desarrollo de habilidades creativas en pro del desarrollo empresarial y su posicionamiento en el mercado. Sin embargo, la contratación externa se realiza de manera eventual y no continua.

Chávez (2014) en su tesis titulada “Optimización de la fragmentación en los proyectos de voladura primaria en la zona norte del tajo San Pedro Sur, Minera La Zanja” presentada a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos para optar el título de Ingeniero de Minas, tuvo como objetivo optimizar la fragmentación en los proyectos de voladura primaria en la zona norte del tajo San Pedro Sur, a través de la modificación gradual de los parámetros de diseño de perforación y voladura e incorporación de accesorios. Concluye que se logró optimizar la fragmentación de los proyectos primarios de voladura llegando a un valor de P80 de 8.17 pulgadas lo que generó el incremento de la recuperación de 67,4% a un valor promedio de 70,45%. Dicho P80 alcanzado significó la reducción en un 28% respecto al valor de 11,4 pulgadas el cual era promedio del primer semestre del año.

Malpica (2014) en su tesis titulada “Evaluación de rendimientos de equipos en las operaciones de movimiento de tierras en el minado cerro negro Yanacocha – Cajamarca” presentada a la Universidad Privada del Norte, para optar el título de Ingeniero Civil, tuvo como objetivo obtener rendimientos reales de movimientos de tierras, usando maquinaria pesada para las actividades de carguío con excavadora, empuje con tractor oruga, carguío frontal y acarreo con volquetes de 15 m³. Concluye que los rendimientos reales alcanzados en la ejecución, son menores a los dados por el fabricante para las actividades de carguío, empuje, acarreo y corte.

Cadena (2013) en su tesis titulada “Análisis de costos de productividad y su influencia en el movimiento de tierras por métodos mecánicos” presentada a la Universidad Técnica de Ambato, para optar al título profesional de Ingeniero Civil, tuvo como objetivo evaluar los costos de producción y su influencia en los movimientos de tierras por métodos mecánicos. Concluye que el rendimiento de una máquina debe medirse como el costo por unidad de material movido, los tiempos de ejecución son el eje principal para aumentar o reducir los costos y el contar con operadores eficientes ayudará en gran medida a que las excavaciones no se paralicen.

Poma (2012) en su tesis titulada “Importancia de la fragmentación de la roca en el proceso Gold Mill (Caso Yanacocha)” presentada a la Pontificia Universidad Católica del Perú para optar el título de Ingeniero de Minas, tuvo como objetivo la solución de un problema en Minera Yanacocha específicamente en el throughput de la chancadora primaria de la planta Gold Mill (reducción de 800 a 720 tph). Concluye que la aplicación de las teorías de

voladura en incremento del Power Factor, la selección de tiempos de detonación y la relación de impedancia (roca vs explosivo) permitió la mejora del P80 a 6,5 cm, con lo cual el throughput tuvo una mejora a 841 tph (sostenible), lográndose las mejoras en la chancadora primaria de la planta Gold Mill.

1.4.2 Bases teóricas

A. Movimiento de Tierras

Los trabajos que se efectúan en una explotación minera a cielo abierto, con independencia del producto que se quiere extraer, requiere la realización de un **movimiento de tierras** en unos volúmenes que varían con el tamaño de la explotación. Un movimiento de tierras se compone de varias fases, de las que, en una explotación minera, solamente se realizan las de *arranque*, *carga*, *transporte* y *descarga*. La carga es una fase en la que, comparativamente, las dificultades son menores; consiste en mover el material desde la situación en la que queda del arranque hasta introducirlo, en la mayoría de los casos, dentro de la caja de un volquete, para su transporte.

La **carga** se produce una vez que el material ha sido arrancado por alguno de los sistemas anteriores; la máquina típica para realizar esta operación es la pala cargadora, de la que existen dos opciones, sobre ruedas, que es la más utilizada actualmente, y sobre cadenas. La **pala de ruedas** tiene como características más importantes la *movilidad* y la *versatilidad*. La **movilidad** es consecuencia de su rapidez, ya que tiene suficiente velocidad para desplazarse de un punto a otro de la explotación en un tiempo

razonable, por lo que se usa cuando hay que atender varios frentes de carga que estén a distancias considerables uno de otro, en las plantas de áridos para atender las tolvas y cargar los camiones en los acopios, etc. Por lo que se refiere a la **versatilidad**, la pala de ruedas puede montar diferentes accesorios si, en lugar de llevar el cucharón anclado directamente en los brazos de elevación, la máquina dispone de un tablero con acople rápido que le permite cambiar de accesorio en pocos segundos.

La **pala de cadenas** se distingue por su mejor comportamiento en terrenos embarrados o en aquellos casos en los que el material que se va a cargar se presenta en forma de rocas de diferentes tamaños. Su fuerza de arrancamiento es superior a la de la pala de ruedas, si se comparan potencias similares.

B. Palas de Cable

Las **palas de cable** son equipos de gran envergadura, que alcanzan elevadas producciones, con costos unitarios bajos y una alta disponibilidad mecánica. Este equipo carga el material sobre los camiones de gran tonelaje.

Las características *más significativas* de las palas de cable son las siguientes:

- Pueden excavar a alturas entre los 10 y 20 m.
- Pueden descargar a alturas entre los 6 y 12 m.
- Poseen un sistema de traslación sobre una oruga y su accionamiento es eléctrico.

- La excavación se realiza mediante la combinación de dos movimientos: elevación y empuje.
- Son máquinas pesadas y robustas, adecuadas para trabajar en cualquier tipo de material.
- Permiten el arranque directo de materiales compactos, aunque en muchos casos se acondiciona el material a la carga mediante voladura.
- Tienen alta fiabilidad, debido a un diseño ampliamente probado, con buena disponibilidad y utilización efectiva.
- Pueden remontar pendiente reducidas, pero no es aconsejable que operen inclinadas debido a posibles problemas en el sistema de giro de la máquina.
- Proporcionan una buena mezcla en dirección vertical, durante la carga, debido a la forma de excavar, ya que la forma de movimiento de la pala hacia el material es, primero, horizontal, penetrando la pila de material tronado, y segundo, subiendo el balde en forma casi vertical hasta lograr llenarlo.
- Presentan buen rendimiento, incluso en malas condiciones de piso, ya que operan sin desplazarse sobre él.
- Ofrecen al operador una muy buena visibilidad durante la operación, además de condiciones de alta seguridad.
- Tienen una larga vida útil, estimada en más de 60 000 horas de operación.



Figura N°1 Pala de Cables en Operaciones

Fuente: Ilustración cortesía de P&H

Limitaciones de las palas de cable

- No son adecuadas para cargas selectivas de material.
- Presentan una reducida capacidad de excavación (menos que las orugas).
- Requieren de un equipo auxiliar que constantemente mejore la pila de material por cargar.
- Generalmente son tractores sobre orugas (bulldozer) o ruedas. □
Requieren operadores altamente calificados.
- Pueden dificultar las labores, puesto que las mantenciones se realizan en la misma faena minera.
- Por su alto precio, sólo son consideradas en proyectos de gran escala y duración.

Las **palas de cable** tienen *tres secciones principales* (Ver Figura 1) que se encuentran interrelacionadas:

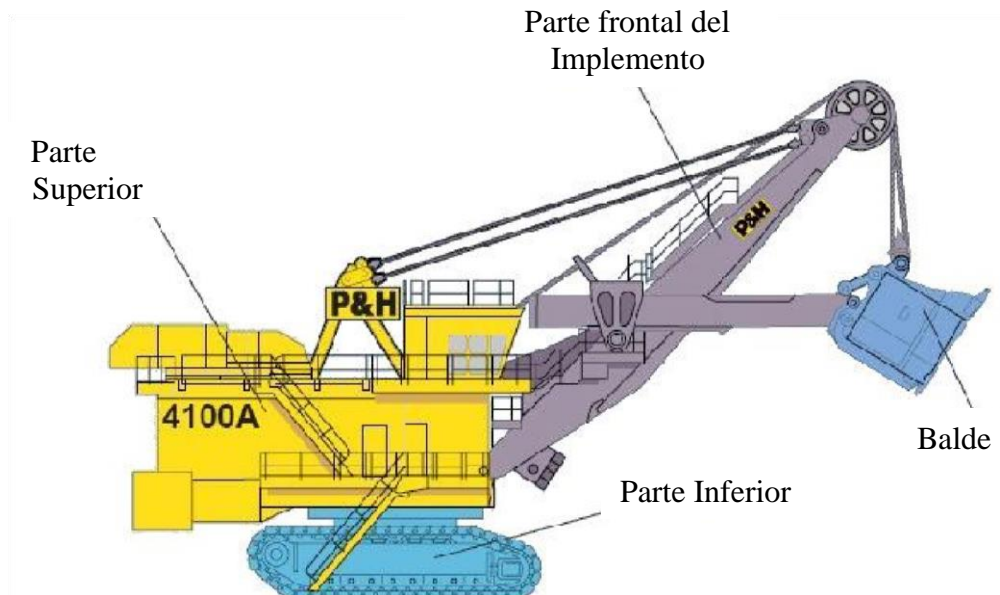


Figura 2. Partes de la pala de cables

Fuente: Ilustración cortesía de P&H

Parte inferior. Las palas de cable tienen una infraestructura montada sobre dos carros de orugas, lo que les permite posicionarse adecuadamente en los lugares de trabajo, y trasladarse a baja velocidad. La parte baja provee una base estable para la máquina y una corona para el sistema de giro. **La parte superior.** Sobre la infraestructura se instala la superestructura giratoria, que consiste en una plataforma capaz de girar en 360 grados en ambos sentidos. La superestructura está cubierta por un habitáculo cerrado y presurizado, que impide la entrada de polvo en los sistemas de accionamiento y control, tanto de la función de carga como de la de giro montadas sobre ella. En la parte delantera del habitáculo se ubica el equipo frontal de excavación y la cabina del operador. En la trasera está el contrapeso.

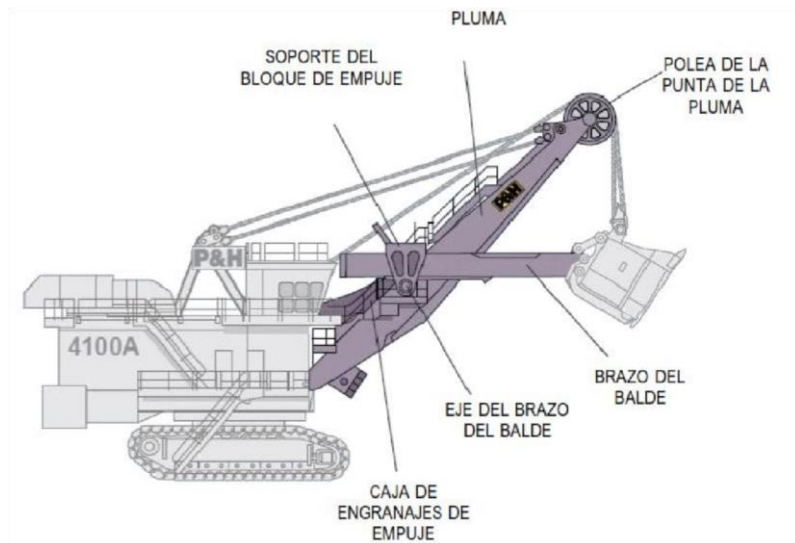


Figura 3. Implemento

Fuente: Ilustración cortesía de P&H

Implemento y su balde. La operación de carga de una pala de cable se realiza mediante la combinación de dos funciones ejecutadas por dos mecanismos distintos: Mecanismo de elevación, que trabaja mediante el cable de elevación, que se enrolla en su correspondiente tambor y el Mecanismo de empuje/ retroceso (Ver Figura 2), que se realiza por medio de un mecanismo piñón y cremallera instalado en la pluma o también mediante cables y un tambor montados en la superestructura, todos accionados por motores eléctricos. Y por último en la pala también existe lo se le conoce como el balde, que sirve para cargar el material y descargarlo e el vehículo de acarreo (Ver Figura 3).

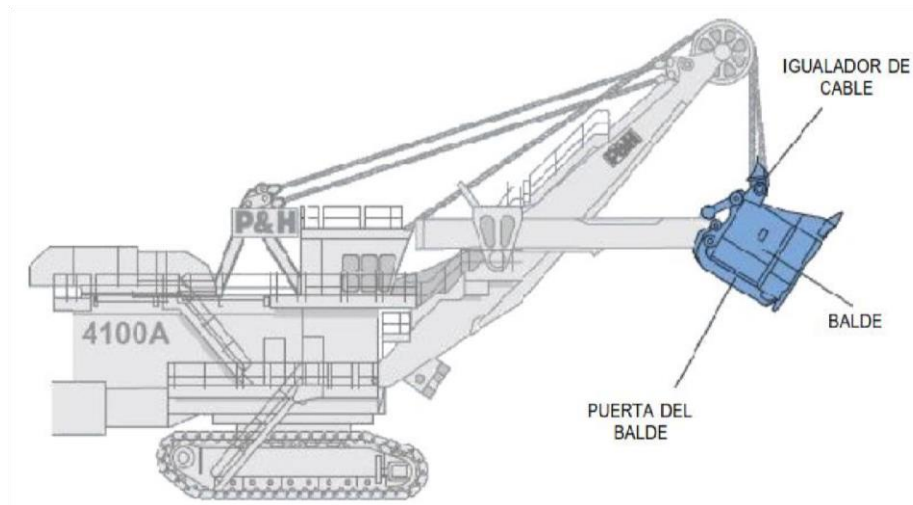


Figura 4. Balde

Fuente: Ilustración cortesía de P&H

Esta pala minera es impulsada y controlada por electricidad. Los motores eléctricos conectados a transmisiones mecánicas impulsan todas las funciones de la pala electromecánica.

El **sistema de distribución eléctrico** de la mina suministra corriente alterna a la pala minera a través de un cable de alimentación que se conecta en la parte trasera de la base inferior. Se transfiere la potencia del conector del cable de alimentación en el chasis inferior al chasis superior (giratorio) a través de un sistema de colectores de alto voltaje localizado entre los chasis superior e inferior de la pala electromecánica.

Los **movimientos primarios de la pala eléctrica** son:

- **Propulsión.** El movimiento de propulsión sirve para mover la máquina de un lugar de excavación a otro. Una vez frente a la zona de carga, la máquina queda estacionada y la propulsión solo es requerida para posicionar la máquina. La velocidad máxima que puede desarrollar una pala eléctrica es alrededor de 1,6 kph (1,0 mph).

- **Giro.** En el movimiento de giro, la parte superior de la pala es giratoria respecto a la parte baja y va centrada por un pin montado en la parte baja. Motores eléctricos proporcionan el giro de la máquina, esto se logra haciendo girar los piñones de giro sobre la corona de giro. Múltiples transmisiones de giro son típicamente usadas en las palas eléctricas para girar la máquina desde el frente de carga a las unidades de acarreo. El ciclo de trabajo puede tomar aproximadamente 25 a 45 segundos dependiendo de la máquina, la carga, el ángulo de giro las condiciones del banco y la eficiencia del operador.

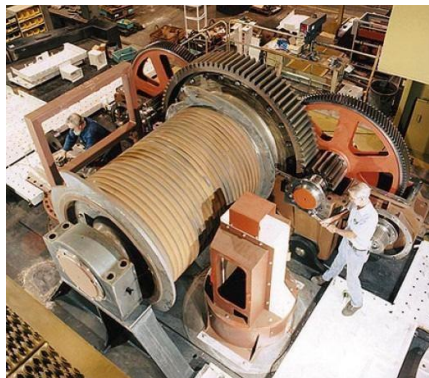


Figura 5. Tambor de izaje

Fuente: Ilustración cortesía de P&H

- **Izaje.** El movimiento de izaje en las palas eléctricas consiste en un cable envuelto en un tambor el cual es girado por los motores eléctricos del izaje. Cuando el operador mueve la palanca de control del izaje para elevar el balde, el tambor rota (Ver Figura 4) y el cable es envuelto en el tambor. Para bajar el balde el tambor de izaje es rotado en dirección opuesta y una cantidad controlada de cable es soltado.
- **Empuje y retracción del balde.** El movimiento de empuje en una pala eléctrica se refiere al movimiento del balde, movimiento desde la

maquina hacia el frente de carga. Dependiendo de la manufactura de la pala, este movimiento y el movimiento de retracción asociada, pueden ser realizados por un piñón que acciona el brazo del balde o un cable que controla el brazo del balde. En ambos casos, la carga se realiza cuando el balde es empujado y elevado a la vez por la zona de carga (Ver Figura 5).

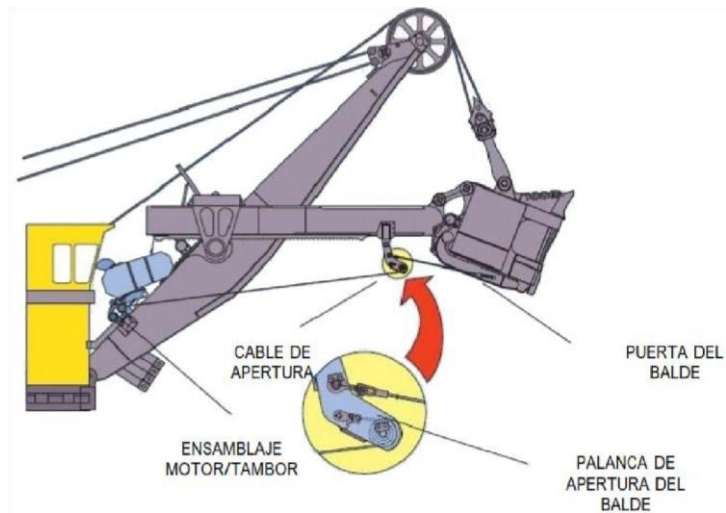


Figura 6. Apertura del Balde

Fuente: Ilustración cortesía de P&H

El **ciclo de trabajo** para la pala eléctrica consta de cuatro fases: Carga, Giro hacia el camión, Descarga y Retorno al banco. Una fase de posicionamiento puede también ser requerida en el ciclo de trabajo.

La **fase de carga** (Ver Figura 6) involucra el movimiento de carga del balde en el banco, cargando, elevando y limpiando el banco. Un apropiado balance de todos los movimientos durante la fase de carga es esencial para la eficiente y productiva carga.

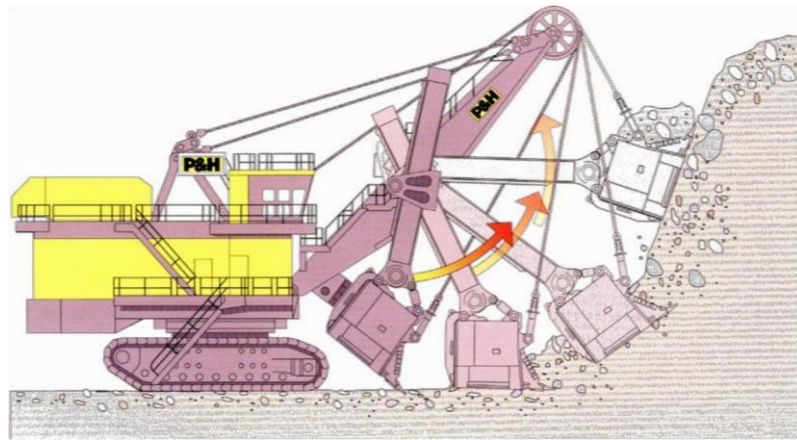


Figura 7. Fase de Carga

Fuente: Ilustración cortesía de P&H

La **fase de giro** (Ver Figura 7) se inicia cuando el balde está completamente lleno. Durante esta fase, el operador gira el balde a través de una trayectoria de giro planeada y una altura de descarga hasta estar posicionado sobre el camión acarreo. El operador debe controlar el giro para asegurar una transmisión suave entre la aceleración y la desaceleración.

La **fase de descarga** (Ver Figura 8) comienza cuando el balde se detiene sobre la unidad de acarreo y finaliza cuando el movimiento de giro termina y comienza el retorno del implemento al banco. Durante la fase de descarga, el operador abre el balde para descargar el material mientras controla la altura de descarga para evitar daños al personal de la mina y daños a la tolva del camión, especialmente durante la primera descarga.

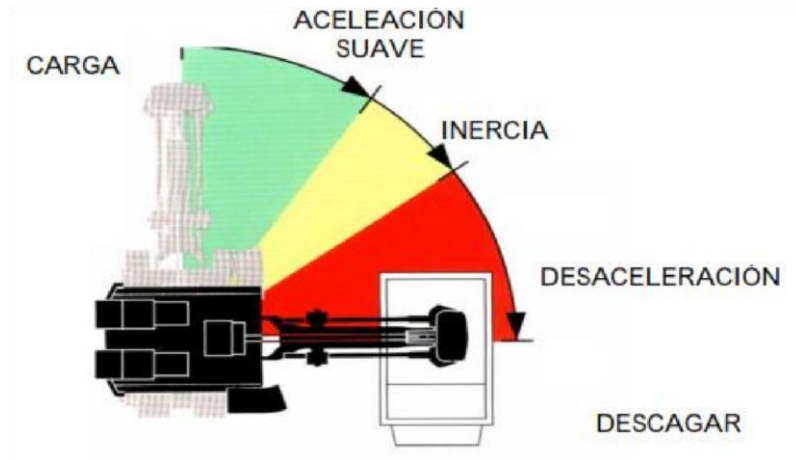


Figura 8. Fase de Giro

Fuente: Ilustración cortesía de P&H

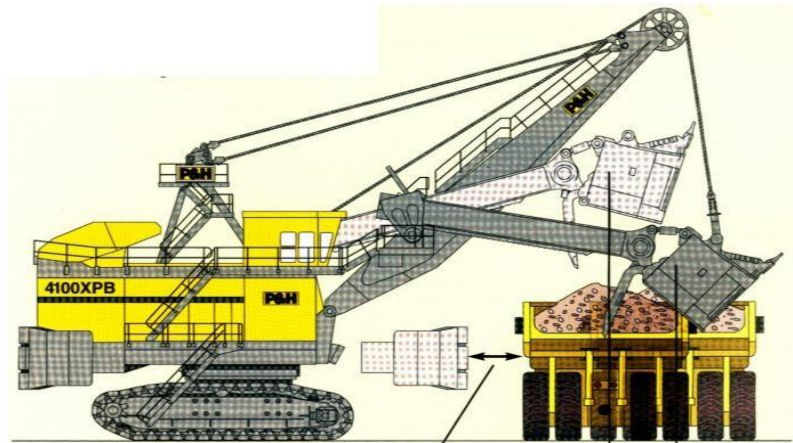


Figura 9. Fase de Descarga

Fuente: Ilustración cortesía de P&H

La **fase de retorno** (Ver Figura 9) incluye el giro de la estructura superior de retorno al banco y bajar el balde a la posición adecuada para comenzar un nuevo ciclo de trabajo.

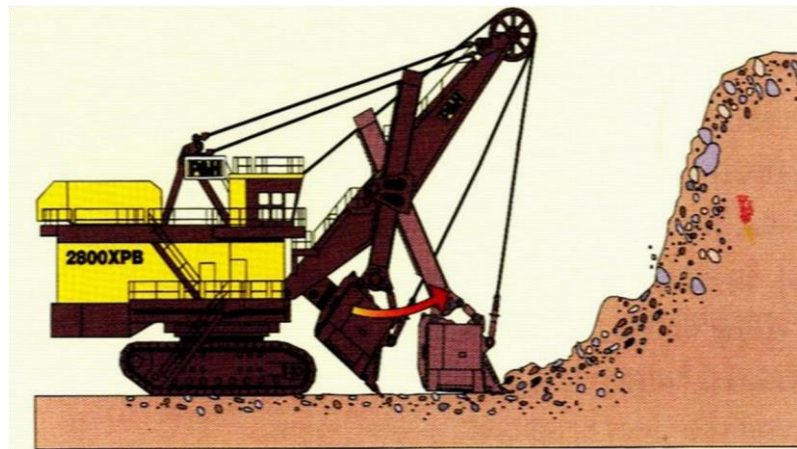


Figura N°10. Fase de Retorno

Fuente: Ilustración cortesía de P&H

C. Manejo de Palas

Controles durante la fase de carga. Los siguientes cuatro pasos son necesarios para posicionar y cargar el balde de una pala eléctrica.

1. Bajar el balde (control derecho hacia adelante) y extender el brazo del balde (control izquierdo hacia adelante) para colocar el balde en la posición de carga.

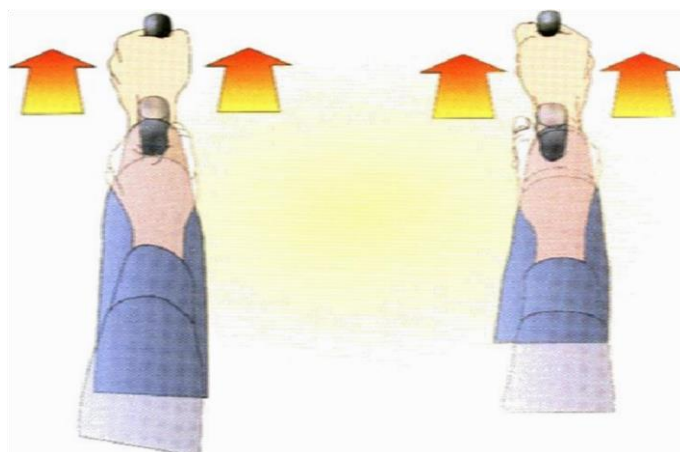


Figura 11. Bajar el balde, extender el brazo del balde

2. Mover el balde hacia delante dentro del banco con el brazo de balde extendido (control izquierdo hacia delante)

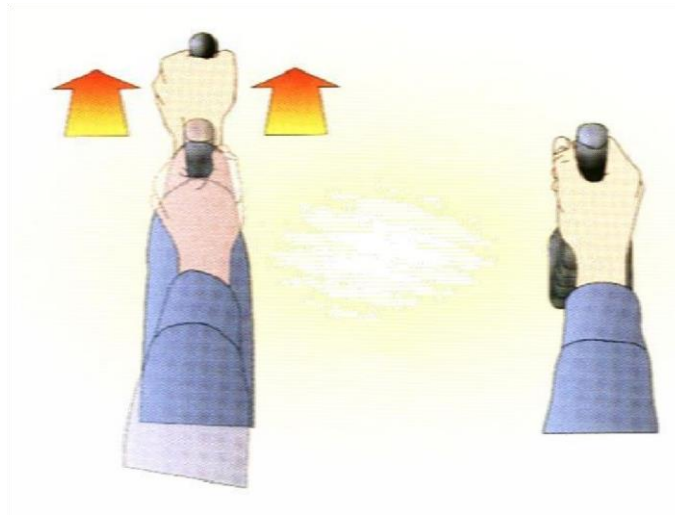


Figura 12. Continuar extendiendo el brazo

3. Mover el balde hacia arriba a través del banco, simultáneamente jalar el control derecho hacia atrás para elevar el balde y mover el control izquierdo hacia delante para extender el brazo del balde.

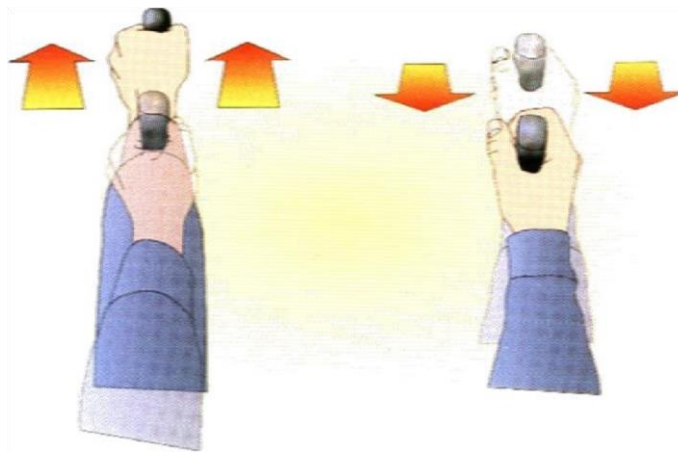


Figura 13. Continuar extendiendo el brazo; elevar el balde

4. Elevar el balde fuera del banco y elevar el peso necesario para cargar el camión de acarreo, jalar el control derecho hacia atrás.

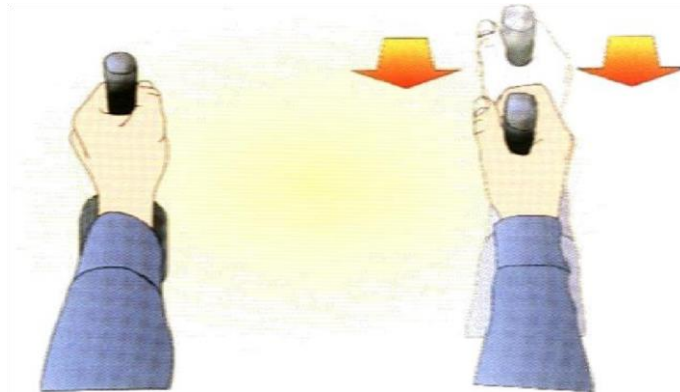


Figura 14. Elevar el balde del banco

Resumen de los **controles de la pala eléctrica**



Figura 15. Funciones controladas con la mano Izquierda y Derecha

Las tareas que los **Operadores** de Palas Cargadoras y Excavadoras Hidráulicas realizan en sus Explotaciones difieren de un lugar a otro debido a las condiciones laborales establecidas en cada caso. No obstante, hay una serie de ellas que son comunes a todos los Operadores, mientras que otras son específicas de los trabajos que se realizan con cada uno de los dos tipos de Máquinas.

D. Procesos Operativos Primarios

1. Perforación

Es la primera actividad del ciclo de producción en donde el alto nivel de detalle que se tenga, permitirá obtener resultados favorables que se reflejara en el resto de actividades unitarias.

- Tipos de taladros

Los tipos de taladro que se perforan en los tajos van orientados al tipo de resultado que se quiere obtener, es así que se perforan tres tipos de taladros, como son: Pre-corte, Procedimiento y Producción. Esta distribución se presenta en el Gráfico 1.

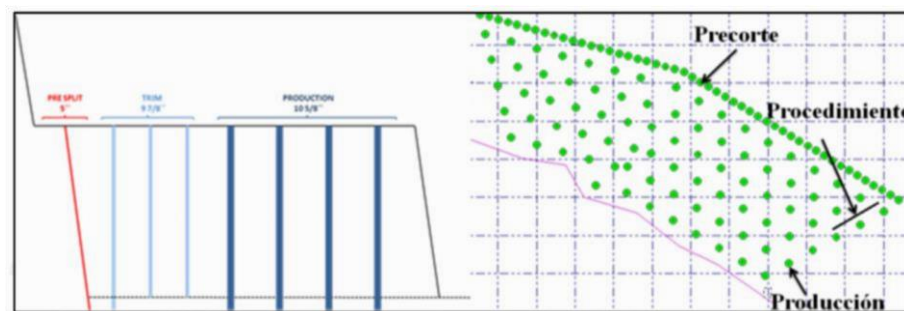


Figura 16. Tipos de taladros según propósito (Precorte, Procedimiento y Producción)

Izquierda (vista de perfil); Derecha (vista de planta)

- Pre-corte

Este paquete de taladros tiene la finalidad de proteger las paredes del tajo, minimizando las vibraciones de la voladura. La voladura de los taladros de Pre-corte no genera volumen de material roto, solo crean una fractura en el macizo rocoso generando la cara del talud. Ésta sólo se realiza cuando el material es medio a duro (> 25 Mpa), cuando se tiene material suave (< 25 Mpa), no se realiza voladura de los taladros de Pre-corte.

- **Procedimiento**

Este segundo paquete de taladros, cercanos a la pared son perforados con diámetros de 9 7/8", con parámetros de perforación específicos (burden, espaciamiento y subdrill) según la dureza del material y son realizados por las perforadoras IR DML.

El diseño de los taladros de procedimiento contempla tres (03) filas denominadas Adyacente, 1ra Producción y 2da Producción. El objetivo de estas filas de taladros es dosificar el Power Factor cercano a la pared, cada fila de taladros tiene un diseño diferente.

- **Producción**

Es el paquete de taladros que sirve para fragmentar el macizo rocoso y entregar material roto a los equipos de carguío, la voladura de estos taladros busca generar una mayor fragmentación post voladura, por tanto, el Power Factor debe generar la suficiente energía para superar la resistencia de tracción del macizo rocoso.

La perforación de los taladros de producción se realiza con la perforadora PV 271 (con diámetros de 10 5/8"), en casos en los cuales la estabilidad del terreno no sea favorable a la perforadora PV 271, se realiza con la perforadora IR DML y se hacen taladros de 9 7/8" (buscando mallas equivalentes en Power Factor).

2. Mejora de la Fragmentación

Cuando la frecuencia de fracturas en la masa rocosa es alta, es más fácil de obtener fragmentación fina y los factores de energía asociados con

la voladura tienden a ser bajos. Rocas duras altamente diaclasadas o fracturadas se comportan muy similar a rocas más blandas y más débiles.

La combinación de roca y discontinuidades se puede considerar y modelar como una ruma de bloques mantenidos juntos por una combinación de la cohesión de la superficie de las diaclasas, el coeficiente de fricción de las superficies de las diaclasas y los esfuerzos actuando en los bloques (ya sea esfuerzos hidrostáticos en aplicaciones de superficie o una combinación de esfuerzos hidrostáticos o tectónicos en aplicaciones subterráneas profundas).

Autores como McKenzie (1984) y el ISEE (1998) han sugerido que para lograr la máxima utilización de la energía del explosivo en el proceso de fragmentación es necesario equiparar la impedancia del explosivo lo más cercana posible a la impedancia de la roca. La impedancia se define como el producto de la velocidad y la densidad. Para el explosivo, la impedancia se refiere al producto de la densidad en el taladro y a la velocidad de detonación, mientras que en la roca la impedancia se define como el producto de la velocidad de las ondas P y la densidad. Luego, para una máxima fragmentación:

$$\rho_{exp} \times VOD = \rho_{roca} \times V_P$$

Dónde:

ρ es la densidad.

VOD es la velocidad de detonación del explosivo

V_P es la velocidad de la onda P de la roca. Basado en el deseo del igualamiento de las impedancias, rocas masivas y de alta resistencia (con velocidades P en el rango de 4 500 a 6 000 m/s) se fragmentan mejor con un explosivo con alta densidad y alta velocidad de detonación. La impedancia de los explosivos nunca alcanza la impedancia máxima de la roca, debido a la baja densidad de los explosivos comerciales. Muchas rocas, sin embargo, más que fragmentación requieren desplazamiento y para este tipo de rocas la utilización de la energía de choque es de importancia secundaria comparada con la generación y utilización de la energía de levantamiento (heavy). Estas rocas se benefician del uso de explosivo de baja velocidad de detonación y es en esta aplicación que el uso de explosivos aluminizados se adecúa mejor.

3. Control de la Fragmentación

Los retardos ayudan a la fragmentación al introducir una acción de corte entre los taladros adyacentes. Si una fila de taladros se inicia simultáneamente, las grietas que crecen entre los taladros se favorecen, con poco crecimiento delante de los taladros hacia la cara libre. Bajo estas circunstancias, el burden tenderá a moverse como una hoja de roca, con poca fragmentación en el burden.

Al retardar la detonación de un taladro adyacente, un taladro debe cortar un segmento de roca lejos de la masa principal de roca, proporcionando una fragmentación mejorada. Desarrollando más este argumento, el intervalo óptimo se relaciona con la velocidad del movimiento de la

masa rocosa. Si la masa rocosa se mueve muy lentamente, se requerirá un intervalo de retardo más largo para efectuar el efecto de corte. Intervalos de retardos mayores que el tiempo necesario para una separación efectiva de un taladro de la masa principal de roca, no ayudarán a la fragmentación.

En la práctica, la velocidad del movimiento de la roca depende fuertemente del módulo de la roca y del grado de diaclasamiento. Tipos de rocas muy duras, masivas, se moverán con una velocidad más alta que una masa rocosa débil, altamente fracturada. Los parámetros de perforación con burden pequeño también tendrán altas velocidades de burden en relación con mallas con burdens más grandes. La masa rocosa y la malla, por lo tanto, determinan el intervalo óptimo para la fragmentación.

El control de la fragmentación requiere que los taladros detonen en una secuencia controlada. La selección de los retardos por lo tanto está influenciada por el sistema de iniciación usado. Por ejemplo, el uso de un retardo de superficie de 17ms en combinación con uno dentro del taladro de 1 000 ms no es aconsejable, puesto que la dispersión de la unidad dentro del taladro probablemente excederá el intervalo del retardo de superficie, lo que resultará que el taladro detone fuera de secuencia.

4. Resultados de la Fragmentación

En muchos aspectos, este debe ser uno de los índices principales del funcionamiento del explosivo, ya que directamente mejora uno de los

objetivos principales de la voladura: el requerimiento de fragmentar la roca para facilitar una excavación y remoción rápida.

Sin embargo, la medición de la fragmentación de la voladura es uno de los puntos más difíciles que encaran los técnicos en voladura. La tecnología moderna está investigando los métodos de fotografía automática y el escaneo de imagen de videos, pero a la fecha no existe un método barato o simple y pocos grupos técnicos están preparados para cribar mecánicamente la pila completa de una voladura, que puede tener entre 10 000 a 1 000 000 de ton.

Parámetros críticos de diseño, tales como el diámetro del taladro y la separación de los taladros se pueden estimar usando un conjunto de modelos y ecuaciones simples, pero estos deben ser sólo considerados como estimaciones iniciales. La sintonía fina y la optimización de diseños, requiere un conocimiento más íntimo de la interacción compleja entre el macizo rocoso local y el explosivo usado. Este conocimiento más íntimo puede venir sólo de mediciones cuantitativas y monitoreo de los resultados de la voladura.

Con instrumentación moderna ahora rápidamente disponible para los especialistas en voladura, es frecuentemente posible ubicar sensores alrededor de la voladura de manera que la detonación de cargas individuales se pueda monitorear. El procedimiento se describe generalmente como "monitoreo de voladura" y se refiere a cualquier forma de registro y que se efectúa durante el período en que la malla de voladura se inicia y detona.

Los procedimientos técnicos de monitoreo son:

- Monitoreo de eventos; diseñado para detectar la iniciación o detonación de cada carga o cargas seleccionadas en la malla de voladura.
- Monitoreo del funcionamiento; diseñado para proporcionar información concerniente a la eficiencia con que cada carga detona y la efectividad de la interacción explosivo/roca.
- Ambas técnicas se usan para identificar aspectos del funcionamiento de la voladura que pueden impactar significativamente en la fragmentación. Ellos pueden, por lo tanto, ser considerados como indicadores indirectos de la fragmentación.

1.4.3 Marco conceptual

Banco. Escalón o unidad de explotación sobre la que se desarrolla el trabajo de extracción en las minas a cielo abierto. Asimismo, Niveles en que se divide una explotación a cielo abierto para facilitar el trabajo de los equipos de perforación, cargue y transporte.

Equipo para remoción y movimiento de materiales. Los cargadores con descarga frontal son los más usuales de todos. Estos voltean el cucharón o el bote hacia la parte delantera del tractor y la accionan por medio de gatos hidráulicos. Su acción es a base de desplazamientos cortos y se usa para excavaciones en sótanos a cielo abierto, para la manipulación de materiales suaves o fracturados, en los bancos de arena, grava, arcilla, y otros. También se usan con frecuencia en rellenos de zanjas y en alimentación de agregados a plantas dosificadoras o trituradoras.

Carguío. Es una operación que se realiza después del arranque y que consiste en colocar el material en un medio de transporte, ya sea manual o mecánico.

Costo de Operativos. Es el total que se deriva de las erogaciones que hace el contratista por concepto del pago de salarios al personal y de todos los otros gastos relacionados con el desarrollo de la operación.

Escombros (industria minera). Material o roca que fueron rotos mediante la voladura.

Ley. Contenido de metal valioso en una mena, expresado generalmente en porcentaje o en gramos de metal por tonelada de mena.

Método de explotación por tajo abierto. Sistema de explotación caracterizado por el uso de bancos o cortes escalonados y que es propicio para las vetas cercanas a la superficie y de gran magnitud, que tienen una capa de material estéril de mediana importancia.

Métodos de explotación. Los métodos de explotación se definen como una forma geométrica usada para explotar un yacimiento determinado. Es el modo de dividir el cuerpo mineralizado en sectores aptos para el laboreo. Los métodos de explotación adoptados dependen de varios factores, principalmente, calidad, cantidad, tamaño, forma y profundidad del depósito; accesibilidad y capital disponible.

Movimiento de Tierras. El movimiento de tierra es el proceso de aflojar, acarrear y depositar los materiales de la corteza terrestre de su localización in situ al sitio de su disposición final en una construcción o explotación minera.

Voladura controlada. Patrones y secuencias de voladura diseñados para mejorar un objetivo particular. Asimismo, Voladura en la cual cada hoyo es

detonado en una secuencia progresiva para reducir las vibraciones y la dirección de proyección.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

La propuesta de mejora en el movimiento de tierras reduce los costos de operativos en la flota de carguío de minerales de una empresa minera.

1.5.2 Hipótesis específicas

- Duración del cable fuera de los rangos de tiempo indicados por el fabricante del equipo de trabajo de la pala de la empresa minera.
- Gran tamaño de las rocas generadas por la voladura en las operaciones de voladura de la empresa minera.
- Existe una relación entre el entrenamiento en manejo de pala y fragmentación de roca sobre los costos operativos de carguío de minerales en la empresa minera.

Tabla 1.

Operacionalización de las variables

Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
Movimiento de tierras	El movimiento de tierra es el proceso de aflojar, acarrear y depositar los materiales de la corteza terrestre de su localización in situ al sitio de su disposición final en una construcción o explotación minera.	Aflojar Acarrear	Desfragmentación Tejido de mallas Horas de trabajo de palas
Costos Operativos	Es el total que se deriva de las erogaciones que hace el contratista por concepto del pago de salarios al personal y de todos los otros gastos relacionados con el desarrollo de la operación.	Costo Operativo	Costo de materiales directos Costo de mano de obra directa Costos indirectos

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Tipo de investigación

El estudio realizado hace uso de los siguientes tipos de diseños de Investigación:

Es **exploratorio**, pues en una primera etapa se examinó el problema de investigación mediante la recopilación de literatura técnica, realización de entrevistas a profesionales de otras áreas vinculadas y especialistas de las empresas especializadas en voladura a fin de obtener datos o líneas de partida.

Es **descriptivo**, pues se realizó una descripción y análisis de las variables influyentes en el problema de Investigación es decir se buscó conocer las características y comportamientos actuales del tajo (la geología, geomecánicas, las prácticas operativas, etc.).

Es **experimental**, porque se buscó investigar las posibles relaciones causa - efecto bajo condiciones cuidadosamente controladas. Se realizaron pruebas en proyectos bajo diseños específicos y se controló el nivel de resultado para luego ser implementados o descartados.

2.2 Técnicas, procedimientos e instrumentos

2.2.1 Para la recolección de datos

La técnica aplicada fue la observación directa y datos obtenidos en el campo, el instrumento utilizado fue la Ficha de Campo.

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Observación directa y la toma de datos obtenidos en campo.	Tablas para toma de tiempos
	Cuaderno de Notas.

Fuente: Elaboración Propia

Obtenidos los datos se realizaron los cálculos que reflejan los resultados del estudio.

2.2.2 Para el análisis de datos

- Visita y recorrido al sector en estudio.
- Investigación de campo con fichas de observación.
- Tabulación de los datos de tiempo de procesos constructivos de las maquinarias en estudio y determinación de tiempos.
- Análisis e interpretación de resultados relacionados con las diferentes partes de la investigación, especialmente con los objetivos y la hipótesis.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Identificar la duración actual del cable del equipo de trabajo de la pala y sus costos asociados de la empresa minera.

A partir de la observación y recopilación de información durante las visitas a las actividades desarrolladas en el movimiento de tierras de la empresa minera se pudieron obtener que las variables que afectaron a reducir el target de los cables en el 2017 a comparación del 2016 (Ver Tabla 1) fueron:

- Desfragmentación de material inadecuado, Tejido de malla para voladora mayor a 12 m.
- Desquinche y perfilado de talud (Figura 16).
- Frente de trabajo amarrado y duro (Figura 17).
- Falla de cables por operación incorrecta del equipo (Cables montados en tambor).
- Impacto de rocas en hebras del cable.
- Calibración de límites.

Tabla 2.

Target cables de palas 7495

Cables	Target 2017	Target 2016
Retracción	4 134 383	4 200 000
Empuje	3 377 377	3 500 000
Izar	3 854 953	4 200 000

Fuente: Registro de Mantenimiento de empresa Minera.



Figura 17. Perfilado frente de trabajo

Fuente: Explotación a tajo abierto empresa Minera.



Figura 18. Frente de trabajo amarrado

Fuente: Explotación a tajo abierto empresa Minera.

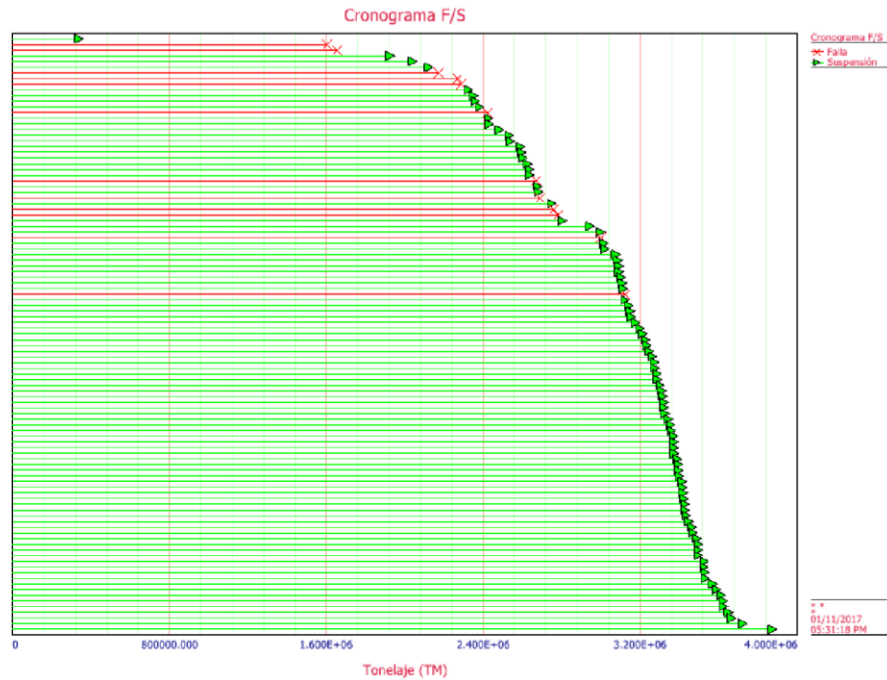


Figura 19. Fallas y suspensiones en la línea del tiempo – Cable de retracción

Fuente: Software ReliaSoft Weibull ++

En la Figura 19, se aprecia las fallas y suspensiones de los cables 7495 de retracción durante los años 2014 a octubre de 2017, se presentaron en total 4 fallas y 74 suspensiones.

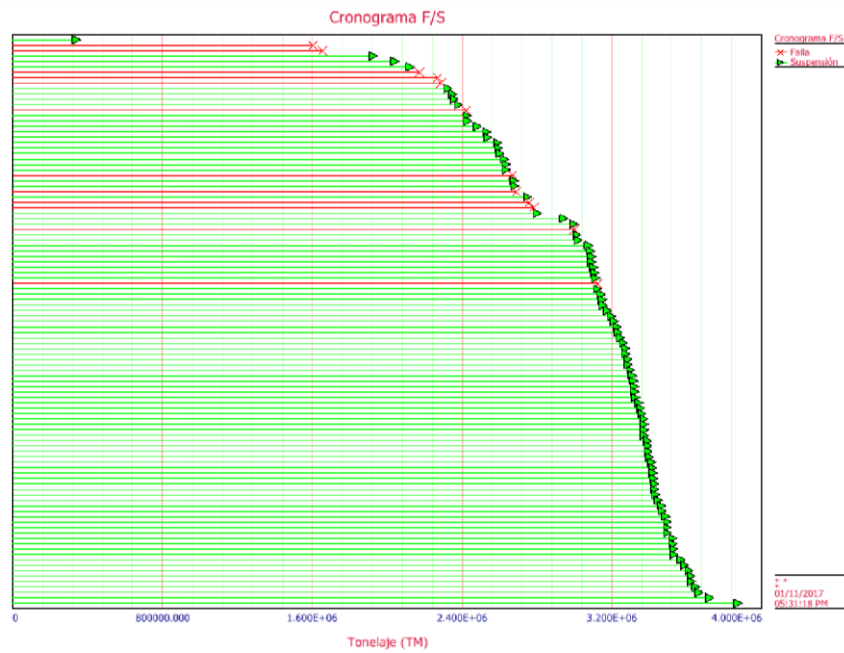


Figura 20. Fallas y suspensiones en la línea del tiempo – cable de empuje

Fuente: Software ReliaSoft Weibull ++

En la Figura 20, se aprecia las fallas y suspensiones de los cables 7495 de empuje durante los años 2014 a octubre de 2017, se presentaron en total 12 fallas y 93 suspensiones.

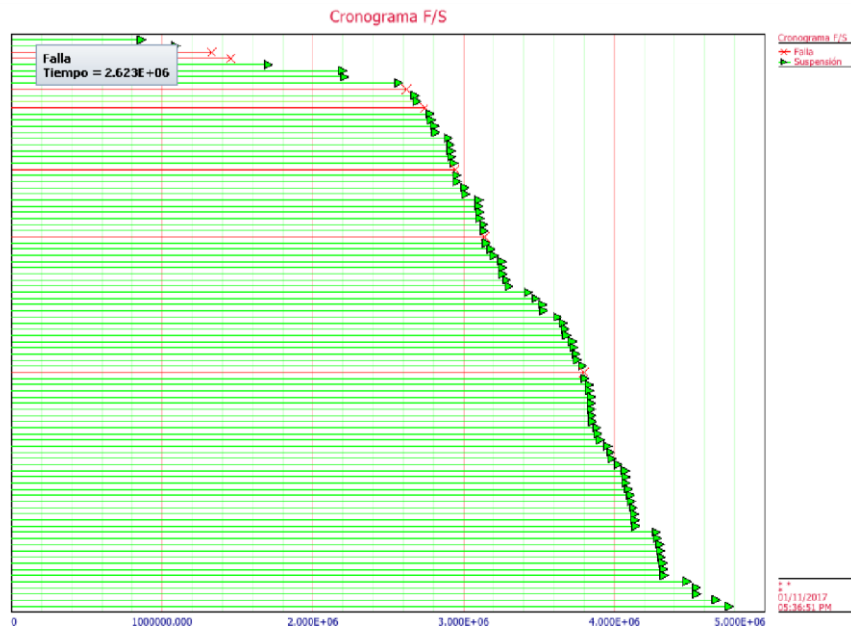


Figura 21. Fallas y suspensiones en la línea del tiempo – cable de izar

En la Figura 21, se aprecia las fallas y suspensiones de los cables 7495 de izar durante los años 2014 a octubre de 2017, se presentaron en total 12 fallas y 93 suspensiones.

Fuente: Software ReliaSoft Weibull ++

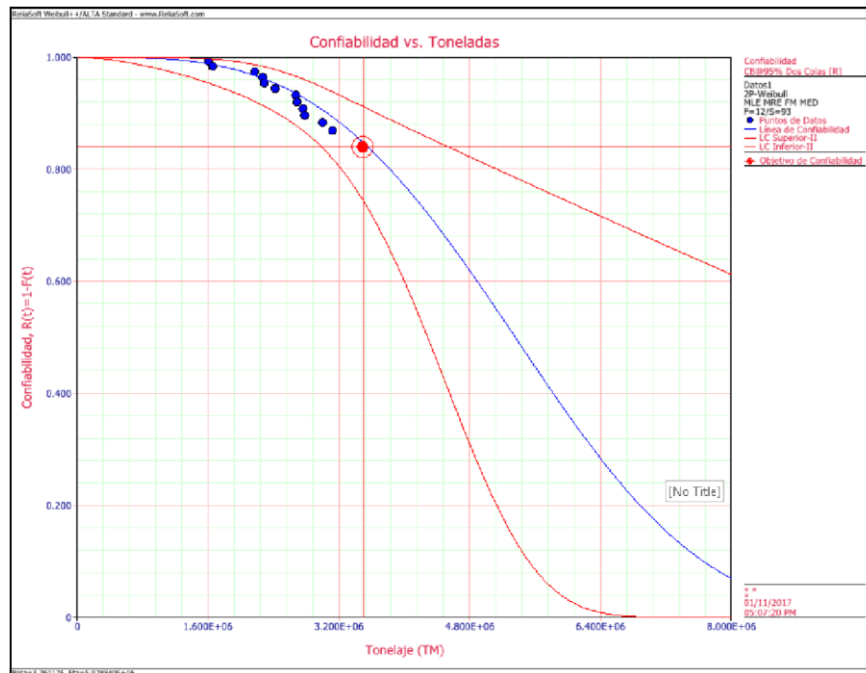


Figura 22. Ajuste del target – Cable de empuje pala 7495

Fuente: Software ReliaSoft Weibull ++

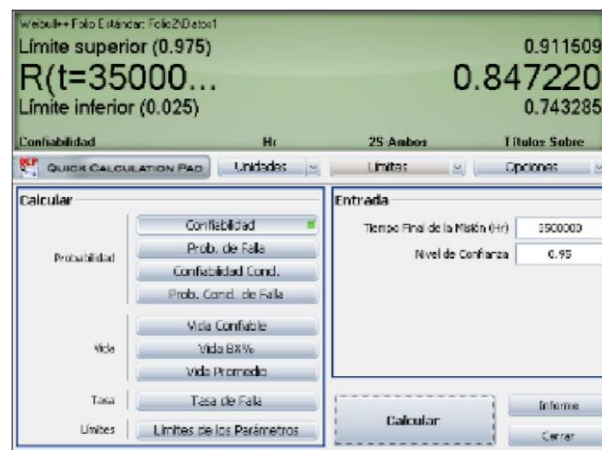


Figura 23. Target promedio y límites de Cable de empuje

Para un Target de 3,5 MM de toneladas en un cable de empuje de la pala 7495, se tendrá una confiabilidad del 84,7%. Para 3,7 MM la confiabilidad sería 81,8% y para 3,3 MM la confiabilidad sería 87,3% como se puede apreciar en la Figura 22 y Figura 23.

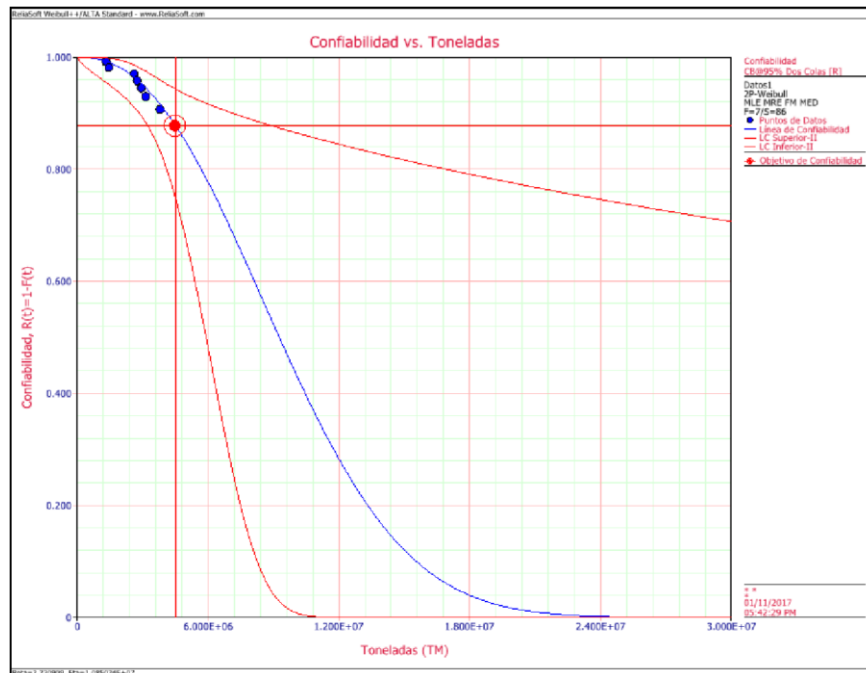


Figura 24. Ajuste del target – Cable de izar pala 7495

Fuente: Software ReliaSoft Weibull ++

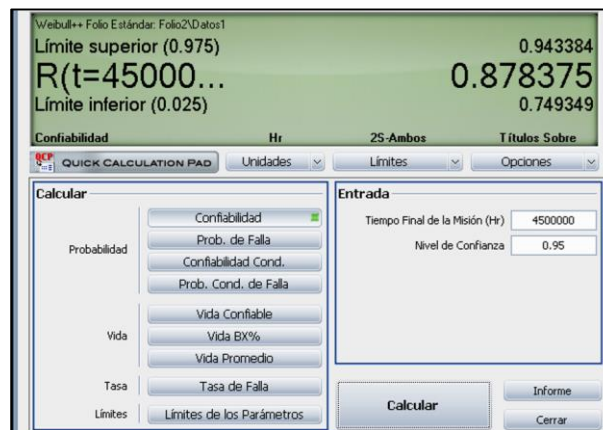


Figura 25. Target promedio y límites de Cable de izar

Para un Target de 4,5 MM de toneladas en un cable de izar de la pala 7495, se tendrá una confiabilidad del 87,8%. Para 4,2 MM la confiabilidad sería 89,5%; para 4,7 MM la confiabilidad sería de 86,6% y para 5,0 MM la confiabilidad sería 84,7% como se puede apreciar en la Figura 24 y Figura 25.

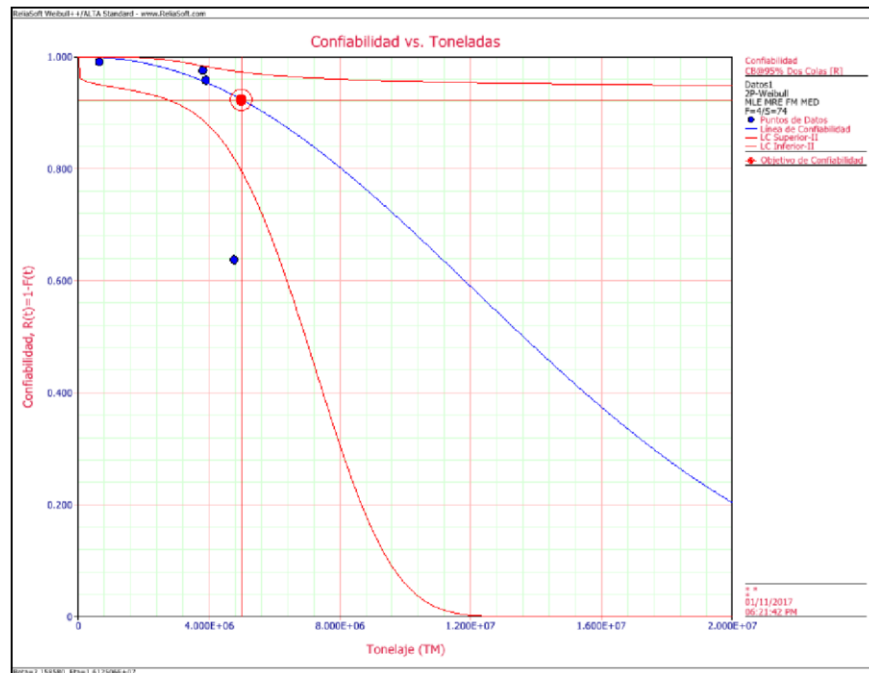


Figura 26. Ajuste del target – Cable de retracción pala 7495

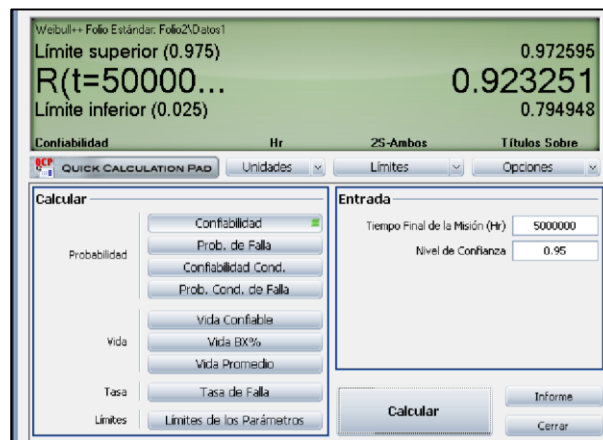


Figura 27. Target promedio y límites de Cable de izar

Para un Target de 3,5 MM de toneladas en un cable de retracción de la pala 7495, se tendrá una confiabilidad del 84,7%. Para 3,7 MM la confiabilidad sería 81,8% y para 3,3 MM la confiabilidad sería 87,3% como se puede apreciar en la Figura 22 y Figura 23.

Tabla 3.

Costo Total y Total de detenciones actual de los cables de pala 7495 Año 2017

Cables	Cambio en días	Consumo cable año x pala	Consumo Cable total año	Costo Unitario (US\$)	Costo total (US\$)	Duración por cambio (Hrs)	Duración Total (Hrs)	# Total Detenciones
Retracción	41	9	27	5 200	138 878,05	4	107	27
Empuje	33	11	33	5 200	172 545,45	4	133	33
Izar	38	10	29	24 800	714 631,58	5	144	29
Total US\$					1 026 631,58		384	

Fuente: Registros de Costos de empresa Minera.

En la Tabla 3 se puede apreciar los costos de los cables de retracción, empuje e izar, así como la cantidad por cada pala 7495 (3 palas) durante el año 2017. Asimismo, la duración total de cada cable en horas y el número de detenciones por cada pala 7495 durante el año 2017.

3.2 Evaluar la fragmentación de la roca en las operaciones de voladura de la empresa minera.

Para la mejora en los resultados de fragmentación se tomó las siguientes consideraciones: Incremento del Factor de Potencia en taladros de producción, incrementando la altura de carga en los taladros (Figuras 26; 27; 28 y 29), uso de detonadores electrónicos, uso de doble iniciación (dos detonadores) y uso del stemming, material chancado menor a 2 pulgadas para el taco, con la finalidad de aprovechar mejor la energía de la voladura. (en proceso de compra).

En la Tabla 3 se utilizaron diferentes espaciamientos desde 9 m hasta 12 m y diferentes profundidades de taladrado y carga explosiva obteniéndose costos unitarios de US\$ 0,16 a US\$ 0,10. Asimismo en la Tabla 4 se puede apreciar espaciamientos desde 6 m hasta 12 m y reduciendo levemente las profundidades de taladrado y obteniéndose costos unitarios mayores por la utilización de mayor cantidad de explosivos. Esta reducción de mallas hasta 6 metros de espaciamiento en roca dura con importancia económica.

Tabla 4.

Malla de Perforación y Carga Explosiva vs costos unitarios agosto 2016 a mayo 2017

Material	Dureza	Malla de Perforación			Carga Explosiva			MEQ 73	
		Espaciamiento (m)	Burden (m)	Sobre perforación (m)	Longitud Taladro (m)	Longitud Carga (m)	Longitud Taco (m)	Factor Potencia (Kg/ton)	Costo Unitario (\$/ton)
Mineral	Roca Muy Dura	9	7,79	2,5	17,5	10,0	7,5	0,35	0,16
	Roca Dura	10	8,66	2,5	17,5	9,5	8,0	0,27	0,12
	Roca Media	11	9,53	3,0	18,0	10,0	8,0	0,23	0,10
	Roca Suave	12	10,39	3,5	18,5	10,5	8,0	0,23	0,10
	Roca Muy Dura	10	8,66	3,0	18,0	10,0	8,0	0,28	0,13
Desmonte	Roca Dura	10	8,66	2,5	17,5	9,0	8,5	0,25	0,11
	Roca Media	11	9,53	3,0	18,0	9,5	8,5	0,22	0,10
	Roca Suave	12	10,39	3,5	18,5	10,0	8,5	0,21	0,10

Fuente: Registro de Movimientos de tierra de empresa Minera.

Tabla 5.

Malla de Perforación y Carga Explosiva vs costos unitarios junio a agosto 2017

Material	Dureza	Malla de Perforación			Carga Explosiva			MEQ 73	
		Espaciamiento (m)	Burden (m)	Sobre perforación (m)	Longitud Taladro (m)	Longitud Carga (m)	Longitud Taco (m)	Factor Potencia (Kg/ton)	Costo Unitario (\$/ton)
Mineral	Roca Muy Dura	6	5,20	1,5	16,5	10,0	6,5	0,79	0,35
	Roca Dura	8	6,93	2,0	17,0	10,5	6,5	0,47	0,21
	Roca Media	10	8,66	2,0	17,0	10,0	7,0	0,28	0,12
	Roca Suave	11	9,53	2,5	17,5	10,0	7,5	0,25	0,11
	Roca Muy Dura	8	6,93	2,0	17,0	9,0	8,0	0,39	0,18
	Roca Dura	9	7,79	2,0	17,0	9,0	8,0	0,31	0,14
Desmonte	Roca Media	11	9,53	2,5	17,5	9,5	8,0	0,22	0,10
	Roca Suave	12	10,39	3,0	18,0	9,5	8,5	0,20	0,09

Fuente: Registro de Movimientos de tierra de empresa Minera.

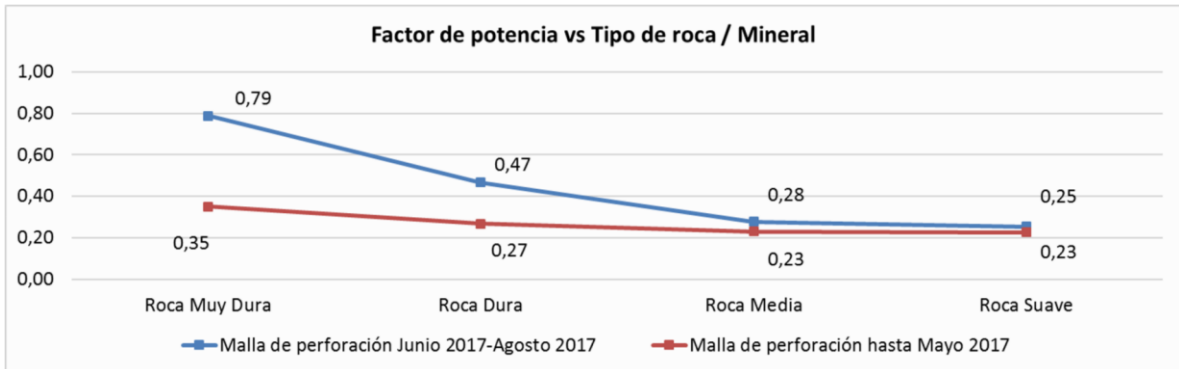


Figura 28. Factor de potencia vs tipo de roca/mineral (kg/TN)

Fuente: Registro de Movimientos de tierra de empresa Minera.

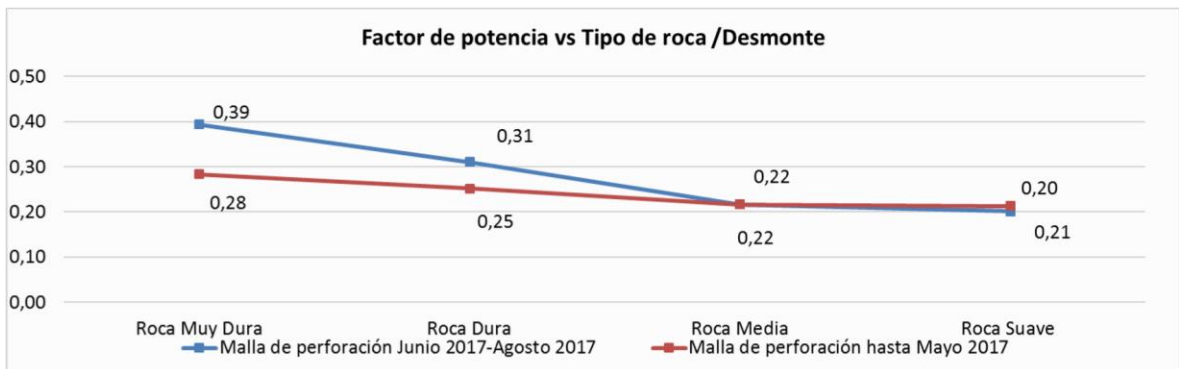


Figura 29. Factor de potencia vs tipo de roca/desmonte (kg/TN)

Fuente: Registro de Movimientos de tierra de empresa Minera.

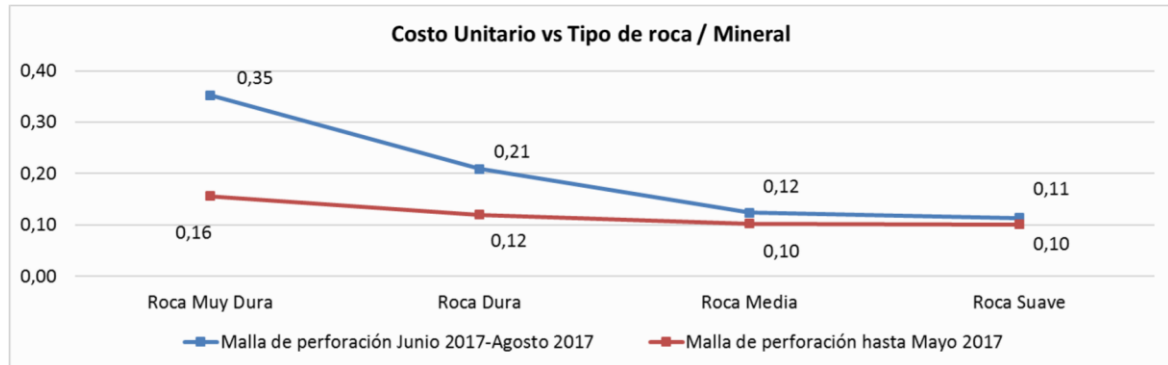


Figura 30. Costo unitario vs tipo de roca/mineral (kg/TN)

Fuente: Registro de Movimientos de tierra de empresa Minera.

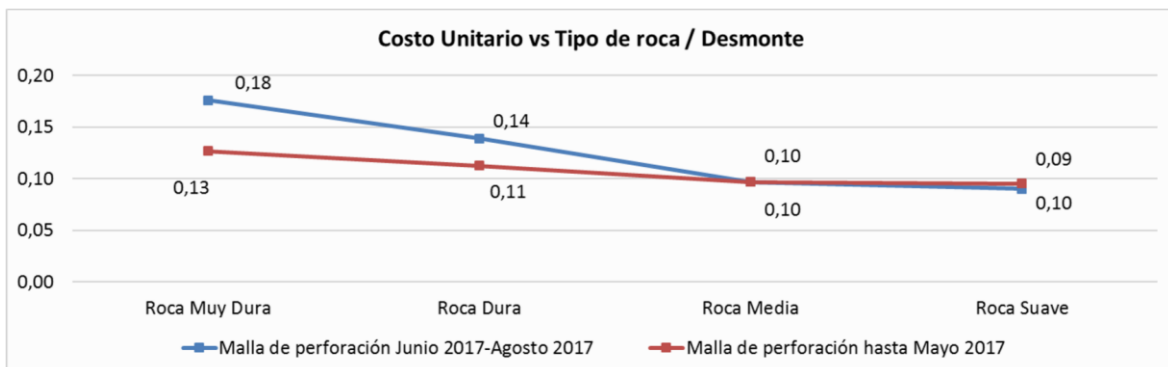


Figura 31. Costo unitario vs tipo de roca/desmante (kg/TN)

Fuente: Registro de Movimientos de tierra de empresa Minera.

3.3 Analizar el efecto del re-entrenamiento en manejo de pala y fragmentación de roca en los costos operativos de carguío de minerales en la empresa minera.

Los cambios realizados en la distancia de las mallas y el FP (Kg/ton) ayudaran a tener un material con mejor fragmentación según tipo de material y frente de trabajo.

Resultados en fragmentación

En las mediciones que se obtuvieron en campo, los porcentajes de finos menores a 1 pulgada, superaron el 30% de finos menor a 1 pulgada requerido para el proceso de recuperación en planta, se llegaron a valores máximos de 46.16 % para el proyecto 4590_01018 y 48.28 % para el proyecto 4590_01017.

Resultados en tasa de excavación

Los resultados en tasa de excavación fueron favorables para Pala03, consiguiendo un promedio en dig rate de 11,127.2 ton/hr para el proyecto 4590_010017 y 10,796.4 ton/hr para el proyecto 4590_01018.

Resultados en envío a chancadora primaria

Con la reducción de malla (5.2x6), se logró un promedio hasta un 100% de envío de material de alteración potásica con dureza 4.

Con las mallas promedio 8.7x10 se tenía un envío de 36% de material duro (3 a 4) a chancadora primaria. Teniendo en algunos casos de selectividad de material por dureza. Tras la reducción de malla a 5,2 x 6; los envíos a chancadora primaria fueron de un 90% de material duro (4), sin la necesidad de tener una selectividad por la dureza.

En cuanto a los cables de la pala 7495 debemos recordar el principio primario que es muy simple: siempre excave lo más cerca posible de la posición óptima. Debe ubicar la pala de modo de permitir que la mayor parte de la excavación quede directamente bajo el punto de la pluma que se muestra a continuación. Levantando verticalmente. se obtiene un rendimiento óptimo del izaje y aplica menos fuerza en el cable de izaje. lo que ayuda a maximizar su vida útil.

La excavación en un ángulo más horizontal puede dañar el cable. Cuanto mayor sea el ángulo de excavación, mayor será la tensión y la carga aplicada al cable al levantar el

mismo peso. Si, por ejemplo, el levantamiento se realiza en un ángulo de 60°. se requiere el doble de potencia que la necesaria para levantar la misma carga verticalmente.

Éstos son dos consejos que debería recordar. Siempre que sea posible, el balde debería llenarse a la mitad de la altura de corte a fin de evitar tensión extrema. Adicionalmente la sobrecarga ("overcrowding") puede ocasionar el levantamiento de la pluma y oponerse al movimiento de izamiento. Aumentando así la tensión en los cables.

En la Tabla 5 se propone un Target en función a la reducción de la malla y a las mejoras propuestas en el manejo de la pala 7495 obteniéndose un incremento en la vida de los cables de retracción, empuje e izar con valores de 22%; 6,1% y 18,4% respectivamente.

Tabla 6.

Costo Total y Total de detenciones de los cables de pala 7495 Año 2017

Cables	Target Actual	Target Propuesto	Incremento Vida %
Retracción	4 100 000	5 000 000	22,0%
Empuje	3 300 000	3 500 000	6,1%
Izar	3 800 000	4 500 000	18,4%

Fuente: Registro de Mantenimiento de empresa Minera.

En la Tabla 6 se realiza una proyección para 1 y 5 años con las mejoras propuestas obteniéndose ahorros del orden de US\$ 146 022,70 y de US\$ 1 320 204,78 respectivamente.

Tabla 7.

Mejoras proyectadas por incremento de Target en cables a 1 año y 5 años

	Proyección 1 año		Proyección 5 años	
	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
Ahorro	146 022,70	US\$	730 113,51	US\$
Incremento Hrs	49	Horas	246,13	Horas
Producción				
Producción por ciclo	371	TM	1 855,00	TM
Tiempo de ciclo	4,15	Min	20,75	Min
Ciclos totales adicionales	712		3 558,50	
Producción adicional	264 040,96	TM	1 320 204,78	TM

Fuente: Registro de Mantenimiento y Centro de Costos de empresa Minera.

Tabla 8.

Costo Total y Total de detenciones Propuesto de los cables de pala 7495 Año 2017

Cables	Cambio en días	Consumo cable año x pala	Consumo Cable total año	Costo Unitario (US\$)	Costo total (US\$)	Duración por cambio (Hrs)	Duración Total (Hrs)	# Total Detenciones
Retracción	50	7	22	5 200	113 880,00	4	88	22
Empuje	35	10	31	5 200	162 685,71	4	125	31
Izar	45	8	24	24 800	603 466,67	5	122	24
Total US\$					880 032,38		334	

Fuente: Registros de Costos de empresa Minera.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Determinar las mejoras en el movimiento de tierras que reducen los costos operativos en la flota de carguío de minerales de una empresa minera. A través de la mejora del target se logró aumentar el tiempo de vida de los cables según su tipo desde un 6% hasta un 22%. Asimismo, una buena fragmentación debido a la reducción de malla de espaciamiento se lograría obtener un porcentaje de finos menores a 1 pulgada llegando a un 48,28%. Se identificó que el Modo de Falla de mayor impacto fue por el contexto operacional de la pala y esto se refleja en los costos asociados al movimiento de tierras. Cadena (2013) también concluye que el no contar con operadores eficientes que cuenten con los certificados que avalen su conocimiento y además de ello cuenten con un alto grado de experiencia en trabajos similares ayuda en gran medida a que la excavación no se paralice, lo cual se ve reflejado en la producción al final del día. Asimismo, Malpica (2014) indica que hay que tener en cuenta que hay factores humanos que influyen en gran medida a los rendimientos, como son: el operador de la maquinaria pesada y el ingeniero de campo y/o capataz. La reducción de malla a 6,0 m de espaciamiento para la fragmentación de la roca en las operaciones de voladura si bien es cierto eleva en parte los costos de voladura, pero por otro lado mejoró los ingresos de material a la chancadora primaria. Lo mismo concluye Poma (2012) donde la aplicación de estas teorías permitió la mejora del P80 a 6,5 cm., con lo cual el throughput tuvo una mejora a 841 tph (sostenible), lográndose las mejoras en la Chancadora

Primaria de la Planta Gold Mill. Asimismo, Leiva (2007) indica que el solo enfocarse en solo minimizar el costo del proceso de voladura en pos de su optimización podría no resultar en la máxima rentabilidad que es uno de los objetivos principales de cualquier negocio.

Se determinó que el efecto del manejo de la pala y la fragmentación de roca tiene incidencia en los costos operativos de carguío de minerales por lo que una fragmentación optima producto de la voladura y operación adecuada del equipo incrementaría la vida de los cables en un 15% en promedio en la empresa Minera.

4.2 Conclusiones

Se concluye que las mejoras propuestas en el movimiento de tierras, esto es una buena fragmentación, producto de la voladura, y la operación adecuada del equipo incrementa la vida de los cables en un 15% en promedio y una reducción de los costos del orden de US\$ 146 022,70 al cabo de un año y de US\$ 730 113,51 al cabo de cinco años.

Se concluye que los Modos de Falla de mayor impacto fueron por el contexto operacional. El 91,3 % de los cambios se realizaron de manera preventiva y programada. El incremento de target de cables incrementará la vida de los cables de retracción, empuje e izar con valores de 22%; 6,1% y 18,4% respectivamente. Los cables de las palas fallan en su mayoría por fatiga, por lo que es importante tener un buen frente de trabajo y sea comunicado de manera formal cuando el equipo va realizar perfilado, para que se realice una inspección puntual al termino del trabajo.

Se concluye que una reducción de malla a 6,0 m de espaciamiento, doble iniciación, incremento del factor de potencia, etc.; se lograría obtener porcentajes de finos

menores a 1 pulgada que superaron el 30% requerido para el proceso de recuperación en planta, llegando a un máximo de 48,28 %. Debido al incremento del factor de potencia, se observa un incremento en los costos unitarios. Tras la reducción de malla a 5,2 x 6; los envíos a chancadora primaria aumento hasta un 90% de material duro (3 a 4).

Se concluye que una fragmentación óptima producto de la voladura y operación adecuada del equipo incrementara la vida de los cables en un 15% en promedio. La malla de voladura según lo indicado por el área de Voladura es de 6 m a 11 m según frente y material (anterior de 9 m a 12m según frente y material).

REFERENCIAS

- Cáceres, L. (2017). *Optimización de la perforación y voladura con nuevo diseño de malla en el crucero 10014 de la empresa minera Marsa*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Cadena, V. (2013). *Análisis de costos de productividad y su influencia en el movimiento de tierras por métodos mecánicos*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. Recuperado el 31 de julio de 2018, de <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/1409>.
- Chávez, L. (2014). *Optimización de la fragmentación en los proyectos de voladura primaria en la zona norte del tajo San Pedro Sur, Minera La Zanja*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Guevara, F. (2015). *Análisis y ejecución de movimiento de tierras en una obra empleando el diagrama de curva masa*. (Tesis de Maestría). Universidad de Piura, Perú.
- ISEE (2016) *18ª Edición Blaster's Handbook*. (3ª. ed.). EEUU: ISEE.
- McKenzie, C. (1994). *Estado del arte de la Tronadura*. Santiago de Chile: ENAEX, Gerencia Técnica.
- Malpica, C. (2014). *Evaluación de rendimientos de equipos en las operaciones de movimiento de tierras en el minado cerro negro Yanacocha – Cajamarca*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Privada del Norte, Perú.
- Poma, J. (2012). *Importancia de la fragmentación de la roca en el proceso Gold Mill (Caso minera Yanacocha)*. (Tesis de Licenciatura). Pontificia Universidad Católica del Perú.

Rios, S. (2015). *Programa de capacitación y adiestramiento del recurso humano para mejorar la cultura de seguridad en el personal E.E. Cessoma E.I.R.L. mina constancia*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. Recuperado el 31 de julio de 2018, de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/134>.

ANEXOS

Incluir toda la información complementaria como fotos, planos, tablas adicionales, código fuente, data, etc.

Cada uno de los instrumentos, evidencias u otros insertados en los anexos, va en hoja independiente. No pueden ir dos anexos en una misma hoja. Cada hoja que contenga un anexo debe ser numerada: ANEXO n.º 1. Título del anexo.