



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“APLICACIÓN DE MINADO ESTACIONAL PARA INCREMENTAR EL RENDIMIENTO DE EQUIPOS DE CARGUÍO EN MINERÍA A TAJO ABIERTO”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Ronald Alexis Marin Sanchez

Bach. Fabriciano Duran Cruzado

Asesor:

Mg. Ing. Oscar Vázquez Mendoza

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a Dios, a mis padres, por su esfuerzo y apoyo incondicional, para poder realizarme como persona.

A mis hermanos y amigos que en todo momento me ayudaron y estuvieron presentes en este camino para lograr ser un profesional de éxito.

Ronald Marin

A Dios por ser la luz que guía mi camino.

A mis padres, hermanos y demás familiares por apoyarme siempre y nunca dejarme solo.

Y a mis amigos por toda su confianza.

Fabriciano Duran

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento a Dios, a mis padres, hermanos y amigos, por ser mi guía y apoyo para el desarrollo del presente proyecto de tesis.

A mi casa de estudio la Universidad Privada del Norte y a su plana docente de la carrera profesional de Ingeniería de Minas.

Ronald Marin

Mi más sincero agradecimiento a Dios en primer lugar, y a todos quienes me apoyaron en la realización de este trabajo, en especial a mis familiares por su incondicionalidad y por estar siempre a mi lado.

A mis compañeros de estudio por su amistad, espacio y tiempo invaluable.

A la Universidad Privada del Norte, a los docentes de la carrera de Contabilidad y Finanzas por brindarme toda su enseñanza y prepararme para los retos profesionales.

Fabriciano Duran

Tabla de contenidos

| | |
|--|-----------|
| DEDICATORIA | 2 |
| AGRADECIMIENTO | 3 |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | 5 |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | 7 |
| ÍNDICE DE ECUACIONES | 8 |
| RESUMEN..... | 9 |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN | 10 |
| 1.1. Realidad problemática | 10 |
| 1.2. Formulación del problema | 20 |
| 1.3. Objetivos | 20 |
| CAPÍTULO II. METODOLOGÍA | 23 |
| 2.1. Tipo de investigación | 23 |
| 2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos) | 24 |
| 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos..... | 24 |
| 2.4. Procedimiento | 25 |
| CAPÍTULO III. RESULTADOS | 27 |
| 3.1. Resultados de demoras de tiempo en la etapa de carguío en Minería Superficial, aplicando minado estacional..... | 28 |
| 3.2. Resultados de rendimiento y productividad de equipos de carguío en Minería a Tajo Abierto, al aplicar el Minado Estacional..... | 38 |
| 3.3. Evaluación económica de equipos de carguío en Minería a Tajo Abierto, al aplicar Minado Estacional..... | 53 |
| CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES | 58 |
| 4.1 Discusión | 58 |
| 4.2 Conclusiones..... | 65 |
| REFERENCIAS | 67 |
| ANEXOS | 70 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Organización de estudios considerados para los resultados de la presente investigación..... | 27 |
| Tabla 2. Tiempos reales (segundos) de ciclo de la excavadora 336 DL CAT, Minera Los Andes Perú Gold SAC..... | 28 |
| Tabla 3. Tiempo (segundos) de ciclo de la Excavadora, en el minado Cerro Negro Yanacocha - Cajamarca..... | 29 |
| Tabla 4. Datos del escenario de Tiempo de Carguío del 2017, Cerro Corona - Gold Fields..... | 30 |
| Tabla 5. Resumen de las demoras con mayores tiempos para carguío mayo 2015, Minera Los Pelambres..... | 32 |
| Tabla 6. Resumen de las demoras con mayores tiempos para carguío Julio -2015, Minera Los Pelambres..... | 32 |
| Tabla 7. Resumen de estadísticas para la pala 04, Minera Los Pelambres..... | 33 |
| Tabla 8. Resumen de estadísticas para la pala 07, Minera Los Pelambres..... | 34 |
| Tabla 9. Datos influyentes para la obtención de la Utilización Efectiva en Base a Disponibilidad (UEBD) de mayo a septiembre – 2016 en Minera Los Pelambres..... | 34 |
| Tabla 10. Horas de demora en carguío del mes de abril – 2016, Minera Shahuindo S.A.C..... | 35 |
| Tabla 11. Horas de demora en carguío del mes de setiembre – 2016, Minera Shahuindo S.A.C..... | 36 |
| Tabla 12. Clasificación de las demoras operativas durante el carguío, CIA Minera Coimolache S.A..... | 37 |
| Tabla 13. Principales indicadores en carguío, CIA. Minera Coimolache S.A..... | 38 |
| Tabla 14. Productividad diaria en Temporada de lluvia (Febrero) - 2019, proyecto Minero Yanacocha..... | 39 |
| Tabla 15. Productividad diaria en Temporada de estiaje (Agosto), - 2019, proyecto Minero Yanacocha..... | 40 |
| Tabla 16. Productividad por hora en temporada de lluvia (Febrero) - 2019, proyecto Minero Yanacocha..... | 41 |
| Tabla 17. Productividad por hora en temporada de estiaje (Agosto) - 2019, proyecto Minero Yanacocha..... | 43 |
| Tabla 18. Incremento de m ³ por Excavadora y reducción en el C.U -2018, Minera los Andes Perú Gold SAC..... | 44 |
| Tabla 19. Incremento de Producción por día Mineral – Desmonte, Minera los Andes Perú Gold SAC..... | 44 |
| Tabla 20. Toneladas de mineral producidas en el periodo abril -junio 2016, Minera Shahuindo S.A.C..... | 45 |
| Tabla 21. Toneladas de mineral producidas en el periodo julio -setiembre 2016, Minera Shahuindo S.A.C..... | 45 |
| Tabla 22. Comparación de producción mensual, Mina Constancia – 2018..... | 46 |
| Tabla 23. Datos del escenario de Productividad Operativa de Carguío del 2017 en Cerro Corona - Gold Fields..... | 46 |
| Tabla 24. Parámetros de productividad en Cerro Corona - Gold Fields, 2017..... | 47 |
| Tabla 25. Variación de rendimiento de equipos de carguío – 2019, CIA. Minera Coimolache S.A..... | 47 |
| Tabla 26. Comparación entre rendimiento teórico y rendimiento real de equipos de carguío, Minado Cerro Negro Yanacocha – Cajamarca, 2014..... | 51 |

| | |
|---|----|
| Tabla 27. Comparación entre rendimiento teórico y rendimiento real de la excavadora Caterpillar 330 CL, Cantera Borcons, 2015 | 52 |
| Tabla 28. Evaluación económica de los equipos de carguío - 2019, CIA. Minera Coimolache S.A..... | 53 |
| Tabla 29. Evaluación de ahorro económico- 2019, CIA. Minera Coimolache S.A. | 54 |
| Tabla 30. Dólares perdidos y ahorrados durante el estudio en carguío, Minera Shahuindo S.A.C. | 54 |
| Tabla 31. Ahorro obtenido por la reducción del Costo Unitario de Carguío, Minera Los Andes Perú Gold SAC 2017 y 2018..... | 55 |
| Tabla 32. Costo Unitario de Operaciones de Carguío y Acarreo por TM..... | 55 |
| Tabla 33. Costo unitario de operación de Minera Los Andes Perú Gold SAC 2017 y 2018 | 56 |
| Tabla 34. Comparativo de costos de carguío, Minera Constancia – 2018 | 56 |
| Tabla 35. Comparación de resultados de acuerdo a los objetivos planteados (Indicador de carguío), según autor | 57 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Distribución de tiempos reales de mayo - 2015, comparados con los propuestos para carguío, Minera Los Pelambres | 30 |
| Figura 2. Distribución de tiempos reales de Julio - 2015, comparados con los propuestos para carguío, Minera Los Pelambres | 31 |
| Figura 3. Porcentaje acumulado de toneladas no movidas (TNM) en el mes de abril – 2016 | 36 |
| Figura 4. Porcentaje acumulado de toneladas no movidas (TNM) en el mes de setiembre – 2016. | 37 |
| Figura 5. producción para excavadoras según manual Caterpillar. | 48 |
| Figura 6. Rendimiento de Cargador | 50 |
| Figura 7. Comparación entre rendimiento teórico y rendimiento real de equipos de carguío, Minado Cerro Negro Yanacocha – Cajamarca, 2014..... | 52 |
| Figura 8. Rendimiento teórico vs rendimiento real de la excavadora Caterpillar 330 CL.. | 53 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|--|----|
| Ecuación 1. Cálculo del tiempo de ciclo de carguío | 29 |
| Ecuación 2. Determinación del rendimiento teórico de una excavadora | 48 |
| Ecuación 3. Determinación del rendimiento teórico de un cargador frontal | 50 |

RESUMEN

La presente investigación “Aplicación de minado estacional para incrementar el rendimiento de equipos de carguío en Minería a Tajo Abierto” tiene por objetivo aplicar el minado estacional para incrementar el rendimiento de equipos de carguío en Minería a Tajo Abierto. La metodología implica una investigación de tipo descriptiva, con diseño no experimental – transversal, la población compuesta por 18 estudios y la muestra por 9. Los resultados revelan que las demoras en el carguío durante la temporada seca se reducen en 35% en promedio con respecto a la temporada lluviosa, el rendimiento y productividad de los equipos de carguío se incrementan en un promedio de 41% al aplicar un minado estacional y los costos operativos se reducen en un promedio de 36%. En conclusión, al aplicar un minado estacional, a partir de los estudios revisados se incrementa el rendimiento y productividad de los equipos de carguío en Minería a Tajo Abierto, lo cual se refleja en una mejor producción, en la reducción de demoras operativas, en la disminución de los costos operativos, y por ende en la obtención de una mejor rentabilidad del proyecto minero.

Palabras clave: minado estacional, rendimiento, productividad, equipos de carguío

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La extracción de minerales a Open Pit constituye una cadena de valor, representada por un ciclo de actividades siguiendo una línea de tiempo: Perforación, Voladura, Carguío y Acarreo; las cuales se realizan consecuentemente. Es decir si no se ha hecho una buena perforación, entonces se va a tener una voladura ineficiente, un carguío y acarreo con bajo rendimiento.

Últimamente, dentro del proceso productivo minero se refleja que el mayor porcentaje de inversión se da en el proceso de carguío y acarreo, por la gran cantidad de equipos involucrados, este incremento es mayor en épocas de lluvia y es menor en temporada de estiaje; lo que desencadena menor rendimiento productivo por maquinaria y constituye un proceso de operación prácticamente cotidiano y continuo. Según Martínez (2019), “en promedio los costos de estas operaciones en empresas que operan a cielo abierto están entre 45% y 65% del costo total”, por tanto, es de gran importancia garantizar un ambiente óptimo de operación para lograr los mejores rendimientos de los equipos y poder reducir los costos de operación; esto se logra al realizar un minado estacional, considerando temporada de lluvia y temporada de estiaje.

Por otro lado, la maquinaria para la actividad minera especialmente para la etapa de carguío y acarreo es uno de los bienes de capital más costoso; por tal, demanda de gran inversión, el cual debe de ser un dinero dispuesto de ser recuperado con una utilidad, por medio del trabajo ejecutado por la máquina propia (Ramos, 2012, pp.3); al

respecto, la utilidad mengua en la época de lluvia, aumentando en temporada de verano.

En la actualidad, las empresas del sector minero buscan maximizar la producción, mejorar el rendimiento y la productividad, racionalizar los procesos y mejorar la rentabilidad para maximizar la eficiencia de sus operaciones. Es decir, buscan perenemente nuevas oportunidades para minimizar sus costos operativos y lograr una mayor productividad en sus diferentes operaciones unitarias, siendo una de ellas el carguío, factor sumamente importante del ciclo de minado. En este sentido la productividad se optimiza, al igual que la rentabilidad en temporada de sequía, debido a que existe: minimización del tiempo de ciclo de carguío y acarreo, incremento de la utilidad de equipos, mejor rendimiento y productividad de equipos y/o maquinarias.

También, durante la ejecución de los proyectos mineros surgen diversos inconvenientes que perjudican la eficiencia extractiva en sus diferentes etapas que comprende el ciclo de minado, siendo una de ellas la etapa de carguío, en esta, un factor esencial a afrontar son las épocas de lluvia, esta trae como secuela la disminución de la producción, bajo rendimiento de los equipos; como lo manifiesta Marín (2015), las vías de acceso principales para las palas se hacen inestables por la humedad del terreno, y por la consecuencia de las lluvias que hacen que las condiciones sean más adversas, disminuyen anchos operativos por presencia de lodo acumulado, reduciendo las velocidades, aumentando las demoras operativas, y disminuyendo las toneladas proyectadas; es fundamental resaltar las condiciones inseguras que son generadas.

En este sentido, uno de los mayores problemas en la actividad minera es que los rendimientos de los equipos están por debajo de lo planificado; a pesar del meticuloso control que se da a los equipos de carguío y acarreo no se cumple la producción planificada. Al respecto, “el análisis del rendimiento del equipo por medio de indicadores es un paso previo para realizar cualquier optimización o medida de mejora”. (Ammara, Fradette & Paris, 2016, pp.3), por ende, “la clave es reducir el costo por unidad de peso (US\$/TM) y maximizar producción por unidad de tiempo” (Orosco, 2015, pp.14), para lograrlo, como alternativa se debe de aplicar un recurrente minado estacional.

Por otra parte, el carguío y el acarreo constituye una de las operaciones más significativas en la actividad minera, por lo cual se busca obtener los resultados óptimos y que sean los más cercanos a lo planificado, y controlado en las diferentes estaciones del año. “Durante las actividades de carguío y acarreo, la presencia de demoras, no operativas y operativas presentan un problema en los KPI’S operativos, la baja utilización de equipos afecta la productividad y por ende no se logra cumplir la producción mensual”. (Apaza, 2017, pp.8). Asimismo, “para lograr un control óptimo de los rendimientos de operadores mina es necesario manejar una base de datos que sea capaz de proveer distintos indicadores (KPI)”. (Quiroga, 2016, pp.10).

Por carguío se entiende la “recogida de la roca arrancada del suelo, y su traslado hasta un medio de transporte”(Ortiz, 2010). Según Bonzi (2016) el carguío es esencial en la operación minera, dado que su finalidad es cargar el material tronado del frente de carguío a los equipos de transporte, de manera segura y óptima. Evidentemente, el carguío tiene por finalidad retirar el material volado (fragmentado) desde un frente de

carguío de una pila dispuesta de forma propicia que proporcione la extracción del material hacia el chancado o botaderos o puntos llamados Stocks (pp.13 - 15).

Por tanto, el carguío involucra una demanda de tiempo, al cual se le denomina ciclo de carguío y comprende: Carga del cucharón, rotación de la carga, descarga del cucharón y rotación sin carga. Para Calua (2019) el tiempo de ciclo total depende del tamaño de la máquina (las máquinas pequeñas pueden realizar tiempos más rápidos que las máquinas grandes) y las condiciones del trabajo. Cuando hay condiciones de trabajo excelentes, se tiene ciclos más rápidos.

Entiéndase por minado estacional al “desarrollo productivo de los equipos de Carguío y Acarreo con un planeamiento que agilice su operatividad en época de estiaje, y permita minimizar los Costos operativos por la optimización de los Recursos” (Ramírez y Chávez, 2019).

Por otra parte, en el minado estacional, un factor a controlar son las demoras de tiempo por los equipos y/o maquinarias, por ello, es importante definir las, según Apaza (2017), la define como “las demoras son tiempos donde los equipos dejan de producir”, dentro de estas demoras se tiene: demoras fijas, demoras operativas, demoras no operativas y demoras mecánicas. El mismo autor expresa que las demoras en la operación de un equipo implican tener horas adicionales del equipo en un periodo de tiempo, horas que empleadas eficientemente permitirá alcanzar una mayor producción del equipo en dicho periodo, esto permitirá cubrir producciones diarias o mensuales sin la necesidad de incrementar la flota de equipos.

Resaltar que en el sector minero, siempre se presentan oportunidades para mejorar los índices de producción (Bonzi, 2016). De acorde con Barrientos (2014) a medida que la duración de las detenciones sean menores, la productividad diaria aumenta, esto define la existencia de la relación entre la productividad diaria, global e instantánea con la duración de las detenciones o demoras en el carguío de material; esta relación de demora de detenciones y producción se mejora al aplicar el minado estacional, por ejemplo, en la época de estiaje se reducen las demoras lo que conlleva a un incremento del rendimiento y de la productividad de equipos, y la producción general de la actividad minera.

Conceptualizando el rendimiento, Chuctaya y Larota (2020) la define como “la capacidad operativa que tiene un equipo al realizar los procesos para el cual ha sido fabricado, en este se ven afectos la velocidad y tiempo del proceso”, además, mejorar el rendimiento es mejorar el proceso de producción de minerales en TM/Hr, evitando pérdidas de tiempo en carguío de minerales principalmente.

Por otro lado, la productividad según Apaza (2017) es “la cantidad de producción de una unidad de producto o servicio por insumo de cada factor utilizado por unidad de tiempo”. Este autor considera que “en operaciones la productividad sirve para evaluar el rendimiento de las maquinas, los equipos de trabajo y los empleados”. En síntesis, la productividad se conceptualiza como el indicador de eficiencia que vincula la cantidad de producto utilizado con la cantidad de producción obtenida.

Asimismo, la productividad operativa de Carguío (t/h), es la relación entre las toneladas nominales y el tiempo total productivo, que incluye tiempo de carguío,

tiempo de cuadrado y espera de camiones. (Mine Sense, 2017). La productividad es un indicador de la eficiencia productiva. Es la relación entre las toneladas nominales y el tiempo total productivo, que incluye tiempo de carguío, tiempo de cuadrado y espera de volquetes (López, 2018).

La capacidad de producción “es el nivel de actividad máximo que puede alcanzarse con una estructura productiva dada”. En minería a cielo abierto el sistema de producción sigue una lógica de planificación sobre la producción (Apaza, 2017). Yayama (2010) expresa que el valor de la producción resulta de la valuación económica propia del yacimiento.

Según Barrientos (2014), en “Análisis de factores operacionales en detenciones y productividad de sistema de carguío y transporte en minería a cielo abierto” estableció como objetivo encontrar los cambios operacionales que tengan mejores resultados sobre las detenciones programadas de cambio de turno y colación, y cómo estas afectan en la productividad diaria del sistema de carguío y transporte. La metodología del estudio corresponde a un análisis exploratorio descriptivo y analítico, modelando la relación entre las detenciones en estudio y la productividad diaria. El resultado de un escenario aplicando estrategias de carguío y transporte logró un aumento de un 4.2% en la productividad diaria y disminuye en un 10.6% la duración de las detenciones. Esto se traduce en un aumento del beneficio económico de 4.07 MUS\$ mensualmente. En conclusión, los días de mayor productividad son aquellos que poseen la menor duración de las detenciones.

Asimismo, Bonzi (2016) en “Propuestas de mejora de la utilización efectiva en base a Disponibilidad de la Flota de Carguío y Transporte en Minera los Pelambres” tuvo como objetivo incorporar mejoras operacionales para poder lograr compromisos de mejoras en la Utilización Efectiva en Base a Disponibilidad adquiridos (UEBD). Para desarrollar el estudio, se realizó un análisis estadístico de datos obtenidos de Dispatch, junto a un levantamiento de datos en campo. Los resultados muestran que se recuperarían aproximadamente 4.5 días de tiempo efectivo a la flota de carguío al año. También se tiene una disminución del tiempo de pala esperando camión de 2 min/ciclo a 1.2 min/ciclo, lo que implica una mejora en la UEBD de un 1%. Se concluye que la operación de Minera Los Pelambres posee varios desafíos significativos, como la falta de comunicación entre las áreas, el desarrollo y planificación de los caminos, el traslado de los equipos de carguío, el traslado de los operadores a colación, etc.

Por otra parte, Ramírez y Chávez (2019), en su investigación “Incremento del rendimiento de equipos de carguío para el mejoramiento productivo, mediante la aplicación de minado estacional en el Tajo La Quinoa, Yanacocha, Cajamarca 2019” tuvieron como objetivo incrementar el rendimiento de los equipos de carguío y la producción en el frente de explotación del Tajo la Quinoa Sur Gravas, mediante el minado estacional en Minera Yanacocha SRL. La metodología implica una investigación Aplicada, Experimental con diseño cuasiexperimental. Los resultados indican que el rendimiento de los equipos enmarcan una productividad en TN/Hra de 2797.63 y 3360.13 en las temporadas húmeda y seca respectivamente. La productividad se incrementa en 25% con la aplicación de Minado Estacional. En síntesis, el minado en época de estiaje permite optimizar los recursos, mejorar la

operatividad e incrementar la productividad de los equipos de carguío, minar en época seca disminuye el costo de \$/ton.

Además López (2018), en su estudio “Determinación de los factores influyentes en el control y la optimización de la productividad operativa de carguío en la operación Minera Cerro Corona – Gold Fields” percibió como objetivo principal enfocarse en la operación unitaria de carguío y determinación de los factores más influyentes que intervienen en la productividad. El estudio fue de tipo cuantitativo, descriptivo - correlacional, no experimental transversal. Se determinó su grado de correlación y modelo de causalidad entre variables, para finalmente lograr la optimización sobre cada factor y por ende sobre la producción; pronosticando la posibilidad de incrementar hasta un 22% la productividad operativa de la excavadora al mantener los estándares mínimos óptimos en la calidad de las condiciones del frente de minado y el manejo de la flota asignada.

También Apaza (2017), desarrolló su investigación “Disminución de tiempos improductivos para incrementar la utilización de los equipos de carguío y acarreo en la mejora continua de la productividad en el tajo Chalarina en Minera Shahuindo S.A.C.” con el objetivo de sustentar y presentar la metodología usada en la disminución de tiempos improductivos con fines de mejora continua de la productividad en el proceso de carguío y acarreo para lograr el incremento del porcentaje de utilización de los equipos. Este estudio tuvo un enfoque cuantitativo con diseño experimental. Se obtuvieron como resultados una reducción del 65.6% en las horas de demora para carguío y de 47.8% para las horas de demora en acarreo. Asimismo, se incrementó la producción de mineral en un 12.5% respecto al mineral al

PAD y de 67.6% respecto al stockpile. Concluyendo que la aplicación de propuestas de mejoras continuas logró la disminución de horas de demora en las operaciones unitarias de carguío y acarreo.

Por otro lado, Malpica (2014) ejecutó el trabajo nominado “Evaluación de rendimientos de equipos en las operaciones de movimiento de tierras en el minado cerro negro Yanacocha – Cajamarca”, el objetivo de la investigación fue obtener rendimientos reales de movimiento de tierras, usando maquinaria pesada, para las actividades de: carguío con excavadora, empuje con tractor sobre orugas, carguío con cargador frontal, acarreo con volquetes de 15 m³ y perfilado con motoniveladora. La metodología comprende una investigación descriptiva – transversal. Los resultados revelan que los rendimientos reales son menores a los indicados por el fabricante. Concluyendo que los rendimientos reales alcanzados en la ejecución son menores a los dados por el fabricante.

Esta investigación se justifica porque durante época de lluvia las empresa dedicadas a la actividad minera han venido presentando problemas para el minado superficial, especialmente en sus tajos y frentes de minado, lo cual afecta el rendimiento de los equipos de carguío y por tanto desencadena un incremento del costo operativo (\$/tn) para la empresa extractora de mineral. Frente a ello surge la propuesta de minado estacional, cuyo fin radica en incrementar el rendimiento de equipos de carguío y contribuir a la reducción de los costos, los cuales reflejan en una mejora en la productividad a nivel de organización.

Además, las diversas empresas enfocadas en la actividad minera están teniendo bajas en la producción, no solo por las oscilaciones de costos en el mercado; sino que en la etapa de carguío se está teniendo ineficientes acciones, existencia de demoras operativas producto de una mala maniobra, por falta de control, por las fallas mecánicas tanto del equipo de carga y de los equipos de acarreo. Asimismo, el proceso se ve afectado por el rendimiento propio de los equipos; producto de que al momento de estimar los equipos de operación no se han tenido las consideraciones pertinentes, lo cual conlleva a una dimensión y adquisición de flota con menos rendimiento de lo que realmente se requiere.

Al respecto, Malpica (2014) expresa que los rendimientos reales obtenidos comparados con los rendimientos dados por el fabricante no son iguales, identificando factores desfavorables propios de un proyecto minero: mal clima, fallas mecánicas, etc. (pp. 2). De dicha comparación se ha logrado determinar que los rendimientos reales son menores a los indicados por el fabricante, los equipos no cumplen el 100% de lo que estipula, están con una eficiencia alrededor del 80%.

En las empresas mineras el carguío, así como el acarreo de material (mineral y desmonte) son operaciones unitarias de importancia para el minado, los cuales deben desarrollarse en tiempos óptimos sin generar desperdicio, sino más bien deben elevar la producción. Por ende, las empresa mineras se han enfrentado a problemas con el exceso de colas de los equipos de acarreo en los frentes de carguío y en las zonas de descargas.

Con lo visto anteriormente se puede incrementar el rendimiento de los equipos de carguío y producción, al aplicar un minado estacional, para tal, en la fase de explotación se realizará una evaluación y reconocimiento a los equipos de carga.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el incremento del rendimiento de los equipos de carguío en Minería a Tajo Abierto al aplicar un minado estacional?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Aplicar el minado estacional para incrementar el rendimiento de equipos de carguío en Minería a Tajo Abierto.

1.3.2. Objetivos específicos

Analizar las demoras operativas en la etapa de carguío antes y después de realizar el Minado Estacional en minería a tajo abierto.

Realizar una evaluación comparativa del rendimiento y productividad de los equipos de carguío antes y después de realizar el Minado Estacional en minería a tajo abierto.

Evaluar económicamente el nivel de la productividad al aplicar el Minado Estacional en minería a tajo abierto.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Al aplicar un minado estacional, se incrementará el rendimiento de los equipos de carguío en Minería a Tajo Abierto, lo cual se reflejará en una mejor productividad y producción en general, en la reducción de demoras operativas, en la disminución de los costos operativos, y por ende en la obtención de una mejor rentabilidad del proyecto minero.

1.4.2. Hipótesis específicas

Las demoras operativas en la etapa de carguío antes y después de realizar el Minado Estacional en minería a tajo abierto, se reducirán en 20%.

Luego de realizar la evaluación comparativa del rendimiento y productividad de los equipos de carguío antes y después de realizar el Minado Estacional en minería a tajo abierto, se verá un incremento en 15%.

Económicamente el nivel de la productividad al aplicar el Minado Estacional en minería a tajo abierto, mejorará en 20%.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Descriptivo

La investigación descriptiva “busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis”. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). Este estudio es de tipo descriptiva, debido a que se está conociendo las diferentes características a través de una descripción exacta de las actividades que han realizado la maquinaria pesada utilizada. Además, se tomará como base la información proporcionada por las diferentes fuentes de información, respecto a la aplicación de minado estacional para el incremento del rendimiento de equipos de carguío de material en minería superficial.

Diseño de Investigación

El presente estudio es de carácter no experimental; dado que según Kerlinger (1975), “en esta investigación resulta absurdo la manipulación de variables, por lo cual simplemente se observan fenómenos tal como para consecutivamente ser analizados”. En este sentido, presenta una interpretación y análisis de las fuentes informativas relativas al rendimiento de equipos de carguío y al minado estacional, aplicado en minería a tajo abierto.

Transversal

Esta investigación presenta un corte transversal, ya que “se relaciona en base a datos en un solo momento y tiempo” (Hernández, Fernández y Baptista, 2010). Además, “tiene como finalidad describir variables y analizar su incidencia”, en particular,

implica el análisis de que si se logra o no incrementar el rendimiento de equipos de carguío al aplicar el minado estacional.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

Población

En el presente estudio, se consideró una población finita, puesto se conoce la cantidad de elementos que componen el estudio, para esta investigación se estimó una población compuesta por 18 estudios de minado estacional y rendimiento de equipos en proyectos mineros a Tajo Abierto, tanto a nivel nacional como internacional.

Muestra

La muestra la constituyen nueve (09) estudios relacionados minado estacional y rendimiento de equipos en proyectos mineros a Tajo Abierto. Para determinar la muestra se empleó el método no probabilístico, el cual “consiste en seleccionar a los individuos que convienen al investigador” (Hernández, Fernández y Baptista, 2010), el cual considera sus propios criterios

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Fuente Secundaria: consistente en la Revisión documentaria y recopilación de información de trabajos similares.

Técnica de análisis documental: con la finalidad de obtener la documentación teórica del problema y objetivo de investigación del presente estudio, se revisó estudios y

acontecimientos análogos al tema mediante el portal web de las diferentes compañías mineras a cargo de la explotación de determinados proyectos a Tajo Abierto. Para esto, se usó como instrumentos de recolección de información: a) buscadores o bases de datos virtuales: Scielo, Redalyc, Dialnet, entre otros; estos facilitaron la extracción de artículos científicos, revistas científicas, papers y tesis, obviamente con contenido a fin al trabajo, b) fichas de observación y c) hojas de cálculo de Excel para organizar los contenidos y cantidad de fuentes informativas como parte de la revisión sistemática de la literatura.

Técnicas e instrumentos de análisis de datos

Después de haber obtenido la información y los datos necesarios, se procedió a organizar la información haciendo uso de la herramienta técnica Microsoft Excel, lo cual permitió elaborar las tablas que describen los resultados finales de las variables, asimismo, para la redacción del informe se utilizó el paquete office 2016.

También, se realizó el análisis e interpretación de datos obtenidos a partir de los estudios revisados, lo cual permitió deducir la existencia del incremento del rendimiento y productividad de los equipos de carguío, por ende de la etapa de carguío conllevando a mejorar productividad y producción general de los proyectos mineros. En este proceso se hizo uso de gráficos estadísticos como: tablas y gráficos de barras.

2.4. Procedimiento

Etapa 1: Pre campo

Consistió en la búsqueda de información bibliográfica consistió en indagar diferentes fuentes de información entre ellas se destacan: bibliotecas virtuales y bases de datos:

Google Académico, Dialnet, Redalyc, Ebsco, Alicia.net, Scielo, Cybertesis, Science Direct. de la búsqueda de información se han obtenido 31 resultados de diferentes fuentes de información (entre artículos, revistas, papers, tesis, informes, conferencias) durante el proceso de búsqueda relativas a los temas de carguío, minado estacional, equipos de carga y rendimiento de equipos, de este cúmulo se han seleccionado dieciocho (18) fuentes para estructurar el presente estudio

Etapa 2: Trabajo de gabinete - análisis de la información

Después de haber aplicado el instrumento, se obtuvieron los datos requeridos y necesarios para este estudio, luego se procedió a ordenar y organizar la información en Excel, lo cual permitió elaborar las tablas y figuras que describen los resultados finales de las variables, para su análisis e interpretación de los mismos, y permitiendo cumplir los objetivos percibidos.

Etapa 3: Post campo -elaboración de la tesis

Una vez obtenidos los datos se procedió a redactar y estructurar la presente investigación, siguiendo los lineamientos del formato siguiendo los lineamientos del formato de la Universidad Privada del Norte, utilizando el paquete office 2016.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Para la estructura de los resultados del tema en curso, se ha considerado a nueve (09) estudios desarrollados en diferentes proyectos mineros superficiales (a Tajo Abierto), con los cuales se pretende dar respuesta a los objetivos planteados. De manera resumida se muestra en la siguiente tabla las investigación por autor y proyecto evaluado.

Tabla 1.

Organización de estudios considerados para los resultados de la presente investigación

| | Autor | Año | Proyecto Minero |
|---|---|------|----------------------------------|
| 1 | Martínez Aguilar Edwin Eduardo | 2019 | Minera Los Andes Perú Gold SAC |
| 2 | Malpica Quijada Cinthya Fiorella | 2014 | Cerro Negro - proyecto Yanacocha |
| 3 | López Martos Doris Soledad | 2018 | Cerro Corona - Gold Fields |
| 4 | Bonzi Riós José Ignacio | 2016 | Minera Los Pelambres |
| 5 | Apaza Risco, Elmer Danilo | 2017 | Minera Shahuindo S.A.C. |
| 6 | Calua Infante Freddy | 2019 | CIA Minera Coimolache S.A. |
| 7 | Ramírez y Chávez | 2019 | Proyecto Minero Yanacocha |
| 8 | Chuctaya Laucata Deyvi Junior y Larota Chara María Elena | 2020 | Mina Constancia |
| 9 | Chiriboga Fernández María Isabel, Pillasagua Carrera José Luis y Santos Baquerizo Eduardo | 2015 | Cantera Borcons |

Fuente: bases de datos virtuales

En la tabla 1 se observa los 9 proyectos considerados para el desarrollo de investigaciones realizadas por los autores correspondientes.

3.1. Resultados de demoras de tiempo en la etapa de carguío en Minería Superficial, aplicando minado estacional.

Los resultados respecto a las demoras en el carguío se muestran en diferentes escenario de tiempos, los cuales se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 2.

Tiempos reales (segundos) de ciclo de la excavadora 336 DL CAT, Minera Los Andes Perú Gold SAC

| Nº | Cargado del cucharón | Giro con carga | Descarga del cucharón | Giro sin carga | Tiempo total/ciclo | Material |
|----------|----------------------|----------------|-----------------------|----------------|--------------------|----------|
| 1 | 8.9 | 6.7 | 4.3 | 6.5 | 26.4 | Mineral |
| 2 | 8.8 | 6.5 | 4.2 | 6.6 | 26.1 | Mineral |
| 3 | 8.5 | 6.6 | 4.3 | 6.4 | 25.8 | Mineral |
| 4 | 8.4 | 6.6 | 4.5 | 6.5 | 26 | Mineral |
| 5 | 8.8 | 6.4 | 4.4 | 6.6 | 26.2 | Mineral |
| 6 | 8.9 | 6.2 | 4.2 | 6.2 | 25.5 | Mineral |
| 7 | 8.6 | 6.5 | 4.3 | 6.3 | 25.7 | Mineral |
| 8 | 8.7 | 6.7 | 4.3 | 6.4 | 26.1 | Mineral |
| 9 | 8.8 | 6.6 | 4.2 | 6.4 | 26 | Mineral |
| 10 | 8.7 | 6.4 | 4.6 | 6.7 | 26.4 | Mineral |
| 11 | 8.6 | 6.4 | 4.5 | 6.4 | 25.9 | Mineral |
| 12 | 8.5 | 6.5 | 4.5 | 6.3 | 25.8 | Mineral |
| 13 | 8.7 | 6.6 | 4.4 | 6.6 | 26.3 | Mineral |
| 14 | 8.9 | 6.7 | 4.6 | 6.6 | 26.8 | Mineral |
| 15 | 8.6 | 6.7 | 4.5 | 6.5 | 26.3 | Mineral |
| 16 | 8.6 | 6.6 | 4.3 | 6.4 | 25.9 | Mineral |
| 17 | 8.7 | 6.5 | 4.4 | 6.4 | 26 | Mineral |
| 18 | 8.8 | 6.8 | 4.5 | 6.5 | 26.6 | Mineral |
| 19 | 8.9 | 6.9 | 4.6 | 6.6 | 27 | Mineral |
| 20 | 8.6 | 6.7 | 4.5 | 6.6 | 26.4 | Mineral |
| 21 | 8.7 | 6.7 | 4.6 | 6.5 | 26.5 | Mineral |
| 22 | 8.8 | 6.8 | 4.2 | 6.4 | 26.2 | Mineral |
| Promedio | 8.7 | 6.59 | 4.41 | 6.47 | 26.17 | |

Fuente: Martínez (2019)

La Tabla 1 muestra los tiempos reales de ciclo de la excavadora 336 DL CAT, en promedio el ciclo de carguío es de 26.17 segundos para el mineral.

El cálculo del ciclo de carguío se realiza haciendo de la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Cálculo del tiempo de ciclo de carguío

$$\text{Tiempo de ciclo} = \text{Carga del cucharón} + \text{Giro con carga} + \text{Descarga del cucharón} + \text{Giro sin carga} \dots (1)$$

Tabla 3.

Tiempo (segundos) de ciclo de la Excavadora, en el minado Cerro Negro Yanacocha - Cajamarca

| Número | Carga del cucharón | Giro con carga | Descarga del cucharón | Giro sin carga | Tiempo de ciclo (Seg) | tipo de material |
|----------|--------------------|----------------|-----------------------|----------------|-----------------------|------------------|
| 1 | 0.10 | 0.11 | 0.08 | 0.11 | 0.40 | Mineral |
| 2 | 0.12 | 0.09 | 0.07 | 0.01 | 0.29 | Mineral |
| 3 | 0.10 | 0.09 | 0.06 | 0.09 | 0.34 | Mineral |
| 4 | 0.08 | 0.11 | 0.08 | 0.08 | 0.35 | Mineral |
| 5 | 0.09 | 0.08 | 0.09 | 0.05 | 0.31 | Mineral |
| 6 | 0.07 | 0.08 | 0.05 | 0.10 | 0.30 | Mineral |
| 7 | 0.10 | 0.09 | 0.08 | 0.10 | 0.37 | Mineral |
| 8 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | 0.09 | 0.33 | Mineral |
| 9 | 0.09 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.30 | Mineral |
| 10 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | 0.05 | 0.29 | Mineral |
| 11 | 0.08 | 0.09 | 0.08 | 0.08 | 0.33 | Mineral |
| 12 | 0.12 | 0.07 | 0.09 | 0.07 | 0.35 | Mineral |
| 13 | 0.11 | 0.10 | 0.10 | 0.08 | 0.39 | Mineral |
| 14 | 0.09 | 0.10 | 0.06 | 0.05 | 0.30 | Mineral |
| 15 | 0.08 | 0.11 | 0.08 | 0.10 | 0.37 | Mineral |
| 16 | 0.09 | 0.09 | 0.07 | 0.06 | 0.31 | Mineral |
| 17 | 0.07 | 0.06 | 0.08 | 0.05 | 0.26 | Mineral |
| 18 | 0.10 | 0.09 | 0.08 | 0.08 | 0.35 | Mineral |
| Promedio | 0.09 | 0.09 | 0.08 | 0.07 | 0.33 | |

Fuente: Malpica: 2014

De acuerdo con la tabla 3, el tiempo del ciclo de carguío de la excavadora en promedio es de 0.33 segundos para el mineral, medido en 18 veces, en el minado de Cerro Negro - proyecto Yanacocha.

Tabla 4.

Datos del escenario de Tiempo de Carguío del 2017, Cerro Corona - Gold Fields

| | CAT 374 RE44 | CAT 374 RE46 |
|---|-----------------|-----------------|
| Tiempo de Carguío promedio (min) | 1.1 | 1.26 |
| Escenario base de Tiempo de Carguío (min) | 1.2 | |

Fuente: López (2018)

En la tabla se presenta los escenarios de tiempo de carguío, siendo el base de 1.2 minutos y el tiempo promedio alcanzado por la excavadora CAT 374 RE44 es de 1.1 y para la Excavadora CAT 374 RE46 de 1.26 minutos.

| Real | | | | | Presupuesto | | | | |
|------------|-----|-----|---------|------------|-------------|-----|-----|---------|------------|
| Nominal | | | | | Nominal | | | | |
| 24 | | | | | 24 | | | | |
| Disponible | | | | Mec & Elec | Disponible | | | | Mec & Elec |
| 19.1 | | | | 4.9 | 19 | | | | 5 |
| Operativo | | | Reserva | | Operativo | | | Reserva | |
| 18.5 | | | 0.6 | | 18.5 | | | 0.5 | |
| Efectivo | DP | DNP | PO | | Efectivo | DP | DNP | PO | |
| 8.7 | 1.4 | 3.5 | 4.9 | | 7.1 | 1.1 | 3.3 | 7 | |

| Real | | | | | Real | | | | |
|------------|----|-----|---------|------------|------------|----|-----|---------|------------|
| Nominal | | | | | Nominal | | | | |
| 100% | | | | | 100% | | | | |
| Disponible | | | | Mec & Elec | Disponible | | | | Mec & Elec |
| 79% | | | | 21% | 79% | | | | 21% |
| Operativo | | | Reserva | | Operativo | | | Reserva | |
| 77% | | | 2% | | 77% | | | 2% | |
| Efectivo | DP | DNP | PO | | Efectivo | DP | DNP | PO | |
| 36% | 6% | 15% | 20% | | 30% | 5% | 14% | 29% | |

DP: Demoras programadas, DNP: Demoras no programadas, PO: Pérdidas operacionales, Mec & Elec: Mecánica y eléctrica (Mantenimiento de equipos)

Figura 1. Distribución de tiempos reales de mayo - 2015, comparados con los propuestos para carguío, Minera Los Pelambres

Fuente: Bonzi (2016)

La figura 1 muestra la distribución de tiempos reales comparados con los tiempos presupuestados en el mes de mayo – 2015, minera Los Pelambres.

| | | | | |
|------------|-----|-----|---------|------------|
| Real | | | | |
| Nominal | | | | |
| 24 | | | | |
| Disponible | | | | Mec & Elec |
| 18.7 | | | | 5.3 |
| Operativo | | | Reserva | |
| 17.2 | | | 1.5 | |
| Efectivo | DP | DNP | PO | |
| 8.3 | 1.3 | 2.6 | 5 | |

| | | | | |
|------------|-----|-----|---------|------------|
| Real | | | | |
| Nominal | | | | |
| 24 | | | | |
| Disponible | | | | Mec & Elec |
| 19 | | | | 5 |
| Operativo | | | Reserva | |
| 18.5 | | | 0.5 | |
| Efectivo | DP | DNP | PO | |
| 7.1 | 1.1 | 3.3 | 7 | |

| | | | | |
|------------|----|-----|---------|------------|
| Real | | | | |
| Nominal | | | | |
| 100% | | | | |
| Disponible | | | | Mec & Elec |
| 78% | | | | 22% |
| Operativo | | | Reserva | |
| 72% | | | 6% | |
| Efectivo | DP | DNP | PO | |
| 35% | 5% | 11% | 21% | |

| | | | | |
|------------|----|-----|---------|------------|
| Real | | | | |
| Nominal | | | | |
| 100% | | | | |
| Disponible | | | | Mec & Elec |
| 79% | | | | 21% |
| Operativo | | | Reserva | |
| 77% | | | 2% | |
| Efectivo | DP | DNP | PO | |
| 30% | 5% | 14% | 29% | |

DP: Demoras programadas,

DNP: Demoras no programadas,

PO: Pérdidas operacionales

Mec & Elec: Mecánica y eléctrica (Mantenimiento de equipos)

Figura 2. Distribución de tiempos reales de Julio - 2015, comparados con los propuestos para carguío, Minera Los Pelambres

Fuente: Bonzi (2016)

La figura 2 denota la distribución de tiempos reales comparados con los tiempos presupuestados en el mes de julio – 2015, minera Los Pelambres.

Tabla 5.

Resumen de las demoras con mayores tiempos para carguío mayo 2015, Minera Los Pelambres

| | Traslado | Colación en cabina | Colación en comedor | Limpieza frente carguío | Reparación de Piso | Cambio de Turno | Total |
|------------------------------|----------|--------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|-----------------|--------|
| Promedio por equipo [hr/mes] | 41.78 | 19.3 | 16.37 | 12.82 | 10.26 | 8.91 | 109.44 |
| Promedio por día [hr] | 1.35 | 0.62 | 0.53 | 0.41 | 0.33 | 0.29 | 3.53 |
| Promedio por día [min] | 80.87 | 37.36 | 31.69 | 24.81 | 19.85 | 17.25 | 211.83 |

Fuente: Bonzi (2016)

La tabla 5 revela que las demoras de tiempos en el carguío para el mes de mayo -2015 son por: traslado, colación en cabina, colación en el comedor, limpieza del frente de carguío, reparación de piso y cambio de turno. La demora total por quipos en promedio es de 109.44 hr/mes, el total de demora por día es de 3.53 hr y la demora total día en promedio es de 211.83 minutos.

Tabla 6.

Resumen de las demoras con mayores tiempos para carguío Julio -2015, Minera Los Pelambres

| | Traslado | Colación en cabina | Colación en comedor | Limpieza frente carguío | Reparación de Piso | Cambio de Turno | Total |
|------------------------------|----------|--------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|-----------------|--------|
| Promedio por equipo [hr/mes] | 28.68 | 17.24 | 14.51 | 11.18 | 10.09 | 7.08 | 88.78 |
| Promedio por día [hr] | 0.93 | 0.56 | 0.47 | 0.36 | 0.33 | 0.23 | 2.88 |
| Promedio por día [min] | 55.51 | 33.37 | 28.08 | 21.64 | 19.53 | 13.7 | 171.83 |

Fuente: Bonzi (2016)

La tabla 6 indica que las demoras de tiempos en el carguío para el mes de julio -2015 son por: traslado, colación en cabina, colación en el comedor, limpieza del frente de carguío, reparación de piso y cambio de turno. La demora total por quipos es de 88.78 hr/mes, el total de demora por día es de 2.88 hr y la demora total día es de 171.83 minutos.

Tabla 7.

Resumen de estadísticas para la pala 04, Minera Los Pelambres

| | Mayo | Junio | Julio | Promedio |
|--------------------------------|-------|-------|-------|----------|
| Rendimiento Efectivo [t/h] | 6,996 | 7,274 | 7,005 | 7,092 |
| Cantidad de Baldes por Camión | 3.61 | 3.86 | 3.94 | 3.8 |
| Tiempo Promedio de Carga [min] | 2.28 | 2.15 | 2.26 | 2.23 |
| Tiempo Efectivo Promedio [min] | 3.14 | 3 | 3.13 | 3.09 |
| Pérdidas Operacionales [min] | 2.29 | 2.33 | 2.21 | 2.28 |
| Demoras Programadas [min] | 24.66 | 18.9 | 19.85 | 21.14 |
| Demoras No Programadas [min] | 16.58 | 15.53 | 15.71 | 15.94 |
| Disponibilidad [%] | 86.7 | 90.4 | 77.7 | 84.93 |
| UEBD [%] | 40.6 | 41 | 42.6 | 41.4 |

Fuente: Bonzi (2016)

La pala 04 durante el periodo mayo – julio presenta un tiempo promedio de carga de 2.23 min, un tiempo efectivo de carga en promedio de 3.09 min, pérdidas operacionales de 2.28 min, demoras programadas en promedio 31.14 min, demoras no programadas de 15.94 min. Comparando los datos del mes de julio respecto a mayo, las pérdidas operacionales, las demoras programadas y las no programadas se han logrado reducir en aproximadamente el 30%.

Tabla 8.

Resumen de estadísticas para la pala 07, Minera Los Pelambres

| | Mayo | Junio | Julio | Promedio |
|--------------------------------|-------|-------|-------|----------|
| Rendimiento Efectivo [t/h] | 7,416 | 6,511 | 7,530 | 7,152 |
| Cantidad de Baldes por Camión | 3.78 | 4.01 | 3.83 | 3.87 |
| Tiempo Promedio de Carga [min] | 2.02 | 2.23 | 1.96 | 2.07 |
| Tiempo Efectivo Promedio [min] | 3 | 3.39 | 2.94 | 3.11 |
| Pérdidas Operacionales [min] | 2.11 | 2.3 | 1.92 | 2.11 |
| Demoras Programadas [min] | 25.32 | 21.87 | 21.8 | 23 |
| Demoras No Programadas [min] | 16.08 | 15.91 | 11.94 | 14.64 |
| Disponibilidad [%] | 86.8 | 87.4 | 88.4 | 87.53 |
| UEBD [%] | 44.6 | 43.3 | 48.1 | 45.33 |

Fuente: Bonzi (2016)

La pala 06 durante el periodo mayo – julio presenta un tiempo promedio de carga de 2.07 min, un tiempo efectivo de carga en promedio de 3.11 min, pérdidas operacionales de 2.11 min, demoras programadas en promedio 23 min, demoras no programadas de 14.64 min. Comparando los datos del mes de julio respecto a mayo, las pérdidas operacionales, las demoras programadas y las no programadas se han logrado reducir en aproximadamente el 16%.

Tabla 9.

Datos influyentes para la obtención de la Utilización Efectiva en Base a Disponibilidad (UEBD) de mayo a septiembre – 2016 en Minera Los Pelambres

| | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre |
|------------------------------|-------|-------|-------|--------|------------|
| Tiempo Efectivo [min] | 3.14 | 3 | 3.13 | 3.13 | 3.12 |
| Pérdidas Operacionales [min] | 2.29 | 2.33 | 2.21 | 2.11 | 2.03 |
| Demoras Programadas [min] | 24.66 | 18.9 | 19.85 | 16.37 | 16.88 |
| Demoras No Programadas [min] | 16.58 | 15.53 | 15.71 | 13.27 | 11.62 |

Fuente: Bonzi (2016)

En la tabla 9 se demuestran parámetros de tiempo en el periodo mayo – setiembre del 2016 en minera los Pelambres: tiempo efectivo, demoras programadas y las demoras no programadas, evidenciando que en setiembre se ha logrado reducir las demoras con respecto al mes de mayo, en 46%.

Tabla 10.

Horas de demora en carguío del mes de abril – 2016, Minera Shahuindo S.A.C.

| TONELADAS NO MOVIDAS | DEMORAS OPERATIVAS | HORAS | % ACUMULADO |
|-------------------------|-------------------------------|--------------|----------------|
| 22623 | Falta de camiones | 27.42 | 35% |
| 11498 | Abastecimiento de combustible | 13.94 | 18% |
| 11451 | Cambio de frente | 13.88 | 17% |
| 6764 | Inspección de equipo | 8.2 | 10% |
| 5115 | Por arreglo de piso | 6.2 | 8% |
| 3020 | Perfilado de taludes | 3.66 | 5% |
| 2141 | Por voladura | 2.59 | 3% |
| 1898 | Por selección de material | 2.3 | 3% |
| 982 | Otros | 1.19 | 1% |
| 65492 | Total general | 79.38 | 100% |

Fuente: Apaza (2017)

La mayor demoras operativas en el mes de abril en horas en la fase de carguío de acuerdo con la tabla se por la falta de camiones (27.42 hr) principalmente, seguido de las demoras por abastecimiento de combustible y por el cambio de frente con 13.94 hr cada uno, en total se refleja 79.38 hr de demoras operativas, lo cual indica 65,492 toneladas no movidas.

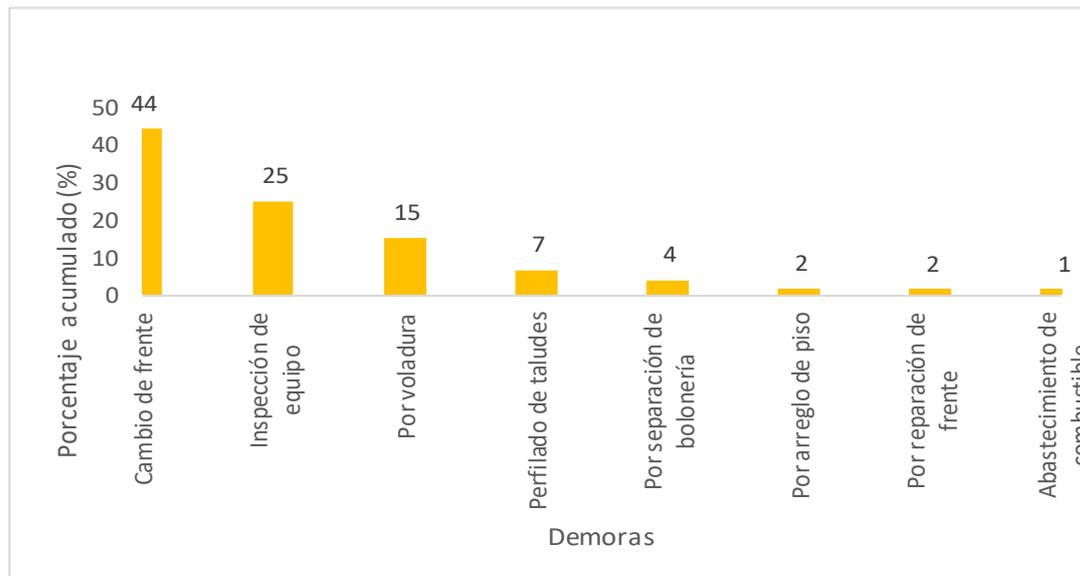


Figura 3. Porcentaje acumulado de toneladas no movidas (TNM) en el mes de abril – 2016

Fuente: Apaza (2017)

En la figura 3 se muestra el porcentaje de toneladas no movidas en el mes de abril - 2016 producto de las demoras operativas; la falta de camiones representa el 35% de material no movido.

Tabla 11.

Horas de demora en carguío del mes de setiembre – 2016, Minera Shahuindo S.A.C.

| TONELADAS NO MOVIDAS | DEMORAS OPERATIVAS | HORAS | % ACUMULADO DE TNM |
|----------------------|-------------------------------|-------|--------------------|
| 13613 | Cambio de frente | 13.6 | 44% |
| 7722 | Inspección de equipo | 5.36 | 25% |
| 4707 | Por voladura | 3.51 | 15% |
| 2087 | Perfilado de taludes | 1.53 | 7% |
| 1236 | Por separación de bolonería | 1.5 | 4% |
| 545 | Por arreglo de piso | 0.66 | 2% |
| 479 | Por reparación de frente | 0.58 | 2% |
| 460 | Abastecimiento de combustible | 0.56 | 1% |
| 30849 | Total general | 27.3 | 100% |

Fuente: Apaza (2017)

Las demoras operativas en el mes de setiembre de acuerdo con la tabla 11, mayormente se dan por cambio de frente (13.6 hr), seguido de las demoras por inspección del equipo (13.94 hr), en total se acumula 27.3hr de demoras operativas, permitiendo así el no movimiento de 30,849 toneladas de material.

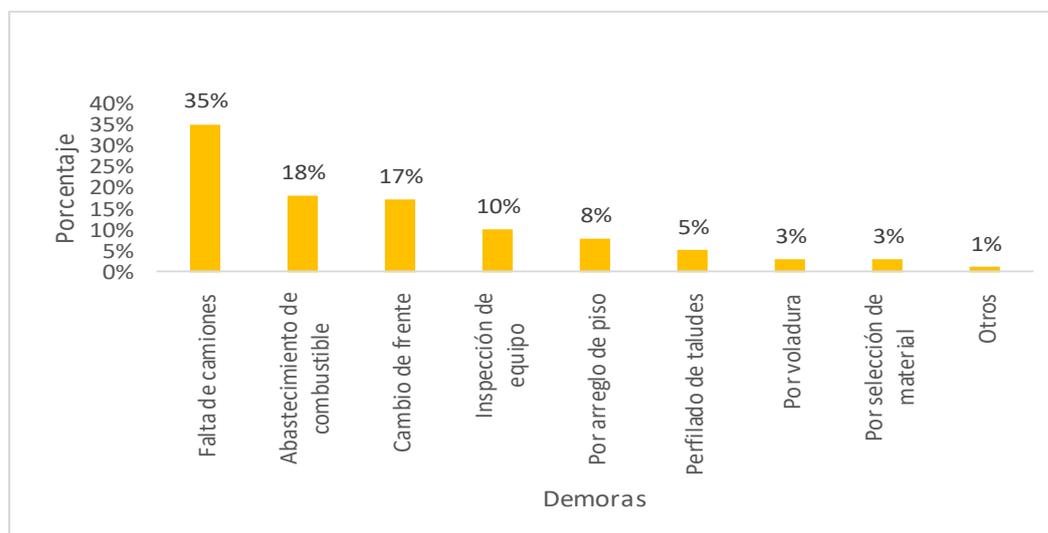


Figura 4. Porcentaje acumulado de toneladas no movidas (TNM) en el mes de setiembre – 2016.

Fuente: Apaza (2017)

En la figura 4 se muestra el porcentaje de toneladas no movidas en el mes de setiembre – 2016 producto de las demoras operativas; el cambio de aceite representa el 44% de material no movido.

Tabla 12.

Clasificación de las demoras operativas durante el carguío, CIA Minera Coimolache S.A.

| Demoras operativas - carguio | TIEMPO (hr) |
|------------------------------|-------------|
| Arreglo de frente de trabajo | 03:50:49 |
| Dificultad para cargar | 02:09:17 |
| Equipo auxiliar | 01:40:32 |
| Separación de bolonería | 02:10:28 |
| Promedio total | 02:27:47 |

Fuente: Calua (2019)

Lo mostrado por la tabla 12 indica que las demoras operativas durante el carguío son mayormente por arreglo de frente de trabajo (03h 50m 49s) obteniendo así, un promedio de 2 horas con 27 minutos y 47 segundos.

3.2. Resultados de rendimiento y productividad de equipos de carguío en Minería a Tajo Abierto, al aplicar el Minado Estacional

Los resultados relacionados al rendimiento y productividad de equipos de carguío en Minería a Tajo Abierto, al aplicar el Minado Estacional se muestran a continuación en función a los estudios revisado.

Tabla 13.

Principales indicadores en carguío, CIA. Minera Coimolache S.A.

| INDICADORES | Unidad | Exc. DL 374 | Exc. DL 390 |
|------------------------------------|----------|-------------|-------------|
| Capacidad | TN | 7.06 | 9.6 |
| Capacidad | M3 | 3.68 | 5 |
| Densidad de Mat. | (TM/m3) | 1.92 | 1.92 |
| Factor de llenado | % | 90 | 90 |
| Uso Disponibilidad | % | 90 | 90 |
| Tiempo de ciclo | min | 2.01 | 2.33 |
| | TN/Hr | 159.6 | 351.8 |
| Rendimientos | TN/Turno | 1675.8 | 3694 |
| | TN/día | 3351.6 | 7388 |
| Horas operativas | Hrs | 08:47:22 | 08:00:38 |
| Horas disponibles | Hrs | 11:00:00 | 11:00:00 |
| Calentamiento exc/vol | min | 00:05:53 | 00:05:41 |
| Desplazamiento y arreglo al frente | min | 00:05:45 | 00:08:08 |
| Pase al primer volquete | min | 00:07:27 | 00:21:54 |

Fuente: Calua (2019)

La tabla 13 indica los rendimientos alcanzados por las excavadoras DL 374 y DL 390, en el caso de la primera alcanza 159.6 TM/hr, 1,675.8 TN/turno y 3,351.6 TN/día; mientras que la segunda, logra 351.8 TM/hr, 3,694 TN/turno y 7,388 TN/día.

Tabla 14.

Productividad diaria en Temporada de lluvia (Febrero) - 2019, proyecto Minero Yanacocha

| Fecha | Turno | Pala | Flota | Tonelaje (TN/día) |
|------------|-------|-------|------------|-------------------|
| 1/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 28,845.60 |
| 1/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 27,860.93 |
| 2/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 30,297.48 |
| 2/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 29,897.03 |
| 3/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 27,057.40 |
| 3/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 30,117.10 |
| 4/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 22,424.54 |
| 5/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 23,374.93 |
| 6/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 27,962.68 |
| 6/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 27,968.62 |
| 7/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 30,327.58 |
| 7/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 21,138.32 |
| 8/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 22,980.96 |
| 8/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 26,826.79 |
| 9/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 27,018.11 |
| 9/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 20,470.89 |
| 10/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 24,246.51 |
| 10/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 24,655.94 |
| 11/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 15,894.35 |
| 11/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 18,686.71 |
| 16/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 21,826.16 |
| 16/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 26,913.65 |
| 17/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 27,980.87 |
| 17/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 28,805.57 |
| 18/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 26,474.22 |
| 18/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 20,779.71 |
| 19/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 25,212.79 |
| 19/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 28,605.31 |
| 20/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 28,089.78 |
| 20/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 27,233.42 |
| 21/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 24,038.97 |
| 21/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 24,689.80 |
| 22/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 21,948.42 |
| 22/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 27,316.77 |
| 23/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 29,018.62 |
| 23/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 29,009.29 |
| 24/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 32,684.55 |
| 24/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 24,440.93 |
| 25/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 33,133.72 |
| 25/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 22,091.14 |
| 26/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 29,418.40 |

| | | | | |
|------------|---|-------|------------|--------------|
| 26/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 24,165.71 |
| 27/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 18,595.60 |
| 27/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 26,687.94 |
| 28/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 24,426.81 |
| 28/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 24,199.46 |
| Total | | | | 1,185,840.08 |

Fuente: Ramírez y Chávez (2019)

Según la tabla 14, la productividad promedio es de 1, 185, 840.08 TN/día en temporada de lluvia.

Tabla 15.

Productividad diaria en Temporada de estiaje (Agosto), - 2019, proyecto Minero Yanacocha

| Fecha | Turno | Pala | Flota | Tonelaje (TN/día) |
|------------|-------|-------|------------|-------------------|
| 1/08/2018 | A | SH007 | Hit 5500EX | 35,457.34 |
| 1/08/2018 | B | SH008 | Hit 5500EX | 36,148.28 |
| 2/08/2018 | A | SH009 | Hit 5500EX | 37,955.56 |
| 2/08/2018 | B | SH010 | Hit 5500EX | 26,569.90 |
| 3/08/2018 | A | SH011 | Hit 5500EX | 29,719.97 |
| 3/08/2018 | B | SH012 | Hit 5500EX | 34,048.17 |
| 4/08/2018 | A | SH013 | Hit 5500EX | 33,541.97 |
| 4/08/2018 | B | SH014 | Hit 5500EX | 34,770.13 |
| 5/08/2018 | A | SH015 | Hit 5500EX | 29,600.53 |
| 5/08/2018 | B | SH016 | Hit 5500EX | 35,413.76 |
| 6/08/2018 | A | SH017 | Hit 5500EX | 34,166.84 |
| 6/08/2018 | B | SH018 | Hit 5500EX | 32,083.79 |
| 14/08/2018 | B | SH019 | Hit 5500EX | 31,022.93 |
| 15/08/2018 | A | SH020 | Hit 5500EX | 32,017.15 |
| 15/08/2018 | B | SH021 | Hit 5500EX | 34,937.78 |
| 16/08/2018 | A | SH022 | Hit 5500EX | 28,765.57 |
| 16/08/2018 | B | SH023 | Hit 5500EX | 33,163.87 |
| 17/08/2018 | A | SH024 | Hit 5500EX | 30,452.26 |
| 17/08/2018 | B | SH025 | Hit 5500EX | 29,290.24 |
| 18/08/2018 | A | SH026 | Hit 5500EX | 31,065.30 |
| 18/08/2018 | B | SH027 | Hit 5500EX | 34,801.95 |
| 19/08/2018 | A | SH028 | Hit 5500EX | 33,590.03 |
| 19/08/2018 | B | SH029 | Hit 5500EX | 29,134.99 |
| 20/08/2018 | A | SH030 | Hit 5500EX | 30,104.81 |
| 20/08/2018 | B | SH031 | Hit 5500EX | 28,118.66 |
| 21/08/2018 | A | SH032 | Hit 5500EX | 31,320.19 |

| | | | | |
|------------|---|-------|------------|--------------|
| 21/08/2018 | B | SH033 | Hit 5500EX | 34,334.90 |
| 22/08/2018 | A | SH034 | Hit 5500EX | 36,834.41 |
| 22/08/2018 | B | SH035 | Hit 5500EX | 30,470.09 |
| 23/08/2018 | A | SH036 | Hit 5500EX | 30,218.77 |
| 23/08/2018 | B | SH037 | Hit 5500EX | 34,481.85 |
| 24/08/2018 | A | SH038 | Hit 5500EX | 35,216.71 |
| 24/08/2018 | B | SH039 | Hit 5500EX | 35,070.03 |
| 25/08/2018 | A | SH040 | Hit 5500EX | 34,616.77 |
| 25/08/2018 | B | SH041 | Hit 5500EX | 33,622.47 |
| 26/08/2018 | A | SH042 | Hit 5500EX | 33,625.80 |
| 26/08/2018 | B | SH043 | Hit 5500EX | 26,787.69 |
| 27/08/2018 | A | SH044 | Hit 5500EX | 35,397.08 |
| 27/08/2018 | B | SH045 | Hit 5500EX | 36,755.11 |
| 28/08/2018 | A | SH046 | Hit 5500EX | 36,945.82 |
| 28/08/2018 | B | SH047 | Hit 5500EX | 35,993.54 |
| 29/08/2018 | A | SH048 | Hit 5500EX | 28,331.52 |
| 29/08/2018 | B | SH049 | Hit 5500EX | 30,038.04 |
| 30/08/2018 | A | SH050 | Hit 5500EX | 34,547.82 |
| 30/08/2018 | B | SH051 | Hit 5500EX | 31,689.53 |
| 31/08/2018 | A | SH052 | Hit 5500EX | 28,148.67 |
| 31/08/2018 | B | SH053 | Hit 5500EX | 30,147.00 |
| Total | | | | 1,530,535.59 |

Fuente: Ramírez y Chávez (2019)

De acuerdo con la tabla 15, la productividad promedio es de 1,530,535.59 TN/día en temporada de estiaje.

Tabla 16.

Productividad por hora en temporada de lluvia (Febrero) - 2019, proyecto Minero Yanacocha

| Fecha | Turno de trabajo | Pala | Flota | Productividad (TN/Hra) |
|-----------|------------------|-------|------------|------------------------|
| 1/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 3,096.40 |
| 1/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 2,617.30 |
| 2/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 2,920.10 |
| 2/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 2,864.10 |
| 3/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 2,786.70 |
| 3/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 2,901.50 |
| 4/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 2,432.60 |
| 5/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 2,725.00 |
| 6/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 2,741.10 |

| | | | | |
|------------|---|-------|------------|----------|
| 6/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 3,075.40 |
| 7/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 3,140.70 |
| 7/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 2,515.80 |
| 8/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 2,833.00 |
| 8/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 2,983.10 |
| 9/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 2,885.10 |
| 9/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 2,775.20 |
| 10/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 2,598.90 |
| 10/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 2,740.60 |
| 11/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 2,476.40 |
| 11/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 2,592.50 |
| 16/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 2,504.60 |
| 16/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 2,857.70 |
| 17/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 2,852.50 |
| 17/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 2,835.60 |
| 18/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 2,555.70 |
| 18/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 2,109.90 |
| 19/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 2,589.90 |
| 19/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 2,708.90 |
| 20/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 2,807.10 |
| 20/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 2,723.00 |
| 21/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 2,741.50 |
| 21/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 2,868.10 |
| 22/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 2,945.40 |
| 22/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 3,011.60 |
| 23/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 2,831.00 |
| 23/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 2,865.50 |
| 24/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 3,257.80 |
| 24/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 2,978.50 |
| 25/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 3,000.00 |
| 25/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 2,926.50 |
| 26/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 2,921.60 |
| 26/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 2,449.30 |
| 27/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 2,208.90 |
| 27/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 2,890.50 |
| 28/02/2018 | A | SH005 | Hit 5500EX | 2,699.80 |
| 28/02/2018 | B | SH005 | Hit 5500EX | 3,848.50 |
| Promedio | | | | 2,797.63 |

Fuente: Ramirez y Chávez (2019)

Conforme con la tabla 16, la productividad promedio es de 2,797.63 TN/hr en temporada de lluvia.

Tabla 17.

Productividad por hora en temporada de estiaje (Agosto) - 2019, proyecto Minero Yanacocha

| Fecha | Turno | Pala | Flota | Productividad (TN/Hra) |
|------------|-------|-------|------------|------------------------|
| 1/08/2018 | A | SH007 | Hit 5500EX | 3,577.80 |
| 1/08/2018 | B | SH008 | Hit 5500EX | 3,456.40 |
| 2/08/2018 | A | SH009 | Hit 5500EX | 3,651.50 |
| 2/08/2018 | B | SH010 | Hit 5500EX | 3,197.40 |
| 3/08/2018 | A | SH011 | Hit 5500EX | 3,285.50 |
| 3/08/2018 | B | SH012 | Hit 5500EX | 3,105.20 |
| 4/08/2018 | A | SH013 | Hit 5500EX | 3,238.80 |
| 4/08/2018 | B | SH014 | Hit 5500EX | 3,570.70 |
| 5/08/2018 | A | SH015 | Hit 5500EX | 3,227.80 |
| 5/08/2018 | B | SH016 | Hit 5500EX | 3,296.90 |
| 6/08/2018 | A | SH017 | Hit 5500EX | 3,325.30 |
| 6/08/2018 | B | SH018 | Hit 5500EX | 3,289.10 |
| 14/08/2018 | B | SH019 | Hit 5500EX | 3,456.20 |
| 15/08/2018 | A | SH020 | Hit 5500EX | 3,213.80 |
| 15/08/2018 | B | SH021 | Hit 5500EX | 3,545.80 |
| 16/08/2018 | A | SH022 | Hit 5500EX | 3,039.00 |
| 16/08/2018 | B | SH023 | Hit 5500EX | 3,197.50 |
| 17/08/2018 | A | SH024 | Hit 5500EX | 3,093.20 |
| 17/08/2018 | B | SH025 | Hit 5500EX | 3,527.10 |
| 18/08/2018 | A | SH026 | Hit 5500EX | 3,113.80 |
| 18/08/2018 | B | SH027 | Hit 5500EX | 3,260.40 |
| 19/08/2018 | A | SH028 | Hit 5500EX | 3,504.00 |
| 19/08/2018 | B | SH029 | Hit 5500EX | 3,211.20 |
| 20/08/2018 | A | SH030 | Hit 5500EX | 3,399.60 |
| 20/08/2018 | B | SH031 | Hit 5500EX | 3,482.90 |
| 21/08/2018 | A | SH032 | Hit 5500EX | 3,411.70 |
| 21/08/2018 | B | SH033 | Hit 5500EX | 3,546.10 |
| 22/08/2018 | A | SH034 | Hit 5500EX | 3,532.40 |
| 22/08/2018 | B | SH035 | Hit 5500EX | 3,214.00 |
| 23/08/2018 | A | SH036 | Hit 5500EX | 3,105.20 |
| 23/08/2018 | B | SH037 | Hit 5500EX | 3,491.40 |
| 24/08/2018 | A | SH038 | Hit 5500EX | 3,120.90 |
| 24/08/2018 | B | SH039 | Hit 5500EX | 3,524.40 |
| 25/08/2018 | A | SH040 | Hit 5500EX | 3,275.20 |
| 25/08/2018 | B | SH041 | Hit 5500EX | 3,405.60 |
| 26/08/2018 | A | SH042 | Hit 5500EX | 3,438.70 |
| 26/08/2018 | B | SH043 | Hit 5500EX | 3,142.60 |
| 27/08/2018 | A | SH044 | Hit 5500EX | 3,387.40 |
| 27/08/2018 | B | SH045 | Hit 5500EX | 3,792.70 |
| 28/08/2018 | A | SH046 | Hit 5500EX | 3,820.20 |
| 28/08/2018 | B | SH047 | Hit 5500EX | 3,704.00 |

| | | | | |
|------------|---|-------|------------|----------|
| 29/08/2018 | A | SH048 | Hit 5500EX | 3,433.10 |
| 29/08/2018 | B | SH049 | Hit 5500EX | 3,109.40 |
| 30/08/2018 | A | SH050 | Hit 5500EX | 3,616.70 |
| 30/08/2018 | B | SH051 | Hit 5500EX | 3,277.10 |
| 31/08/2018 | A | SH052 | Hit 5500EX | 3,096.10 |
| 31/08/2018 | B | SH053 | Hit 5500EX | 3,214.10 |
| Promedio | | | | 3,360.13 |

Fuente: Ramírez y Chávez (2019)

En la tabla 17, se aprecia que la productividad promedio es de 3,360.13 TN/hr en temporada de seca.

Tabla 18.

Incremento de m³ por Excavadora y reducción en el C.U -2018, Minera los Andes Perú Gold SAC

| | Rendimiento (m ³ /h) | Horas trabajadas (h) | Tonelaje movido por Excavadora (m ³ /día) | C.U. (\$/m ³) |
|-------------------------------|---------------------------------|----------------------|--|---------------------------|
| Antes | 326 | 22 | 7,177.94 | 0.33 |
| Después | 356 | 22 | 7,840.80 | 0.3 |
| Aumento de Producción por día | | | 662.86 | |

Fuente: Martínez (2019)

Se observa en la tabla 18 existe un incremento del rendimiento de la excavadora de 326 m³/h a 356 m³/h, incrementando la producción diaria en 662.86 m³. Asimismo, se redujo los costos de 0.33 a 0.3 \$/m³.

Tabla 19.

Incremento de Producción por día Mineral – Desmonte, Minera los Andes Perú Gold SAC

| | Rendimiento (m ³ /h) | Mineral m ³ /día | Desmonte m ³ /día |
|---------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Antes | 326 | 34,454.00 | 22,969.00 |
| Después | 356 | 37,655.00 | 25,090.00 |

Fuente: Martínez (2019)

En la tabla 19 se observa el incremento del rendimiento de la producción de 34,454 a 37 655 m³/día en el mineral y de 22,969 a 25,090 m³/día en el desmonte, al aplicar la teoría de las colas.

Tabla 20.

Toneladas de mineral producidas en el periodo abril -junio 2016, Minera Shahuindo S.A.C.

| Mes | Planificado | Mineral al PAD | Mineral al Stockpile | Desmonte | Producción total |
|--------------|------------------|----------------|----------------------|----------------|------------------|
| Abril | 900,239 | 221,188 | 94,695 | 109,623 | 425,506 |
| Mayo | 842,159 | 281,802 | 118,457 | 84,576 | 484,835 |
| Junio | 900,227 | 363,167 | 116,276 | 147,416 | 626,859 |
| Total | 2,642,625 | 866,157 | 329,428 | 341,615 | 1,537,200 |

Fuente: Apaza (2017)

Se aprecia en la tabla 20 que en el periodo abril-junio 2016 (época lluviosa), en minera Shahuindo se alcanzó una producción total 1,537,200 toneladas; no se logró cumplir lo planificado(2,642,625 ton).

Tabla 21.

Toneladas de mineral producidas en el periodo julio -setiembre 2016, Minera Shahuindo S.A.C.

| Mes | Planificado | Mineral al PAD | Mineral al Stockpile | Desmonte | Producción total |
|--------------|------------------|----------------|----------------------|------------------|------------------|
| Julio | 874,926 | 370,243 | 117,846 | 408,799 | 896,888 |
| Agosto | 882,574 | 398,805 | 113,889 | 424,098 | 936,792 |
| Setiembre | 872,385 | 205,311 | 320,386 | 408,181 | 933,878 |
| Total | 2,629,885 | 974,359 | 552,121 | 1,241,078 | 2,767,558 |

Fuente: Apaza (2017)

Se observa en la tabla 21 que en el periodo julio -setiembre 2016 (época seca), en minera Shahuindo se alcanzó una producción total 2,767,558 toneladas; logrando cumplir con lo planificado (2,629,885 ton).

Tabla 22.

Comparación de producción mensual, Mina Constancia – 2018

| Producción | Producción | | |
|---------------|---------------|---------|-------|
| (TM) -Febrero | (TM) - Agosto | Var | Var % |
| 13,397,699 | 13,591,859 | 194,160 | 1.45% |

Fuente: Chuctaya y Larota (2020)

Según la tabla 22, en el año 2018 la producción en minera Constancia en agosto (época de estiaje) aumentó en 194,160 toneladas con respecto al mes febrero (época de lluvia); este incremento fue de 1.45%.

Tabla 23. *Datos del escenario de Productividad Operativa de Carguío del 2017 en Cerro Corona - Gold Fields*

| | CAT 374 | CAT 374 |
|---------------------------------|---------|---------|
| | RE44 | RE46 |
| Productividad Operativa de | | |
| Carguío Promedio (Ton/hr) | 607.74 | 568.74 |
| Escenario base de Productividad | | 590 |
| Operativa de Carguío (Ton/hr) | | |

Fuente: López (2018)

De acuerdo con la tabla 23, la productividad operativa de carguío promedio en Cerro Corona - Gold Fields para la excavadora CAT 374 RE44 es de 607.74 Ton/hr, y para para la excavadora CAT 374 RE46 es de 568.74 Ton/hr; mientras que el escenario base de productividad operativa de carguío enmarca 590 ton/hr.

Tabla 24.

Parámetros de productividad en Cerro Corona - Gold Fields, 2017

| FLOTA | PARÁMETROS DE PRODUCTIVIDAD | VALOR |
|---------|---------------------------------|-------|
| CARGUIO | Disponibilidad (%) | 93 |
| | Uso de la disponibilidad (%) | 78 |
| | Uso (%) | 82 |
| | Usaje (%) | 64 |
| | Utilización (%) | 60 |
| | Productividad efectiva (TN/Hr) | 1450 |
| | Productividad operativa (TN/Hr) | 590 |
| | Tasa de excavación (TN/Hr) | 1930 |

Fuente: López (2018)

La tabla 24 revela que la productividad efectiva de carguío es de 1,450 Ton/hr, la productividad operativa 590 TN/hr.

Tabla 25.

Variación de rendimiento de equipos de carguío – 2019, CIA. Minera Coimolache S.A.

| ITEM | Excavadora | Excavadora |
|---------------------|------------|------------|
| | CAT 374 | CAT 390 |
| Rendimiento (TN/Hr) | 159.91 | 351.81 |
| Después (Propuesta) | 167.67 | 353.34 |
| Aumento | 7.76 | 1.53 |
| Total | 9.29 | |

Fuente: Calua (2019)

En la tabla se observa que el rendimiento de la excavadora CAT 374 se incrementó en 7.76 TN/hr, mientras que la excavadora CAT 374 experimentó un incremento de 1.53 TN/día; en total implican un aumento de 9.29 TN/día.

Determinación de rendimiento de maquinarias para carguío de material

a) Rendimiento de una excavadora

- ✓ Rendimiento teórico de la excavadora Cat 320 C

Metros cúbicos por hora de 60 minutos*

| Tiempo de Ciclo Calculados | | CARGA ÚTIL CALCULADA DEL CUCHARÓN** — METROS CÚBICOS SUELTOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Tiempo en | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Seg. | Min. | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 2,1 | 2,3 | 2,5 | 2,7 | 2,9 | 3,1 | 3,3 | 3,5 | 4,0 |
| 10,0 | 0,17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11,0 | 0,18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12,0 | 0,20 | 60 | 90 | 150 | 210 | 270 | | | | | | | | | | | | | | |
| 13,3 | 0,22 | 54 | 81 | 135 | 189 | 243 | 297 | 351 | 405 | 459 | 513 | 567 | 621 | 675 | 729 | 783 | 837 | 891 | 945 | 1080 |
| 15,0 | 0,25 | 48 | 72 | 120 | 168 | 216 | 264 | 312 | 360 | 408 | 456 | 504 | 552 | 600 | 648 | 696 | 744 | 792 | 840 | 960 |
| 17,1 | 0,29 | 42 | 63 | 105 | 147 | 189 | 231 | 273 | 315 | 357 | 399 | 441 | 483 | 525 | 567 | 609 | 651 | 693 | 735 | 840 |
| 20,0 | 0,33 | 36 | 54 | 90 | 126 | 162 | 198 | 234 | 270 | 306 | 342 | 378 | 414 | 450 | 486 | 522 | 558 | 544 | 630 | 720 |
| 24,0 | 0,40 | 30 | 45 | 75 | 105 | 135 | 165 | 195 | 225 | 255 | 285 | 315 | 345 | 375 | 405 | 435 | 465 | 495 | 525 | 600 |
| 30,0 | 0,50 | 24 | 36 | 60 | 84 | 108 | 132 | 156 | 180 | 204 | 228 | 252 | 276 | 300 | 324 | 348 | 372 | 396 | 420 | 480 |
| 35,0 | 0,58 | 20 | 31 | 51 | 71 | 92 | 112 | 133 | 153 | 173 | 194 | 214 | 235 | 255 | 275 | 296 | 316 | 337 | 357 | 408 |
| 40,0 | 0,67 | | | | | 81 | 99 | 177 | 135 | 153 | 171 | 189 | 207 | 225 | 243 | 261 | 279 | 297 | 315 | 360 |
| 45,0 | 0,75 | | | | | | | | | 133 | 148 | 164 | 179 | 195 | 211 | 226 | 242 | 257 | 273 | 312 |
| 50,0 | 0,83 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 5. producción para excavadoras según manual Caterpillar.

Fuente: Manual de Caterpillar (2013)

De la figura el valor de rendimiento máximo es: $R_{max} = 156 \text{ m}^3/\text{hr}$

Según Malpica (2014), la eficiencia de trabajo es 50 min/hrs por lo tanto: $E = 0.83$

Entonces:

$$\text{Rendimiento} = R_{max} * E$$

$$\text{Rendimiento} = 156 \text{ m}^3/\text{hr} * 0.83$$

$$\text{Rendimiento} = 129.48 \text{ m}^3/\text{h}$$

- ✓ Rendimiento teórico de la excavadora Cat 320 C

Ecuación 2. Determinación del rendimiento teórico de una excavadora

$$R = \frac{3600 * E * Q * K}{T * FV}; \left(\frac{\text{m}^3}{\text{Hr}}\right) \dots (2)$$

Dónde:

R = Rendimiento en m³/hora (medidos en banco)

Q = capacidad o volumen del cucharón en m³

K = factor de llenado del cucharón (depende de las dimensiones y capacidad del Cucharón).

E = factor de rendimiento de la máquina.

T = Tiempo de un ciclo (segundos).

FV= factor de abundamiento.

Reemplazando los datos obtenidos de Malpica (2014):

Q=1.3, E=0.83, K=0.83, T=33.10, FV=1.20; se tiene:

$$R = \frac{3600 * 1.3 * 0.83 * 0.83}{33.10 * 1.20}; \left(\frac{m^3}{Hr}\right)$$

$$R = 81.17; \left(\frac{m^3}{Hr}\right)$$

b) Rendimiento del Cargador frontal

- ✓ Rendimiento teórico del Cargador frontal Caterpillar 950H

Se utiliza en el siguiente ábaco

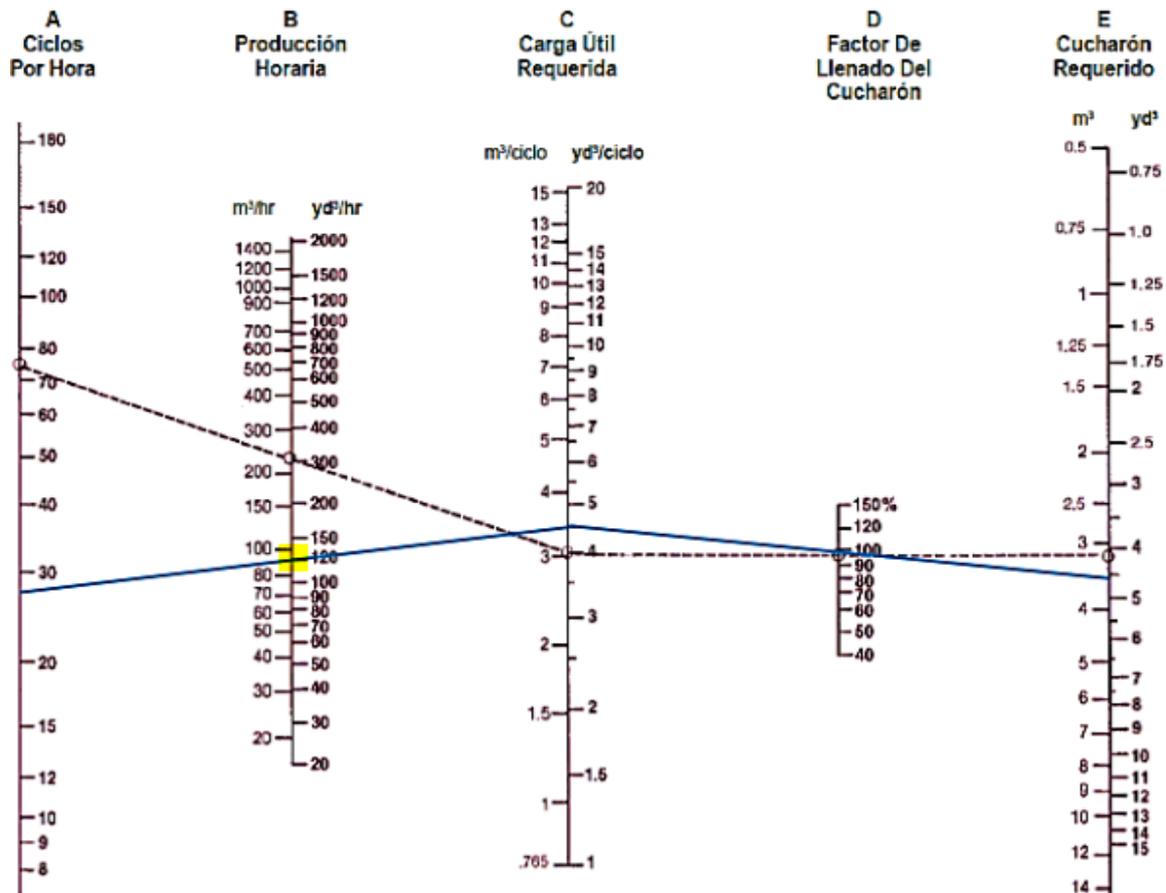


Figura 6. Rendimiento de Cargador

Fuente: Manual Caterpillar (2013)

Relacionando los datos del cargador frontal Caterpillar 950H:

Tiempo del ciclo = 2.10 min

Ciclos por hora = 28 ciclos/hr

Carga Útil requerida = 3.5 m³/ciclo

Factor de llenado del cucharón= 0.95

Capacidad del cucharón = 3.5 m³

Obteniendo un Rendimiento teórico de 93 m³/hr

b) Rendimiento real del Cargador frontal Caterpillar 950H

Ecuación 3. Determinación del rendimiento teórico de un cargador frontal

$$R = \frac{60 * E * Q * K}{T * FV}; \left(\frac{m^3}{Hr}\right) \dots (3)$$

Donde:

R= Rendimiento en m³/hora (medidos en banco)

Q=capacidad nominal del cucharón en m³

K= factor de llenado del cucharón.

E= factor de rendimiento de trabajo.

T= Tiempo de un ciclo (minutos).

FV= factor de abundamiento.

Considerando los datos de Malpica (2014):

E=0.83; Q= 3.5 m³; K=0.90; T=2.10 min; FV=10%

Se tiene que:

$$R = \frac{60 * 0.83 * 3.5 * 0.9}{2.10 * 1.10}; \left(\frac{m^3}{Hr}\right)$$

$$R = 67.91; \left(\frac{m^3}{Hr}\right)$$

Tabla 26.

Comparación entre rendimiento teórico y rendimiento real de equipos de carguío, Minado Cerro Negro Yanacocha – Cajamarca, 2014

| Equipo | Rendimiento teórico (m ³ /hr) | Rendimiento real (m ³ /hr) | variación |
|------------------|--|---------------------------------------|-----------|
| Excavadora | 129.48 | 81.17 | -37.31% |
| Cargador frontal | 93 | 67.91 | -26.98% |

Fuente: Malpica (2014)

De la tabla 26 se rescata que el rendimiento real de los equipos de carguío son muy inferiores a los rendimientos teóricos, para la excavadora es menor en 37.31%, mientras que para el cargador frontal es de 26.98%.

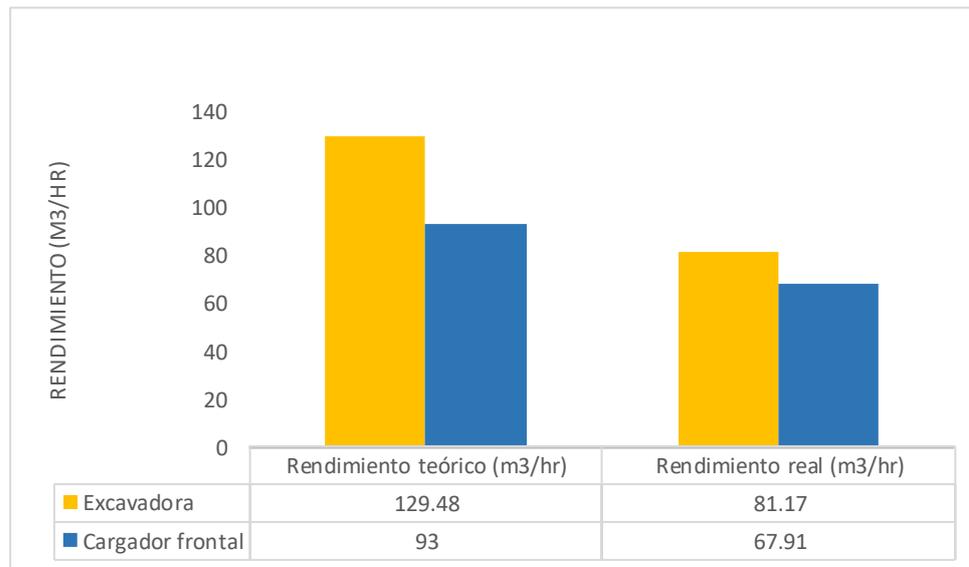


Figura 7. Comparación entre rendimiento teórico y rendimiento real de equipos de carguío, Minado Cerro Negro Yanacocha – Cajamarca, 2014

Fuente: Malpica (2014)

En la figura 7 se aprecia que el rendimiento teórico de la excavadora es de 129.48 m³/hr, mientras que el rendimiento real es de 81.17 m³/hr; en el caso del cargador frontal, el rendimiento teórico es de 93 m³/hr, sin embargo el rendimiento real es de 67.91 m³/hr. Esto indica que el rendimiento real es muy inferior al rendimiento teórico.

Tabla 27.

Comparación entre rendimiento teórico y rendimiento real de la excavadora Caterpillar 330 CL, Cantera Borcons, 2015

| Equipo | Unidad | Rendimiento teórico | Rendimiento real | Variación |
|-------------------------------|--------------------|---------------------|------------------|-----------|
| Excavadora Caterpillar 330 DL | m ³ /hr | 120.13 | 81.95 | -32% |

Chiriboga, Pillasagua y Santos (2015)

En la tabla 27 se muestra que la variación existente entre el rendimiento teórico y rendimiento real de la excavadora Caterpillar 330 CL es de 32%, es decir el rendimiento real es muy inferior al rendimiento teórico.

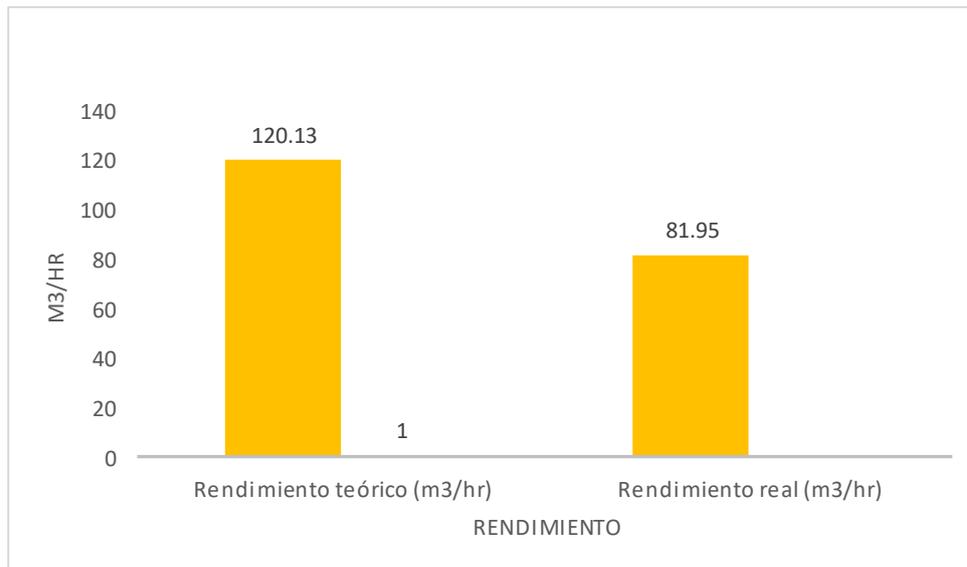


Figura 8. Rendimiento teórico vs rendimiento real de la excavadora Caterpillar 330 CL
Chiriboga, Pillasagua y Santos (2015)

Se observa en la figura 8 que el rendimiento teórico es de 120.3 m³/hr y el rendimiento real de 81.95 m³/hr.

3.3. Evaluación económica de equipos de carguío en Minería a Tajo Abierto, al aplicar Minado Estacional

Concerniente al tema económico se presenta los siguiente resultados.

Tabla 28.

Evaluación económica de los equipos de carguío - 2019, CIA. Minera Coimolache S.A.

| Recurso | Ratio US\$/TN | Rendimiento (TN/día) | Costo (US\$/día) |
|--------------------|------------------|-------------------------|---------------------|
| Excavadora CAT 390 | 0.41 | 7388 | 3055.58 |
| Excavadora CAT 374 | 0.89 | 3351.6 | 2982.55 |
| Total | 1.30 | 10739.60 | 6038.13 |

Fuente: Calua (2019)

De acuerdo con la tabla 28 la excavadora CAT 390 tiene un ratio de 0.41 US\$/TN lo que implica un costo diario de 3,055.59 US\$; mientras que, la excavadora CAT 374 presenta un ratio de 0.89 US\$/TN lo que implica un costo diario de 2,982.55 US\$; en total un ratio de 1.30 US\$/TN y un costo de 6, 038.13 US\$/día.

Tabla 29.

Evaluación de ahorro económico- 2019, CIA. Minera Coimolache S.A.

| Recurso | Ratio US\$/TN | Aumento de rendimiento (TN/día) | Costo Parcial (US\$/día) |
|--------------------|------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| Excavadora CAT 390 | 0.41 | 32.1 | 13.161 |
| Excavadora CAT 374 | 0.89 | 163 | 2982.55 |
| Total | 1.30 | 195.10 | 2995.71 |

Fuente: Calua (2019)

Se presenta en la tabla 29 que la excavadora CAT 390 presenta un costo parcial de 13.161 US\$/día; mientras que, la excavadora CAT 374 presenta un costo parcial de 2982.55 US\$/día lo que implica un costo parcial diario de 2,995.71 US\$. Esto se da gracias al incremento de rendimiento de las excavadoras descritas.

Tabla 30.

Dólares perdidos y ahorrados durante el estudio en carguío, Minera Shahuindo S.A.C.

| Mes | Hrs/mes | TN/Hr | TN/mes | \$/TN | \$/mes | Ahorro (\$) |
|-----------|---------|-------|--------|-------|--------|-------------|
| Abril | 79.4 | 825 | 65,490 | 0.18 | 11,788 | |
| Mayo | 49.7 | 825 | 40,982 | 0.18 | 7,377 | |
| Junio | 40.4 | 825 | 33,340 | 0.18 | 6,001 | |
| Julio | 38.3 | 825 | 31,626 | 0.18 | 5,693 | 6,096 |
| Agosto | 29.7 | 825 | 24,516 | 0.18 | 4,413 | 2,964 |
| Setiembre | 27.3 | 825 | 22,520 | 0.18 | 4,054 | 1,948 |
| Total | | | | | 39,325 | 11,008 |

Fuente: Apaza (2017)

En el carguío de Minera Shahuindo, según la tabla 30, en el periodo abril – setiembre se presentó un ahorro de 11,008 US\$, este ahorro se dio en los meses julio -setiembre (época de estiaje), mientras que las pérdidas se registran en el periodo abril – junio.

Tabla 31.

Ahorro obtenido por la reducción del Costo Unitario de Carguío, Minera Los Andes Perú Gold SAC 2017 y 2018

| | Producción | | | |
|-----------|--------------|------------|---------------|------------|
| | Mineral (m3) | | Desmante (m3) | |
| | Antes | Después | Antes | Después |
| | 34,454.00 | 37,655.00 | 22,969.00 | 25,090.00 |
| C.U. | | | | |
| 0.33\$ | 11,299.16 | 12,348.93 | 7,532.67 | 8,228.25 |
| C.U. | | | | |
| 0.30\$ | 10,343.93 | 11,304.95 | 6,895.86 | 7,532.63 |
| Ahorro \$ | 955.23 | 1,043.98 | 636.81 | 695.61 |
| Día | 955.23 | 1,043.98 | 636.81 | 695.61 |
| Semana | 6,686.61 | 7,307.84 | 4,457.67 | 4,869.30 |
| Mes | 28,656.88 | 31,319.30 | 19,104.31 | 20,868.44 |
| Año | 343,882.62 | 375,831.54 | 229,251.75 | 250,421.28 |

Fuente: Martínez (2019)

La tabla 31 revela que la aplicación de la teoría de las colas en la etapa de carguío genera ahorros favorables, esto es, 1.043.98 US\$/ día en mineral y 695.61 US\$/día en desmante. Al año se ahorra 375,831.54 US\$ en el mineral y 250,421 US\$ en desmante.

Tabla 32.

Costo Unitario de Operaciones de Carguío y Acarreo por TM

| OPERACIONES | Costo US\$/TN |
|---|---------------|
| Loading AC (AC/ | 0.19 |
| Blasting | 0.2 |
| Drilling | 0.06 |
| Hauling (Opex/prime+mining rehandle tonnes) | 0.59 |
| Auxiliar AC (AC/prime+mining rehandle tonnes) | 0.59 |
| Roads | 0.08 |
| Lastre | 1.45 |
| Costo Total Carguío y Transporte | 3.16 |

Fuente: Ramírez y Chávez (2019)

El costo unitario de carguío y transporte obtenido fue de 1.71 US\$/TN sin considerar el costo de lastre, considerando los costos de lastre (1.45 US\$/TN) asume un costo de 3.16 US\$/TN.

Tabla 33.

Costo unitario de operación de Minera Los Andes Perú Gold SAC 2017 y 2018

| Operación | Costo unitario (US\$/TM) | | % Variación |
|-----------------------------|--------------------------|---------------|--------------|
| | 2017 | 2018 | |
| Perforación | 19.33 | 19.33 | |
| Voladura | 29.87 | 29.87 | |
| Carguío | 21.79 | 21.05 | -3.4 |
| Transporte mina | 81.43 | 80.11 | -1.62 |
| Servicios e infraestructura | 22.63 | 22.63 | |
| Geología | 7.08 | 7.08 | |
| Ingeniería mina | 4,70 | 4.7 | |
| Gastos tajo minas | 2,49 | 2.49 | |
| Total: | 189.32 | 187.26 | -1.09 |

Fuente: Martínez (2019)

La tabla 33 denota que el costo unitario de carguío se redujo en 1.62 US\$/TN (21.05 – 21.79 US\$/TN) en el año 2018 respecto al año 2017.

Tabla 34.

Comparativo de costos de carguío, Minera Constancia – 2018

| Centro de costo | Unidad | Base (Febrero) | Oportunidad de mejora (Agosto) | Var | Var % |
|-----------------|---------|----------------|--------------------------------|--------|--------|
| Carguío | US\$/TN | 0.146 | 0.143 | -0.003 | -2.05% |

Fuente: Chuctaya y Larota (2020)

El comparativo de costos de carguío mostrados en la tabla 34, indica que en el mes de agosto (sequía) el costo fue de 0.143 US\$/TN, mientras que en febrero (lluvia) fue de 0.146 US\$/TN; por tanto, se redujo el costo en 0.003 US\$/TN, equivalente al 2.05%.

Tabla 35.

Comparación de resultados de acuerdo a los objetivos planteados (Indicador de carguío), según autor

| Indicador | Autor | Unidad | Temporada de lluvia | Temporada de estiaje | Variación | Promedio de variación |
|-----------------------------|---------------------|----------|---------------------|----------------------|-----------|-----------------------|
| Demoras de carguío | Bonzi | min | 109.44 | 88.78 | -19% | -35% |
| | Apaza | hr | 79.38 | 27.30 | -66% | |
| | Calua | hr | 15.01 | 11.98 | -20% | |
| Rendimiento y productividad | Calua | TN/hr | 163.79 | 352.58 | 115% | 41% |
| | Ramírez y Chávez | TN/hr | 2,797.63 | 3,360.13 | 20% | |
| | Martínez | m3/hr | 326.00 | 356.00 | 9% | |
| | Apaza | TN/mes | 1,537,200.00 | 2,767,558.00 | 80% | |
| | Chuctaya y Larota | TN/mes | 13,397,699.0 | 13,591,859.0 | 0 | |
| | López | TN/hr | 498.35 | 607.74 | 22% | |
| | Malpica Chiriboya | m3/hr | 129.48 | 81.17 | -37% | |
| | Pillasagua y Santos | m3/hr | 120.13 | 81.95 | -32% | |
| | Martínez | US\$/h | 0.33 | 0.30 | -9% | |
| | Ramírez y Chávez | US\$/TN | 178,247.98 | 27,539.27 | -85% | |
| Evaluación económica | Calua | US\$/dia | 1,497.86 | 1,198.29 | -20% | -36% |
| | Apaza | s | 11,788.00 | 4,054.00 | -66% | |
| | Chuctaya y Larota | US\$/TN | 0.15 | 0.14 | -2% | |

Fuente: Bases de datos virtuales

De acuerdo con la tabla se aprecia la comparación de los indicadores de carguío en temporada de lluvia y temporada de estiajes: las demoras de carguío, el rendimiento y productividad de equipos, y la evaluación económica.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Análisis de las demoras operativas en la etapa de carguío antes y después de realizar el Minado Estacional en minería a tajo abierto.

Las demoras de tiempo en el carguío juegan un rol importante en la determinación del rendimiento, productividad y de la producción general en la actividad minera; lo presentado en la tabla 35 a partir de los datos de las fuentes seleccionadas, las demoras de carguío en épocas de estiaje son menores a las de presentados en épocas de lluvia en 35%, por lo que aplicando el minado estacional sí se logra reducir estas demoras de tiempo en la fase de carguío.

De acuerdo con Apaza (2017), en el mes de abril las demoras más significativas son espera por camiones, abastecimiento de combustible y cambio de frente; estas variables depende las condiciones de la mina y del área de planificación de operaciones mina, geología mina y planta. Empero, en el mes de septiembre manifiesta que el cambio de frente sigue siendo la demora más significativa. Además, obtuvo una reducción de 65.6%, de horas de demora en carguío en septiembre (época de estiaje) con relación al mes de abril (época de lluvia). Por su parte, Barrientos (2014) revela que la productividad diaria y las detenciones operacionales son inversamente proporcionales, esta relación indica al disminuir el número de detenciones aumenta la productividad diaria disminuye, mientras que si la duración de las detenciones son menores, la productividad diaria aumenta.

Análogamente, Bonzi (2016) revela que en el mes de mayo -2015, las demoras (programadas y no programadas) utilizan más tiempo de lo presupuestado, la demora más significativa es el traslado de los equipos con 334 horas (39% de las demoras no programadas), seguido de las colaciones, las demoras por limpieza de frente y reparación de piso del frente de carguío. En el mes de julio, las demoras programadas aumentaron y superaron los tiempos propuestos por el caso base 2015. El traslado es la demora no programada con mayor incidencia con 229.5 horas (36%), seguido de las demoras relacionadas al frente de carguío.

En concordancia con Calua (2019), la minimización de tiempos improductivos logra la disminución de horas de demora en carguío, siendo la reducción a un tiempo menor o igual a 3 min. Esta clasificación de las demoras se consideran óptimo ($0 \leq 1$ min.), medio ($\geq 1 \leq 2$ min) o colas (≥ 3 min.). En base a ello se debe tomar en cuenta que durante las operaciones de carguío y acarreo se deben evitar las colas, las cuales reducirán en considerablemente la cantidad del tiempo de demoras y en consecuencia las horas operativas serán mayores. Según Martínez (2019) la estrategia para reducir las colas en los frentes de carguío; es aumentar un frente adicional en mineral; o dos frentes si se tratase de desmonte. Cabe mencionar, que las demoras operativas tienen que ver con la capacitación, experiencia y condición emocional del operador, lo cual se ve reflejado en la producción por guardia o turno.

Según Chuctaya y Larota (2020), el Hang% (es el porcentaje de tiempo que la pala estuvo sin volquetes) se incrementó de 29.77% a 34.34%, estos valores indican que en el carguío con palas aún existe la tarea de lograr a optimizar hasta llegar al 10% que es el óptimo para las palas.

De acuerdo con López (2018), al reducir el tiempo de carguío de 1.2 minutos (2017) hasta 1.1 minutos (2018), considerando un adecuado control y manejo de las demoras operativas; logró incrementar la Productividad Operativa de carguío de 590 ton/hr (2017) hasta 720 ton/hr (2018), lo que significa un 22% más que el valor del escenario base, que en 5 frentes diarios trabajando las 20 horas por día, representa un aumento de la producción diaria de 13,000 toneladas de material movido.

Las revelaciones de Marín (2015) muestran que económicamente la planificación de lastre es beneficioso, y haciendo uso eficiente de equipo auxiliar se reducen los tiempos por demoras operativas.

Evaluación comparativa del rendimiento de los equipos de carguío antes y después de realizar el Minado Estacional en minería a tajo abierto.

El incremento del rendimiento de los equipos de carguío al aplicar el minado estacional sí es posible, puesto que a partir de los resultados presentados en la tabla 35, se observa que el rendimiento y productividad en la temporada de estiaje se logra incrementar en un promedio de 41% respecto a la temporada de lluvia, esto se logra al controlar los indicadores de carguío como lo son parámetros de tiempo, y capacidad de los equipos principalmente. Al respecto, Calua (2019) revela que los indicadores de carguío son: la capacidad de cuchara, el tiempo del ciclo de carguío, calentamiento de equipo, total de horas operativas y horas disponibles. Algunos resultados obtenidos y otros que se han visto propiamente insitu tienen que ver con la capacitación, experiencia y condición emocional del operador. Lo cual se ve reflejado en la producción de la

guardia. Los resultados revelan que el rendimiento (TM/H) de la Excavadora 390 DL fue el doble del que produce la Excavadora 374 DL. Sin embargo, el rendimiento real de los equipos difiere del teórico en 35% (tabla).

Concordando con Ramírez y Chávez (2019), en las operaciones mineras superficiales, en las labores de carguío y acarreo tanto mineral como desmonte mediante la aplicación de un minado estacional, sí es posible reducir costos operativos. En tal sentido, se sugiere el uso como alternativa que permita mejorar la operatividad de carguío y por ende en el incremento de la productividad general del proyecto. Con relación al análisis comparativo entre el rendimiento de los equipos de carguío antes y después de realizar el Minado Estacional, se infiere que el minado en época seca permite la optimización de los recursos, mejorar la operatividad e incrementar la productividad de los equipos de carguío. Económicamente, la productividad logró aumentar en 25% con la aplicación de Minado Estacional.

Por su parte los resultados de Apaza (2017) indican que el tonelaje movido durante los meses abril – mayo - junio y los meses de julio – agosto - septiembre se incrementó en un 12.5% del mineral al PAD y en un 67.6% del mineral al stockpile, producto de tener más horas efectivas de trabajo en los equipos de carguío y acarreo, sin incrementar los costos unitarios de la operación.

Los resultados de Calua (2019) indican que el rendimiento durante 3 días de la EXC – 390 DL aumentó en 32.1 TM/día equivalente a 11.95 \$/día y de Exc. CAT 374 aumentó en 163 TM/día que en costo parcial equivale a 130.46 \$/día. Una de las estrategias para incrementar la producción sería el cambio de cuchara de la Exc. CAT

374 por una de la misma capacidad de la Exc CAT 390 (5 m³). En contraste, Chiriboga, Pillasagua y Santos (2015) determinaron que el rendimiento de la excavadora Caterpillar 330 CL fue de 81.95 m³/h, siendo esta l maquinaria más importante, puesto que de ella depende la generación de trabajo para los demás equipos. De esta manera, cumple eficientemente su labor, produciendo más de 600 m³ diarios.

Conforme con Malpica (2014), el rendimiento teórico de la excavadora utilizada es de 129.48 m³/hr, y el rendimiento real 81.17 m³/hr., lo cual evidencia que el rendimiento real es menor al rendimiento teórico (37.31%). Respecto al cargador frontal, el rendimiento teórico es de 93 m³/hr, y el rendimiento real obtenido fue 67.91 m³/hr, entonces se que el rendimiento real es menor al rendimiento teórico (26.98%). De lo presentado, los motivos por lo que el rendimiento teórico es diferente del real son: Ingreso y salida de volquetes, voladura inadecuada, trabajos adicionales, calentamiento de la máquina, altitud de la zona de trabajo y antigüedad del equipo. Comparando con los resultados de Martínez (2019) el rendimiento de excavadora 336 FL CAT según catálogo es de 356,4 m³/h, mientras que el rendimiento de la excavadora 336 FL CAT obtenido en el campo fue de 326,27 m³/h; de ello se infiere que la excavadora 336 FL CAT está trabajando en un 91,55% de su máximo rendimiento.

Lo determinado por Marín (2015) indica que existen diferencias significativas en la productividad del equipo de carguío en frentes donde se planificó el lastre; e.i., en las palas Hitachi 4 y 7 se incrementó la productividad de 69 a 91%. Mientras que Martínez (2019) revela que la correcta distribución de volquetes en cada frente de carguío, contribuye a que la excavadora tenga un desempeño óptimo del rendimiento, logrando

obtener un rendimiento de 356 m³ /h; lo cual permite mover un mayor tonelaje de material (mineral y desmonte) por día, logrando tener un incremento del 9% (326 m³/h – 356 m³/h) al reducir las colas en los frentes de carguío, no obstante con estos resultados no se logró con la meta propuesta para el año 2018.

Evaluación económicamente el nivel de la productividad al aplicar el Minado Estacional en minería a tajo abierto.

Al aplicar el minado estacional en minería superficial, se puede reducir los costos operativos unitarios relativos a la etapa de carguío, lo mostrado en la tabla 35 indica que el costo en temporada seca se reducen en un promedio de 36% respecto a la temporada de lluvia, de acuerdo con Ramírez y Chávez (2019) es posible reducir los costos de operación en las labores de movimiento de materiales aplicando un minado estacional. Es decir, se debe priorizar el desarrollo productivo de los equipos de Carguío y Acarreo con un planeamiento en época de sequía (periodo: abril - setiembre). Además, desde el punto de vista económico explotar en época seca disminuye el costo de \$/ton respecto a la época húmeda, esto alude a que el costo en época de lluvia es considerablemente elevado considerando el costo de lastre, si lo multiplicamos por los 6 meses más lluvia el costo tomaría un valor de \$1,069,487.88; lo que implica un costo adicional para la extracción de mineral.

Según Marín (2014) en la fase de carguío, la planificación y uso del lastre genera ahorros y más importante es la oportunidad de incrementar la producción onzas con la misma flota. Asimismo, pudo estimar el aumento de la producción para la pala 4 y 7, lo que significa alrededor de 1 millón de dólares por pala por día. Por su parte

Martínez (2019) obtuvo una reducción de los costos de las operaciones unitarias de carguío en promedio de 1,09% (Carguío; 21.79 \$/Tm – 21.05 \$/Tm) al disminuir las demoras, permitiendo ahorrar al año 375,831.54\$ en mineral y 250,421.28 \$ en desmonte. Por ende, se logrará mejorar la economía de las empresa mineras.

Luego del análisis de la información de las fuentes presentadas, y de acuerdo al resumen de la tabla 35, podemos inferir que las hipótesis planteadas son aceptables, puesto que al aplicar un minado estacional se esperaba reducir las demoras en 20%, aumentar el rendimiento en 15%, y los costos de producción en 20%; los resultados en promedio muestran resultados más eficientes, en promedio se observa que las demoras se reducen en 35%, la, el rendimiento aumenta en 41%; el rendimiento real difiere en 35% del teórico, en equipos de carguío, y económicamente hablando los costos de producción se minimizaron en 36%. Cabe mencionar también que, una de las estrategias ante un déficit en la correcta distribución del número de volquetes en cada frente, es disminuir el número de equipos de carguío de cada frente; las colas en los frentes de carguío, genera una pérdida de producción y un elevado costo de transporte, incluso llegando afectar el rendimiento de la excavadora.

De acuerdo con lo presentado, se aprecia que la hipótesis formulada se cumple, es decir, Al aplicar un minado estacional, sí se incrementa el rendimiento de los equipos de carguío en Minería a Tajo Abierto, lo cual se refleja en que las demoras operativas en la etapa de carguío antes y después de realizar el Minado Estacional en minería a tajo abierto, no se reducirán en 20% sino en 35%, luego de realizar la evaluación comparativa del rendimiento y productividad de los equipos de carguío antes y después de realizar el Minado Estacional en minería a tajo abierto, no se verá un incremento en

15% sino en 45%, por último, económicamente el nivel de la productividad al aplicar el Minado Estacional en minería a tajo abierto, no mejorará en 20% sino en 36% . por tanto, los resultados son mejores a los esperados.

4.2 Conclusiones

Al aplicar un minado estacional, visto en los estudios revisados se incrementa el rendimiento de los equipos de carguío en Minería a Tajo Abierto, lo cual se refleja en una mejor producción, en la reducción de demoras operativas, en la disminución de los costos operativos, y por ende en la obtención de una mejor rentabilidad del proyecto minero. Por tanto, la productividad y rendimiento de los equipos en las operaciones constituyen indicadores de éxito en las empresas mineras.

Las demoras operativas en la etapa de carguío antes y después de realizar el Minado Estacional en minería a tajo abierto se reducen en 35%, siendo las más significativas espera por camiones, abastecimiento de combustible y cambio de frente; por ello, la minimización de tiempos improductivos logra la disminución de horas de demora en carguío.

La evaluación comparativa del rendimiento de los equipos de carguío antes y después de realizar el Minado Estacional en minería a tajo abierto implica un incremento del mismo en 41%, en promedio, sin embargo, el rendimiento real es muy inferior al rendimiento teórico, en 35% en promedio.

La evaluación económica del el nivel de la productividad al aplicar el Minado Estacional en minería a tajo abierto, en las fuentes revisadas conlleva a concluir que en las temporadas de sequía los costos se reducen en promedio de 36% con relación a la temporada de lluvia.

Considerando un adecuado control y manejo de las demoras operativas; logró incrementar el rendimiento y la Productividad Operativa de carguío

Limitaciones

En la presente investigación se ha tenido como limitaciones ciertas restricciones de información por derechos de autor, donde solo presentan un resumen y no se muestra el contenido completo, además de la no facilidad de información de empresas mineras que vienen ejecutando proyectos extractivos, especialmente relativos al incrementa el rendimiento de los equipos de carguío en Minería a Tajo Abierto; además de que el minado estacional aún es poco conocido.

Recomendaciones

Se recomienda a la comunidad investigadora que se inclina por la actividad minera la aplicación de esta propuesta, dado que permitirá disminuir los tiempos de pérdidas operacionales y de las demoras no programadas, junto con un control óptimo de los indicadores de carguío. Esto repercute en recuperar tiempo efectivo, lo que aumentaría considerablemente en el incremento del rendimiento de los equipos de carguío.

REFERENCIAS

- Ammara, R., Fradette, L., & Paris, J. (2016). Equipment performance analysis of a Canadian Kraft mill. Part I: Development of new key performance indicators (KPI). *Chemical Engineering Research and Design*, 115, 160-172.
<https://doi.org/10.1016/j.cherd.2016.09.019>
- Apaza, E.D. (2017). *Disminución de tiempos improductivos para incrementar la utilización de los equipos de carguío y acarreo en la mejora continua de la productividad en el tajo Chalarina en Minera Shahuindo S.A.C.* (Tesis de grado). Universidad Nacional de Trujillo, Perú.
- Barrientos, V.M. (2014). *Análisis de factores operacionales en detenciones y productividad de sistema de carguío y transporte en minería a cielo abierto* (Tesis de grado). Universidad de Chile.
- Bonzi, J.I. (2016). *Propuestas de mejora de la utilización efectiva en base a disponibilidad de la flota de carguío y transporte en Minera Los Pelambres* (Tesis de grado). Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Calua, F. (2019). *Propuesta de minimización de tiempos improductivos para una mayor producción en carguío y acarreo en CIA. Minera Coimolache S.A.* (Tesis de grado). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- Chiriboga, M.I., Pillasagua, J.L. y Santos, E. (2015). Rendimiento de equipo pesado para la explotación de una cantera de cielo abierto. Caso práctico: Cantera Borcons. *Escuela Politécnica del Litoral*, 1- 7. Disponible en <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/15991>

- Chuctaya, D.J. y Larota, M.E. (2020). *Optimización de Carguío y Transporte en tiempo real mediante el Software Jmineops en Minería Superficial – Caso de Estudio* (Tesis de grado). Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2010). *Metodología de la Investigación*. México. McGraw-HILL.
- Kerlinger, F. (1975). *Enfoque conceptual de la investigación del comportamiento*. México. Interamericana.
- Lòpez, D.S. (2018). Determinación de los factores influyentes en el control y la optimización de la productividad operativa de carguío en la operación minera Cerro Corona – Gold Fields (Tesis de grado). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- Malpica, C.F. (2014). *Evaluación de rendimientos de equipos en las operaciones de movimiento de tierras en el minado Cerro Negro Yanacocha – Cajamarca* (Tesis de grado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca.
- Marín, C.A. (2015). *Incremento de la productividad en el carguío y acarreo en frentes que presentan altos contenidos de arcillas al utilizar un diseño de lastre adecuado, Minera Yanacocha, Perú, 2015* (Tesis de grado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca.
- Martinez, E.E. (2019). *Mejoramiento de producción del carguío y transporte mediante la teoría de colas en Compañía Minera Los Andes Perú Gold SAC.*(Tesis de grado).Universidad del Centro del Perú, Huancayo.
- Mine Sense (2017). *Módulo de operadores de Carguío CP*. Primera Edición. Cajamarca, Perú. 27p.

Orosco, W. G. (2015). *Gestion y mejora del sistema de minado Mina Lagunas Norte*.

Universidad Nacional de Ingeniería., Lima, Perú.

Quiroga Ferruz, P. I. (2016). *Diseño de herramienta computacional para control de KPI de operadores de carguío y transporte – Mina Los Bronces* (Tesis de grado).

Universidad de Chiile.

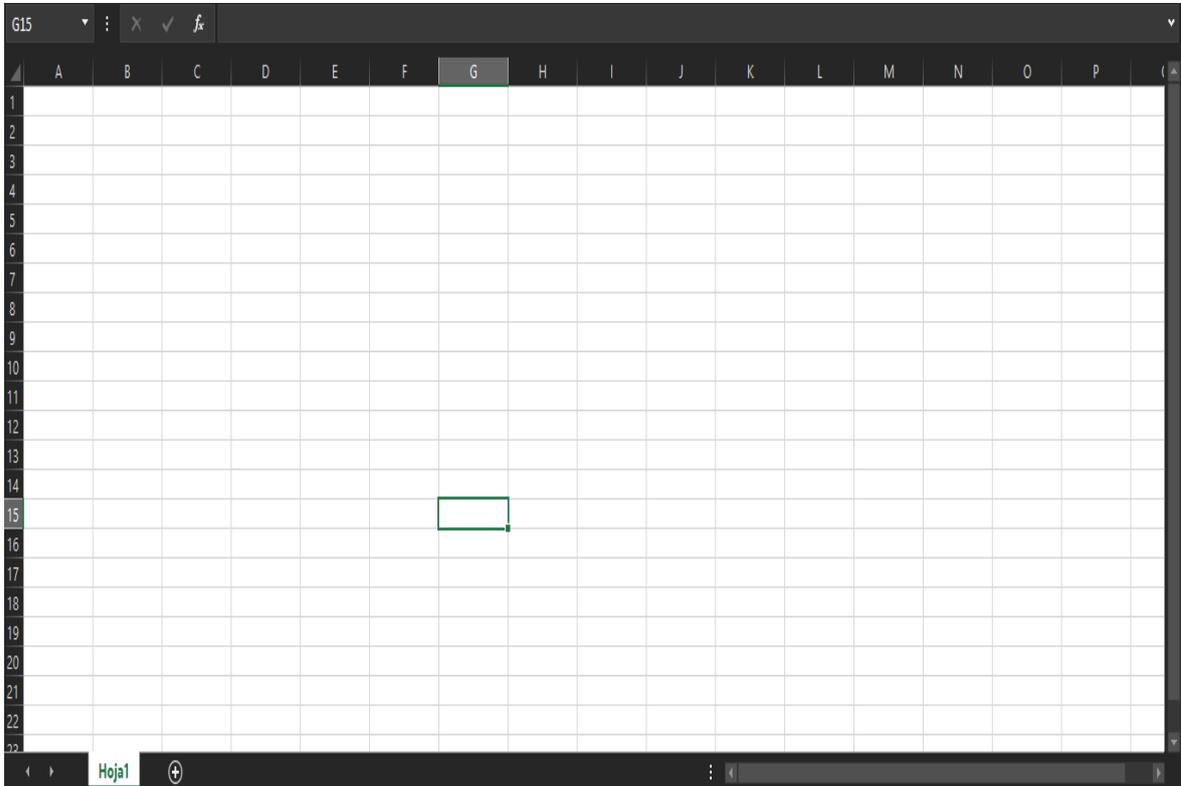
Ramos Caviedes, D. O. (2012). *Evaluación tecnica-economica en la selección de equipos de carguío y acarreo en minería a cielo abierto* (Tesis de grado). Universidad

Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Ramírez, A.B. y Chávez, E.P. (2019). *Incremento del rendimiento de equipos de carguío para el mejoramiento productivo, mediante la aplicación de minado estacional en el Tajo La Quinoa, Yanacocha, Cajamarca 2019* (Tesis de grado). Universidad

Privada del Norte, Cajamarca.

Anexo 1. Hoja de cálculo de Excel



Anexo 2. Formato para selección de proyectos mineros, según autor de investigación

| Autor | Año | Proyecto Minero |
|-------|-----|-----------------|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | |

Anexo 1. Formato para comparación de resultados

| Indicador | Autor | Unidad | Temporada de lluvia | Temporada de estiaje | Variación | Promedio de variación |
|-----------------------------|-------|--------|---------------------|----------------------|-----------|-----------------------|
| Demoras de carguío | | | | | | |
| Rendimiento Y productividad | | | | | | |
| Costos | | | | | | |