

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

**“OPTIMIZACIÓN DEL FACTOR DE  
ACOPLAMIENTO PARA REDUCIR COSTOS DE  
PRODUCCIÓN DE MINERAL EN UNA MINA A TAJO  
ABIERTO, 2023”**

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero de Minas**

**Autores:**

Johann Andre Aguirre Peralta  
Jason Anthony Moncada Aguilar

**Asesor:**

Wilson Carlos Gómez Hurtado  
<https://orcid.org/0000-0002-3434-3664>

Trujillo - Perú

## JURADO EVALUADOR

|                           |                                     |                 |
|---------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| Jurado 1<br>Presidente(a) | <b>Eduardo Manuel Noriega Vidal</b> | <b>43236142</b> |
|                           | Nombre y Apellidos                  | N° DNI          |

|          |                                   |                 |
|----------|-----------------------------------|-----------------|
| Jurado 2 | <b>Jorge Omar Gonzales Torres</b> | <b>43703713</b> |
|          | Nombre y Apellidos                | N° DNI          |

|          |                                      |                 |
|----------|--------------------------------------|-----------------|
| Jurado 3 | <b>Ronald Antonio Alvarado Obeso</b> | <b>44562630</b> |
|          | Nombre y Apellidos                   | N° DNI          |

## OPTIMIZACIÓN DEL FACTOR DE ACOPLAMIENTO PARA REDUCIR COSTOS DE PRODUCCIÓN DE MINERAL EN UNA MINA A TAJO ABIERTO, 2023

### INFORME DE ORIGINALIDAD



### FUENTES PRIMARIAS

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <a href="http://www.dspace.unitru.edu.pe">www.dspace.unitru.edu.pe</a><br>Fuente de internet | <b>7%</b> |
| <b>2</b> | <a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a><br>Fuente de internet     | <b>3%</b> |
| <b>3</b> | <a href="http://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a><br>Fuente de internet   | <b>2%</b> |
| <b>4</b> | <a href="http://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a><br>Fuente de internet         | <b>1%</b> |
| <b>5</b> | <a href="http://repositorio.uchile.cl">repositorio.uchile.cl</a><br>Fuente de internet       | <b>1%</b> |
| <b>6</b> | <a href="http://repositorio.unc.edu.pe">repositorio.unc.edu.pe</a><br>Fuente de internet     | <b>1%</b> |
| <b>7</b> | <a href="http://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a><br>Fuente de internet     | <b>1%</b> |
| <b>8</b> | <a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a><br>Fuente de internet             | <b>1%</b> |

## **DEDICATORIA**

A Dios y a mis padres que me apoyaron en todo el camino. Donde todo esfuerzo es parte de un sacrificio y perseverancia, por sus consejos y por hacer de mí una buena persona.

Aguirre Peralta, Johann André

A Dios y a mis padres por todo el apoyo que me han brindado durante mi etapa universitaria, por ser la base que me ha hecho cada vez más fuerte y poder cumplir cada uno de mis metas.

Moncada Aguilar, Jason Anthony

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro mayor agradecimiento a Dios por guiarnos por el camino correcto, dándonos una familia maravillosa, por darnos la oportunidad de conocer excelentes docentes y amigos en esta etapa universitaria.

Nuestro especial agradecimiento a nuestros padres por todo el apoyo incondicional y sacrificio que han dado día a día para tener una mejor vida y estudios.

Así mismo a nuestros hermanos y familiares que siempre están brindando su apoyo incondicional en esta etapa importante de nuestras vidas.

**TABLA DE CONTENIDOS**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>JURADO EVALUADOR .....</b>                      | <b>2</b>  |
| <b>DEDICATORIA.....</b>                            | <b>4</b>  |
| <b>AGRADECIMIENTO .....</b>                        | <b>5</b>  |
| <b>TABLA DE CONTENIDOS .....</b>                   | <b>6</b>  |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>                      | <b>7</b>  |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>                     | <b>9</b>  |
| <b>RESUMEN .....</b>                               | <b>10</b> |
| <b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>              | <b>11</b> |
| <b>1.1. Realidad problemática .....</b>            | <b>11</b> |
| <b>1.2. Formulación del problema .....</b>         | <b>19</b> |
| <b>1.3. Objetivos.....</b>                         | <b>19</b> |
| <b>1.4. Hipótesis .....</b>                        | <b>19</b> |
| <b>CAPITULO II: METODOLOGÍA .....</b>              | <b>20</b> |
| <b>CAPITULO III: RESULTADOS .....</b>              | <b>23</b> |
| <b>CAPITULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b> | <b>33</b> |
| <b>REFERENCIAS.....</b>                            | <b>37</b> |

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1</b> Resumen de análisis estadístico .....  | 31 |
| <b>Tabla 2</b> Análisis estadístico .....   | 31 |
| <b>Tabla 3</b> Resultados de los tiempos promedios en el ciclo de carguío del mes de octubre,<br>2021 .....   | 47 |
| <b>Tabla 4</b> Resultados de los tiempos promedios en el ciclo de carguío del mes de noviembre,<br>2021 ..... | 48 |
| <b>Tabla 5</b> Resultados de los tiempos promedios en el ciclo de carguío del mes de diciembre,<br>2021 ..... | 49 |
| <b>Tabla 6</b> Distancia de la vía recorrida por los camiones .....   | 50 |
| <b>Tabla 7</b> Tiempo promedio del ciclo de transporte, octubre 2021 .....                                    | 51 |
| <b>Tabla 8</b> Tiempo promedio del ciclo de transporte, noviembre 2021 .....                                  | 52 |
| <b>Tabla 9</b> Tiempo promedio del ciclo de transporte, diciembre 2021 .....                                  | 53 |
| <b>Tabla 10</b> Tiempo promedio del ciclo de transporte, día y noche mensual 2021 .....                       | 54 |
| <b>Tabla 11</b> Tiempo promedio mensual del ciclo de carguío y transporte, 2021 .....                         | 54 |
| <b>Tabla 12</b> Factor de acoplamiento real, 2021 .....   | 55 |
| <b>Tabla 13</b> Factor de acoplamiento, alterando el número de volquetes – 17 unidades.....                   | 55 |
| <b>Tabla 14</b> Factor de acoplamiento, alterando el número de volquetes – 16 unidades.....                   | 56 |
| <b>Tabla 15</b> Factor de acoplamiento, alterando el número de volquetes – 15 unidades.....                   | 56 |
| <b>Tabla 16</b> Costos de posesión y operación del equipo de carguío .....                                    | 57 |

|                 |   |    |
|-----------------|---|----|
| <b>Tabla 17</b> | Resumen de costos horarios totales del equipo de carguío..... | 58 |
| <b>Tabla 18</b> | Costos de posesión y operación del equipo de transporte ..... | 58 |
| <b>Tabla 19</b> | Resumen de costo horario total del equipo de transporte ..... | 60 |
| <b>Tabla 20</b> | Costo mensual de 18 volquetes.....                            | 60 |
| <b>Tabla 21</b> | Costo mensual de 16 volquetes.....                            | 60 |
| <b>Tabla 22</b> | Resumen de costos de 18 y 16 volquetes.....                   | 60 |



|                  |   |    |
|------------------|---|----|
| <b>Figura 1</b>  | Tiempo promedio del cargador frontal L260H mes octubre, 2021 .....    | 23 |
| <b>Figura 2</b>  | Tiempo promedio del cargador frontal L260H mes noviembre, 2021 .....  | 24 |
| <b>Figura 3</b>  | Tiempo promedio del cargador frontal L260H mes diciembre, 2021 .....  | 24 |
| <b>Figura 4</b>  | Tiempo promedio de los volquetes mes octubre, 2021 .....              | 25 |
| <b>Figura 5</b>  | Tiempo promedio de los volquetes mes noviembre, 2021 .....            | 26 |
| <b>Figura 6</b>  | Tiempo promedio de los volquetes mes diciembre, 2021 .....            | 26 |
| <b>Figura 7</b>  | Tiempo promedio mensual del ciclo de carguío y transporte, 2021 ..... | 27 |
| <b>Figura 8</b>  | Factor de acoplamiento real 2021 con 18 volquetes .....               | 28 |
| <b>Figura 9</b>  | Factor de acoplamiento de los volquetes.....                          | 29 |
| <b>Figura 10</b> | Número óptimo de unidades de transporte.....                          | 29 |
| <b>Figura 11</b> | Curva de producción Teórica .....                                     | 63 |
| <b>Figura 12</b> | Curva de producción real .....  | 63 |

## RESUMEN

El objetivo general de la presente investigación fue, optimizar el factor de acoplamiento para reducir los costos de producción en una mina a tajo abierto en 2023. La metodología aplicada fue cuantitativa de diseño no experimental de tipo descriptivo de corte transversal. Para la comprobación de hipótesis se utilizó ANOVA dando como resultado un estadístico de prueba  $F=754,3$  y un  $F$  (valor crítico) de  $7,7$ . El factor de acoplamiento óptimo fue de  $1,02$  muy cercano a la unidad, por ende, este expresa mejor los resultados, determinando que una flota con 16 unidades de transporte se logra optimizar el ciclo de carguío y transporte para evitar pérdidas por tiempo de espera, sobredimensionamiento y mejorar la producción. Los costos de producción de mineral indicaron que para 18 unidades de transporte fue de US\$ 1,651,371,75 entre los meses de octubre a diciembre de 2021, asimismo, los costos de producción de mineral para 16 unidades fueron de US\$ 1,467,886,00 entre los meses de octubre a diciembre de 2021. Finalmente se concluyó que con la optimización del factor de acoplamiento se puede reducir los costos de producción de mineral, en la investigación se obtuvo una reducción de US\$ 183,485,75 entre los meses de octubre a diciembre de 2021.

**PALABRAS CLAVES:** Factor de acoplamiento, número de volquetes, sobredimensionamiento, flota, ciclo de carguío y transporte.

### **1.1. Realidad problemática**

La optimización del factor de acoplamiento en una mina a tajo abierto es un tema de investigación relevante en la industria minera a nivel internacional, nacional y regional. De acuerdo con la Comisión Europea (2021), la optimización de la cadena de suministro en la minería es clave para mejorar la eficiencia y reducir costos de producción de mineral. Asimismo, el Ministerio de Energía y Minas del Perú (2020) reconoce la importancia de implementar tecnologías y mejorar la rentabilidad de las empresas. En la región de La Libertad la Cámara de Comercio y Producción de la Libertad (CCPLL) destaca la importancia de la minería en la economía regional y la necesidad de mejorar la eficiencia en los procesos mineros para aumentar la competitividad.

Herrera (2019) señala que el factor de acoplamiento se utiliza para optimizar la producción y reducir los costes en la industria minera. Huarocc (2014) señaló que el coste de producción más bajo se obtiene con factores de acoplamiento cercanos a la unidad, pero inferiores a ella. Un factor de acoplamiento más alto significa que la producción de equipos de transporte se ajusta mejor a la producción de equipos de carga, lo que se traduce en una mayor productividad. El factor de acoplamiento es utilizado por muchas décadas, cuyo propósito es el cálculo adecuado de la flota de unidades de transporte, suponiendo tiempos promedios fijos de operación (Castillo, 2014).

Con respecto a los costos de producción, en la minería incluyen los materiales, la mano de obra y los gastos indirectos necesarios para la evaluación del producto (Cruzat, 2008). Los costos de minado deben ser distribuidos a los productos que se procesarán en la planta, la cuenta de naturaleza deudora se obtiene por la suma de los tres elementos del costo:

materiales, mano de obra y gastos indirectos. Los factores que influyen en los costos de producción de mineral incluyen la caída de la ley del mineral, el aumento de los costos y la baja en la eficiencia (Ramos, 2021).

Una minera a tajo abierto enfrenta dificultades en la asignación óptima del número de volquetes para el transporte de material en la unidad minera. Esta situación se convierte en un factor crítico para la producción, ya que puede generar cuellos de botella en el proceso productivo. Además, la asignación incorrecta de unidades de transporte puede afectar la capacidad productiva de los cargadores y repercutir negativamente en todo el proceso. Para poder solucionar este problema, se empleará la metodología del factor de acoplamiento o “match factor”, que se refiere a la relación entre la producción máxima de los equipos de carguío y acarreo para poder reducir los costos de producción de mineral.

Para el presente estudio de investigación se ha recopilado antecedentes internacionales, los cuales se detallan a continuación:

Según González (2018) en su investigación tuvo como objetivo principal proponer un modelo de cálculo de flota para lograr el cumplimiento requerido en el plan de producción. Los resultados obtenidos fueron que al utilizar el software Vulcan calcula las nuevas distancias de ciclo, siendo analizadas en Solver de Excel calculando la distribución de los camiones. Finalmente concluyo que el modelo manual si funciona, asignando los equipos de carguío para cumplir la meta planteada a corto plazo en cada fase. Asimismo, el modelo también fue capaz de estimar el tonelaje que puede cargar cada equipo de carguío.

Además, se ha recopilado para esta investigación antecedentes nacionales:

Chilon (2021) en su estudio tuvo el objetivo principal de optimizar el ciclo de carguío y acarreo de transporte de material en proyectos mineros de la empresa Consorcio Chaquicocha SRL. Los resultados obtenidos indicaron que en la investigación la ruta de

acarreo fue dividida en 4 tramos. El tramo 01 con una distancia de 1,09km, el tramo 02, 03 y 04 con una distancia de 0,80; 1,72 y 0,90 km. Finalmente se llegó a la conclusión que en el tramo 03 la velocidad de los volquetes fue de 14 km/h y 16 km/h (cargado) y de 24 km/h y 27 km/h (vacío) esto es debido al mal estado de la vía y esto afecta a la producción diaria.

Según Anchiraico y Rojas (2020) en su investigación tuvo como propósito principal optimizar los tiempos improductivos en el proceso de acarreo en las labores de explotación de Over Cut and Fill a través de Six Sigma. Los resultados obtenidos indicaron que se tenía 5 volquetes y mediante la simulación con GPSS para la obtención de flota óptima se demostró que se debería de adquirir 1 volquete. Con el incremento del volquete y la elaboración del By Pass se obtuvo un incremento del 37,97% de tonelaje movido de material.

Donde Ramos (2018) en su estudio tiene el propósito de determinar un número óptimo de unidades de transporte en minería superficial para un equipo de carguío en los distintos frentes de trabajo, vienen a ser situaciones en las cuales se debe contar con un equilibrio en eficiencia y rendimiento de los equipos, que conllevará a maximizar la producción a un mínimo costo, siendo el factor de acoplamiento una metodología que permite determinar el número óptimo de unidades asignadas a un equipo de carguío. Después de aplicar el factor de acoplamiento determinó el número óptimo de 13 volquetes, que demostraron un sobredimensionamiento en uno de la flota de equipos de transporte.

Según Romero (2021) menciona en su investigación que el carguío y transporte es el proceso más influyente en los costos de operación (45% al 65% del costo mina), por lo que es de gran importancia garantizar un ambiente de operación apto y salvaguardar la integridad de los trabajadores para lograr los mejores rendimientos de los equipos involucrados, tanto en la parte humana (operadores, mantenedores y jefes de turno, etc.), como en la parte física (material, equipos, mantención, disponibilidad e insumos, etc.).

En el estudio de Malimba (2019) indica que el acople entre las unidades de carguío y transporte están en función del tiempo del ciclo de operación y la producción programada, es así que, usando volquetes de 15 m<sup>3</sup> y excavadoras CAT 336DL de 3 m<sup>3</sup> de capacidad de cuchara adecuándose a un diseño de transporte optimo, se logró un ahorro de 0,64 \$/ton.

Además, se ha recopilado para esta investigación antecedentes regionales:

En la investigación de Gurreonero (2021) el objetivo principal fue optimizar los tiempos de carguío y acarreo en la empresa la Arena, Huamachuco – La Libertad. La metodología fue de tipo aplicada con diseño experimental. Los resultados obtenidos fueron que el tiempo de ciclo de carguío y acarreo fue de 1,30 minutos y 42,22 minutos respectivamente, así mismo los resultados de los tiempos promedios del MTBS, MTTR. MTBF y DM fueron de 37,20; 5,77; 42,13 y 86,58% respectivamente. Finalmente llegó a la conclusión que el factor de acoplamiento en el PAD y desmonte mejoró a 1,07 (3,69%) y 1,09 (3,81%) respectivamente durante los meses de julio y agosto.

Araujo (2018) en su estudio tuvo como objetivo principal optimizar la flota de volquetes en el acarreo, para incrementar la producción. Los resultados obtenidos fueron que para poder dar solución al problema se asignó una flota de volquetes, esto represento una unión entre etapas con el único fin de que cada etapa llegué a optimizarse por separado lograra ser factible para el problema completo, se logró determinar un modelo el cual se aplicó la realidad de la mina logrando una reducción significativa de los costos a 0,57 \$/TM. Finalmente llegó a la conclusión que la herramienta de programación dinámica logró la optimización de volquetes a cada excavadora de la empresa, logrando así un menor costo.

De la cruz (2018) en su estudio, cuyo objetivo principal fue reducir los costos operativos en la operación de carguío y acarreo mediante la optimización de estándares operacionales en una empresa minera. Los resultados obtenidos fueron que, el costo actual

del proceso de carga y transporte fue de S/. 34,716,480,00 (100%) y se recomienda agregar camiones durante el proceso de carga, lo cual se reducirá a S/. 33,523,200,00 (97%), reduciéndose a gran medida en S/. 1,193,280,00 (3%). Finalmente llegó a la conclusión que, al comparar los costos se genera un ahorro de S/. 1,193,280,00 siendo un 3% en el primer año.

Para un mejor entendimiento el presente trabajo de investigación presenta las siguientes bases teóricas.

Factor de acoplamiento (FA) entre equipos de carga y transporte: Se define como un factor que permite determinar el número adecuado de unidades que deben ser utilizados para una unidad de carguío; siendo este problema el que se trata de solucionar a través de un cálculo del factor de acoplamiento o match factor (López et al. 2014). El factor de acoplamiento, dentro de los diferentes modelos desarrollados ha sido utilizado por décadas para el cálculo de la flota de camiones en minería, además de ser considerado como un indicador de productividad; es decir: viene a ser la relación de productividad asociada a un conjunto de equipos de transporte y la productividad del equipo de carguío (Esteban, 2013).

Como es conocido el principal supuesto del modelo viene a ser la homogeneidad de las flotas de transporte, es decir, todos los estos equipos son iguales en tanto en tamaño como sus velocidades teóricas de operación, asimismo, se suponen tiempos promedios fijos de operación que no permiten considerar los efectos de colas que se podría producir durante el ciclo de transporte, por lo tanto, este modelo no considera tiempos de espera por colas, durante el ciclo (Esteban, 2013).

Para poder determinar el número de camiones necesarios se utiliza la formula presentada en el (ver **ANEXO 3**). Se tiene que “N” es el número total de camiones, “n” es el

número total de unidades de carguío, “ $T$ ” es el tiempo de ciclo de cada camión, “ $t$ ” es el tiempo de ciclo de cada pase, “ $X$ ” es el número de camiones por unidad de carguío y “ $P$ ” es el número de pases necesarios para llenar un volquete. Asimismo, el cociente entre el tiempo total del ciclo del volquete, “ $T$ ”, y el tiempo de carga de éste, “ $P.t$ ”, da el número de camiones necesarios, “ $X$ ”, por cada unidad de carguío (López et al. 2014).

Para encontrar el número total de camiones se multiplica el número de camiones “ $X$ ” por el número de equipos de carguío, “ $n$ ”, se tiene que el número total de camiones es igual al total del ciclo de volquete “ $T$ ” multiplicado por el número de equipos de carguío “ $n$ ” y dividido en el tiempo de carga del volquete “ $P.t$ ” (ver **ANEXO 4**).

Para encontrar el factor de acoplamiento se multiplica el número total de volquetes “ $N$ ” por el ciclo de carga del volquete “ $P.t$ ” dividido entre el número total de equipos de carguío “ $n$ ” por el ciclo del volquete “ $T$ ” (ver **ANEXO 5**).

Se puede considerar que “ $t$ ” y “ $T$ ” son valores constantes, en cuanto a valores medidos, si bien dependen de las condiciones de trabajo, de las características de cada máquina y de la eficiencia del operador.

El número de pases por camión, “ $P$ ”, es un número medio constante, esto se determinar y debe cumplirse de acuerdo con el trabajo a realizar. Para el número de unidades de carguío, “ $n$ ”, la producción requerida obliga a recibir el número correspondiente de ellos de forma inmediata, comenzando por el modelo y producción aproximada, (Lopez et al. 2014).

Para el número total de camiones, “ $N$ ”, se determina asignando al factor de acoplamiento su valor óptimo, esto es 1, cuando el factor de acoplamiento es menor a 1 nos



indica sobredimensionamiento de las unidades de carguío que implica la utilización de los camiones mineros, pero una subutilización de las unidades de carguío. En consecuencia, el equipo de carguío no está trabajando a capacidad de fábrica; cuando el factor de acoplamiento es mayor a 1 indica sobredimensionamiento de las unidades de acarreo que implica la máxima utilización de los equipos de carguío, pero genera subutilización de las unidades de transporte. Por ende, se sugiere que la flota de camiones sea más pequeña de lo necesario para mantener cierta productividad y cuando el factor de acoplamiento es igual a 1 indica acoplamiento que corresponde al encaje perfecto entre las unidades de carguío y acarreo. Por ende, el factor de acoplamiento además de brindar información necesaria en cuanto a la productividad de los equipos utilizados muestra de manera gráfica el tamaño de la flota de un equipo en correlación al otro (cargadores versus camiones o viceversa).

Según Gonzáles (2018) menciona que la limitación del modelo de cálculo de flota asume que los equipos son homogéneos con tiempos de espera promedio para los ciclos de las unidades excluyendo los tiempos de espera producidos por la congestión. Para ello, los tiempos en el carguío y transporte se dividen en tiempos fijos, tiempos variables y tiempos muertos. Los tiempos fijos son la cantidad de tiempo que invierte una máquina durante el ciclo. Incluye tiempo de carga, descarga y maniobras durante las operaciones. Todos estos tiempos son bastante constantes, independientemente de la distancia a la que se transporte el material (Cruzat, 2008).

Los tiempos variables son tiempo necesario para el transporte, es decir, tiempo empleado en el acarreo del material y regreso vacío del camión, dependiendo de la distancia hasta zona de vaciado y la velocidad del camión (Cruzat, 2008). Por ende, los tiempos muertos en la operación de minado se generan porque se tiene un exceso de camiones, puesto que estos equipos tienen que esperar su turno para ser cargados por la excavadora. Si hay

menos camiones de los necesarios, se producirá un tiempo de inactividad de la excavadora, aumentando los tiempos de ciclo de los equipos de acarreo y se disminuye la producción por hora, lo que aumentará los costos operativos y el costo por unidad cargada y se adiciona el costo por tener a los equipos de carguío inoperativos (Bazán, 2016).

Saldaña (2013) menciona dos casos en donde se produce tiempos muertos o tiempos no productivos en la operación de carguío y acarreo. El primer caso es cuando el equipo de carguío espera a los camiones, es decir la cantidad de tiempo que la excavadora no tiene camiones, desde la salida del último camión del equipo de carguío, hasta que le marca auto llegada del siguiente camión. El segundo caso es el tiempo de cola (queue time en inglés) es decir, la cantidad de tiempo que los camiones esperan en el frente de carguío haciendo cola para ser cargado. Se mide en porcentaje del tiempo de actividad respecto al tiempo operativo del resto de la flota.

Además, Cruzat (2008) nos dice que hay factores que condicionan el ciclo de carguío y acarreo estableciendo dos grupos condicionantes que se encuentran muy ligados al ciclo de carguío y transporte, estos se dividen en factores para producción y factores para transporte. Donde los factores para producción son la adecuada fragmentación, propiedades del material, condiciones mecánicas y eléctricas del equipo, tracción, velocidad del camión, destreza y habilidad del operador, los factores de acarreo o transporte son la capacidad del equipo, distancia de acarreo, condiciones de la vía y pendientes, resistencia de rodamiento, resistencia a la pendiente, resistencia al viento, resistencia de fricción interna, ciclo de operación y los factores climatológicos.

La investigación se justifica porque permite analizar el factor de acoplamiento para optimizar el ciclo de carguío y acarreo con el objetivo de lograr disminuir los costos de producción de mineral. Como se sabe en las operaciones mineras a tajo abierto los equipos

cumplen un papel muy importante siendo el tiempo requerido un factor principal, es así que un equipo parado, sin operar representa una pérdida de producción, es por eso que se busca optimizar el ciclo de carguío y acarreo para reducir las colas por el exceso de unidades asignadas a un equipo de carguío.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál es la reducción de los costos de producción de mineral en la optimización del factor de acoplamiento en una mina a tajo abierto en 2023?

## **1.3. Objetivos**

Optimizar el factor de acoplamiento para reducir los costos de producción de mineral en una mina a tajo abierto en 2023.

### **1.3.1. Objetivos Específicos**

Analizar los tiempos de carguío y acarreo en una mina de tajo abierto.

Determinar el factor de acoplamiento y el número de camiones óptimo para reducir costos de producción de mineral en una mina de tajo abierto.

Determinar los costos de producción de mineral en minería a tajo abierto.

## **1.4. Hipótesis**

H: La optimización del factor de acoplamiento reduce significativamente los costos de producción de mineral en una mina de tajo abierto.

**CAPITULO II: METODOLOGÍA**

La metodología empleada en esta investigación siguió un enfoque cuantitativo, el cual se centró en la cuantificación y análisis de datos numéricos para responder a las preguntas de investigación planteadas (Hernández et al., 2014). El propósito de este estudio fue aplicado, es decir, buscó utilizar los conocimientos y hallazgos obtenidos para resolver problemas o mejorar situaciones prácticas en el mundo real (Vargas, 2009). En cuanto a su temporalidad, se llevó a cabo de manera longitudinal, lo que permitió realizar un seguimiento y análisis a lo largo del tiempo para identificar posibles cambios y tendencias en las variables de estudio (Botía & Jurado, 2018). En términos de alcance, se trató de una investigación correlacional, lo que implicó analizar las relaciones entre diferentes variables sin manipularlas directamente (Guillen, Sánchez, & Begazo, 2020). Además, se trató de una investigación primaria, ya que los datos fueron recolectados directamente de la fuente original en lugar de basarse en datos secundarios o existentes (Velázquez, s.f). Por último, el diseño de investigación se clasificó como no experimental y descriptivo, ya que tuvo como objetivo describir y analizar fenómenos y variables tal como se presentan en su contexto natural, sin realizar manipulaciones deliberadas ni controlar variables (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2018).

La población está constituida por las unidades de carguío y acarreo de minería subterránea y superficial. La muestra se conformó por las unidades de carguío y acarreo de la minera superficial. En donde se realizó un muestreo probabilístico.

Para la recolección de datos en el trabajo de investigación se emplearán dos técnicas: la observación y el análisis documental. La observación permitirá obtener la información necesaria del ciclo de carguío y transporte de material, mientras que el análisis documental servirá para recolectar información mensual del mismo ciclo. Con estos datos se podrá

determinar el factor de acoplamiento o Match Factor real e ideal, el cual permitirá establecer el número de unidades de transporte adecuado. Además, se utilizarán fichas de observación y hojas de registros para la toma de datos de los tiempos de carguío y transporte.

La presente investigación se ha desarrollado mediante el siguiente procedimiento:

Se realizó una recopilación de datos mediante la técnica de análisis documental utilizando su instrumento de guía de análisis documental para el recojo de información necesaria teniendo orden de secuencia y que aporten información de las variables que delimitan la investigación, desarrollando la búsqueda sistemática que respalda la teoría, mediante tesis, artículos, informes, libros, etc. Asimismo, recolectamos la información de la empresa y sus actividades operativas diarias.

Se procedió a analizar los instrumentos que se realizan en la etapa anterior, es decir se recolecta la información de campo correspondiente a los equipos de carguío y acarreo con los que la contrata cuenta, observando que existen tiempos muertos debido a que hay sobredimensionamiento de flota, para ello se tiene el propósito de determinar el número óptimo de volquetes mediante el factor de acoplamiento, considerando un cargador frontal que optimice el ciclo de acarreo en los meses de octubre noviembre y diciembre.

Finalmente se realizaron los cálculos respectivos y se determinó el número óptimo de volquetes para un cargador frontal, evitando las colas y pérdidas en la productividad y se calculó los costos de producción de mineral en una mina a tajo abierto en 2023.

Para el análisis de datos, la metodología consistió en observaciones in situ para su posterior análisis y explicación de cada rasgo analizado. De manera sistemática, la metodología de investigación consistió en seguir una serie de etapas cronológicas que permitieron el desarrollo de los objetivos planteados, esto quiere decir que el investigador ha seguido un procedimiento sistemático al recopilar información.

Los aspectos éticos que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de la presente investigación fueron:

La investigación respetó los principios éticos de no causar daño, mantener la autonomía intelectual, ser justo con el personal involucrado y emplear una búsqueda sistemática de información relevante. Los objetivos del estudio se plantearon de manera clara y lógica para permitir el desarrollo adecuado de las variables. La honestidad se mantuvo al no falsificar o tergiversar datos, mientras que la responsabilidad se tomó en cuenta considerando los aspectos establecidos por la Universidad Privada del Norte. Todo el proceso se llevó a cabo coordinando y respetando la información brindada por la minera superficial. sin llegar a malos tratos o desacuerdos con el personal.

Responsabilidad, este estudio se ha desarrollado con los principios éticos considerando todos los aspectos establecidos por la Universidad Privada del Norte.

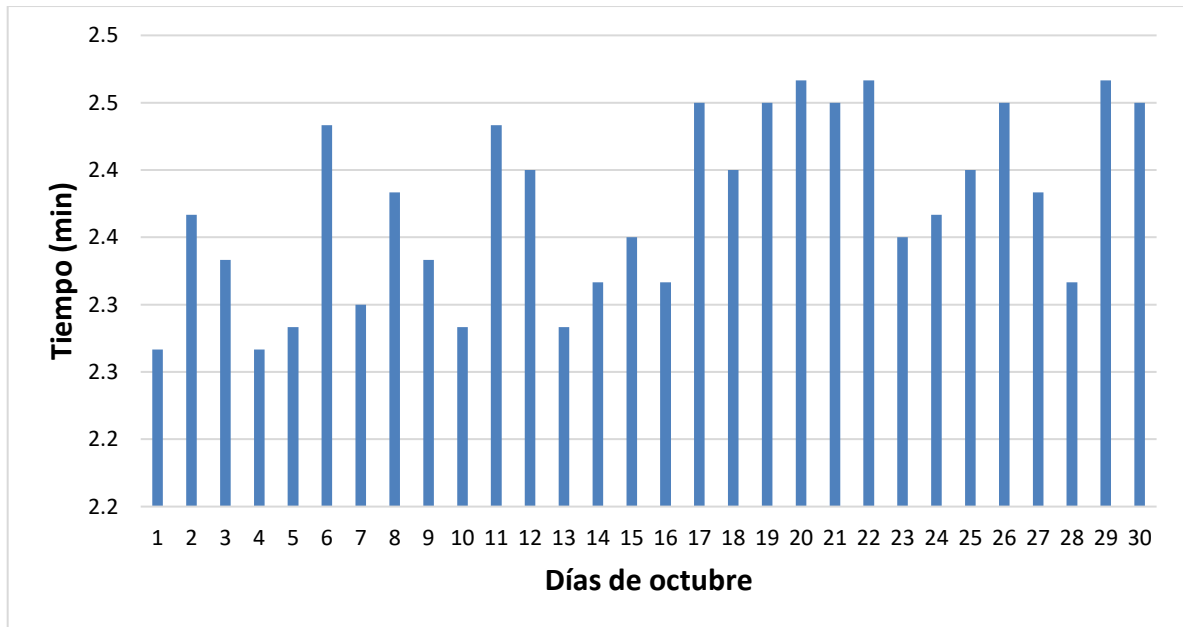
### 3.1. Resultados

#### Objetivo 1: Análisis de los tiempos de carguío y acarreo

Entre los meses de octubre, noviembre y diciembre en la mina SUMMA GOLD S.A.C. se vienen analizando los tiempos promedios del ciclo de carguío que realiza un cargador frontal L260H. En la **Figura 1** se observa que los tiempos empleados el ciclo de carguío en el mes de octubre varia de 2,3 a 2,5 minutos así como también en la **Figura 2** estos tiempos operativos varían de 2,2 a 2,5 minutos en el mes de noviembre y para el mes de diciembre los tiempos varían de 2,2 a 2,5 minutos como se muestra en la **Figura 3**.

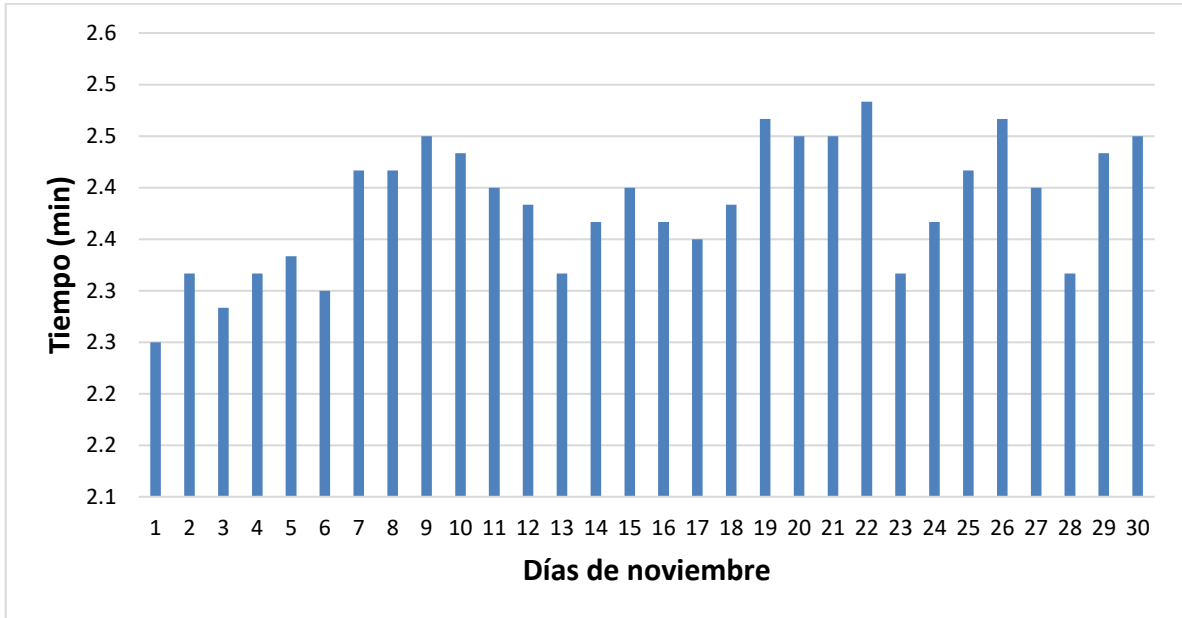
**Figura 1**

*Tiempo promedio del cargador frontal L260H mes octubre, 2021*



*Nota.* Datos calculados de los tiempos de pases en el ciclo de carguío mes octubre (ver **ANEXO 6; Tabla 3**)

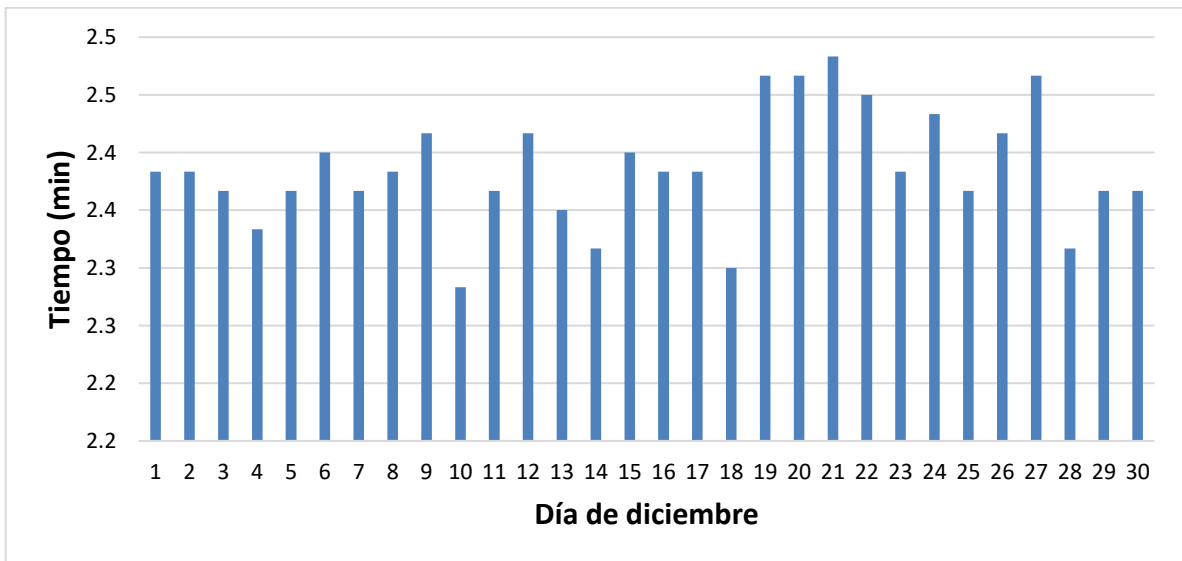
*Tiempo promedio del cargador frontal L260H mes noviembre, 2021*



Nota. Datos calculados de los tiempos de pases en el ciclo de carguío mes noviembre (ver ANEXO 6; Tabla 4)

**Figura 3**

*Tiempo promedio del cargador frontal L260H mes diciembre, 2021*



Nota. Datos calculados de los tiempos de pases en el ciclo de carguío mes diciembre (ver ANEXO 6; Tabla 5)

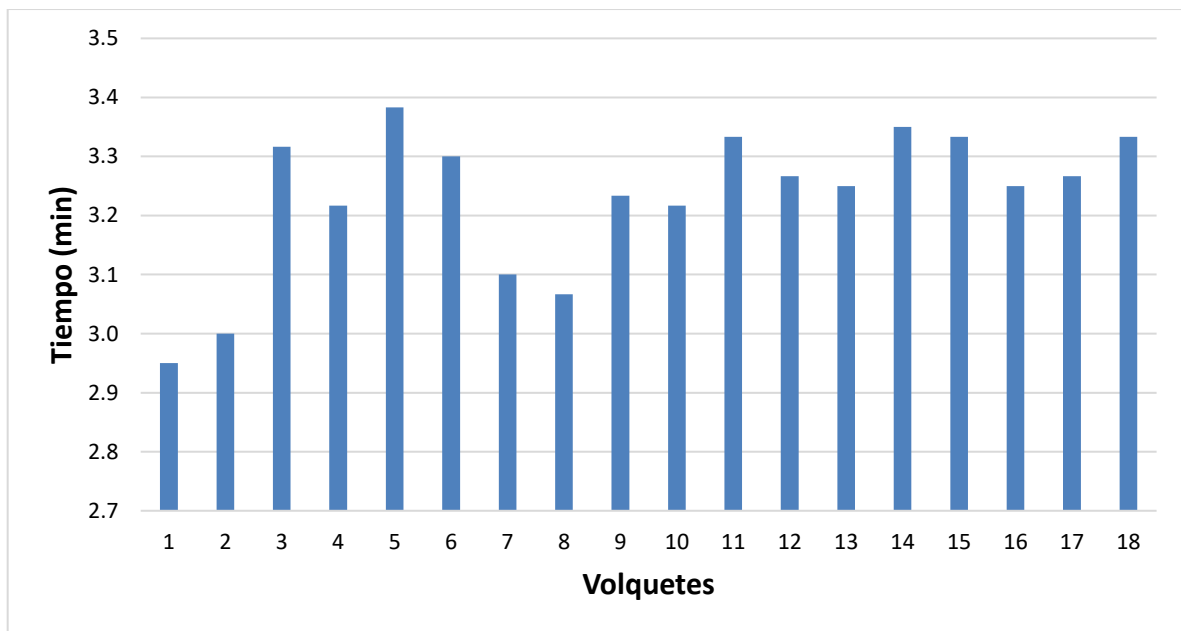


Con respecto a los tiempos del ciclo de transporte de los volquetes en los meses de octubre, noviembre y diciembre. En la **Figura 4** se muestra que el tiempo promedio empleado por los 18 volquetes tanto en turno día como turno noche con los que cuenta la Contrata CEDAR S.R.L. para el carguío de material varían de 2,7 a 3,5 minutos en el mes de octubre. En la **Figura 5**, se muestra que los tiempos también varían de 2,8 a 3,5 minutos para el mes de noviembre y en el mes de diciembre los tiempos varían de 2,7 a 3,6 minutos como se observa en la

**Figura 6**, y en la **Figura 7** se muestra un promedio de los tiempos tanto en el ciclo de carguío como en el ciclo de transporte.

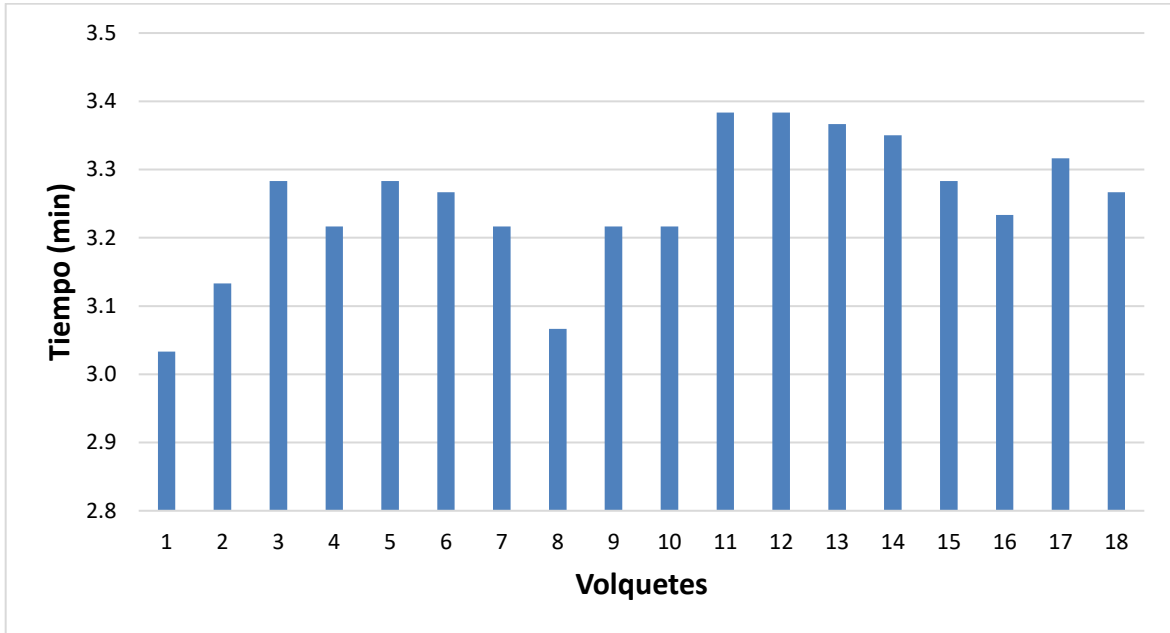
#### Figura 4

*Tiempo promedio de los volquetes mes octubre, 2021*



*Nota.* Datos obtenidos de los tiempos de transporte del mes de octubre (ver **ANEXO 6; Tabla 7**)

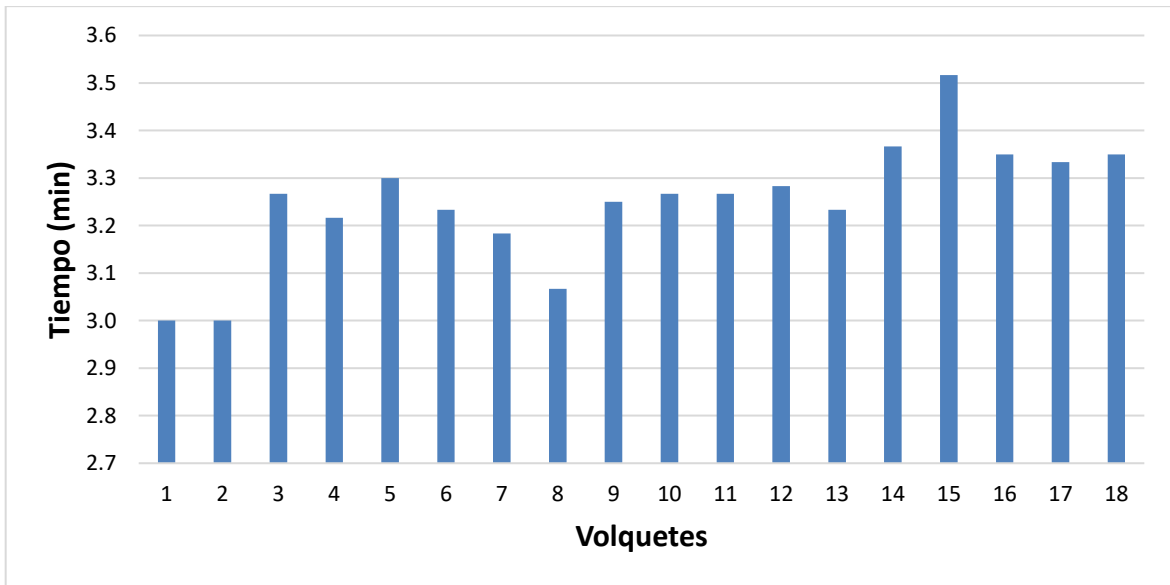
*Tiempo promedio de los volquetes mes noviembre, 2021*



*Nota.* Datos obtenidos de los tiempos de transporte del mes de noviembre (ver ANEXO 6; Tabla 8)

**Figura 6**

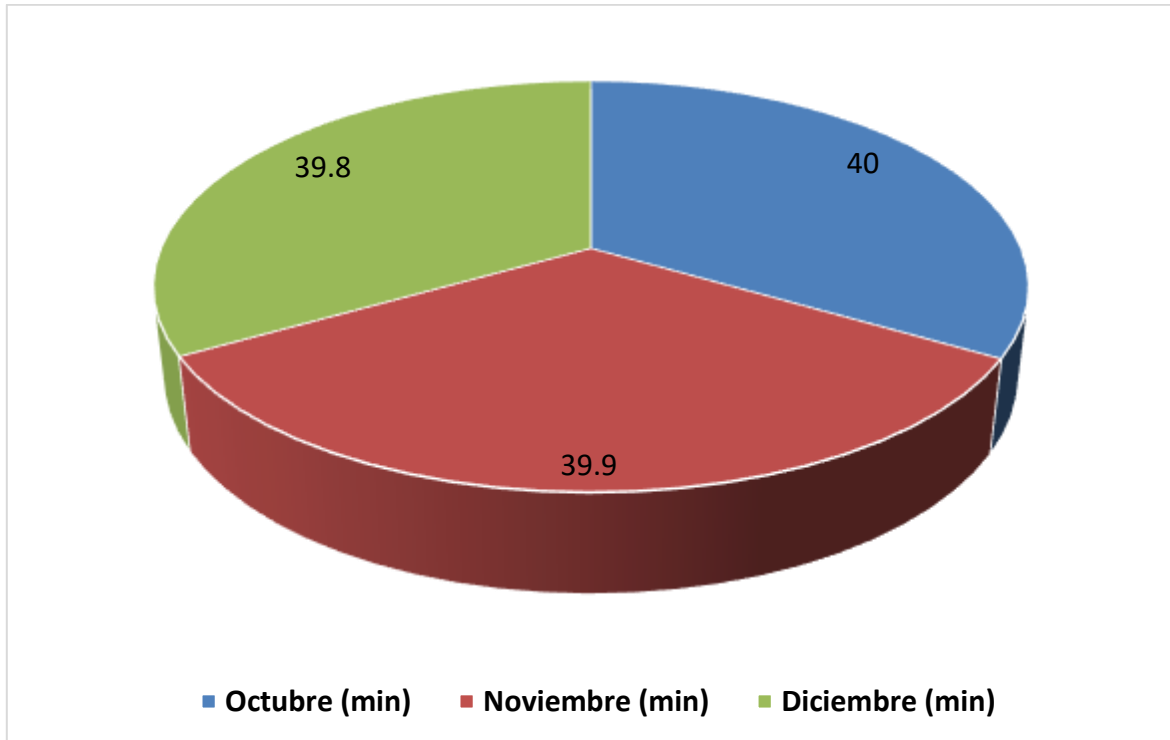
*Tiempo promedio de los volquetes mes diciembre, 2021*



*Nota.* Datos obtenidos de los tiempos de transporte del mes de diciembre (ver ANEXO 6; Tabla 9)

**Figura 7**

*Tiempo promedio mensual del ciclo de carguío y transporte, 2021*



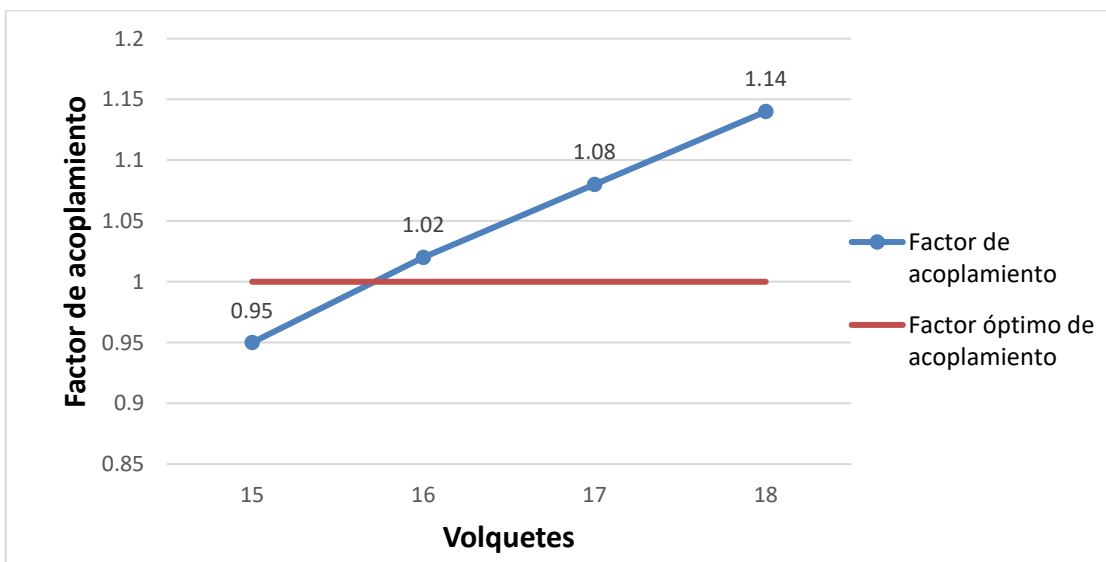
*Nota.* Datos obtenidos del caculo promedio de los tiempos de octubre, noviembre y diciembre 2021 (ver ANEXO 6; Tabla 11)

**Objetivo 2: Determinación del número de camiones y el factor de acoplamiento real y óptimo.**

El factor de acoplamiento real se utilizó los resultados promedios de los tiempos de carguío y transporte (ver **ANEXO 6; Tabla 11**). Como se observa en la **Figura 8** los resultados calculados para 18 volquetes arrojan un factor de acoplamiento real de 1,14 (ver **ANEXOS 7; Tabla 12**), sobre de la unidad que indica el factor de acoplamiento óptimo.

**Figura 8**

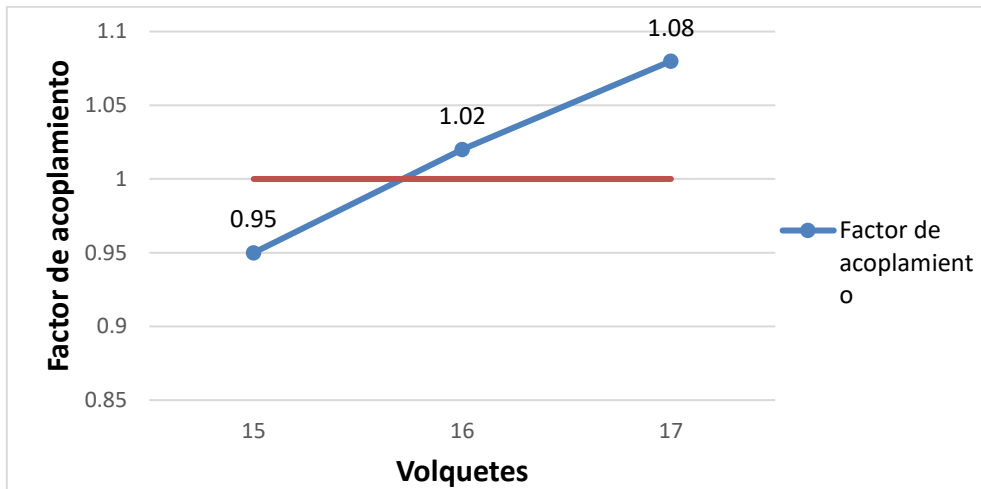
*Factor de acoplamiento real 2021 con 18 volquetes*



*Nota.* Datos obtenidos del cálculo del factor de acoplamiento real (ver **ANEXOS 7; Tabla 12**)

**Figura 9**

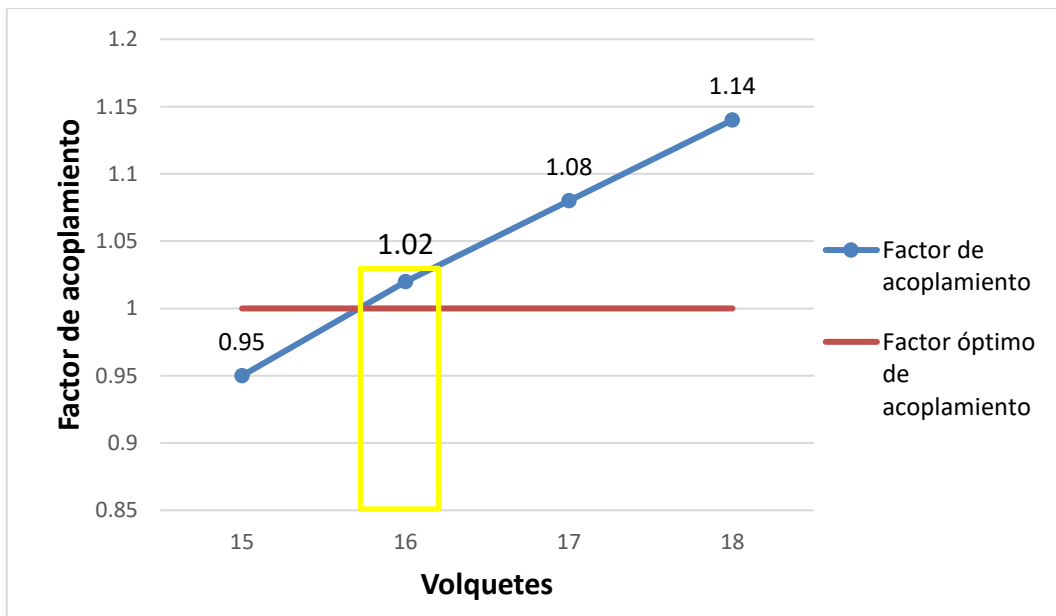
*Factor de acoplamiento de los volquetes*



*Nota.* Datos obtenidos del cálculo del factor de acoplamiento (ver ANEXOS 7; Tabla 13, Tabla 14, Tabla 15)

**Figura 10**

*Número óptimo de unidades de transporte*



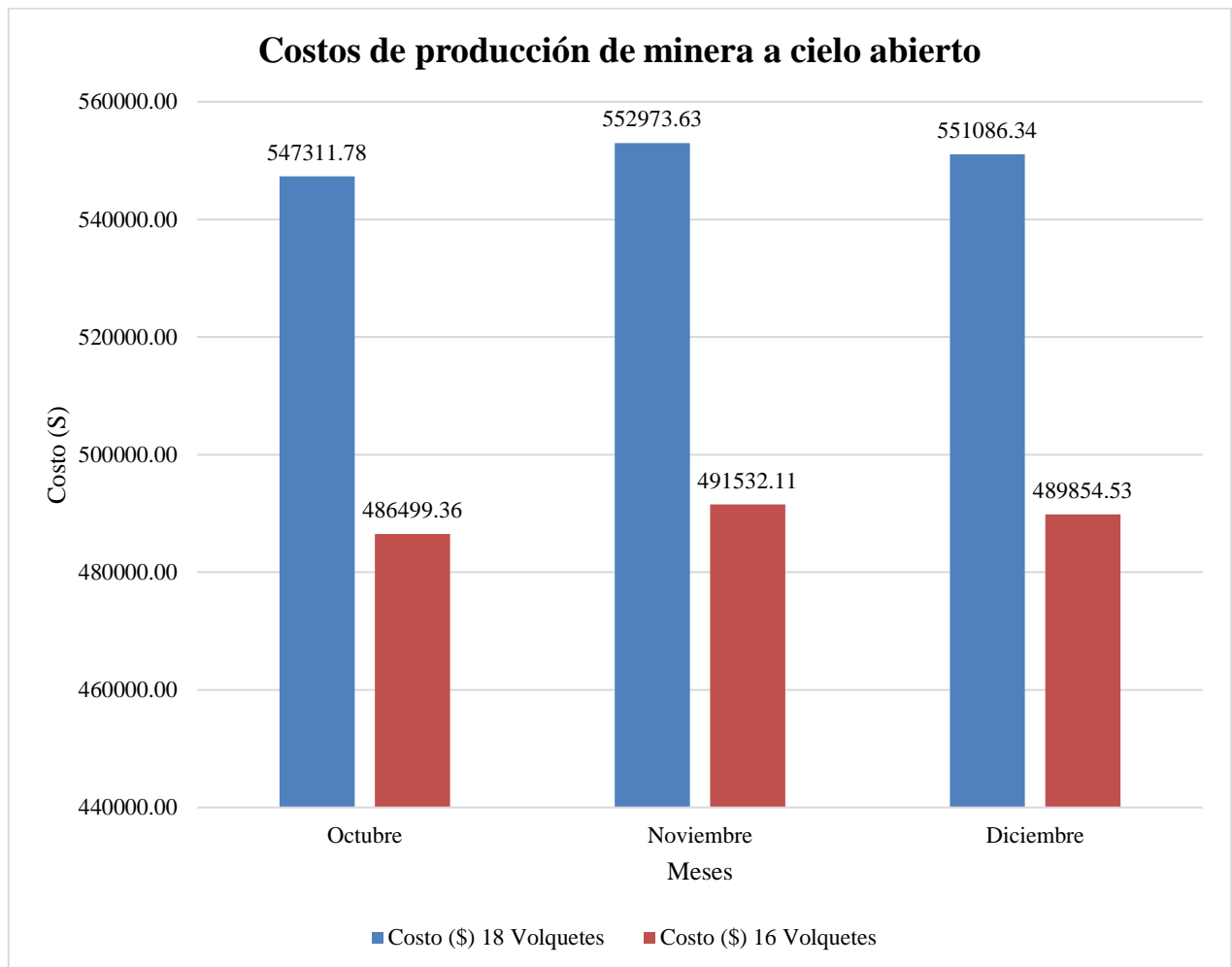
*Nota.* Datos obtenidos del cálculo del factor de acoplamiento (ver ANEXOS 7, Tabla 12, Tabla 13, Tabla 14, Tabla 15)

**Objetivo 3: Determinar los costos de producción de mineral en minería a tajo abierto.**

Se ha determinado los costos de producción de la minera a cielo abierto en los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2021 (Véase **Figura 11**).

**Figura 11**

*Costos de producción de minera a cielo abierto*



*Nota.* Datos obtenidos del cálculo de costos de producción (ver **ANEXOS 8, Tabla 20, Tabla 21 y Tabla 22**)

## Comprobación de la hipótesis

$H_0$ : No es posible optimizar el factor de acoplamiento para reducir costos de producción de mineral en una mina a tajo abierto.

$H_a$ : Si es posible optimizar el factor de acoplamiento para reducir costos de producción de mineral en una mina a tajo abierto.

El nivel de significancia para la comprobación de hipótesis es de 5%, usando un estadístico de prueba ANOVA, demostrando que si el valor de significancia es menor ( $p < 0,05$ ) rechazamos la hipótesis nula, pero si el nivel de significancia es mayor ( $p > 0,05$ ) se acepta la hipótesis alterna.

**Tabla 1**

*Resumen de análisis estadístico*

| Grupos       | Cuenta | Suma       | Promedio    | Varianza    |
|--------------|--------|------------|-------------|-------------|
| 18 Volquetes | 3      | 1651371.75 | 550457.25   | 8310944.478 |
| 16 Volquetes | 3      | 1467886    | 489295.3333 | 6566672.18  |

**Tabla 2**

*Análisis estadístico*

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F     | Prob. | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------|-------|----------------------|
| Entre grupos              | 5611170076        | 1                  | 5611170076                | 754.3 | 1.04  | 7.7                  |
| Dentro de los grupos      | 29755233          | 4                  | 7438808.3                 |       |       |                      |
| <b>Total</b>              | 5640925309        | 5                  |                           |       |       |                      |

Se comprueba que el margen de error de 0,025 para obtener los valores críticos de +/- 7.7 tiene la finalidad de analizar el estadístico F de 754.3, donde este valor posiciona a la

hipótesis nula en la zona de rechazo, de la misma manera el nivel de significancia es menor a 0,05 por ende, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna que señala Si es posible optimizar el factor de acoplamiento para reducir costos de producción de mineral en una mina a tajo abierto.



## CAPITULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos a través del análisis de tiempo de pases en el ciclo de carguío en los meses de octubre, noviembre y diciembre se obtuvo los tiempos de pases originados por el cargador frontal que varían entre 2,2 a 2,5 minutos (ver **ANEXO 6**). Checya y Castillo (2014) mencionan que el tiempo total del ciclo de carguío está dado por la suma total de los tiempos que presentan en la operación y que hay distintos parámetros que influyen en la variación de tiempos que son las distancias, tiempos muertos, el operador y condiciones climáticas.

Se debe tener énfasis en este proceso para el transporte de mineral o desmonte, según lo mencionan, Esteban y Rodríguez, (2013). Para distancias recorridas en el mes de octubre, noviembre y diciembre de los volquetes volvo FMX de 24 m<sup>3</sup> fueron de 12,978; 12,943 y 12,923 kilómetros, respectivamente. El ciclo de transporte obtuvo tiempos promedios para los meses de octubre, noviembre y diciembre de 37, 60; 37,49 y 37,44 minutos. También se obtuvo tiempo de recorrido de 36,05; 35,95 y 35,90; tiempo de descarga de 1,55; 1,54 y 1,54 minutos, siendo el ciclo total en minutos de 39,98; 39,87 y 39,83 (ver **ANEXO 6**).

Checya y Castillo (2014) mencionan que el match factor o factor de acoplamiento es uno de los métodos más utilizados hace muchos años para el cálculo adecuado de la flota de volquetes que influye directamente en la producción y sobre los costos unitarios del proceso de carguío y transporte. Además, Machaca (2017) y Rodán (2014), aportan que, para encontrar el número adecuado de camiones asignados a un equipo de carguío, se calcula mediante el análisis mensual del tiempo del ciclo de carguío y transporte. En relación con

ello el factor de acoplamiento encontrado fue de 1,14 (ver **ANEXOS 7**), este quiere decir que se tiene sobredimensionamiento en las unidades de transporte, puesto que el factor de acoplamiento ideal es de 1. Esto es confirmado por Ramos (2018) cuando nos indica que si el factor de acoplamiento es mayor a la unidad, la eficiencia del carguío es del 100% y la eficiencia de transporte disminuye. Para encontrar el factor óptimo se asignan una unidad menor de volquetes, obteniendo un factor de acoplamiento de 1,08 con 17 volquetes, más cercano a la unidad pero aún refleja sobredimensionamiento en las unidades de transporte, por otro lado, al reducir en dos unidades el factor de acoplamiento es de 1,02 y reduciendo 03 unidades de transporte el factor de acoplamiento es de 0,95 (ver **ANEXOS 7**), mostrando que hay sobredimensionamiento del equipo de carguío, para tener un equilibrio el factor de acoplamiento se considera 1,02 con 16 unidades de transporte.

Con respecto a los costos de producción de mineral, los costos de posesión y operación del cargador frontal fue de 49,72 y 18,66 dolares por hora respectivamente. Asimismo, los costos de posesión y operación de los equipos de transporte fueron de 24,72 y 33,53 dolares la hora respectivamente. El costo mensual de 18 volquetes, en el mes de octubre, noviembre y diciembre de 2021 fueron de 547,311; 552,973 y 551,086 dolares respectivamente. Los costos mensuales de 16 volquetes en los meses de octubre, noviembre y diciembre fueron de 486,499; 491,532 y 489,854 dolares respectivamente. De acuerdo a lo calculado en los costos de 18 y 16 volquetes, se determino que al utilizar mayor cantidad de volquetes se tendria mayores costos en comparación a 16 volquetes, en los meses de octubre, noviembre y diciembre se obtuvo una diferencia de 60,812, 61,441 y 61,231 dolares

respectivamente, indicando que estos montos se entiende como el ahorro generado por no usar 18 camiones sino 16 camiones.

#### **4.2. Conclusiones**

La presente tesis de investigación logró optimizar el factor de acoplamiento para reducir costos de producción en minería a tajo abierto. Siendo el factor óptimo de 1,02; muy cercano a la unidad para 16 unidades de transporte de material, es decir 16 volquetes, lograrán optimizar el ciclo de carguío para evitar pérdidas por tiempo de espera y mejorar la producción.

El presente estudio logró analizar el ciclo actual de tiempos de carguío del cargador L260H, cuyos resultados encontrados varían entre 2,3 a 2,5 minutos. Además, se diagnosticó el tiempo del ciclo de transporte de volquetes volvo FMX de 24m<sup>3</sup>, en el mes de octubre, noviembre y diciembre, que en promedio fue de 37,60; 37,49 y 37,44 minutos; respectivamente.

Se determinó la cantidad de camiones y el factor de acoplamiento real y optimo durante los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2021 el cual fue de 1,12 con un total de 18 camiones a utilizar. Asimismo, se determinó el factor de acoplamiento óptimo, el cual fue de 1,02 muy cercano a la unidad con un total de 16 camiones a utilizar.

Se determinó los costos de producción de mineral al utilizar 18 y 16 volquetes en minería a cielo abierto en los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2021, en donde la diferencia entre usar 18 volquetes y 16 volquetes fue de 60,812,42 dólares para el mes de octubre, 61,441,51 en el mes de noviembre y 61,231,82 dólares en el mes de diciembre, pero

cabe resaltar que los costos pueden variar, dependiendo de cómo se desarrolle la economía del país.

## REFERENCIAS

- Anchiraico, A., & Rojas, K. (2020). *Optimización del sistema de acarreo y transporte en labores de preparación de las zonas de profundización mediante la metodología Six Sigma operada por la E.C.M. Zicsa en la Unidad Minera Inmaculada*. Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Ingeniería de Minas, Lima.
- Araujo, R. (2018). *Optimización de la flota de volquetes en el acarreo, para incrementar la producción en la mina los andes Peru Gold-Huamachuco*. Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo, Ingeniería de Minas, Trujillo.
- Barreto Taípe, L. (2017). *Optimización del número de camiones 785 CAT y cargador frontal 992K CAT mediante el match factor en la ruta mineral-stock pile Antapacay-chancadora Tintaya San Martín Contratistas Generales S.A.* Arequipa: Repositorio Institucional Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Bazán, A. (2016). *Cálculo del número de unidades de la flota de camiones en el tajo abierto San Gerardo, perteneciente a la Compañía Minera Atacocha*. Huancayo-Perú: Universidad Continental.
- Botía, C., & Jurado, T. (2018). El proceso de una investigación cualitativa longitudinal sobre la transición a la maternidad y paternidad en España. *Revista de Metodología de Ciencias Sociales*(41), 33-56.
- Checya, D. (2015). *Gestión de la operación de equipos de movimiento de tierras para mejorar el rendimiento de carguío y acarreo en la mina Antapaccay*. Arequipa-Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

- Chilon, N. (2021). *Optimización del ciclo de carguío y acarreo para evitar tiempos muertos en transporte de material en proyectos mineros de empresa consorcio Chaquicocha SRL*. Tesis de grado, Universidad Privada del Norte, Ingeniería de Minas, Cajamarca.
- Cruzat, A. (2008). *Manual de Cargue y Transporte*. Coquimbo-Chile: Universidad de la Serna.
- De la cruz, H. (2018). *Optimización de los ciclos de carguío y acarreo para reducir los costos operativos en una empresa minera*. Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo, Ingeniería Industrial, Trujillo.
- Echevarria Tovar, J. D., & Samaniego Lazo, M. A. (2020). *Implementación de un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo según la norma internacional ISO 45001 para la planta concentradora Huari-UNCP*. Huancayo: Repositorio Institucional Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Esteban Rodriguez, D. (2013). *Modelo analítico para el dimensionamiento de flota de transporte en minería a cielo abierto: análisis de prioridades de atención según rendimiento*. Santiago de Chile: Repositorio Institucional Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Falen Sánchez, J. (2016). *Rentabilidad en la recuperación de puentes y pilares por el método de explotación de circado en la minería artesanal de la comunidad campesina de Llacuabamba - Parcoy - Pataz - La Libertad*. Trujillo. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3854/FALEN%20SANCHEZ%20JORGE%20EVERARDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- González, V. (2018). *Modelo evaluativo para el cálculo de flota de equipos de carguío y transporte en Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Guillen, O., Sánchez, M., & Begazo, L. (2020). *Pasos para elaborar una tesis de tipo correlacional*. Lima.
- Gurreonero, M. (2021). *Optimización de tiempos de ciclo de carguío y acarreo en la empresa minera la Arena, Huamachuco - La Libertad*. Tesis de grado, Universidad César Vallejo, Ingeniería de Minas, Chiclayo.
- Henández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGRAW-HILL.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. (2018). *Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: Mc Graw Hill Education.
- Herrera, J. (2019). *Introducción a la Minería Subterránea*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
- Huarocc, P. (2014). *Optimización del carguío y acarreo de mineral mediante el uso de indicadores claves de desempeño U.M. Chuco II de la E.M. UPKAR MINING S.A.C*. Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Ingeniería de Minas, Huancayo.
- Lopez, C., García, P., & Hernando, A. (2014). *Manual de transporte con volquetes y diseño de pistas mineras*. Madrid: Gráficas Arias Montano S.A.
- Machaca Cuba, E. (2017). *Selección de equipos de carguío y transporte mediante el factor de acoplamiento para los tres primeros lifts de la reconformación del botadero*

*Jesica en la mina Aruntani.* Puno-Perú: Repositorio Institucional Universidad Nacional del Altiplano.

Marca Saico, L. (2021). *Gestión de mantenimiento para incrementar la productividad en una empresa minera del Sur.* Pimentel. Obtenido de <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/8471/Marca%20Saico%20Luis%20Alberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Olin Echevarría, J. A. (2016). *Análisis de riesgos en exploraciones mineras para implementar un Sistema de Seguridad y Salud en el Ocupacional en el Perú.* Lima, Perú: Repositorio Institucional San Ignacio de Loyola.

Prasad Choudhary, R. (2015). OPTIMIZATION OF LOAD-HAUL-DUMP MINING SYSTEM BY OEE. *International Journal of Applied Engineering and Technology ISSN: 2277-212X (Online)*, 7.

Ramos Montalvo, M. Á. (2018). *Determinación del número óptimo de volquetes mediante el factor de acoplamiento, considerando un cargador frontal 980G CAT en la ruta mmineral del Banco 330 . Pad 18 del Tajo Seductora de la CIA. MINERA SANTA ROSA S.A. - COMARSA.* Pasco: Repositorio Institucional Universidad Daniel Alcides Carrión.

Ramos, M. (2021). *Optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral para aumentar la producción de mineral en la Unidad Minera Andaychagua.* Tesis de grado, Universidad Continental, Ingeniería de Minas, Huancayo.



- Rodríguez Salinas, D. E. (2013). *Modelo analítico para el dimensionamiento de flota de transporte en minería a cielo abierto, Análisis de prioridades según rendimiento*. Chile: Repositorio Institucional Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Saldaña, A. (2013). *Productividad en el ciclo de carguío y acarreo en el tajo Chaquicocha bajo clima severo - Minera Yanacocha*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Vargas, Z. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*, 33(1), 155-165.
- Velázquez, A. (s.f). *QuestionPro*. Obtenido de <https://www.questionpro.com/blog/es/ques-la-investigacion-primaria-y-secundaria/>

**ANEXOS**

**ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA**

**TÍTULO: “OPTIMIZACIÓN DEL FACTOR DE ACOPLAMIENTO PARA REDUCIR COSTOS DE PRODUCCIÓN DE MINERAL EN UNA MINA TAJO ABIERTO, 2023”.**

| <b>PROBLEMA</b>   | <b>HIPOTESIS</b>  | <b>OBJETIVO GENERAL</b>   | <b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>   | <b>METODOLOGÍA</b>   | <b>POBLACIÓN</b>   |
|---|---|---|---------------------------------|--|--|
| ¿Cómo la optimización del factor de acoplamiento reduce los costos de producción de mineral en una mina a tajo abierto en 2023? | Si es posible optimizar el factor de acoplamiento para reducir los costos de producción de mineral en una mina a tajo abierto en 2023 | Optimizar el factor de acoplamiento para reducir los costos de producción de mineral en una mina a tajo abierto en 2023.  | Factor de acoplamiento          | <b>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</b><br>Aplicada  | Unidades de carguío y transporte de minería subterránea y superficial. |
|   |   | <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>  | <b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>     | <b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:</b><br>No experimental de tipo descriptivo                       | <b>MUESTRA</b>   |
|   |   | Analizar los tiempos de carguío y acarreo.<br>Determinar el factor de acoplamiento y el número de camiones óptimo.<br>Determinar los costos de producción de mineral en minería a tajo abierto. | Costos de producción de mineral | <b>TÉCNICA:</b><br>Análisis documental<br><b>INSTRUMENTO:</b><br>Guía de análisis documental | Unidades de carguío y transporte de minería superficial.               |

**ANEXO 2: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

**TÍTULO: “OPTIMIZACIÓN DEL FACTOR DE ACOPLAMIENTO PARA REDUCIR COSTOS DE PRODUCCIÓN DE MINERAL EN UNA MINA TAJO ABIERTO, 2023”**

| VARIABLES   | DEFINICIÓN CONCEPTUAL   | DEFINICIÓN OPERACIONAL   | DIMENSIÓN                     | INDICADORES   | INSTRUMENTO                        |
|---|---|--|-------------------------------|---------------|------------------------------------|
| <p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b></p> <p>Factor de acoplamiento</p>        | <p>Factor de acoplamiento (FA) se define como un factor que permite determinar el número adecuado de unidades que deben ser utilizados para una unidad de carguío; siendo este problema el que se trata de solucionar a través de un cálculo del factor de acoplamiento o match factor (López et al. 2014).</p> | <p>El factor de acoplamiento determina el número de volquetes que necesita el cargador frontal L260H.</p>                | <p>Factor de acoplamiento</p> | <p>Factor</p> | <p>Guía de análisis documental</p> |
| <p><b>VARIABLE DEPENDIENTE</b></p> <p>Costos de producción de mineral</p> | <p>Los costos de producción en la minería incluyen costos de materiales, mano de obra y gastos indirectos necesarios para la elaboración del producto, dentro de estos costos incluye los costos del ciclo de carguío y transporte (Cruzat, 2008).</p>  | <p>Los costos de producción de mineral dependen mucho de los costos horarios de los equipos de carguío y transporte.</p> | <p>Costos</p>                 | <p>US\$</p>   | <p>Guía de análisis documental</p> |

**ANEXO 3: NÚMERO DE CAMIONES NECESARIOS**

$$X = T / (p * t)$$

Donde:

X = Número de camiones por unidad de carguío.

T = Tiempo de ciclo de cada camión.

t = Tiempo de ciclo de cada pase.

p = Número de pases necesarios para llenar un volquete.

Número de camiones necesarios:

$$X = 37,51 / 4 * 0,60$$

$$X_1 = 16 \text{ camiones}$$

**ANEXO 4: NÚMERO TOTAL DE CAMIONES**

$$X * n = T * n / (p * t)$$

Donde:

$X * n$  = Número total de camiones.

$T$  = Tiempo de ciclo de cada camión.

$t$  = Tiempo de ciclo de cada pase.

$p$  = Número de pases necesarios para llenar un volquete.

$n$  = Número total de unidades de carguío.

Número total de camiones:

$$X * n = N$$

$$N = (42,51 * 1) / (4 * 0,60)$$

$$N = 18 \text{ camiones}$$

**ANEXO 5: FACTOR DE ACOPLAMIENTO**

$$FA = \frac{N * p * t}{n * T}$$

Donde:

FA: Factor de acoplamiento

N = Número total de camiones.

n = Número total de unidades de carguío.

T = Tiempo de ciclo de cada camión.

t = Tiempo de ciclo de cada pase.

p = Número de pases necesarios para llenar un volquete.

Factor de acoplamiento para 18 camiones

$$FA = (18 * 4 * 0,60) / (1 * 37,51)$$

$$FA = 1,14$$

Factor de acoplamiento para 17 camiones

$$FA = (17 * 4 * 0,60) / (1 * 37,51)$$

$$FA = 1,08$$

Factor de acoplamiento para 16 camiones

$$FA = (16 * 4 * 0,60) / (1 * 37,51)$$


$$FA = 1,02$$

Factor de acoplamiento para 15 camiones

$$FA = (15 * 4 * 0,60) / (1 * 37,51)$$

$$FA = 0,95$$

**ANEXO 6: INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

|   |   |
|---|---|
|    | <p align="center"><b>INSTRUMENTO N° 01: TIEMPOS PROMEDIOS DE LOS EQUIPOS DE CARGUÍO Y ACARREO</b></p>                                       |
|   | <p><b>TÍTULO: “OPTIMIZACIÓN DEL FACTOR DE ACOPLAMIENTO PARA REDUCIR COSTOS DE PRODUCCIÓN DE MINERAL EN UNA MINA TAJO ABIERTO, 2023”</b></p> |
| <p><b>OBJETIVO:</b> Este instrumento tiene como objetivo recopilar información documentaria respecto a los tiempos en el ciclo de carguío y acarreo cuyo fin es analizar el tiempo promedio que emplean en operación los equipos de carguío y acarreo en minería a cielo abierto.</p> |   |

**Tabla 3**

*Resultados de los tiempos promedios en el ciclo de carguío del mes de octubre, 2021*

| Octubre |                     |                                      |                        |                                   |         |         |         |           |
|---------|---------------------|--------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|---------|---------|---------|-----------|
| Día     | Tiempo de carga (s) | Tiempo de desplazamiento cargado (s) | Tiempo de descarga (s) | Tempo de desplazamiento vacío (s) | Pase 02 | Pase 03 | Pase 04 | Total (s) |
| 1       | 14                  | 8                                    | 6                      | 6                                 | 33      | 34      | 35      | 136       |
| 2       | 13                  | 8                                    | 7                      | 5                                 | 36      | 36      | 37      | 142       |
| 3       | 15                  | 8                                    | 8                      | 5                                 | 33      | 35      | 36      | 140       |
| 4       | 13                  | 7                                    | 6                      | 6                                 | 34      | 36      | 34      | 136       |
| 5       | 13                  | 8                                    | 6                      | 6                                 | 34      | 35      | 35      | 137       |
| 6       | 15                  | 9                                    | 5                      | 7                                 | 35      | 38      | 37      | 146       |
| 7       | 13                  | 8                                    | 5                      | 7                                 | 36      | 34      | 35      | 138       |
| 8       | 15                  | 9                                    | 4                      | 7                                 | 36      | 37      | 35      | 143       |
| 9       | 13                  | 8                                    | 3                      | 7                                 | 37      | 35      | 37      | 140       |
| 10      | 12                  | 9                                    | 6                      | 5                                 | 35      | 36      | 34      | 137       |
| 11      | 15                  | 8                                    | 7                      | 6                                 | 35      | 38      | 37      | 146       |
| 12      | 16                  | 7                                    | 6                      | 6                                 | 36      | 36      | 37      | 144       |
| 13      | 14                  | 8                                    | 5                      | 6                                 | 34      | 35      | 35      | 137       |
| 14      | 12                  | 8                                    | 7                      | 5                                 | 34      | 36      | 37      | 139       |
| 15      | 13                  | 8                                    | 6                      | 5                                 | 36      | 37      | 36      | 141       |
| 16      | 16                  | 6                                    | 6                      | 6                                 | 34      | 35      | 36      | 139       |
| 17      | 15                  | 7                                    | 7                      | 6                                 | 38      | 37      | 37      | 147       |
| 18      | 16                  | 8                                    | 6                      | 6                                 | 37      | 36      | 35      | 144       |
| 19      | 16                  | 7                                    | 7                      | 7                                 | 36      | 37      | 37      | 147       |
| 20      | 16                  | 8                                    | 6                      | 7                                 | 38      | 37      | 36      | 148       |
| 21      | 15                  | 8                                    | 5                      | 7                                 | 39      | 38      | 35      | 147       |

|    |    |   |   |   |    |    |    |     |
|----|----|---|---|---|----|----|----|-----|
| 22 | 15 | 9 | 8 | 6 | 37 | 36 | 37 | 148 |
| 23 | 15 | 9 | 7 | 5 | 35 | 34 | 36 | 141 |
| 24 | 14 | 8 | 8 | 6 | 36 | 36 | 34 | 142 |
| 25 | 13 | 7 | 8 | 7 | 37 | 36 | 36 | 144 |
| 26 | 16 | 8 | 7 | 7 | 36 | 37 | 36 | 147 |
| 27 | 15 | 9 | 6 | 6 | 35 | 36 | 36 | 143 |
| 28 | 13 | 9 | 7 | 6 | 34 | 34 | 36 | 139 |
| 29 | 17 | 8 | 6 | 7 | 36 | 37 | 37 | 148 |
| 30 | 13 | 9 | 6 | 7 | 37 | 38 | 37 | 147 |

**Tabla 4**

*Resultados de los tiempos promedios en el ciclo de carguío del mes de noviembre, 2021*

| Día | Noviembre           |                                      |                        |                                    |         |         |         |           |
|-----|---------------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------------------|---------|---------|---------|-----------|
|     | Tiempo de carga (s) | Tiempo de desplazamiento cargado (s) | Tiempo de descarga (s) | Tiempo de desplazamiento vacío (s) | Pase 02 | Pase 03 | Pase 04 | Total (s) |
| 1   | 15                  | 9                                    | 5                      | 5                                  | 32      | 35      | 34      | 135       |
| 2   | 14                  | 7                                    | 6                      | 6                                  | 35      | 36      | 35      | 139       |
| 3   | 13                  | 8                                    | 7                      | 6                                  | 32      | 36      | 35      | 137       |
| 4   | 16                  | 8                                    | 6                      | 6                                  | 32      | 35      | 36      | 139       |
| 5   | 14                  | 9                                    | 5                      | 7                                  | 36      | 35      | 34      | 140       |
| 6   | 12                  | 8                                    | 5                      | 6                                  | 34      | 37      | 36      | 138       |
| 7   | 13                  | 9                                    | 5                      | 8                                  | 35      | 38      | 37      | 145       |
| 8   | 16                  | 8                                    | 5                      | 8                                  | 34      | 37      | 37      | 145       |
| 9   | 15                  | 9                                    | 4                      | 8                                  | 36      | 37      | 38      | 147       |
| 10  | 15                  | 8                                    | 6                      | 6                                  | 38      | 36      | 37      | 146       |
| 11  | 16                  | 7                                    | 6                      | 6                                  | 37      | 36      | 36      | 144       |
| 12  | 15                  | 8                                    | 5                      | 7                                  | 37      | 35      | 36      | 143       |
| 13  | 14                  | 7                                    | 5                      | 7                                  | 36      | 36      | 34      | 139       |
| 14  | 16                  | 8                                    | 6                      | 6                                  | 36      | 36      | 34      | 142       |
| 15  | 16                  | 8                                    | 7                      | 7                                  | 35      | 35      | 36      | 144       |
| 16  | 15                  | 8                                    | 7                      | 6                                  | 35      | 35      | 36      | 142       |
| 17  | 15                  | 7                                    | 7                      | 5                                  | 34      | 36      | 37      | 141       |
| 18  | 17                  | 8                                    | 5                      | 5                                  | 34      | 37      | 37      | 143       |
| 19  | 16                  | 9                                    | 6                      | 7                                  | 37      | 37      | 36      | 148       |
| 20  | 15                  | 9                                    | 6                      | 6                                  | 38      | 37      | 36      | 147       |
| 21  | 16                  | 8                                    | 6                      | 5                                  | 38      | 38      | 36      | 147       |
| 22  | 15                  | 9                                    | 9                      | 4                                  | 37      | 38      | 37      | 149       |
| 23  | 14                  | 9                                    | 7                      | 5                                  | 36      | 35      | 33      | 139       |
| 24  | 14                  | 8                                    | 9                      | 6                                  | 36      | 34      | 35      | 142       |
| 25  | 15                  | 9                                    | 8                      | 6                                  | 35      | 35      | 37      | 145       |



|    |    |   |   |   |    |    |    |     |
|----|----|---|---|---|----|----|----|-----|
| 26 | 16 | 8 | 9 | 7 | 38 | 34 | 36 | 148 |
| 27 | 16 | 9 | 8 | 6 | 37 | 34 | 34 | 144 |
| 28 | 15 | 8 | 6 | 6 | 35 | 33 | 36 | 139 |
| 29 | 16 | 8 | 7 | 8 | 35 | 36 | 36 | 146 |
| 30 | 14 | 9 | 7 | 7 | 36 | 37 | 37 | 147 |

**Tabla 5**

*Resultados de los tiempos promedios en el ciclo de carguío del mes de diciembre, 2021*

| Día | Diciembre           |                                      |                        |                                    |         |         |         |           |
|-----|---------------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------------------|---------|---------|---------|-----------|
|     | Tiempo de carga (s) | Tiempo de desplazamiento cargado (s) | Tiempo de descarga (s) | Tiempo de desplazamiento vacío (s) | Pase 02 | Pase 03 | Pase 04 | Total (s) |
| 1   | 15                  | 9                                    | 7                      | 7                                  | 34      | 35      | 36      | 143       |
| 2   | 15                  | 9                                    | 6                      | 6                                  | 35      | 36      | 36      | 143       |
| 3   | 16                  | 8                                    | 6                      | 5                                  | 36      | 36      | 35      | 142       |
| 4   | 16                  | 9                                    | 5                      | 5                                  | 34      | 35      | 36      | 140       |
| 5   | 15                  | 7                                    | 7                      | 6                                  | 35      | 37      | 35      | 142       |
| 6   | 14                  | 8                                    | 7                      | 6                                  | 36      | 37      | 36      | 144       |
| 7   | 14                  | 8                                    | 6                      | 6                                  | 37      | 36      | 35      | 142       |
| 8   | 15                  | 9                                    | 6                      | 7                                  | 36      | 36      | 34      | 143       |
| 9   | 16                  | 7                                    | 7                      | 7                                  | 36      | 36      | 36      | 145       |
| 10  | 13                  | 8                                    | 5                      | 6                                  | 35      | 35      | 35      | 137       |
| 11  | 13                  | 7                                    | 6                      | 6                                  | 37      | 37      | 36      | 142       |
| 12  | 14                  | 8                                    | 6                      | 7                                  | 37      | 37      | 36      | 145       |
| 13  | 13                  | 9                                    | 7                      | 5                                  | 35      | 36      | 36      | 141       |
| 14  | 13                  | 8                                    | 7                      | 5                                  | 34      | 35      | 37      | 139       |
| 15  | 15                  | 9                                    | 5                      | 6                                  | 36      | 36      | 37      | 144       |
| 16  | 15                  | 8                                    | 6                      | 7                                  | 34      | 37      | 36      | 143       |
| 17  | 15                  | 6                                    | 6                      | 7                                  | 38      | 36      | 35      | 143       |
| 18  | 15                  | 6                                    | 5                      | 6                                  | 36      | 35      | 35      | 138       |
| 19  | 17                  | 9                                    | 7                      | 6                                  | 37      | 36      | 36      | 148       |
| 20  | 16                  | 8                                    | 7                      | 6                                  | 38      | 36      | 37      | 148       |
| 21  | 16                  | 9                                    | 6                      | 7                                  | 38      | 37      | 36      | 149       |
| 22  | 14                  | 9                                    | 7                      | 6                                  | 37      | 37      | 37      | 147       |
| 23  | 16                  | 8                                    | 8                      | 5                                  | 36      | 35      | 35      | 143       |
| 24  | 15                  | 8                                    | 7                      | 6                                  | 37      | 36      | 37      | 146       |
| 25  | 14                  | 7                                    | 7                      | 6                                  | 36      | 35      | 37      | 142       |
| 26  | 14                  | 9                                    | 8                      | 7                                  | 36      | 35      | 36      | 145       |
| 27  | 16                  | 8                                    | 7                      | 7                                  | 35      | 37      | 38      | 148       |
| 28  | 14                  | 8                                    | 6                      | 5                                  | 35      | 36      | 35      | 139       |
| 29  | 15                  | 9                                    | 5                      | 6                                  | 37      | 36      | 34      | 142       |

**Tabla 6**

*Distancia de la vía recorrida por los camiones*

| Mes       | Distancia<br>km | Tiempo<br>(min) |
|-----------|-----------------|-----------------|
| Octubre   | 12.978          | 39.98           |
| Noviembre | 12.943          | 39.87           |
| Diciembre | 12.923          | 39.83           |

**Tabla 7**

*Tiempo promedio del ciclo de transporte, octubre 2021*

| <b>Octubre</b>  |                      |                     |                   |                     |                    |                      |                     |                   |                     |
|-----------------|----------------------|---------------------|-------------------|---------------------|--------------------|----------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| <b>Volquete</b> | <b>Turno día</b>     |                     |                   |                     | <b>Turno noche</b> |                      |                     |                   |                     |
|                 | <b>Retroceso (s)</b> | <b>Descarga (s)</b> | <b>Avance (s)</b> | <b>Reubicar (s)</b> | <b>Volquete</b>    | <b>Retroceso (s)</b> | <b>Descarga (s)</b> | <b>Avance (s)</b> | <b>Reubicar (s)</b> |
| <b>1</b>        | 12                   | 44                  | 8                 | 16                  | <b>1</b>           | 14                   | 46                  | 9                 | 28                  |
| <b>2</b>        | 13                   | 45                  | 9                 | 18                  | <b>2</b>           | 14                   | 46                  | 8                 | 27                  |
| <b>3</b>        | 15                   | 47                  | 8                 | 29                  | <b>3</b>           | 14                   | 48                  | 9                 | 29                  |
| <b>4</b>        | 16                   | 47                  | 7                 | 29                  | <b>4</b>           | 13                   | 45                  | 8                 | 28                  |
| <b>5</b>        | 15                   | 46                  | 10                | 30                  | <b>5</b>           | 15                   | 48                  | 10                | 29                  |
| <b>6</b>        | 10                   | 44                  | 9                 | 32                  | <b>6</b>           | 14                   | 50                  | 11                | 28                  |
| <b>7</b>        | 16                   | 41                  | 8                 | 25                  | <b>7</b>           | 13                   | 48                  | 8                 | 27                  |
| <b>8</b>        | 15                   | 43                  | 7                 | 28                  | <b>8</b>           | 10                   | 46                  | 10                | 25                  |
| <b>9</b>        | 18                   | 43                  | 8                 | 27                  | <b>9</b>           | 11                   | 53                  | 8                 | 26                  |
| <b>10</b>       | 17                   | 44                  | 10                | 29                  | <b>10</b>          | 10                   | 46                  | 9                 | 28                  |
| <b>11</b>       | 15                   | 49                  | 9                 | 28                  | <b>11</b>          | 14                   | 47                  | 12                | 26                  |
| <b>12</b>       | 12                   | 47                  | 9                 | 27                  | <b>12</b>          | 15                   | 46                  | 11                | 29                  |
| <b>13</b>       | 13                   | 48                  | 8                 | 27                  | <b>13</b>          | 13                   | 48                  | 10                | 28                  |
| <b>14</b>       | 15                   | 49                  | 7                 | 29                  | <b>14</b>          | 14                   | 49                  | 9                 | 29                  |
| <b>15</b>       | 13                   | 43                  | 8                 | 31                  | <b>15</b>          | 13                   | 55                  | 8                 | 29                  |
| <b>16</b>       | 14                   | 46                  | 9                 | 28                  | <b>16</b>          | 12                   | 52                  | 6                 | 28                  |
| <b>17</b>       | 15                   | 50                  | 8                 | 26                  | <b>17</b>          | 14                   | 49                  | 7                 | 27                  |
| <b>18</b>       | 16                   | 49                  | 8                 | 28                  | <b>18</b>          | 12                   | 53                  | 8                 | 26                  |

**Tabla 8**

*Tiempo promedio del ciclo de transporte, noviembre 2021*

| Noviembre |               |              |            |              |             |               |              |            |              |
|-----------|---------------|--------------|------------|--------------|-------------|---------------|--------------|------------|--------------|
| Volquete  | Turno día     |              |            |              | Turno noche |               |              |            |              |
|           | Retroceso (s) | Descarga (s) | Avance (s) | Reubicar (s) | Volquete    | Retroceso (s) | Descarga (s) | Avance (s) | Reubicar (s) |
| <b>1</b>  | 13            | 45           | 8          | 17           | <b>1</b>    | 15            | 46           | 10         | 28           |
| <b>2</b>  | 14            | 46           | 8          | 18           | <b>2</b>    | 15            | 47           | 11         | 29           |
| <b>3</b>  | 15            | 46           | 9          | 28           | <b>3</b>    | 15            | 48           | 9          | 27           |
| <b>4</b>  | 16            | 45           | 6          | 29           | <b>4</b>    | 14            | 46           | 9          | 28           |
| <b>5</b>  | 18            | 45           | 7          | 29           | <b>5</b>    | 13            | 47           | 8          | 30           |
| <b>6</b>  | 15            | 46           | 9          | 31           | <b>6</b>    | 13            | 49           | 7          | 26           |
| <b>7</b>  | 14            | 47           | 6          | 28           | <b>7</b>    | 12            | 50           | 8          | 28           |
| <b>8</b>  | 13            | 43           | 8          | 27           | <b>8</b>    | 11            | 47           | 9          | 26           |
| <b>9</b>  | 14            | 42           | 9          | 28           | <b>9</b>    | 12            | 51           | 9          | 28           |
| <b>10</b> | 16            | 43           | 10         | 29           | <b>10</b>   | 12            | 47           | 10         | 26           |
| <b>11</b> | 17            | 48           | 10         | 27           | <b>11</b>   | 15            | 48           | 11         | 27           |
| <b>12</b> | 17            | 47           | 9          | 28           | <b>12</b>   | 14            | 47           | 12         | 29           |
| <b>13</b> | 15            | 49           | 9          | 29           | <b>13</b>   | 12            | 49           | 9          | 30           |
| <b>14</b> | 14            | 48           | 8          | 30           | <b>14</b>   | 11            | 50           | 10         | 30           |
| <b>15</b> | 12            | 46           | 7          | 30           | <b>15</b>   | 12            | 53           | 9          | 28           |
| <b>16</b> | 13            | 48           | 7          | 27           | <b>16</b>   | 13            | 53           | 7          | 26           |
| <b>17</b> | 14            | 49           | 7          | 27           | <b>17</b>   | 15            | 51           | 8          | 28           |
| <b>18</b> | 15            | 50           | 8          | 26           | <b>18</b>   | 13            | 48           | 7          | 29           |

**Tabla 9**

*Tiempo promedio del ciclo de transporte, diciembre 2021*

| <b>Diciembre</b> |                      |                     |                   |                     |                    |                      |                     |                   |                     |
|------------------|----------------------|---------------------|-------------------|---------------------|--------------------|----------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| <b>Volquete</b>  | <b>Turno día</b>     |                     |                   |                     | <b>Turno noche</b> |                      |                     |                   |                     |
|                  | <b>Retroceso (s)</b> | <b>Descarga (s)</b> | <b>Avance (s)</b> | <b>Reubicar (s)</b> | <b>Volquete</b>    | <b>Retroceso (s)</b> | <b>Descarga (s)</b> | <b>Avance (s)</b> | <b>Reubicar (s)</b> |
| <b>1</b>         | 13                   | 45                  | 9                 | 17                  | <b>1</b>           | 15                   | 45                  | 8                 | 28                  |
| <b>2</b>         | 14                   | 44                  | 8                 | 19                  | <b>2</b>           | 13                   | 47                  | 8                 | 27                  |
| <b>3</b>         | 15                   | 46                  | 9                 | 28                  | <b>3</b>           | 13                   | 48                  | 10                | 27                  |
| <b>4</b>         | 16                   | 46                  | 6                 | 28                  | <b>4</b>           | 14                   | 46                  | 9                 | 28                  |
| <b>5</b>         | 15                   | 47                  | 9                 | 29                  | <b>5</b>           | 12                   | 47                  | 11                | 28                  |
| <b>6</b>         | 14                   | 45                  | 8                 | 28                  | <b>6</b>           | 14                   | 49                  | 10                | 26                  |
| <b>7</b>         | 16                   | 43                  | 7                 | 26                  | <b>7</b>           | 13                   | 49                  | 7                 | 30                  |
| <b>8</b>         | 14                   | 42                  | 9                 | 28                  | <b>8</b>           | 11                   | 47                  | 7                 | 26                  |
| <b>9</b>         | 16                   | 42                  | 9                 | 28                  | <b>9</b>           | 12                   | 51                  | 9                 | 28                  |
| <b>10</b>        | 15                   | 45                  | 10                | 29                  | <b>10</b>          | 11                   | 47                  | 10                | 29                  |
| <b>11</b>        | 13                   | 48                  | 8                 | 26                  | <b>11</b>          | 13                   | 48                  | 13                | 27                  |
| <b>12</b>        | 16                   | 46                  | 7                 | 28                  | <b>12</b>          | 12                   | 47                  | 12                | 29                  |
| <b>13</b>        | 14                   | 47                  | 8                 | 28                  | <b>13</b>          | 12                   | 47                  | 9                 | 29                  |
| <b>14</b>        | 16                   | 48                  | 8                 | 30                  | <b>14</b>          | 14                   | 48                  | 8                 | 30                  |
| <b>15</b>        | 17                   | 49                  | 9                 | 32                  | <b>15</b>          | 15                   | 52                  | 8                 | 29                  |
| <b>16</b>        | 14                   | 47                  | 7                 | 29                  | <b>16</b>          | 16                   | 53                  | 8                 | 27                  |
| <b>17</b>        | 16                   | 49                  | 7                 | 27                  | <b>17</b>          | 15                   | 48                  | 9                 | 29                  |
| <b>18</b>        | 15                   | 50                  | 8                 | 30                  | <b>18</b>          | 13                   | 49                  | 8                 | 28                  |

**Tabla 10**

*Tiempo promedio del ciclo de transporte, día y noche mensual 2021*


| Turno                         | Mes       | Retroceso (s) | Descarga (s) | Avance (s) | Reubicar (s) | Total (s) | Total (min) |
|-------------------------------|-----------|---------------|--------------|------------|--------------|-----------|-------------|
| <b>Día</b>                    | Octubre   | 14.44         | 45.83        | 8.33       | 27.06        | 95.67     | 1.59        |
|                               | Noviembre | 14.72         | 46.28        | 8.06       | 27.11        | 96.17     | 1.60        |
|                               | Diciembre | 14.94         | 46.06        | 8.11       | 27.22        | 96.33     | 1.61        |
| <b>Noche</b>                  | Octubre   | 13.06         | 48.61        | 8.94       | 27.61        | 98.22     | 1.64        |
|                               | Noviembre | 13.17         | 48.72        | 9.06       | 27.94        | 98.89     | 1.65        |
|                               | Diciembre | 13.22         | 48.22        | 9.11       | 28.06        | 98.61     | 1.64        |
| <b>Promedio (día y noche)</b> | Octubre   | 13.75         | 47.22        | 8.64       | 27.33        | 93.15     | 1.55        |
|                               | Noviembre | 13.94         | 47.50        | 8.56       | 27.53        | 92.18     | 1.54        |
|                               | Diciembre | 14.08         | 47.14        | 8.61       | 27.64        | 92.5      | 1.54        |

**Tabla 11**

*Tiempo promedio mensual del ciclo de carguío y transporte, 2021*

| Mes              | Tiempo de carguío (min) | Tiempo de recorrido ida y retorno (min) | Tiempo de descarga (min) | Tiempo total de transporte (min) | Tiempo Total (min) |
|------------------|-------------------------|---|--------------------------|----------------------------------|--------------------|
|                  | [A]                     | [B]                                     | [C]                      | [B+C]=[D]                        | [A+D]              |
| <b>Octubre</b>   | 2.37                    | 36.05                                   | 1.55                     | 37.60                            | 39.98              |
| <b>Noviembre</b> | 2.38                    | 35.95                                   | 1.54                     | 37.49                            | 39.87              |
| <b>Diciembre</b> | 2.39                    | 35.90                                   | 1.54                     | 37.44                            | 39.83              |

**ANEXOS 7: INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

|   |   |
|---|---|
|    | <p><b>INSTRUMENTO N° 02: DETERMINAR NÚMERO DE CAMIONES Y FACTOR DE ACOPLAMIENTO REAL Y OPTIMO</b></p>                                       |
|   | <p><b>TÍTULO: “OPTIMIZACIÓN DEL FACTOR DE ACOPLAMIENTO PARA REDUCIR COSTOS DE PRODUCCIÓN DE MINERAL EN UNA MINA TAJO ABIERTO, 2023”</b></p> |
| <p><b>OBJETIVO:</b> Este instrumento tiene como objetivo analizar el número óptimo de camiones para un cargador frontal L260H mediante el factor de acoplamiento en la minería a cielo abierto.</p> |   |

**Tabla 12**

*Factor de acoplamiento real, 2021*

| Número de volquetes                              | Número de Cargadores | Tiempo de pase (min) | Número de pases para llenar camión | Tiempo de ciclo de carga del camión (min) | Tiempo del ciclo de acarreo |
|--|----------------------|----------------------|------------------------------------|---|-----------------------------|
|  | [Ne]                 | [Tp]                 | [Np]                               | [Tp]*[Np]=[Tc]                            | [Tca]                       |
| 18   | 1                    | 0.60                 | 4                                  | 2.38                                      | 37.51                       |
| <b>Factor de acoplamiento (Nc/Ne) * (Tc/Tca)</b> |                      |                      |                                    |   | 1.14                        |

**Tabla 13**

*Factor de acoplamiento, alterando el número de volquetes – 17 unidades*

| Número de camiones                               | Número de Cargadores | Tiempo de pase (min) | Número de pases para llenar camión | Tiempo de ciclo de carga del camión (min) | Tiempo del ciclo de acarreo |
|--|----------------------|----------------------|------------------------------------|---|-----------------------------|
|  | [Ne]                 | [Tp]                 | [Np]                               | [Tp]*[Np]=[Tc]                            | [Tca]                       |
| 17   | 1                    | 0.60                 | 4                                  | 2.38                                      | 37.51                       |
| <b>Factor de acoplamiento (Nc/Ne) * (Tc/Tca)</b> |                      |                      |                                    |   | 1.08                        |

**Tabla 14**

*Factor de acoplamiento, alterando el número de volquetes – 16 unidades*

| Número de camiones                               | Número de Cargadores | Tiempo de pase (min) | Número de pases para llenar camión | Tiempo de ciclo de carga del camión (min) | Tiempo del ciclo de acarreo |
|--|----------------------|----------------------|------------------------------------|---|-----------------------------|
|  | [Ne]                 | [Tp]                 | [Np]                               | [Tp]*[Np]=[Tc]                            | [Tca]                       |
| 16   | 1                    | 0.60                 | 4                                  | 2.38                                      | 37.51                       |
| <b>Factor de acoplamiento (Nc/Ne) * (Tc/Tca)</b> |                      |                      |                                    |   | <b>1.02</b>                 |


**Tabla 15**

*Factor de acoplamiento, alterando el número de volquetes – 15 unidades*

| Número de camiones                               | Número de Cargadores | Tiempo de pase (min) | Número de pases para llenar camión | Tiempo de ciclo de carga del camión (min) | Tiempo del ciclo de acarreo |
|--|----------------------|----------------------|------------------------------------|---|-----------------------------|
|  | [Ne]                 | [Tp]                 | [Np]                               | [Tp]*[Np]=[Tc]                            | [Tca]                       |
| 15   | 1                    | 0.60                 | 4                                  | 2.38                                      | 37.51                       |
| <b>Factor de acoplamiento (Nc/Ne) * (Tc/Tca)</b> |                      |                      |                                    |   | <b>0.95</b>                 |



**ANEXOS 8: INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

|   |  |
|---|--|
|                                    | <b>INSTRUMENTO N° 02: DETERMINACIÓN DE COSTOS DE PRODUCCIÓN DE MINERAL EN MINA TAJO ABIERTO</b>                                      |
|   | <b>TÍTULO: “OPTIMIZACIÓN DEL FACTOR DE ACOPLAMIENTO PARA REDUCIR COSTOS DE PRODUCCIÓN DE MINERAL EN UNA MINA TAJO ABIERTO, 2023”</b> |
| <b>OBJETIVO:</b> Este instrumento tiene como objetivo determinar el costo de producción en minería a cielo abierto. |  |

**Tabla 16**

*Costos de posesión y operación del equipo de carguío*

| <b>CALCULO DEL COSTO DE POSESIÓN DE CARGADOR FRONTAL L260H</b> |              |         |
|--|--------------|---------|
| <b>Datos generales</b>   |              |         |
| <b>Valor de adquisición (Va)</b>                               | \$222,465.00 |         |
| <b>Potencia</b>  | 260          | HP      |
| <b>Capacidad de cuchara</b>                                    | 3.8          | m3      |
| <b>Vida económica útil (VEU)</b>                               | 6            | años    |
| <b>Hr (1 año)</b>  | 2000         | horas   |
| <b>Hr (3 años)</b>   | 12000        | horas   |
| <b>Vr</b>  | \$44,493.00  |         |
| <b>Cálculo del costo horario de posesión</b>                   |              |         |
| <b>Cálculo de la inversión media anual (IMA)</b>               |              |         |
| <b>IMA= Va*(n+1)/2n</b>  |              |         |
| <b>IMA=</b>  | \$129,771.25 | Anuales |
| <b>Costo horario de la depreciación</b>                        |              |         |
| <b>D=Va-vr/VEU</b>   |              |         |
| <b>D=</b>  | \$29,662.00  | Anuales |
|  | \$14.83      | Hora    |
| <b>Costo horario de los intereses</b>                          |              |         |
| <b>I=IMA*(%tasa anual)/N° horas anuales</b>                    |              |         |
| <b>I=</b>  | \$9.08       | Hora    |
| <b>Costo Horario de seguros, impuestos y almacenaje</b>        |              |         |
| <b>Seguro:</b>   | 2.5%         |         |
| <b>impuesto:</b>   | 2.0%         |         |
| <b>Almacenaje:</b>   | 1.0%         |         |
| <b>total:</b>  | 5.5%         |         |
| <b>SIA= (IMA)*(TASAS ANUALES)/N°HORAS ANUALES</b>              |              |         |
| <b>SIA=</b>  | \$3.57       | HORA    |

| <b>TOTAL, COSTO HORARIO DE POSESION</b> |                |             |
|---|----------------|-------------|
| Valor residual                          | \$22.25        | hora        |
| Depreciación                            | \$14.83        | hora        |
| Interés                                 | \$9.08         | hora        |
| Seguros, Impuestos y almacenaje         | \$3.57         | hora        |
| <b>Total</b>                            | <b>\$49.72</b> | <b>hora</b> |
| <b>COSTO HORARIO DE OPERACIÓN</b>       |                |             |
| <b>Combustibles</b>                     |                |             |
| Cantidad de combustible                 | 6.50           | gl/h        |
| Costo de combustible                    | 10.45          | \$/h        |
| Fuentes de energía                      | 0              | \$/h        |
| <b>Lubricantes</b>                      | <b>2.16</b>    | <b>\$/h</b> |
| <b>Grasas</b>                           | <b>1.50</b>    | <b>\$/h</b> |
| <b>Filtros</b>                          | <b>1.40</b>    | <b>\$/h</b> |
| <b>Piezas especiales</b>                | <b>0.50</b>    | <b>\$/h</b> |
| <b>Mantenimiento y reparaciones</b>     | <b>1.85</b>    | <b>\$/h</b> |
| <b>Mantenimiento Preventivo</b>         | <b>0.80</b>    | <b>\$/h</b> |
| <b>Mantenimiento correctivo</b>         |                |             |
| <b>Operador</b>                         |                |             |
| <b>Total</b>                            | <b>18.66</b>   | <b>\$/h</b> |

**Tabla 17**

*Resumen de costos horarios totales del equipo de carguío*

| <b>Costo Horario Total</b> |                |             |
|----------------------------|----------------|-------------|
| <b>Costo de Posesión</b>   | \$49.72        | Hora        |
| <b>Costo de operación</b>  | \$18.66        | Hora        |
| <b>Costo Horario Total</b> | <b>\$68.38</b> | <b>Hora</b> |

**Tabla 18**

*Costos de posesión y operación del equipo de transporte*

| <b>CALCULO DEL COSTO DE POSESIÓN DE VOLQUETES</b> |              |       |
|---|--------------|-------|
| <b>Datos generales</b>                            |              |       |
| <b>Valor de adquisición (Va)</b>                  | \$175,000.00 |       |
| <b>Potencia</b>                                   |              | HP    |
| <b>Capacidad de cuchara</b>                       |              | m3    |
| <b>Vida económica útil (VEU)</b>                  | 3            | años  |
| <b>Hr (1 año)</b>                                 | 4200         | horas |
| <b>Hr (3 años)</b>                                | 12000        | horas |
| <b>Vr</b>   | \$35,000.00  |       |

| <b>Cálculo del costo horario de posesión</b>                          |              |         |
|---|--------------|---------|
| <b>Cálculo de la inversión media anual (IMA)</b>                      |              |         |
| $IMA = Va * (n+1) / 2n$   |              |         |
| <b>IMA=</b>   | \$116,666.67 | Anuales |
| <b>Costo horario de la depreciación</b>                               |              |         |
| $D = Va - vr / VEU$   |              |         |
| <b>D=</b>   | \$46,666.67  | Anuales |
|   | \$11.11      | Hora    |
| <b>Costo horario de los intereses</b>                                 |              |         |
| $I = IMA * (\% \text{ tasa anual}) / N^{\circ} \text{ horas anuales}$ |              |         |
| <b>I=</b>   | \$3.89       | Hora    |
| <b>Costo Horario de seguros, impuestos y almacenaje</b>               |              |         |
| <b>Seguro:</b>  | 2.5%         |         |
| <b>impuesto:</b>  | 2.0%         |         |
| <b>Almacenaje:</b>  | 1.0%         |         |
| <b>total:</b>   | 5.5%         |         |
| <b>SIA = (IMA) * (TASAS ANUALES) / N^{\circ} HORAS ANUALES</b>        |              |         |
| <b>SIA=</b>   | \$1.39       | HORA    |
| <b>TOTAL, COSTO HORARIO DE POSESION</b>                               |              |         |
| <b>Valor residual</b>   | \$8.33       | hora    |
| <b>Depreciación</b>   | \$11.11      | hora    |
| <b>Interés</b>  | \$3.89       | hora    |
| <b>Seguros, Impuestos y almacenaje</b>                                | \$1.39       | hora    |
| <b>Total</b>  | \$24.72      | hora    |
| <b>COSTO HORARIO DE OPERACIÓN</b>                                     |              |         |
| <b>Combustibles</b>   |              |         |
| <b>Cantidad de combustible</b>  | 6.00         | gl/h    |
| <b>Costo de combustible</b>   | 16.44        | \$/h    |
| <b>Fuentes de energía</b>   | 0            | \$/h    |
| <b>Lubricantes</b>  | 1.55         | \$/h    |
| <b>Grasas</b>   | 0.83         | \$/h    |
| <b>Filtros</b>  | 3.40         | \$/h    |
| <b>Piezas especiales</b>  | 0.60         | \$/h    |
| <b>Mantenimiento y reparaciones</b>                                   | 5.29         | \$/h    |
| <b>Mantenimiento Preventivo</b>                                       | 0.80         | \$/h    |
| <b>Mantenimiento correctivo</b>                                       |              |         |
| <b>Operador</b>   |              |         |
| <b>Llantas</b>  | 4.62         | \$/h    |
| <b>Total</b>  | 33.53        | \$/h    |

**Tabla 19**

*Resumen de costo horario total del equipo de transporte*

| <b>Costo Horario Total</b> |         |      |
|----------------------------|---------|------|
| <b>Costo de Posesión</b>   | \$24.72 | Hora |
| <b>Costo de operación</b>  | \$33.53 | Hora |
| <b>Costo Horario Total</b> | \$58.25 | Hora |

**Tabla 20**

*Costo mensual de 18 volquetes*

| <b>Año</b> | <b>Mes</b> | <b>Número de volquetes</b> | <b>Costo Vol. \$/h</b> | <b>Horas efectivas</b> | <b>Monto (\$)</b> |
|------------|------------|----------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|
| 2021       | Octubre    | 18                         | 58.25                  | 522                    | 547311.78         |
|            | Noviembre  | 18                         | 58.25                  | 527.4                  | 552973.63         |
|            | Diciembre  | 18                         | 58.25                  | 525.6                  | 551086.34         |

**Tabla 21**

*Costo mensual de 16 volquetes*

| <b>Año</b> | <b>Mes</b> | <b>Número de volquetes</b> | <b>Costo Vol. \$/h</b> | <b>Horas efectivas</b> | <b>Monto (\$)</b> |
|------------|------------|----------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|
| 2021       | Octubre    | 16                         | 58.25                  | 522                    | 486499.36         |
|            | Noviembre  | 16                         | 58.25                  | 527.4                  | 491532.11         |
|            | Diciembre  | 16                         | 58.25                  | 525.6                  | 489854.53         |

**Tabla 22**

*Resumen de costos de 18 y 16 volquetes*

| <b>Año</b> | <b>Mes</b> | <b>Cost. 18 Volquetes (\$)</b> | <b>Cost. 16 Volquetes (\$)</b> | <b>Diferencia (\$)</b> |
|------------|------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| 2021       | Octubre    | 547311.78                      | 486499.36                      | 60812.42               |
|            | Noviembre  | 552973.63                      | 491532.11                      | 61441.51               |
|            | Diciembre  | 551086.34                      | 489854.53                      | 61231.82               |

**ANEXO 9: UBICACIÓN DE SUMMA GOLD CORPORATION**



*Nota.* Obtenido de SUMMA GOLD CORPORATION

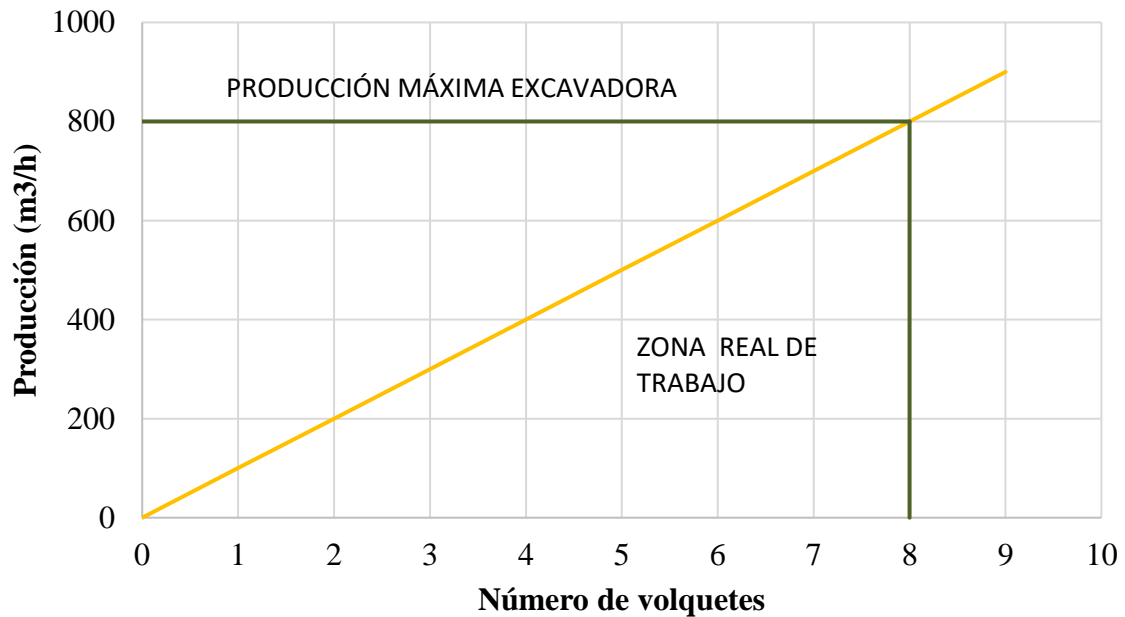
**ANEXOS 10: UBICACIÓN DE SUMMA GOLD OPERACIÓN EL TORO**



**ANEXOS 11: CURVAS DE PRODUCCIÓN**

**Figura 12**

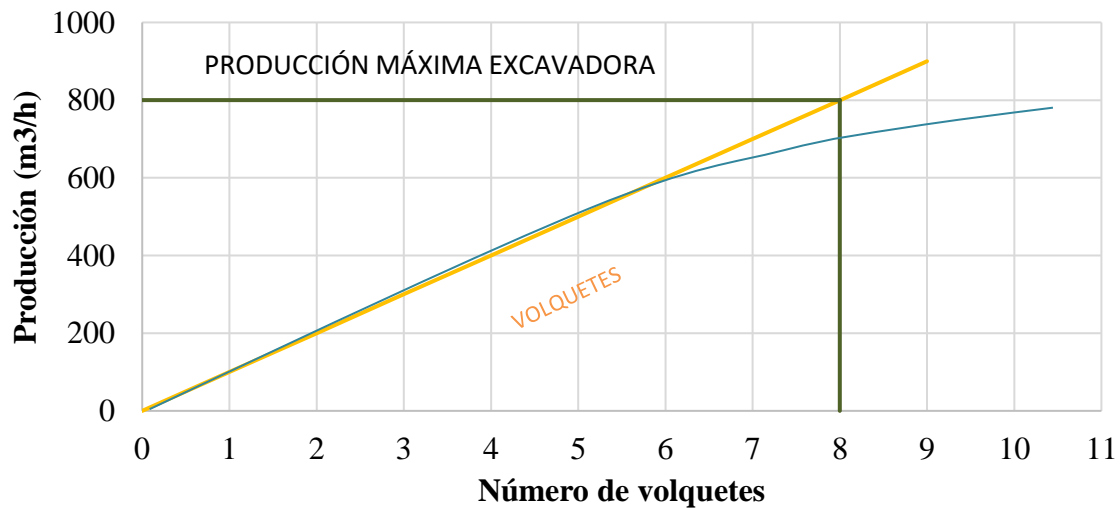
*Curva de producción Teórica*



Nota. Obtenido de (Lopez et al. 2014)

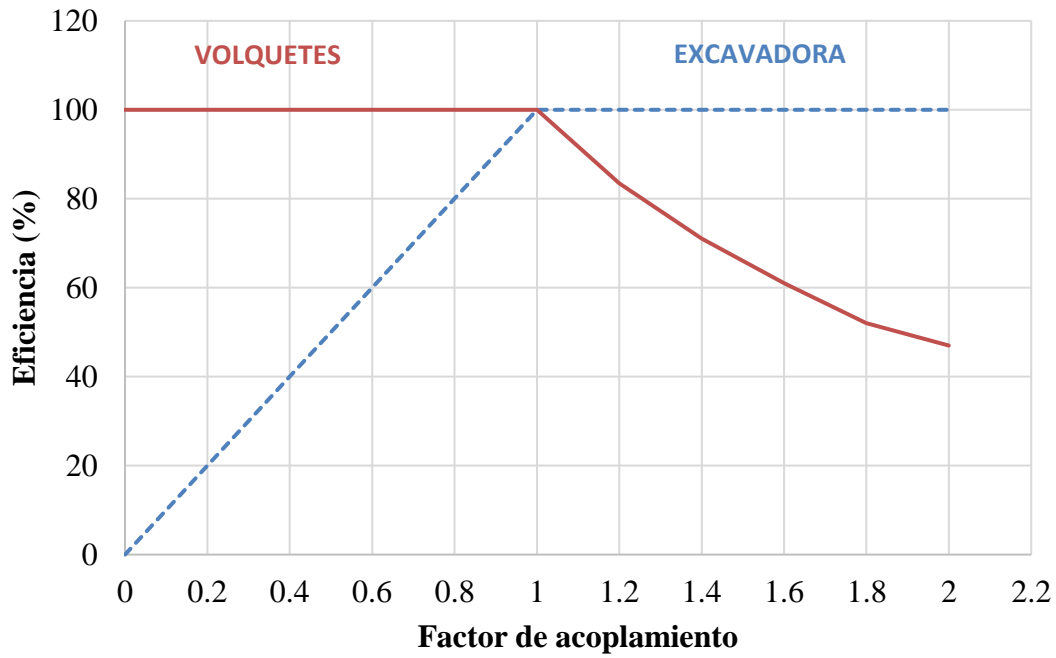
**Figura 13**

*Curva de producción real*



Nota. Obtenido de (Lopez et al. 2014)

**ANEXOS 12: VARIACIÓN DE LA EFICIENCIA EN FUNCIÓN DEL FACTOR DE ACOPLAMIENTO**



Nota. Obtenido de (Lopez et al. 2014)



**ANEXOS 13: CARGUÍO DE MATERIAL CON CARGADOR L260H**



**ANEXOS 14: CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS**

Yo, Marco Antonio Cotrina Teatino, con D.N.I. N° 41872247, ostento el grado de doctor y ejerzo la carrera profesional en ingeniería de minas. Por medio de la presente hago constar que he revisado, con fines de validación, el instrumento **“REGISTRO DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN DE MINERAL EN MINA TAJO ABIERTO”** que será aplicado en la investigación “Optimización del factor de acoplamiento para reducir costos de producción de mineral en una mina a tajo abierto, 2023” de los alumnos Bach. Aguirre Peralta Johann André y Moncada Aguilar Jason Anthony.

Luego de hacer las verificaciones permitentes, puedo formular las siguientes apreciaciones.

**EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO**

| N° | INDICADORES   | VALORES |   |   |   |
|----|---|---------|---|---|---|
|    |   | 1       | 2 | 3 | 4 |
| 1  | El instrumento presenta coherencia con el problema de investigación.                        |         |   |   | x |
| 2  | El instrumento evidencia el problema a solucionar.  |         |   |   | x |
| 3  | El instrumento guarda relación con los objetivos propuestos en la investigación.            |         |   |   | x |
| 4  | El instrumento facilita la comprobación de la hipótesis que se plantea en la investigación. |         |   |   | x |
| 5  | Los indicadores son los correctos para cada dimensión.                                      |         |   | x |   |
| 6  | La redacción de los ítems es clara y apropiada para cada dimensión.                         |         |   | x |   |
| 7  | En general, el instrumento permite un manejo ágil de la información                         |         |   | x |   |

1: Deficiente 2: Regular 3: Bueno 4: Excelente

Trujillo, 14 de junio de 2023



Marco Antonio Cotrina Teatino  
DNI. 41872247