



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

Optimización de tiempos del ciclo de carguío y acarreo en la empresa  
minera la Arena, Huamachuco - La Libertad.

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO DE MINAS**

**AUTOR:**

Gurreonero Mamani, Marcos Weimar (ORCID: 0000-0001-7831-1982)

**ASESORES:**

Mg. Flores Arrasco, Janyna (ORCID: 0000-0002-3017-4779)

Dr. Martell Espinoza, Beder Erasmo (ORCID: 0000-0002-4169-9212)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Evaluación de Yacimientos Minerales

**CHICLAYO – PERÚ**

**2021**

## **Dedicatoria**

En esta dedicatoria quisiera comenzar por Dios, mi principal fuente espiritual. Seguidamente a mis padres, Luis y Justina, quienes desde niño han fomentado en mí grandes valores y me ha brindado la oportunidad de recibir los mejores estudios, tanto en la primaria como en esta etapa universitaria. Su apoyo moral y económico fue vital para culminar con éxito mi carrera.

Asimismo, no puedo dejar de mencionar a mis dos hermanas, Mariela y Conie, quienes me han dado su apoyo incondicional. Mi hermosa familia, a ellos les dedico este gran logro, es tan mío como de ustedes.

Gurreonero Mamani

## **Agradecimiento**

En primer lugar, quiero agradecer a mi asesor Mg. Ing. Flores Arrasco, Janyna, quien con sus conocimientos y apoyo me guió a través de cada una de las etapas de este proyecto para alcanzar los resultados que buscaba.

También quiero agradecer a la universidad César Vallejo por brindarme todos los recursos y herramientas que fueron necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación.

Por último, quiero agradecer a todos mis compañeros y a mi familia, por apoyarme aun cuando mis ánimos decaían. En especial, quiero mencionar a mis padres, que siempre estuvieron ahí para darme palabras de apoyo y un abrazo reconfortante para renovar energías.

Muchas gracias a todos.

Gurreonero Mamani.

## Índice de contenidos

<b>Dedicatoria</b> .....	<b>i</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>ii</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>iii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>4</b>
<b>III. METODOLOGÍA</b> .....	<b>9</b>
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	9
3.2. Variables y Operacionalización .....	10
3.3. Población, muestra y muestreo .....	10
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	11
3.5. Procedimientos .....	11
3.6. Método de análisis de datos .....	12
3.7. Aspectos éticos.....	13
<b>IV. RESULTADOS</b> .....	<b>14</b>
<b>V. Discusión</b> .....	<b>52</b>
<b>VI. Conclusiones</b> .....	<b>56</b>
<b>VII. Recomendaciones</b> .....	<b>57</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>58</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>68</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b>	Tiempos promedios en el ciclo de carguío del mes de julio 2018 .....	15
<b>Tabla 2</b>	Tiempos promedios en el ciclo de carguío del mes de agosto 2018.....	16
<b>Tabla 3</b>	Cuadro resumen de los tiempos promedios del ciclo de carguío en los meses de julio y agosto del 2018 .....	17
<b>Tabla 4</b>	Tiempos promedios en el ciclo de acarreo en el mes de julio - 2018.....	22
<b>Tabla 5</b>	Tiempos promedios en el ciclo de acarreo en el mes de agosto - 2018...	24
<b>Tabla 6</b>	Resumen del tiempo promedio total del ciclo de acarreo - 2018.....	26
<b>Tabla 7</b>	Indicadores de gestión durante el periodo del año 2018.....	29
<b>Tabla 8</b>	Match factor de los equipos de carguío y acarreo en julio - 2018 .....	33
<b>Tabla 9</b>	Match factor de los equipos de carguío y acarreo en agosto - 2018.....	34
<b>Tabla 10</b>	Plan de gestión de mantenimiento para los equipos de carguío y acarreo .....	36
<b>Tabla 11</b>	Tiempos promedios optimizados en el ciclo de carguío, julio 2019.....	39
<b>Tabla 12</b>	Tiempos promedios optimizados en el ciclo de carguío, agosto 2019 ...	40
<b>Tabla 13</b>	Tiempos promedios optimizados en acarreo, julio 2019 .....	41
<b>Tabla 14</b>	Tiempos del ciclo del carguío y acarreo, agosto 2019 .....	42
<b>Tabla 15</b>	Match factor optimizado de los equipos de carguío y acarreo optimizado en julio - 2019.....	43
<b>Tabla 16</b>	Match factor optimizado de los equipos de carguío y acarreo optimizado en agosto - 2019 .....	44
<b>Tabla 17</b>	Optimización de los tiempos del ciclo de carguío y acarreo del 2018 a 2019 .....	46
<b>Tabla 18</b>	Indicador de gestión en el periodo 2019 .....	48
<b>Tabla 19.</b>	Actividades del proceso de mantenimiento .....	51

## Índice de figuras

Figura 1. Tiempos promedios improductivos del ciclo de carguío de las excavadoras 394 - 2018.....	17
Figura 2. Tiempos promedios del ciclo de carguío de las excavadoras 394 - 2018 .....	19
Figura 3: Box plot de los tiempos promedios del ciclo de carguío de las excavadoras 394 – 2018 .....	20
Figura 4. Desarrollo de Box plot .....	21
Figura 5. Tiempos promedios del ciclo acarreo de camiones FMX 440 - 2018 .....	27
Figura 6. Box plot de los tiempos promedios del ciclo de acarreo camiones Volvo FMX 440 - 2018.....	28
Figura 7. Horas trabajadas entre paradas (MTBS) en el año 2018 .....	31
Figura 8. Horas en promedio de reparación (MTTR) en el año 2018 .....	32
Figura 9. Disponibilidad mecánica (DM) en el año 2018 .....	32
Figura 10. Factor de acoplamiento de los equipos de carguío y acarreo 2018 .....	35
Figura 11. Temas para el programa de capacitaciones.....	38
Figura 12. Factor de acoplamiento (MF) optimizado .....	45
Figura 13. Optimización de tiempos del ciclo de carguío y acarreo, periodos 2018 a 2019 .....	47
Figura 14. Horas trabajadas entre paradas (MTBS) en el año 2019 .....	49
Figura 15. Horas promedio en reparación (MTTR) en el año 2019 .....	49
Figura 16. Disponibilidad mecánica (DM) en el año 2019 .....	50
Figura 17. Flujograma de mantenimiento .....	51

## RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo optimizar los tiempos del ciclo de carguío y acarreo en la empresa La Arena, Huamachuco – La Libertad. La investigación es de tipo aplicada con diseño experimental. Para dicha investigación la población estuvo constituida por toda la maquinaria que conforma el ciclo de carguío y acarreo y una muestra representada por los tajos Calaorco y Ethel. Así mismo, para el recojo de información se utilizó la técnica de la observación directa, junto al instrumento denominado guía de observación. Se obtuvieron como resultados que el tiempo promedio del ciclo de carguío y acarreo es de 1.30min y 42.22min 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, evidenciándose tiempos improductivos. Finalmente, este trabajo permitió concluir que, de acuerdo a la implementación del plan de gestión de mantenimiento, 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. Así mismo, los resultados obtenidos del MTBS, MTTR, MTBF y DM fueron de 46.30, 3.70, 56.87 y 92.60% respectivamente durante el año 2019, notándose la optimización del ciclo de carguío y acarreo.

**Palabras clave:** Carguío, acarreo, factor de acoplamiento, tiempo improductivo, ciclo.

## ABSTRACT

The objective of the research was to optimize the times of the loading and hauling cycle in the La Arena company, Huamachuco - La Libertad. The research is of an applied type with experimental design. For this research, the population consisted of all the machinery that makes up the loading and hauling cycle and a sample represented by the Calaorco and Ethel pits. Likewise, for the collection of information, the technique of direct observation was used, together with the instrument called the observation guide. The results were obtained that the average time of the loading and hauling cycle is 1.30min and 42.22min respectively, likewise, the results of the average times of the MTBS, MTTR, MTBF and DM were 37.20, 5.77, 86.58 and 42.13 respectively, evidencing unproductive times. Finally, this work allowed us to conclude that, according to the implementation of the maintenance management plan, the coupling factor in the PAD and stripping improved to 1.07 (3.69%) and 1.09 (3.81%) respectively during the months of July and August. Likewise, the results obtained from the MTBS, MTTR, MTBF and DM were 46.30, 3.70, 92.60 and 56.87 respectively during 2019, noting the optimization of the loading and hauling cycle.

**Keywords:** Loading, hauling, match factor, downtime, cycle.

## I. INTRODUCCIÓN

La actividad minera en el mundo siempre estará vinculada al sector de las finanzas, la importancia de la actividad minera ha generado una gran evolución en las bolsas económicas mundiales. El Perú no ha sido excepción de este crecimiento económico gracias a la actividad minera, debido a que este sector es uno de los principales pilares de la economía peruana. Para Dammert y Molinelli (2007), en su investigación mencionan una visión clara y objetiva sobre la actividad minera en el Perú, la influencia de esta actividad extractiva a nivel mundial y sudamericano ha dejado a Perú en puestos muy altos, gracias a su producción y gran potencial minero, ocupa el primer lugar en la extracción y producción de Plomo, Zinc, estaño, plata y oro al igual obtiene el segundo lugar en cobre, en Sudamérica y primer lugar en plata, tercer lugar en cobre y zinc y quinto lugar en oro a nivel mundial.

La gran riqueza que posee el Perú en recursos minerales lo ha llevado a posicionarse en los mejores lugares a nivel mundial, gracias a ellos se están realizando inversiones de gran categoría en distintas zonas del Perú donde se desarrolla esta actividad. La minería ha cumplido un gran rol en el desarrollo de la economía a nivel nacional, por eso es importante que el desarrollo de esta actividad se deba realizar de manera adecuada, responsable y optimizada. En esta investigación se analizó los procesos de operaciones unitarias como es carguío y acarreo con el fin de generar menores costos y una mayor optimización del proceso, mejorando e innovando así en la actividad minera.

En el sector minero existen distintas operaciones y procesos, tanto para la minería subterránea como minería a tajo abierto. Existen operaciones que van desde menor costo hacia mayor costo y una de las operaciones unitarias más costosas es la de carguío y acarreo debido a una serie de actividades que se requieren para realizar esta operación. Cahuari (2019), en su investigación donde define a la operación de carguío y acarreo como la más costosa en la actividad minera a tajo abierto. Los equipos de acarreo están en un costo alrededor de un 38% del total de operaciones mina, y el costo de carguío esta alrededor de un 8%, por eso es

tan necesario lograr optimizar, evaluar y minimizar los tiempos muertos en estos equipos tan necesarios para la actividad minera, con el fin de lograr una productividad aceptable a base del costo del equipo utilizado.

La información brindada por este autor y la necesidad que posee para evaluar y optimizar esta operación unitaria es porque dicha operación genera el mayor costo operacional en el desarrollo de la actividad minera a tajo abierto, esto se debe principalmente al consumo de combustible y desgaste de llantas, entre otros. En este informe se consideró a la minera La Arena que labora a tajo abierto extrayendo oro en óxido epitermal de alta sulfuración alojada en arenisca brecciada dentro de la Formación Chimú. En esta mina se buscó maximizar la productividad de toda la flota de equipos de carguío y acarreo, basado en la reducción de tiempos muertos e improductivos, por eso se planteó la siguiente **formulación del problema**: ¿Cómo se puede optimizar el ciclo de carguío y acarreo en la empresa La Arena, Huamachuco - La Libertad?

Así mismo se presenta la **justificación** de manera práctica, teórica y metodológica.

**De manera práctica**, porque a través de la observación se logró detallar e identificar la realidad del problema en el cual se pudo evidenciar la aglomeración de los equipos de carguío y los tiempos muertos generados por la espera. Esto generó una baja productividad, así mismo se sabe que no existe ningún estudio de investigación respecto a la optimización del ciclo de carguío y acarreo en la empresa La Arena, Huamachuco - La Libertad. Por tal motivo se desarrolló una investigación detallada del problema, logrando así contribuir en el beneficio de las actividades de la empresa.

**De manera de teoría**, debido que a partir del estudio y análisis de antecedentes y teorías referente a la optimización del ciclo de carguío y acarreo se pudo ampliar los conocimientos en el tema mencionado, para poder evaluar las condiciones en las que operan los equipos de carguío y acarreo. Implementando técnicas para lograr optimizar los tiempos y a la vez alternativas de solución, logrando cumplir con los objetivos propuestos.

**De manera metodológica**, porque este informe se entregará a la Universidad Cesar Vallejo filial Chiclayo con el único fin de que los usuarios que deseen información referente a problemas similares puedan recurrir a la investigación vía web, al igual que las empresas. En este informe podrán acceder de manera libre en forma de consulta o guía para sus inconvenientes, debido a que los datos son reales y obtenidos en campo, al igual que el análisis, elaboración e interpretación de los resultados, logrando así plantear medidas de control y alternativas de solución a un problema constante en la actividad minera a tajo abierto.

Para la solución de este problema se planteó como **objetivo general**: Optimizar los tiempos del ciclo de carguío y acarreo en la empresa La Arena, Huamachuco - La Libertad. Y como **objetivos específicos**: Analizar los tiempos del ciclo de carguío y acarreo para determinar los tiempos improductivos en la empresa minera La Arena, calcular el factor de acoplamiento de los equipos de carguío y acarreo y optimizar el ciclo de carguío y acarreo mediante la implementación de un plan de gestión de mantenimiento.

Ante el problema se planteó la siguiente **hipótesis**, si se optimiza los tiempos de carguío y acarreo entonces se incrementará la productividad en la empresa minera La Arena, Huamachuco – La libertad.

## II. MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo de la investigación, fue necesario realizar la consulta bibliográfica basándose en antecedentes internacionales, nacionales y locales, en relación con el informe de investigación “Optimización de tiempos del ciclo de carguío y acarreo en la empresa minera La Arena, Huamachuco - La Libertad”

A nivel internacional el informe de tesis de Fica (2018) titulada “Detección de anomalías en un proceso de carguío autónomo”, tuvo como objetivo la identificación de modelos basados en similitudes, con finalidad de detectar anomalías en el proceso de carguío y acarreo. Tuvo como resultado que, al aplicar 30 pruebas en modelos diferentes para lograr la disminución del porcentaje de error, se logró la elección del modelo más efectivo, donde el modelo SBM fue el más acertado, logrando bajar el porcentaje de error en un 7.5%. Concluyó, que se logró diversos puntos importantes en el proceso de carguío y acarreo. Así mismo comprobó la factibilidad del uso del modelo SBM a diferencia del modelo ARX el cual posee muchas variables con un factor de error mucho mayor.

Las propuestas de metodología y modelos por este autor dan a conocer la dificultad para lograr la optimización y reducción de costos en la operación de carguío y acarreo. Al igual da a conocer la utilidad de la tecnología como punto clave para el desarrollo de su comparación de métodos y la elección del mejor para dar solución al problema planteado.

En el informe de tesis de Montes (2018) titulado “Modelo evaluativo para el cálculo de flota de equipos de carguío y transporte en compañía minera Doña Inés de Collahuasi”, tuvo como objetivo, proponer un modelo de cálculo de flota para lograr el cumplimiento requerido en el plan de producción. Tuvo como resultado que, al utilizar el software Vulcan calcula las nuevas distancias y tiempos de ciclo, siendo analizados en Solver de Excel calculando la distribución de los camiones, concluyó que el modelo manual si funciona, asignando los equipos de carguío para cumplir una meta planteada a corto plazo en cada fase, el modelo también es capaz de estimar el tonelaje que puede cargar cada equipo de carguío de manera precisa.

De acuerdo con lo mencionado por el autor en su informe de tesis, la idea de encontrar un número estable de camiones para el desarrollo de operaciones de cada frente es necesario recurrir a un cálculo de flota. Para el desarrollo del cálculo de flota es necesario identificar factores que ocasionan tiempos improductivos en el desarrollo de la operación, al igual que la importancia de mantener todos los equipos con una disponibilidad mecánica efectiva.

A nivel nacional en la tesis de Vargas (2019) titulada “Mejoramiento del sistema de carguío y transporte en la UM San Rafael”, tuvo por objetivo, mejorar el sistema de carguío y transporte de mineral para poder optimizar el dimensionamiento de flota. Tuvo como resultado que 2 volquetes se encontraban en la cola del área de evacuación del mineral y desmonte, lo cual ocasionaba tiempos muertos extensos. En el equipo de transporte se determinó que solo se necesitan 6 volquetes para poder cumplir con el plan de producción. Concluyó que, se logró optimizar el dimensionamiento de flota con la implementación de un cargador frontal L566 y la disminución de 2 volquetes, teniendo un total de 9 equipos, 3 de carguío y 6 de transporte.

Este proyecto de investigación es un claro ejemplo de que importante es optimizar un dimensionamiento de flota, con la única finalidad de brindar beneficios para el desarrollo del plan de producción, ahorrando costos y brindando una mejor seguridad en el desarrollo de las actividades.

Martinez (2019) titulada “Mejoramiento de producción del carguío y transporte mediante la teoría de colas en compañía minera los andes Perú Gold S.A.C.”, tuvo como objetivo, mejorar la producción del carguío y transporte en base a la teoría de colas. Tuvo como resultado que existe un error en la distribución del número de volquetes en cada frente, lo cual generaba pérdidas de producción y costo elevado. Al aplicar la teoría de colas se logró mejorar la producción del carguío y acarreo del material. Concluyó que para evitar colas en los frentes es necesario la reducción de equipos de carguío y transporte por cada frente, afectando directamente el rendimiento de las excavadoras.

En esta investigación se adquirió conocimientos los cuales fueron necesarios para lograr la optimización de tiempos en esta operación unitaria que es el

carguío y acarreo en la empresa minera La Arena, datos muy relevantes los cuales se estudiaron a detalle y se analizaron con el fin de mejorar y optimizar el rendimiento de los equipos y la recirculación de estos para poder evitar las colas y tiempos muerto logrando así evitar elevados costos en el desarrollo de la operación.

Villar (2020) en su tesis titulada “Uso de sistemas expertos en el ciclo de carguío y acarreo y su influencia en el proceso de mejora continua y gestión de costos operativos”, tuvo por objetivo fundamentar la influencia directa que tiene un sistema experto en el proceso de carguío y acarreo con referencia a gestión de costos y mejora continua. Tuvo como resultado que se logró la disminución de tiempos de carguío y aumento de factores de carga en los casos como Aspee y Gárate, se consideró un éxito debido a que la razón de toneladas por minuto es 160 [ton/min] vs 154 [ton/min]. Concluyó que se logró evidenciar los resultados positivos con respecto a costos y beneficios, a partir del uso del sistema de expertos.

Este proyecto mencionado se basa en dar a conocer las importancias tecnológicas en el desarrollo de la actividad minera en general y en los procesos concernientes, la innovación tecnológica genera innumerables posibilidades de mejoras además junto a ello mejoras económicas y cumplimiento de metas operacionales.

A nivel local la tesis de Araujo (2018) titulada “Optimización de la flota de volquetes en el acarreo, para incrementar la producción en la mina los andes Perú Gold – Huamachuco”, tuvo por objetivo, optimizar la flota de volquetes en el acarreo, para incrementar la producción. Tuvo como resultados que, para poder dar solución al problema se designó una flota de volquetes, esto represento una unión entre etapas con el único fin de que cada etapa al optimizarse por separado lograra ser factible para el problema completo. Llegando a concluir, que la herramienta de programación dinámica logró la optimización de volquetes a cada excavadora de la empresa, logrando así un menor costo.

La importancia de la investigación citada con respecto a la utilidad de la programación dinámica que se le puede dar con el fin de encontrar el número

correcto de camiones que se deben emplear en la operación con el fin de evitar aglomeraciones, al igual los factores que generan tiempos improductivos y por lo mismo pérdida de tiempo y pérdidas económicas en la empresa.

Julca (2019) en su tesis titulada “Optimización del ciclo de carguío y acarreo del tajo al PAD de lixiviación para evitar tiempos muertos y reducir costos en una empresa minera de la mediana minería, 2019”, tuvo como objetivo: optimizar el ciclo de carguío y acarreo del tajo al PAD de lixiviación para evitar tiempos muertos y reducir costos. Tuvo como resultados que, la velocidad del camión al regresar (vacío) aumenta de 43,11 km/h a 45,22 km/h. Optimizando el ciclo de carga de 28,36 minutos a 25,53 minutos. Aplicándose a los turnos "diurnos", pues no hay problema de retrasos prolongados en los turnos "nocturnos". Concluyó que, el tiempo con y sin retardo de la lixiviación son 56,72 y 52,07 min respectivamente en el turno diurno y turno noche de 58,52 y 57,52 min.

Nos da a entender que los tiempos muertos presentes en los ciclos de carguío y acarreo son el principal inconveniente para el cumplimiento de la producción diaria de la empresa minera, el cual es importante identificarlos y erradicarlos del proceso, teniendo en cuenta el análisis en los diferentes tipos de turnos en la cual labora la empresa minera. De tal manera se aumentará la producción y optimizará los tiempos del ciclo.

De La Cruz (2018) en su tesis titulada “Optimización del ciclo de carguío y acarreo para reducir los costos operativos en una empresa minera”, tuvo como objetivo, reducir los costos operativos en la operación de carguío y acarreo mediante la optimización de estándares operacionales en una empresa minera. Tuvo como resultado que, el costo actual del proceso de carga y transporte es 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%). Concluyó que, al comparar los costos se genera un ahorro de S/. 1,193,280 siendo un 3% en el primer año.

Nos da a entender que para reducir los costos de carguío y acarreo se debe tener en cuenta los tiempos presentes en el ciclo, ya que en su mayoría se tiene presente los tiempos muertos y tiempos improductivos, esto generando grandes

pérdidas económicas y aumentado el tiempo del ciclo carguío y acarreo de la empresa minera.

Calua (2019) en su tesis titulada “Propuesta de minimización de tiempos improductivos para una mayor producción en carguío y acarreo en la CIA. Minera Coimolache S.A.”, tuvo como objetivo, realizar una propuesta de minimización de tiempos improductivos presentes en el proceso de carguío y acarreo. Tuvo como resultados que, se minimizó los tiempos improductivos, siendo menor o igual a 3 minutos. Cada camión volquete aumenta en 98.5 TM/día, equivalente a \$ 14.33/día. En las excavadoras CAT 390 DL, aumentó de 32.1 TM/día equivale a 11.95 \$/día, y 163 TM/día en CAT 374 DL equivale a \$ 130,46/día (p.73). Concluyó que la utilización aumento a 3% la excavadora 374 DL, 10% 390 DL y los equipos de acarreo en 3%.

Se entiende que la optimización y minimización de los tiempos improductivos genera una mayor producción en el ciclo de carguío y acarreo, la cual se debe tener en cuenta la producción diaria establecida por el área de planeamiento. La minimización de los tiempos muertos e improductivos en el ciclo aumentan de tal manera la utilización, eficiencia y eficacia de los equipos teniendo en cuenta los diferentes tipos de mantenimiento de los equipos y vías de rodamiento.

Pauca (2019) en su tesis titulada “Selección y reemplazo de equipos de acarreo para optimizar tiempos y reducir costos operativos mina Parcoy consorcio minero Horizonte JJD Contratistas S.A.C.”, tuvo como objetivo, seleccionar y reemplazar los volquetes para el acarreo de mineral y desmote en la mina Parcoy, con el fin de optimizar tiempos y reducir costos operativos. Tuvo como resultados que, se optimizó los tiempos eliminando los tiempos improductivos en el acarreo, los ciclos de acarreo en la ruta 1 es de 1h37min, ruta 2 1h40min, para ruta 3 es 1h19min, ruta 4 1h39min, ruta 5 1h 43min y ruta 6 1h07min. Concluyó que el rendimiento de la flota de transporte de mineral y desmote mejoró en el año 2017 de 20 TM/h a 25 TM/h incrementando en un 25%.

Concreta que la selección optima de los equipos y el remplazo de estos en el ciclo de carguío y acarreo depende mucho para la optimización y reducción de los tiempos improductivos. Así mismo esto también depende en el rendimiento

de la flota de los camiones de transporte de material, teniendo en cuenta y estando al día de los diferentes tipos de mantenimientos que se les debe hacer a los equipos.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

Según Hernández (2014) el tipo de investigación aplicada, consiste en la búsqueda de métodos que logren solucionar un problema de investigación apoyándose en el método científico.

El tipo de investigación utilizada en este informe es aplicado, debido a que se buscó la solución al problema detectado en la zona de estudio, que se formuló de la siguiente manera ¿Cómo se puede optimizar el ciclo de carguío y acarreo en la empresa minera La Arena, Huamachuco - La Libertad?, basándose en sus objetivos y en el método científico para lograr dar con dicha solución.

Arias (2012) indica que se llama diseño de investigación experimental, al diseño en el cual la variable de investigación puede ser manipulada, con el único fin de identificar los efectos producidos entre ellas, dando a conocer una relación de causa y efecto.

El diseño utilizado en esta investigación es pre experimental, específicamente, ya que se ha buscado identificar el problema que alarga el ciclo de carguío y acarreo por medio de una medición inicial en campo de los tiempos de los equipos, para luego proponer la mejora que constó de un plan de gestión de mantenimiento. Como indica Salas, la investigación pre experimental es la forma más simple del diseño de investigación experimental, donde el objeto de estudio está bajo observación luego de haber buscado los factores con causa y efecto. Así mismo también es longitudinal, debido a que se recolectaron una serie de datos en cada periodo de corto plazo que se desarrolló la actividad de carguío y acarreo

para cada frente, para Hernández et al., (2014). El estudio longitudinal está basado en la medición de la variable o variables planteadas a través de un lapso de tiempo, en la cual se realizará la recolección de datos por medio de instrumentos.

### 3.2. Variables y Operacionalización

La variable planteada en este informe es una variable dependiente, debido a que es la variable respuesta o solución con respecto al problema encontrado y se basa en la optimización de tiempos del ciclo de carguío y acarreo en la empresa minera La Arena, La Libertad. Y posee una categoría cuantitativa que comprende dimensiones como, dimensionamiento de equipos, flota de equipos, benchmarking, análisis del proceso (Ver anexo N°3).

### 3.3. Población, muestra y muestreo

**Población:** Según Pineda et al 1994 citado por López (2004) la población es un conjunto de elementos finitos o infinitos que se pretende estudiar una o más características, la cuales está constituida por individuos, cosas, etc. Por lo tanto, la población está conformada por toda maquinaria que conforma el ciclo de carguío y acarreo de la empresa minera La Arena.

**Muestra:** Toledo (2017) define a la muestra como un subgrupo de la población, para que se pueda plantear una muestra es necesario recolectar información como, datos representativos y características de una población. A través de la recolección de datos por intermediación de los instrumentos, se definió como muestra: A toda maquinaria que conforma el ciclo de carguío y acarreo de la empresa minera La Arena.

**Muestreo:** Suárez (2011) define al muestreo como una herramienta esencial en la investigación científica, que va relacionado entre la variable planteada y la población, esto se puede entender como la examinación del todo para encontrar algunas incidencias. En este caso, el muestreo es censal ya que la muestra está conformada por toda la población. Manna y

Mette (2021) indican que también se le conoce como muestreo poblacional, y es donde la población total es la muestra.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **Técnicas**

Según Arias (2012) se entenderá como técnicas de investigación al procedimiento de recolección de datos o información, a través de una forma particular o de manera técnica. Para el desarrollo de este informe de tesis se utilizó la técnica de observación directa en campo, esto permitió la recolección de datos referente a la variable, Optimización de tiempos del ciclo de carguío y acarreo en la empresa La Arena. Los datos obtenidos fueron procesados en conjunto con los objetivos planteados.

#### **Instrumentos**

Según Cohen Y Gómez (2019) definen a los instrumentos como mecanismos que cumplen la función de obtener datos o información necesaria, para poder cumplir con el logro de los objetivos planteados, logrando así la validación de estos al igual que la propuesta de la hipótesis, esto quiere decir que cumple la función de una herramienta que registra datos de la realidad observada. Los instrumentos utilizados en este informe fueron las guías de observación (Anexo N°4), en las que se detallan las dimensiones, los indicadores, resultados y observaciones a partir de los datos que se registrarán en la zona estudiada.

### **3.5. Procedimientos**

Los procedimientos utilizados en el desarrollo del informe de investigación fueron realizados a través de 3 etapas mostradas a continuación:

- **Primera etapa:** Esta primera etapa se basó en la planificación y recopilación documentaria de diversas fuentes de consulta, tales como libros, revistas indexadas, artículos científicos y trabajos de investigación relacionadas con las variables de estudio, de tal que sirvan como base teórica y científica para elaborar el proyecto de investigación.
- **Segunda etapa:** La segunda etapa consistió en el desarrollo del informe de investigación, para lo cual se elaboraron las técnicas e instrumentos de recolección de datos, los mismos que fueron validados a través de juicios de expertos. Por consiguiente, se procedió a solicitar el permiso a la empresa minera La Arena para realizar los estudios respectivos de acuerdo a los objetivos planteados. De esta manera, se procedió a aplicar los instrumentos para el recojo de información.
- **Tercera etapa:** La tercera etapa consistió en el procesamiento de los datos recogidos in situ, los cuales fueron procesados de manera física y virtual, así también, los datos se analizaron por medio de programas como el Solver y Microsoft Excel para el análisis estadístico, que a su vez sirvieron para mostrar los resultados a través de tablas, gráficos e histogramas.

### 3.6. Método de análisis de datos

**Método de procesamiento de datos:** Todos los datos fueron procesados de manera física y virtual, debido a que se realizaron pruebas necesarias en campo, todo esto sirvió para la recolección de datos necesarios para lograr la solución del problema planteado en un inicio, de tal modo se entiende que esta investigación fue cuantitativa, debido a que los datos serán numéricos casi en su totalidad.

**Para el análisis descriptivo:** En la etapa preprueba se obtuvieron datos que se analizaron por medio de programas como el Solver (Excel se empleó el módulo de análisis estadístico, con el cual se calcularon datos

necesarios para la optimización en la operación de carguío y acarreo, además se presentaron datos en tablas como histogramas, al igual que gráficos.

### **3.7. Aspectos éticos**

A través de lo establecido por el centro de estudios de la universidad César Vallejo, donde hace referencia que la relación de normas y principios deben ir en relación con criterios nacionales e internacionales:

Por eso el manejo de las bibliografías, claridad en los objetivos, transparencia y recolección de datos, se realizaron de manera discreta y con un desarrollo cuidadoso al realizar este informe de tesis.

Según Siurana (2010) la investigación en todos sus aspectos debe guardar una gran relación con principios básicos como, la beneficencia, no maleficencia, autonomía y justicia, con el fin de lograr la aportación de calidad de humana en la persona que investiga.

Conuerdo con lo mencionado por este autor, donde plantea la importancia de estos principios en una investigación científica, se puede entender por beneficencia a la técnica de lograr un beneficio máximo, así logrando la reducción hasta lo más mínimo los daños, la no maleficencia está basada en la ética de protección con la finalidad de evitar daños, actuando hacia la mejoría o beneficio hacia la empresa, la autonomía consiste en la capacidad de alguna persona para lograr la autodeterminación, y llegando a su fin tenemos a la justicia la cual se puede entender como la que asume siempre el riesgo de toda investigación.

## **IV. RESULTADOS**

Este informe ha sido realizado en La Arena en el Tajo Calaorco, una mina que está ubicada en la región de La Libertad, en la provincia de Sanchez Carrión en el distrito de Huamachuco (anexo 10), su depósito tiene una mineralización de oro en óxido epitermal de alta sulfuración alojada en arenisca brecciada dentro de la Formación Chimú. En los anexos 11 y 12 se pueden observar el Tajo Calaorco y el Botadero además de las rutas en ellos.

### **4.1. Análisis de los tiempos del ciclo de carguío y acarreo para determinar los tiempos improproductivos en la empresa minera La Arena**

Se realizó el análisis de los tiempos del ciclo de carguío y acarreo para determinar los tiempos improproductivos en la empresa minera mediante la recolección de los datos de tiempos de operación de los equipos: Volvo FMX 440 con un total de 50 unidades y una capacidad de 15m<sup>3</sup> en 5 contratistas y la excavadora Caterpillar 394 con un total de 3 unidades y una capacidad de 3m<sup>3</sup>. El análisis de los tiempos fue recolectados a través del periodo 2018 y 2019 mostrando los meses de julio y agosto, tal como se muestra a continuación desde la Tabla 1 hasta la Tabla 7.

#### **4.1.1. Tiempos en el ciclo de carguío**

Los tiempos en el ciclo de carguío fueron recolectados de manera manual. Tal como se muestra en la Tabla 1, se recolectó los tiempos de espera y los tiempos de cada pase en el llenado de tolva de los camiones mineros.

**Tabla 1***Tiempos promedios en el ciclo de carguío del mes de julio 2018*

		<b>Julio</b>						
<b>Promedios diarios de las 3 excavadoras 394 CAT</b>	<b>Días</b>	<b>Espera</b>	<b>Pase 1</b>	<b>Pase 2</b>	<b>Pase 3</b>	<b>Pase 4</b>	<b>Pase 5</b>	<b>Total</b>
		<b>(s)</b>	<b>(s)</b>	<b>(s)</b>	<b>(s)</b>	<b>(s)</b>	<b>(s)</b>	<b>(s)</b>
	<b>1</b>	12	11	12	10	11	12	68
	<b>2</b>	14	15	10	14	12	15	80
	<b>3</b>	17	11	13	12	12	11	76
	<b>4</b>	12	14	10	14	14	15	79
	<b>5</b>	17	11	12	13	10	10	73
	<b>6</b>	14	10	12	15	14	15	80
	<b>7</b>	15	13	10	14	11	11	74
	<b>8</b>	13	10	15	15	11	12	76
	<b>9</b>	14	15	12	10	10	13	74
	<b>10</b>	12	11	15	14	14	15	81
	<b>11</b>	15	13	10	13	13	11	75
	<b>12</b>	17	13	12	13	15	12	82
	<b>13</b>	13	13	13	15	12	13	79
	<b>14</b>	17	15	10	14	14	12	82
	<b>15</b>	14	10	11	13	11	12	71
	<b>16</b>	18	10	12	10	12	13	75
	<b>17</b>	11	13	14	12	15	12	77
	<b>18</b>	17	10	10	11	13	12	73
	<b>19</b>	18	11	12	13	13	14	81
	<b>20</b>	14	10	11	10	12	13	70
	<b>21</b>	12	13	13	15	14	12	79
	<b>22</b>	12	11	15	13	10	13	74
	<b>23</b>	20	14	14	13	13	14	88
	<b>24</b>	10	13	12	13	15	13	76
	<b>25</b>	16	14	13	14	14	14	85
	<b>26</b>	20	14	11	15	10	15	85
	<b>27</b>	18	14	12	13	13	13	83
	<b>28</b>	16	13	15	15	14	11	84
	<b>29</b>	14	14	10	10	12	10	70
<b>30</b>	19	15	13	13	14	11	85	

Fuente: Elaboración propia

De los datos recolectados en la Tabla 1, se obtuvo un promedio total en el ciclo de carguío de 77.83s equivalente a 1.30 min en el mes de julio, así mismo se obtuvo como promedio mínimo y máximo de 68 y 88s. Cabe rescatar que, dentro de este tiempo de ciclo, hay tiempos en los que la excavadora lo ha ocupado para esperar a que el camión se coloque para ser cargo, para la excavadora se consideran tiempos improductivos o tiempos muertos, en este mes ha tenido en promedio 15.03 segundos por ciclo de carguío.

Los tiempos en el ciclo de carguío en el mes de agosto. Se muestra en la Tabla 2, se recolectó los tiempos de espera y los tiempos de cada pase en el llenado de tolva de los camiones mineros.

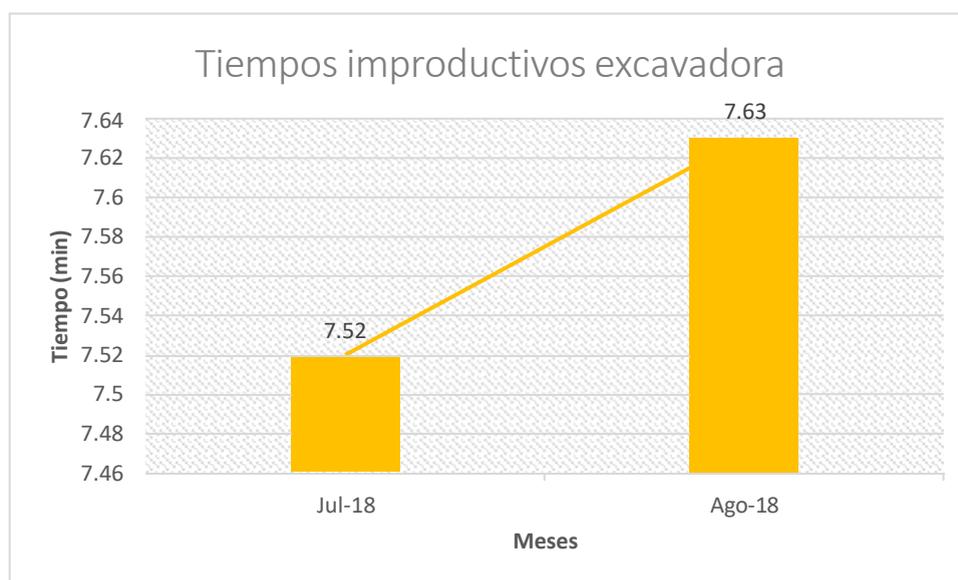
**Tabla 2**

*Tiempos promedios en el ciclo de carguío del mes de agosto 2018*

		<b>Agosto</b>						
<b>Promedios diarios de las 3 excavadoras 394 CAT</b>	<b>Días</b>	<b>Espera (s)</b>	<b>Pase 1 (s)</b>	<b>Pase 2 (s)</b>	<b>Pase 3 (s)</b>	<b>Pase 4 (s)</b>	<b>Pase 5 (s)</b>	<b>Total (s)</b>
	<b>1</b>	11	15	15	15	11	11	78
	<b>2</b>	13	14	12	11	10	12	72
	<b>3</b>	19	13	15	15	13	14	89
	<b>4</b>	18	13	10	10	14	15	80
	<b>5</b>	15	11	10	10	10	15	71
	<b>6</b>	20	11	14	14	10	15	84
	<b>7</b>	14	11	10	11	12	10	68
	<b>8</b>	12	10	15	14	14	12	77
	<b>9</b>	18	11	14	14	13	13	83
	<b>10</b>	19	13	14	13	14	11	84
	<b>11</b>	18	10	13	15	13	10	79
	<b>12</b>	13	12	12	12	10	13	72
	<b>13</b>	14	11	11	12	13	10	71
	<b>14</b>	18	13	10	14	11	11	77
	<b>15</b>	20	13	10	15	15	11	84
	<b>16</b>	14	13	13	13	13	13	79
	<b>17</b>	20	15	15	11	12	12	85
	<b>18</b>	13	13	12	13	13	14	78
	<b>19</b>	12	10	13	11	14	12	72
	<b>20</b>	13	11	11	14	14	15	78
	<b>21</b>	20	12	14	13	10	12	81
	<b>22</b>	12	15	11	13	10	14	75
	<b>23</b>	16	15	15	14	12	10	82
	<b>24</b>	12	10	14	15	11	13	75
	<b>25</b>	11	15	11	13	15	11	76
	<b>26</b>	10	12	14	13	10	12	71
	<b>27</b>	16	13	14	13	10	11	77
	<b>28</b>	11	14	12	15	11	15	78
	<b>29</b>	16	11	13	15	10	10	75
<b>30</b>	20	14	13	10	10	13	80	

Fuente: Elaboración propia

De los datos recolectados en la Tabla 2, se obtuvo un promedio total en el ciclo de carguío de 77.70s equivalente a 1.29 min en el mes de agosto, así mismo se obtuvo como promedio mínimo y máximo de 68 y 89s. En este mes los tiempos de espera por ciclo en promedio fue de 15.27 segundos, ligeramente superior al del mes de Julio.



*Figura 1. Tiempos promedio improductivos del ciclo de carguío de las excavadoras 394 - 2018*

Fuente: Elaboración propia

Así mismo en la Tabla 3, se muestra el resumen de los tiempos promedio durante los meses de julio y agosto en el periodo del 2018.

**Tabla 3**

*Cuadro resumen de los tiempos promedio del ciclo de carguío en los meses de julio y agosto del 2018*

Días	Resumen	
	Julio (s)	Agosto (s)
1	68	78
2	80	72
3	76	89
4	79	80
5	73	71
6	80	84
7	74	68
8	76	77
9	74	83
10	81	84
11	75	79
12	82	72
13	79	71
14	82	77
15	71	84

16	75	79
17	77	85
18	73	78
19	81	72
20	70	78
21	79	81
22	74	75
23	88	82
24	76	75
25	85	76
26	85	71
27	83	77
28	84	78
29	70	75
30	85	80
<b>Promedio mensual</b>	77.83	77.70
<b>Promedio total</b>		77.77

Fuente: Elaboración propia

El resultado obtenido de los tiempos promedios en los meses de julio y agosto en el periodo 2018 tal como se muestra en la Tabla 3, en el mes de julio fue de 77.83 y agosto 77.70, teniendo un promedio total de 77.77s, equivalentes a 1.30min.

Teniendo en cuenta que los tiempos improductivos del mes de julio y agosto fueron de 15.03 segundos y 15.27 segundos respectivamente, los tiempos netamente de producción en el ciclo de carguío de la excavadora es de 62.80s equivalente a 1.05m en el mes de julio y 62.43s equivalente a 1.04m en el mes de agosto, lo que quiere decir que en promedio por ciclo de carguío hay un minuto desperdiciado debido a las esperas del camión que la excavadora realiza.

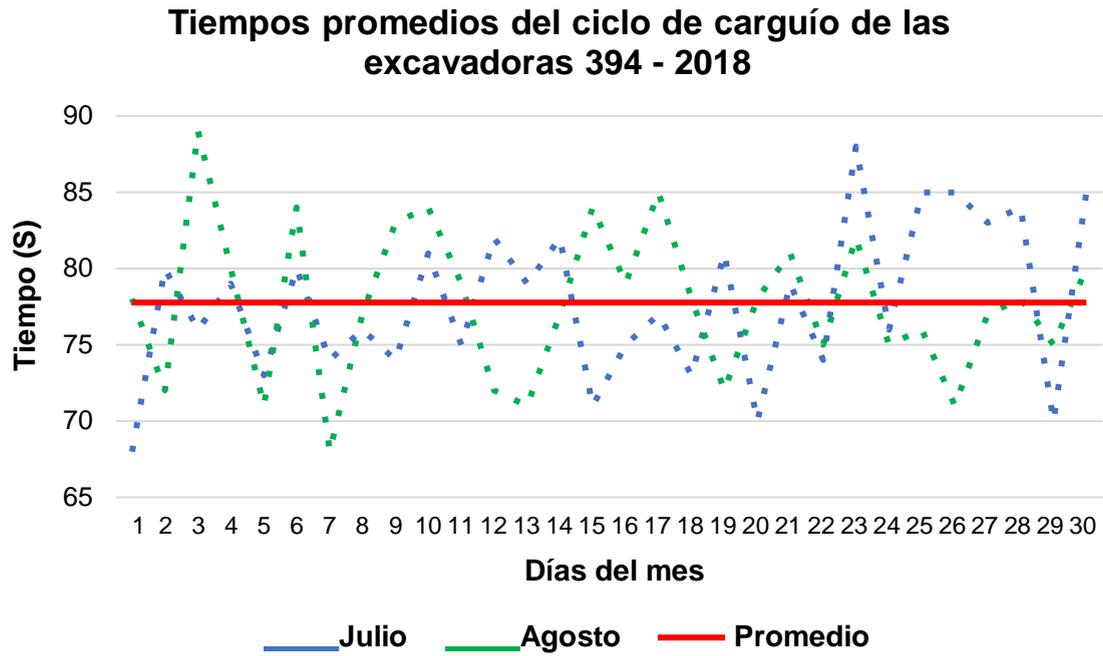


Figura 2. Tiempos promedios del ciclo de carguío de las excavadoras 394 - 2018  
 Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, los tiempos en los meses de julio y agosto tienden a variar bastante con respecto a su tiempo promedio, presentando irregularidades en el proceso del ciclo de carguío.

### Box plot de los tiempos promedios del ciclo de carguío de las excavadoras 394

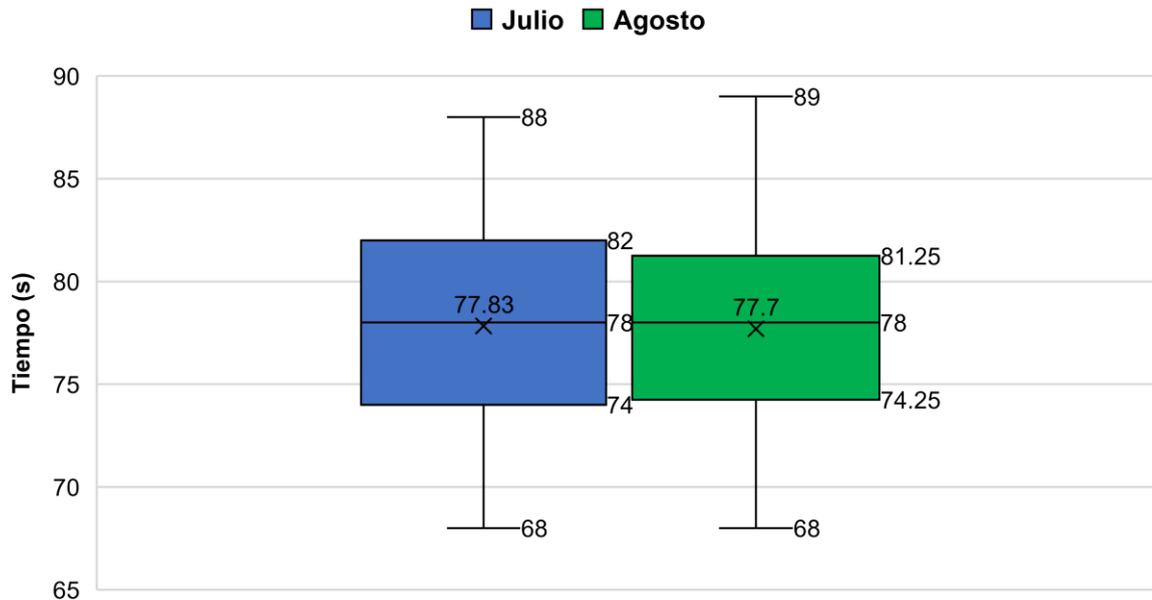


Figura 3: Box plot de los tiempos promedios del ciclo de carguío de las excavadoras 394 – 2018.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 33, se muestra el box plot de los tiempos promedios del ciclo de carguío de la excavadora 394 tanto del mes de julio como el de agosto. En cuanto al mes de julio, la mediana de todos los datos tomados es de 77.83s, el primer cuartil es 74, el cual indica que por debajo de este número está el 25% de los casos, el tercer cuartil es 82 que indica que hasta ese punto hay el 75% de los casos. El cuadro azul es conocido como la caja y representa el 50% de los datos, el 88 y 68 representan los límites, superior e inferior respectivamente que se han tenido en estos datos.

En cuanto al mes de agosto, el primer cuartil está entre 68s y 74.25s, la media es 77.7s, el tercer cuartil está por encima de 81.25s, por lo que la caja (segundo cuartil representado por el cuadro verde) está entre 74.25s y 81.25s que representa el 50% de todos los datos mostrados en la tabla 2; por último, se tienen los límites, inferior y superior de 68s y 89s respectivamente.

Para realizar esta gráfica se ha utilizado Excel como se muestra en la Figura 3:

Cantidad	Tiempos	
	Julio	Agosto
1	88	89
2	85	85
3	85	84
4	85	84
5	84	84
6	83	83
7	82	82
8	82	81
9	81	80
10	81	80
11	80	79
12	80	79
13	79	78
14	79	78
15	79	78
16	77	78
17	76	77
18	76	77
19	76	77
20	75	76
21	75	75
22	74	75
23	74	75
24	74	72
25	73	72
26	73	72
27	71	71
28	70	71
29	70	71
30	68	68

*Figura 4. Desarrollo de Box plot*

Básicamente consiste en ordenar las muestras que se tienen en 4 cantidades iguales de 25% cada uno conocidos como cuartiles, las dos cantidades centrales un solo conocido como caja y representa el 50% de la muestra.

#### 4.1.2. Tiempos en el ciclo de acarreo

Los tiempos recolectados del ciclo de acarreo durante los meses de julio y agosto durante el periodo del año 2018 se muestran a continuación en la Tabla 4 y Tabla 5.

Cabe rescatar que este trabajo se enfoca en los tiempos improductivos producidos netamente por desperfectos mecánicos, es por ellos que las tablas 4 y 5 muestran el tiempo de ciclo de acarreo en general y estipulan la falla mecánica que el volquete presentó sin mostrar tiempo en números ya que este tiempo es calculado de manera general para el año 2018 en la tabla 7 indicadores de gestión de mantenimiento en el año 2018.

**Tabla 4**

*Tiempos promedios en el ciclo de acarreo en el mes de julio - 2018*

Julio										
Tiempos promedios en acarreo - volvo FMX 440										
Volquete	Contrata	Zona	Posicionamiento en excavadora (min)	Transporte lleno (min)	Posicionamiento para descarga (min)	Levante y Descarga (min)	Transporte vacío (min)	Tiempos improductivos	Número de ciclos	Tiempo total del ciclo (min)
1	Dominguez	PAD	1	21	1	3	17	Falla mecánica	3	43
2			2	22	1	3	15	Fuga de combustible	2	43
3			2	22	1	2	15	Rotura de muelles	3	42
4			1	22	2	2	16	Pinchazo de neumáticos	3	43
5			2	20	2	2	18	Falla de neblineros	2	44
6			2	21	1	2	18	Quebradura de tolva	3	44
7			1	21	1	2	16	Falta de lubricantes	2	41
8			1	19	1	3	17	Rotura de filtro de aire	3	41
9			1	22	2	3	18	Baterías agotadas	2	46
10			1	22	1	3	16	Caja de cambios malograda	3	43
11	Horna	PAD	2	22	1	3	18	Desnivelación de ejes	2	46
12			1	20	1	2	17	Recalentamiento de motor	2	41
13			1	22	2	3	17	Falla mecánica	3	45
14			1	22	1	2	15	Fuga de combustible	2	41
15			2	20	2	2	18	Rotura de muelles	3	44
16			2	20	2	3	17	Pinchazo de neumáticos	2	44
17			2	22	1	2	17	Falla de neblineros	3	44
18			1	21	1	3	16	no presente	2	42
19			2	22	1	3	18	no presente	3	46
20			2	19	2	2	15	no presente	2	40
21			A n d i a n P A D		1	21	1	3	17	no presente

22			2	22	1	2	16	no presento	2	43
23			2	21	1	3	17	no presento	2	44
24			2	21	1	2	16	Falla mecánica	2	42
25			2	22	2	3	17	Fuga de combustible	2	46
26			2	22	2	2	18	Rotura de muelles	2	46
27			2	21	2	2	17	Pinchazo de neumáticos	2	44
28			1	19	1	3	17	Falla de neblineros	2	41
29			1	19	1	3	15	Controles de mando averiados	3	39
30			1	19	2	3	15	Desgaste de frenos	2	40
31			1	22	1	2	17	falla mecánica	3	43
32			2	19	1	3	15	no presento	3	40
33			1	20	1	2	15	no presento	2	39
34	Coreasa	Desmonte	2	21	1	3	15	no presento	2	42
35			2	22	2	3	18	Rotura de filtro de agua	2	47
36			1	22	2	3	17	Timón averiado	2	45
37			1	22	2	3	16	Falla mecánica	3	44
38			1	20	1	3	17	Fuga de combustible	2	42
39			1	20	1	3	17	Rotura de muelles	3	42
40			1	22	2	2	15	Pinchazo de neumáticos	2	42
41			1	21	2	3	15	Falla de neblineros	3	42
42			1	22	1	3	17	no presento	2	44
43			1	22	2	3	17	Desgaste de frenos	2	45
44	Bolívar	Desmonte	2	22	2	2	17	Quebradura de tolva	3	45
45			2	19	2	3	18	Falta de lubricantes	3	44
46			2	22	2	2	18	Rotura de filtro	2	46
47			2	21	2	2	17	Baterías agotadas	2	44
48			1	19	2	3	16	Caja de cambios malograda	2	41
49			1	20	1	2	17	Desnivelación de ejes	2	41
50			2	21	1	3	16	Recalentamiento de motor	2	43

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4, se muestra los tiempos promedios recolectados durante el mes de julio, el cual muestra que el tiempo promedio en ese mes fue de 43.04min evidenciando la presencia de tiempos improductivos en el ciclo en las diferentes contratas producidos por desperfectos mecánicos en los volquetes.

**Tabla 5**

*Tiempos promedios en el ciclo de acarreo en el mes de agosto - 2018*

Agosto										
Tiempos promedios en acarreo - volvo FMX 440										
Camión	Contrata	Zona	Posicionamiento en excavadora (min)	Transporte lleno (min)	Posicionamiento para descarga (min)	Levante y Descarga (min)	Transporte vacío (min)	Tiempos improductivos	Número de ciclos	Tiempo total del ciclo (min)
1	Dominguez	PAD	1	21	1	3	16	Timón averiado	3	42
2			1	20	2	3	19	Falla mecánica	3	45
3			1	23	2	2	18	Fuga de combustible	3	46
4			2	23	1	2	17	Rotura de muelles	2	45
5			2	20	2	2	18	Pinchazo de neumáticos	2	44
6			2	22	2	3	17	Falla de neblineros	3	46
7			1	23	1	3	16	no presente	3	44
8			2	20	2	3	19	Desgaste de frenos	3	46
9			1	19	2	3	18	Quebradura de tolva	3	43
10			1	21	2	3	17	Falta de lubricantes	3	44
11	Horna	PAD	1	21	2	3	18	Rotura de filtro	3	45
12			2	23	2	3	18	Baterías agotadas	3	48
13			2	19	2	2	19	Caja de cambios malograda	2	44
14			2	21	2	3	19	Desnivelación de ejes	2	47
15			2	21	2	3	18	Recalentamiento de motor	3	46
16			2	21	1	2	17	Falla mecánica	2	43
17			2	19	1	3	18	Fuga de combustible	2	43
18			2	21	1	2	17	Rotura de muelles	3	43
19			1	19	1	2	18	Pinchazo de neumáticos	3	41
20			2	23	2	3	16	Falla de neblineros	2	46
21	Andian	PAD	2	19	2	2	19	Controles de mando averiados	2	44
22			1	20	2	3	16	Desgaste de frenos	2	42
23			1	20	1	3	18	Pinchazo de neumáticos	2	43
24			1	22	2	2	16	Falla de neblineros	3	43
25			1	20	1	3	17	Desnivelación de ejes	2	42
26			2	22	2	2	17	Recalentamiento de motor	2	45
27			1	21	2	2	19	Falla mecánica	2	45
28			1	22	1	3	17	Fuga de combustible	2	44
29			1	23	2	2	17	Rotura de muelles	2	45
30			2	23	2	3	18	no presente	2	48

31	Coresa	Desmante	2	23	1	2	19	no presente	2	47
32			1	21	1	3	17	no presente	3	43
33			1	22	2	3	17	no presente	3	45
34			1	22	2	2	17	no presente	3	44
35			1	19	2	2	18	no presente	3	42
36			2	19	2	3	19	Falla mecánica	2	45
37			1	21	2	3	18	Fuga de combustible	2	45
38			1	19	2	2	18	Rotura de muelles	2	42
39			1	22	2	3	17	Pinchazo de neumáticos	3	45
40			2	21	2	2	19	Falla de neblineros	3	46
41	Bolívar	Desmante	1	19	2	2	18	Quebradura de tolva	3	42
42			2	19	1	3	19	Falta de lubricantes	3	44
43			2	20	2	2	19	Rotura de filtro de aire	3	45
44			2	21	2	3	18	Baterías agotadas	3	46
45			2	22	2	2	17	Caja de cambios malograda	3	45
46			2	19	2	2	18	falla mecánica	3	43
47			1	19	1	3	18	no presente	3	42
48			2	21	2	2	19	no presente	3	46
49			1	20	1	2	16	no presente	2	40
50			1	20	1	2	18	Rotura de filtro de agua	2	42

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5, se muestra los tiempos promedios recolectados durante el mes de agosto, el cual muestra que el tiempo promedio en ese mes fue de 44.22min evidenciando la presencia de tiempos improductivos en el ciclo en las diferentes contratas producto de fallas mecánicas de los volquetes.

A continuación, en la Tabla 6 se muestra el resumen obtenido de la Tabla 4 y Tabla 5.

**Tabla 6***Resumen del tiempo promedio total del ciclo de acarreo - 2018*

Resumen del tiempo total del ciclo de acarreo (min)		
Camión	Julio	Agosto
1	43	42
2	43	45
3	42	46
4	43	45
5	44	44
6	44	46
7	41	44
8	41	46
9	46	43
10	43	44
11	46	45
12	41	48
13	45	44
14	41	47
15	44	46
16	44	43
17	44	43
18	42	43
19	46	41
20	40	46
21	43	44
22	43	42
23	44	43
24	42	43
25	46	42
26	46	45
27	44	45
28	41	44
29	39	45
30	40	48
31	43	47
32	40	43
33	39	45
34	42	44
35	47	42
36	45	45
37	44	45
38	42	42
39	42	45
40	42	46
41	42	42
42	44	44
43	45	45
44	45	46
45	44	45
46	46	43
47	44	42
48	41	46
49	41	40
50	43	42
T. promedio	43.04	44.22
Promedio total		43.63

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Tabla 6, el tiempo promedio en el mes de julio fue de 43.04min y en el mes de agosto fue de 42.22min, teniendo un tiempo promedio total del ciclo de acarreo de 43.63 min. En este tiempo de ciclo de acarreo, no están considerado los tiempos improductivos producto de desperfectos mecánicos que obligan a que el volquete pare y pase tiempo en mecánica, estos tiempos son detallados en la tabla 7.

### Resumen de tiempos promedios del ciclo de acarreo - 2018

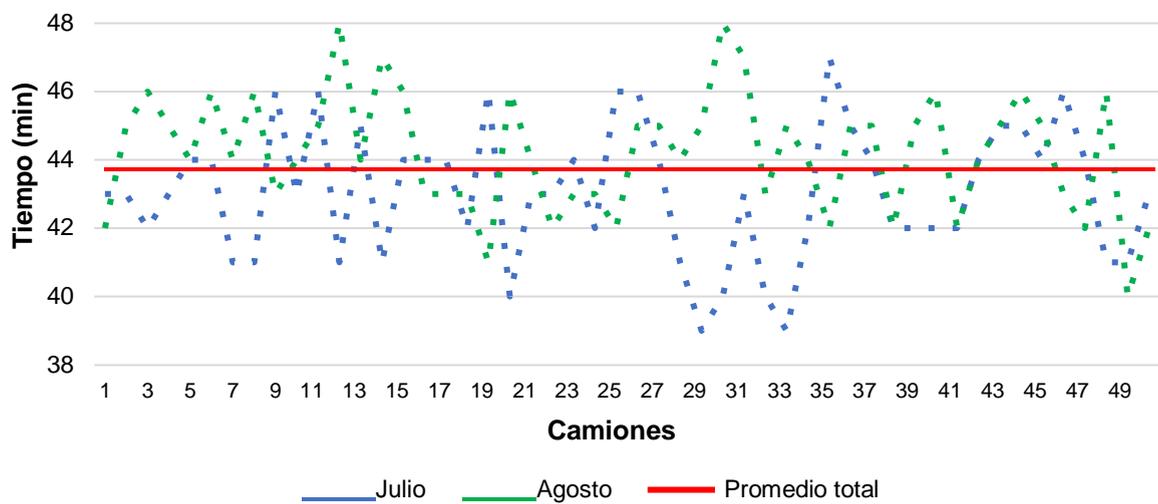


Figura 5. Tiempos promedios del ciclo acarreo de camiones FMX 440 - 2018

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Figura 5, los tiempos promedios durante el mes de julio y agosto no están cerca del tiempo promedio total, evidenciando la influencia de los tiempos improductivos en el ciclo de acarreo.

### Box plot de los tiempos promedios del ciclo de acarreo camiones Volvo FMX 440 - 2018

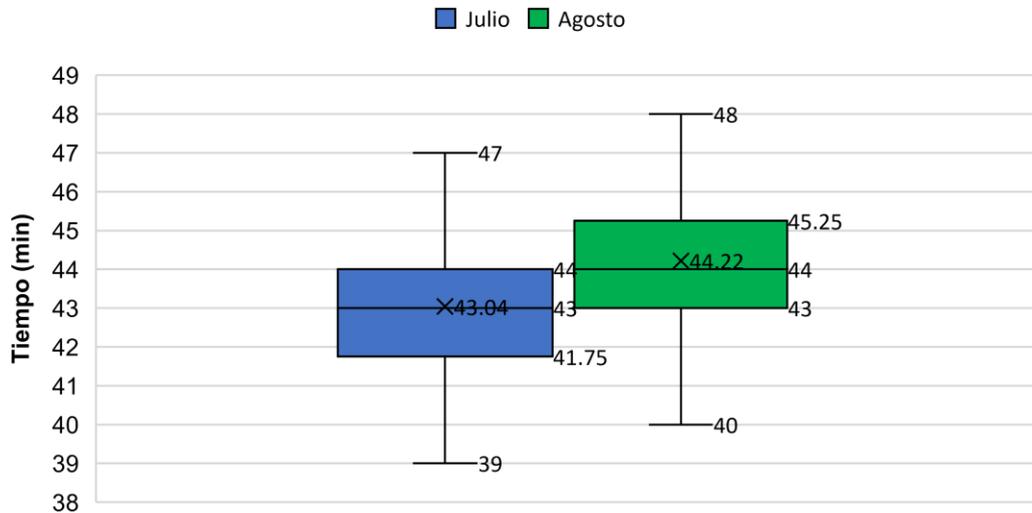


Figura 6. Box plot de los tiempos promedios del ciclo de acarreo camiones Volvo FMX 440 - 2018

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Figura 6, en los cuartiles del diagrama de caja, en el mes de julio el 25% de los datos se encuentran entre los 39 y 41.75min del primer cuartil, en el segundo cuartil los datos se encuentran entre 41.75 y 43min, en el tercero entre 43 y 44min y en el último entre 47 y 44min, con una media de 43.04min. En el mes de agosto los datos en el primer cuartil se encuentran entre 40 y 43min, en el segundo cuartil entre 44 y 43min, en el tercero entre 45.25 y 44min, y en el último cuartil entre 48 y 45.25min, con una media de 44.22min.

En la Tabla 7, se muestra los indicadores de gestión durante el periodo del año 2018 donde se evidenció los diferentes tiempos improductivos a través de las horas trabajadas entre paradas (MTBS), tiempo en reparación (MTTR), tiempo entre paradas que no fueron programadas (MTBF) y la disponibilidad mecánica (DM).

**Tabla 7***Indicadores de gestión durante el periodo del año 2018*

Indicadores de gestión - 2018							
Horas totales trabajadas	Total de paradas	Horas totales de parada	Paradas no programadas por mantenimiento	MTBS	MTTR	DM	MTBF
7511	204	1189	181	37	6	86.33%	41
7635	238	1181	214	32	5	86.60%	36
7428	185	1148	162	40	6	86.61%	46
7664	206	1253	182	37	6	85.95%	42
7666	226	1209	202	34	5	86.38%	38
7557	248	1126	224	30	5	87.03%	34
7321	198	1077	175	37	5	87.18%	42
7518	237	1171	213	32	5	86.52%	35
7585	238	1228	214	32	5	86.07%	35
7617	192	1248	168	40	7	85.92%	45
7549	198	1134	174	38	6	86.94%	43
7427	200	1213	177	37	6	85.96%	42
7365	237	1048	214	31	4	87.54%	34
7573	194	1176	171	39	6	86.56%	44
7712	236	1119	212	33	5	87.33%	36
7277	224	1134	201	32	5	86.52%	36
7546	178	1209	155	42	7	86.19%	49
7441	216	1185	193	34	5	86.26%	39
7446	193	1117	170	39	6	86.96%	44
7649	209	1180	185	37	6	86.63%	41
7512	203	1203	180	37	6	86.20%	42
7864	187	1139	163	42	6	87.35%	48
7553	168	1120	144	45	7	87.09%	52
7629	212	1386	188	36	7	84.63%	41
7635	182	1164	158	42	6	86.77%	48
7559	198	1217	175	38	6	86.13%	43
7430	175	1115	151	42	6	86.95%	49
7668	191	1245	167	40	7	86.03%	46
7630	190	1142	166	40	6	86.98%	46
7668	186	1110	162	41	6	87.35%	47
<b>Promedio</b>				37.25	5.77	86.56%	42.22

Fuente: Elaboración propia

Los indicadores mostrados en la Tabla 7, utilizan fórmulas referidas a este tipo de gestión que involucran al MTBS (horas promedio entre paradas), MTTR (tiempo de reparación en promedio), DM (disponibilidad mecánica del equipo) y MTBF (tiempo promedio entre fallas no programadas); todo esto teniendo como datos obtenidos previamente directamente en campo a las horas trabajadas, total de paradas, horas totales en paradas y paradas por mantenimiento no programadas. Para explicar los resultados se detallará como se hallaron los indicadores del primer dato mostrado en la tabla.

Para el cálculo del MTBS se ha dividido las horas totales trabajadas con el número de paradas que se han registrado y se ha obtenido lo siguiente:

$$MTBS = \frac{7511 h}{204} \cong 37h$$

Lo cual se interpreta que, pasan 37h en promedio antes de que la máquina tenga una parada por temas mecánicos.

El MTTR, divide las horas totales de parada entre el número total de paradas:

$$MTTR = \frac{1189 h}{204} \cong 6h$$

Lo que quiere decir que la maquinaria en promedio está 6 horas en reparación de la falla que se le presente.

El MTBF es halla mediante la división de las horas totales trabajadas entre el número de paras no programadas por mantenimiento:

$$MTBF = \frac{7511 h}{181} \cong 41h$$

Entonces, cada 41h trabajadas el equipo presenta alguna parada por fallas no programadas.

Finalmente, la disponibilidad mecánica (DM) ha sido obtenida al dividir el MTBS con la suma del MTBS con el MTTR:

$$DM = \frac{37}{37 + 6} \cong 86.33\%$$

Lo que indica que, solo el 86.33% del tiempo nominal, el equipo está en buenas condiciones para realizar sus actividades.

De esta manera, han sido calculados todos los indicadores mostrados en la tabla 7 para finalmente obtener promedios, y es así como se han llegado a los siguientes resultados, MTBS de 37.25h, MTTR de 5.78h, el MTBF de

42.22 y la DM de 86.56% durante el periodo del año 2018.

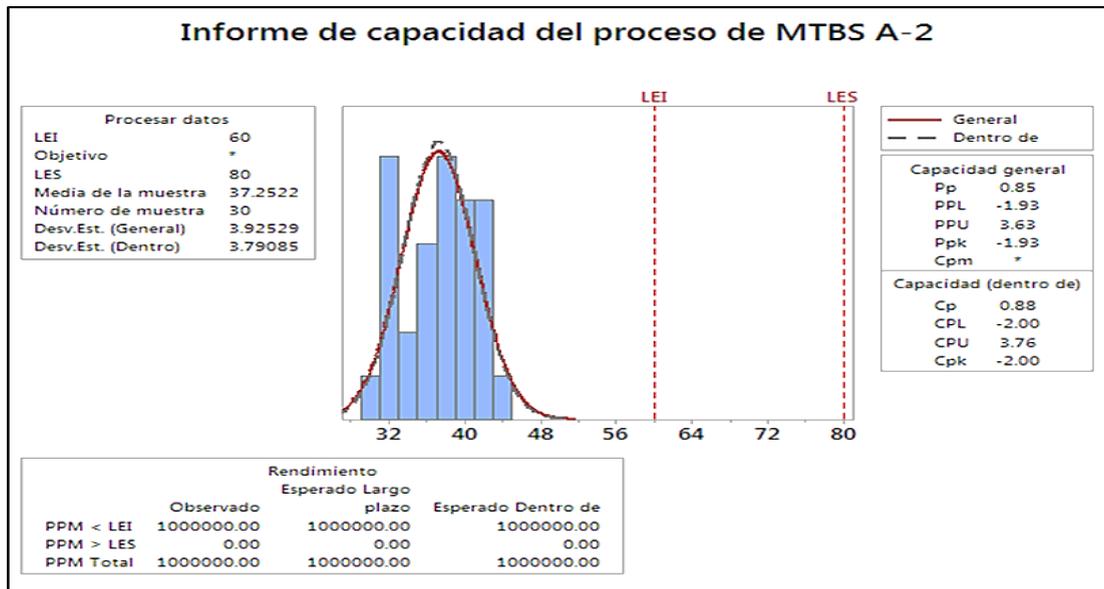


Figura 7. Horas trabajadas entre paradas (MTBS) en el año 2018

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Figura 7, las horas trabajadas entre paradas por los equipos en el periodo del año 2018 no están dentro del rango recomendado según las buenas prácticas mineras (Zegarra, 2016) que señala que este indicador oscile entre 60 a 80.

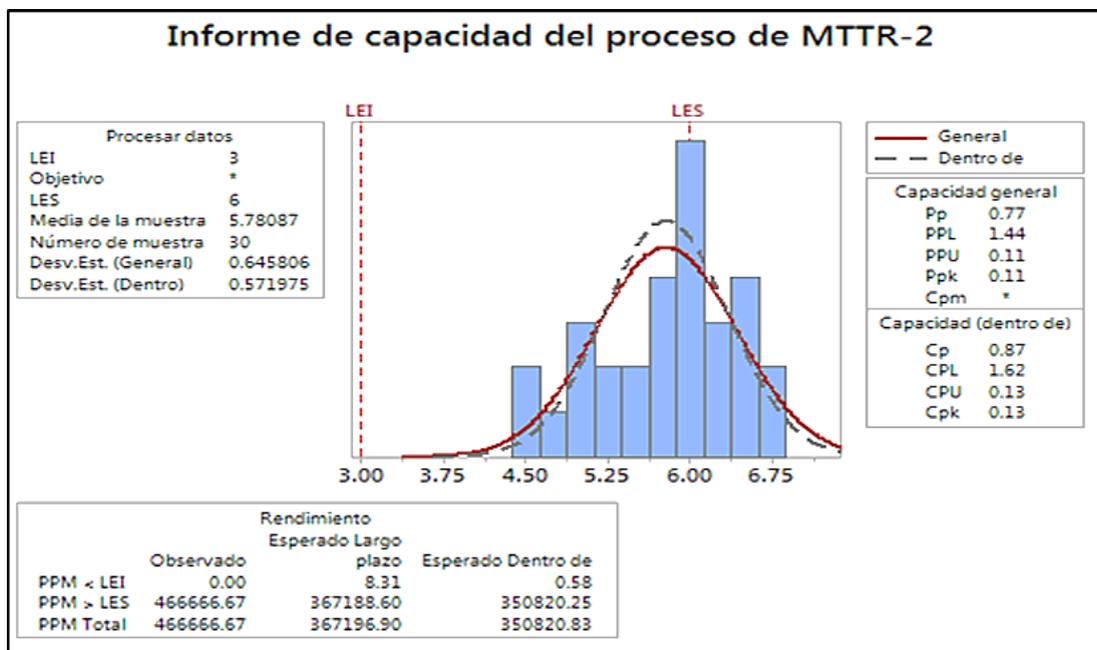


Figura 8. Horas en promedio de reparación (MTTR) en el año 2018

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Figura 8, el tiempo promedio que se demoran en reparar alguna falla del equipo es de 5.78h, qué teniendo en cuenta que las buenas prácticas de mantenimiento (Zegarra, 2016) recomiendan mantener un valor promedio entre 3 y 6 horas, se puede decir que, se están invirtiendo las horas justas para reparar el equipo a causa de la deficiencia en la gestión.

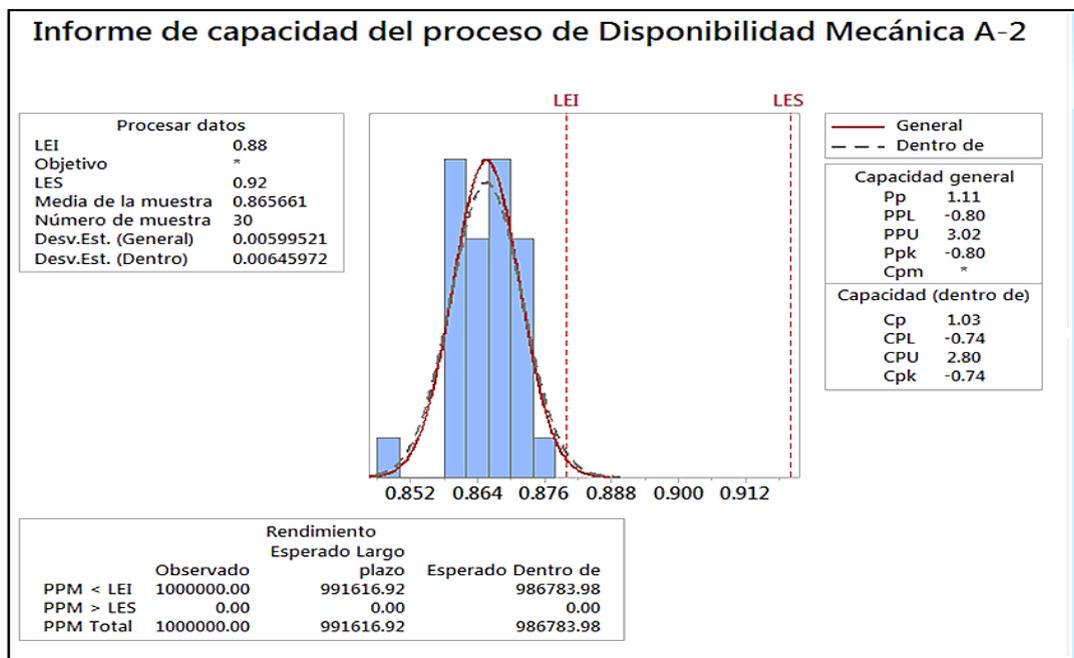


Figura 9. Disponibilidad mecánica (DM) en el año 2018

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Figura 9, la disponibilidad mecánica de los equipos en el periodo del año 2018 es de 86.56% en promedio, lo cual está por debajo de lo recomendado (Zegarra, 2016) que es alrededor del 90%, entre 88% a 92%.

Este indicador quiere decir que solo el 86.56% del tiempo en total disponible, el equipo se encuentra en óptimas condiciones mecánicas para ser utilizado en las labores que le correspondan, si embargo, lo recomendado es que sea por lo menos el 88% del tiempo total que esta máquina esté disponible

mecánicamente hablando.

#### 4.2. Calcular el factor de acoplamiento de los equipos de carguío y acarreo

El factor de acoplamiento de los equipos de carguío y acarreo se muestran en la Tabla 8 y Tabla 9, detallando los diferentes tiempos en el ciclo.

**Tabla 8**

*Match factor de los equipos de carguío y acarreo en julio - 2018*

Julio								
Volquete	Contrata	Zona	Tiempos promedios en carguío y acarreo				Match Factor	
			Número de ciclos	Tiempo total del ciclo de acarreo (min)	Tiempo total del ciclo de carguío (s)	Tiempo total del ciclo de carguío (min)		Tiempo total del ciclo de carguío y acarreo (min)
1	Dominguez	PAD	3	43	70	1.17	44.17	2.28
2			2	43	74	1.23		
3			3	42	86	1.43		
4			3	43	81	1.35		
5			2	44	87	1.45		
6			3	44	86	1.43		
7			2	41	86	1.43		
8			3	41	74	1.23		
9			2	46	87	1.45		
10			3	43	77	1.28		
11	Horna	PAD	2	46	75	1.25	47.25	
12			2	41	87	1.45		
13			3	45	83	1.38		
14			2	41	84	1.40		
15			3	44	69	1.15		
16			2	44	82	1.37		
17			3	44	68	1.13		
18			2	42	85	1.42		
19			3	46	88	1.47		
20			2	40	69	1.15		
21	Andian	PAD	3	43	68	1.13	44.13	
22			2	43	75	1.25		
23			2	44	71	1.18		
24			2	42	74	1.23		
25			2	46	81	1.35		
26			2	46	79	1.32		
27			2	44	79	1.32		
28			2	41	81	1.35		
29			3	39	81	1.35		
30			2	40	69	1.15		
31	Coresa	Desmonte	3	43	82	1.37	44.37	3.04
32			3	40	87	1.45		
33			2	39	68	1.13		
34			2	42	70	1.17		
35			2	47	80	1.33		
36			2	45	88	1.47		
37			3	44	85	1.42		
38			2	42	77	1.28		
39			3	42	74	1.23		
40			2	42	68	1.13		
41			3	42	72	1.20		
42			2	44	76	1.27		
43	Bolívar	Desmonte	2	45	83	1.38	46.38	
44			3	45	75	1.25		
45			3	44	83	1.38		

46	2	46	85	1.42	47.42	
47	2	44	69	1.15	45.15	
48	2	41	76	1.27	42.27	
49	2	41	79	1.32	42.32	
50	2	43	87	1.45	44.45	
Promedio de acarreo (min)	PAD	43.03	Promedio de carguío en PAD (min)		1.31	
	Desmnte	43.05	Promedio de carguío en desmnte (min)		1.31	
	Número de camiones en PAD	30	Número de excavadoras en PAD (min)		2	
	Número de camiones en desmnte	20	Número de excavadoras en desmnte		1	
Tiempo promedio de excavadora en el PAD y desmnte (min)		1.31	Número de paladas para llenar camiones		5	
Promedio total		43.04		1.31	44.35	

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 8, en el mes de julio del periodo 2018, el tiempo promedio de acarreo en el PAD y desmnte fue de 43.03 y 43.05min, así mismo el tiempo promedio de carguío en el PAD y desmnte fue de 1.31min. El factor de acoplamiento de los equipos en el PAD y desmnte fue de 2.28 y 3.04.

**Tabla 9**

*Match factor de los equipos de carguío y acarreo en agosto - 2018*

Agosto								
Volquete	Contrata	Zona	Tiempos promedios en carguío y acarreo			Tiempo total de ciclo de carguío y acarreo (min)	Match Factor	
			Número de ciclos	Tiempo total del ciclo de acarreo (min)	Tiempo total del ciclo de carguío (s)			Tiempo total del ciclo de carguío (min)
1	Dominguez	PAD	3	42	83	1.38	43.38	2.20
2			3	45	75	1.25		
3			3	46	89	1.48		
4			2	45	88	1.47		
5			2	44	86	1.43		
6			3	46	76	1.27		
7			3	44	74	1.23		
8			3	46	85	1.42		
9			3	43	83	1.38		
10			3	44	72	1.20		
11	3	45	88	1.47	46.47			
12	3	48	85	1.42	49.42			
13	2	44	76	1.27	45.27			
14	2	47	69	1.15	48.15			
15	Horna	PAD	3	46	86	1.43	47.43	
16			2	43	80	1.33	44.33	
17			2	43	80	1.33	44.33	
18			3	43	84	1.40	44.40	
19			3	41	84	1.40	42.40	
20			2	46	77	1.28	47.28	
21	2	44	70	1.17	45.17			
22	2	42	88	1.47	43.47			
23	2	43	82	1.37	44.37			
24	Andian	PAD	3	43	68	1.13	44.13	
25			2	42	84	1.40	43.40	
26			2	45	87	1.45	46.45	
27			2	45	83	1.38	46.38	
28			2	44	69	1.15	45.15	
29			2	45	86	1.43	46.43	
30	2	48	87	1.45	49.45			
31	Coresa	Desmnte	2	47	88	1.47	48.47	2.96
32			3	43	84	1.40	44.40	
33			3	45	82	1.37	46.37	
34			3	44	81	1.35	45.35	
35			3	42	87	1.45	43.45	
36			2	45	71	1.18	46.18	
37			2	45	82	1.37	46.37	
38			2	42	87	1.45	43.45	

39		3	45	68	1.13	46.13
40		3	46	89	1.48	47.48
41		3	42	83	1.38	43.38
42		3	44	68	1.13	45.13
43		3	45	77	1.28	46.28
44		3	46	87	1.45	47.45
45	Bolívar	3	45	75	1.25	46.25
46		3	43	82	1.37	44.37
47		3	42	75	1.25	43.25
48		3	46	71	1.18	47.18
49		2	40	69	1.15	41.15
50		2	42	83	1.38	43.38
Promedio de acarreo en	PAD		44.40	Promedio de carguío en PAD (min)		1.35
	Desmonte		43.95	Promedio de carguío en desmonte (min)		1.32
Número de camiones en PAD			30	Número de excavadoras en PAD (min)		2
Número de camiones en desmonte			20	Número de excavadoras en desmonte		1
Tiempo promedio de excavadora en el PAD y desmonte (min)			1.30	Número de paladas para llenar camiones		5
Promedio total			44.22		1.34	45.56

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 9, en el mes de agosto del periodo 2018, el tiempo promedio de acarreo en el PAD y desmonte fue de 44.40 y 43.95min, así mismo el tiempo promedio de carguío en el PAD y desmonte fue de 1.35 y 1.32min, El facto de acoplamiento de los equipos en el PAD y desmonte fue de 2.20 y 2.96.

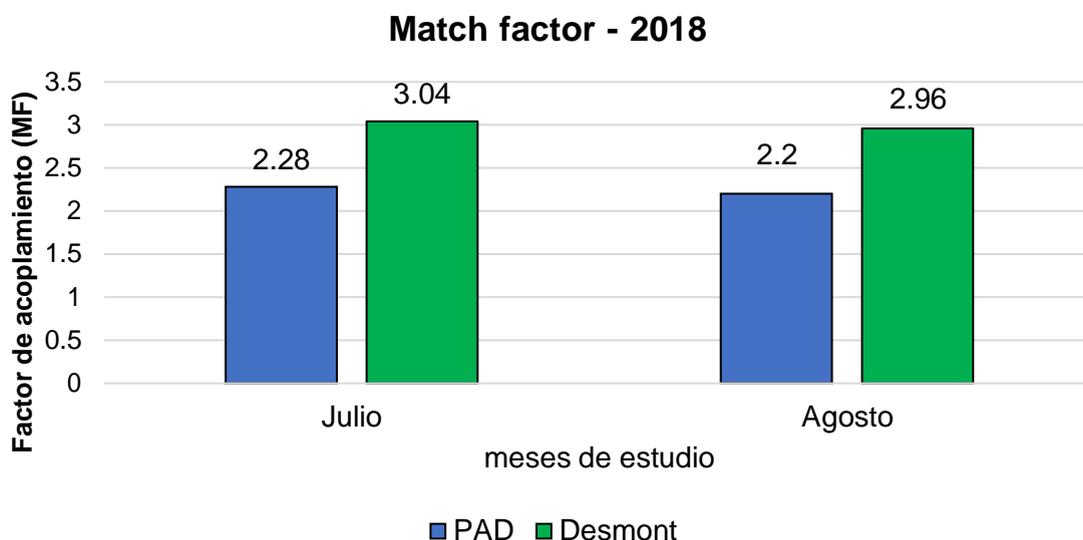


Figura 10. Factor de acoplamiento de los equipos de carguío y acarreo 2018

Fuente: Elaboración propia

El factor de acoplamiento durante el periodo del año 2018 superó a 1, siendo esta en el mes de julio en el PAD de 2.28 y en desmonte de 3.04, y en el mes de agosto en el PAD de 2.2 y desmonte de 2.96. Por lo que existe excesiva cantidad de equipos de carguío, por lo que su eficiencia es baja, pero, la eficiencia de los equipos de carguío es del 100% en términos netamente material cargado.

### 4.3. Optimizar el ciclo de carguío y acarreo mediante la implementación de un plan de gestión de mantenimiento

Como ya se mencionó anteriormente, el presente trabajo está enfocado en los tiempos improductivos a causa de desperfectos mecánicos que los equipos presentan lo cual los obliga a pasar tiempo en el taller mecánico sin realizar actividades productivas para las que fueron adquiridas, es por ello que, para la optimización de los tiempos del ciclo de carguío y acarreo se implementó un plan de mantenimiento de los equipos como se muestra en la Tabla 10, el cual permitió la reducción de los tiempos.

**Tabla 10**

*Plan de gestión de mantenimiento para los equipos de carguío y acarreo*

Ítem	Actividad programada para mantenimiento	Intervalo de horas	16	24	48	200	590	1000	1800	3900	10000
1	Inspección de líquido refrigerante	16	x		x	x	x	x	x	x	x
2	Inspección de aceite de motor		x	x	x	x	x	x	x	x	x
3	Inspección de aceite hidráulico		x	x	x	x	x	x	x	x	x
4	Nivel de combustible		x	x	x	x	x	x	x	x	x
5	Inspección de aceite de transmisión		x		x	x	x	x	x	x	x
6	Inspección de ruidos anormales en motor		x	x	x	x	x	x	x	x	x
7	Inspección de neumáticos		x	x	x	x	x	x	x	x	x
8	Inspección de pernos		x		x	x	x	x	x	x	x
9	Inspección de bandas		x	x	x	x	x	x	x	x	x
10	Inspección de batería		x	x	x	x	x	x	x	x	x
11	Inspección de faros		x	x	x	x	x	x	x	x	x
12	Inspección de frenos		x		x	x	x	x	x	x	x
13	Inspección de frenos de estacionamiento		x	x	x	x	x	x	x	x	x
14	Inspección del tablero de cabina		x	x	x	x	x	x	x	x	x
15	Inspección de extintores de cabina		x		x	x	x	x	x	x	x
16	Inspección de la estructura de la maquinaria		x		x	x	x	x	x	x	x
17	Lubricación de piezas	24		x	x	x	x	x	x	x	x
18	Cambio de filtro de aire			x	x	x	x	x	x	x	x
19	Inspección de cadenas de rodaje	48	x			x	x	x	x	x	x
20	Inspección de pernos de zapatas			x			x	x	x	x	x
21	Cambio de filtro secundario					x	x	x	x	x	x
22	Cambio de aceite del motor	200		x			x	x	x	x	x
23	Cambio de filtro de aceite		x				x	x	x	x	x
24	Cambio de filtro de Diesel				x		x	x	x	x	x
25	Limpieza de tubería de filtro		x			x	x	x	x	x	x
26	Revisión de aceite de mandos			x		x	x	x	x	x	x
27	Ajuste de tren de rodaje				x		x	x	x	x	x
28	Inspección de nivel de electrolitos de baterías						x	x	x	x	x
29	Inspección de boca de llenado de combustible		x			x	x	x	x	x	x
30	Inspección de respiradores y desfogues						x	x	x	x	x
31	Cambio de aceite hidráulico	590	x	x			x	x	x	x	x
32	Cambio de filtro de aceite hidráulico					x	x	x	x	x	x
33	Cambio de líquido refrigerante		x				x	x	x	x	x
34	Cambio de aceite de mandos				x		x	x	x	x	x
35	Inspección de estructura de						x	x	x	x	x

maquinaria									
36	Cambio y ajuste de pernos de motor		x	x	x	x	x	x	x
37	Inspección de fugas y roturas de mangueras	1000			x	x	x	x	x
38	Inspección del cable de aceleración		x			x	x	x	x
39	Inspección de catalinas				x	x	x	x	x
40	Inspección y lubricación de ejes			x	x	x	x	x	x
41	Inspección de radiador				x	x	x	x	x
42	Inspección de los inyectores	1800				x	x	x	x
43	Inspección de motor				x	x	x	x	x
44	Inspección del alternador				x	x	x	x	x
45	Inspección de enfriadores					x	x	x	x
46	Inspección de intercooler					x	x	x	x
47	Inspección de batería					x	x	x	x
48	Inspección de fugas de líquidos	3900			x		x	x	x
49	Inspección de inyectores					x	x	x	x
50	Inspección y mantenimiento de refrigeración						x	x	x
51	Inspección de termostato					x	x	x	x
52	Inspección de pin y bujes					x	x	x	x
53	Inspección de mandos						x	x	x
54	Inspección de ejes							x	x
55	Inspección de bombas							x	x
56	Reparación de motor	10000							x

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Tabla 10, el plan de gestión de mantenimiento se implementó para diferente tiempo de trabajo de maquinaria, entre ellas cada 16, 24, 48, 200, 590, 1000, 1800, 3900, y 10000 horas trabajadas, permitiendo así el mejor control de los diferentes mantenimientos y teniendo operativos a los equipos de carguío y acarreo. De esta manera se evitan las paradas producto de fallas mecánicas no programadas, por lo que se reduce notablemente estos tiempos.

### Capacitación de los trabajadores

Aun cuando el MTTR (horas en promedio de reparación), está dentro de lo recomendado (entre 3 y 6 horas), este tiempo que se emplea está justo, en este caso 5.78h en promedio, en donde incluso se han dado ocasiones donde se ha superado el tiempo límite recomendado de 6 horas, es por ello que se han desarrollado diferentes temas de capacitación con el objetivo de preparar al personal de mantenimiento ante cualquier tipo de falla inesperada que pueda surgir en los equipos:

<b>Temas de capacitación</b>
Seguridad en maquinaria pesada.
Mantenimiento y manejo de neumáticos.
Soldadura para mantenimiento de maquinaria pesada.
Contaminación en la maquinaria y controles
Reconocimiento de la maquinaria
Excavadora CAT 394
Importancia del Mantenimiento mecánico.
Lubricación en la maquinaria
Herramientas informáticas para la detección de fallas.
Mantenimiento del Sistema hidráulico.
Mantenimiento Sistema hidráulico de un camión Volvo FMX 440
Mantenimiento Sistema hidráulico de una excavadora CAT 394
Funcionamiento del tren de potencia.
Tren de potencia de un camión Mercedes Benz Actros 4144k.
Tren de potencia de una excavadora CAT 394
Mantenimiento motor de maquinaria pesada.
Electrónica de la maquinaria.
Electrónica de un camión Volvo FMX 440
Electrónica de una excavadora CAT 394

*Figura 11. Temas para el programa de capacitaciones*

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 11***Tiempos promedios optimizados en el ciclo de carguío, julio 2019*

		Julio						
	Días	Espera (s)	Pase 1 (s)	Pase 2 (s)	Pase 3 (s)	Pase 4 (s)	Pase 5 (s)	Total (s)
Promedios diarios optimizados de las 3 excavadoras 394 CAT	1	3	7	7	5	5	8	35
	2	3	5	7	8	7	8	38
	3	2	7	6	9	7	5	36
	4	3	5	8	6	9	9	40
	5	1	8	7	8	7	6	37
	6	3	8	6	8	8	8	41
	7	3	9	8	5	5	6	36
	8	3	7	5	9	9	9	42
	9	3	7	6	9	7	6	38
	10	3	5	5	9	5	9	36
	11	3	5	7	6	8	9	38
	12	2	7	9	6	6	5	35
	13	1	7	5	6	7	5	31
	14	2	8	6	8	7	9	40
	15	3	7	7	6	7	7	37
	16	1	6	7	5	8	5	32
	17	2	5	6	7	9	7	36
	18	2	5	6	8	7	7	35
	19	2	8	8	5	9	8	40
	20	2	5	6	5	9	5	32
	21	3	8	6	5	6	9	37
	22	3	7	8	5	7	7	37
	23	1	7	7	6	8	6	35
	24	2	8	8	5	6	9	38
	25	2	7	7	8	7	9	40
	26	2	7	9	6	8	5	37
	27	3	8	6	6	8	8	39
	28	1	9	5	8	7	9	39
	29	3	8	5	8	9	8	41
	30	2	5	5	7	6	6	31

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 11, el tiempo promedio total optimizado de carguío en julio del periodo del año 2019 fue de 36.97s, siendo un promedio de 0.6min, debido a la reducción del tiempo de pases para el llenado de la tolva de los camiones y de la espera, siendo este último considerado dentro de los tiempos improductivos que esta vez en promedio es de 2.3s por ciclo de carguío en el mes de julio del 2019.

**Tabla 12***Tiempos promedios optimizados en el ciclo de carguío, agosto 2019*

		Agosto						
	Días	Espera (s)	Pase 1 (s)	Pase 2 (s)	Pase 3 (s)	Pase 4 (s)	Pase 5 (s)	Total (s)
Promedios diarios optimizados de las 3 excavadoras 394 CAT	1	2	8	8	7	5	7	37
	2	2	8	6	5	6	5	32
	3	3	6	8	6	5	5	33
	4	2	5	5	7	5	6	30
	5	2	6	8	7	5	5	33
	6	2	5	8	6	6	6	33
	7	1	8	7	6	8	8	38
	8	2	8	8	8	7	5	38
	9	2	8	6	5	8	8	37
	10	3	8	5	6	7	5	34
	11	3	6	6	5	8	7	35
	12	3	6	7	8	8	8	40
	13	2	7	8	6	8	8	39
	14	3	5	5	8	6	8	35
	15	1	8	5	8	6	5	33
	16	2	8	6	6	8	6	36
	17	1	6	6	8	6	8	35
	18	3	5	6	8	7	7	36
	19	2	6	6	7	7	5	33
	20	1	8	6	6	5	7	33
	21	1	6	7	6	8	7	35
	22	2	8	6	6	5	6	33
	23	2	6	6	6	8	7	35
	24	3	8	5	5	6	6	33
	25	1	6	6	5	6	8	32
	26	1	7	8	8	5	5	34
	27	3	5	8	5	6	5	32
	28	2	5	5	6	7	5	30
	29	3	7	5	6	5	8	34
	30	3	5	6	7	5	7	33

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 12, el tiempo promedio total optimizado de carguío en agosto del periodo del año 2019 fue de 34.37s, siendo un promedio de 0.57min, debido a la reducción de la espera y el tiempo de pases para el llenado de la tolva de los camiones. En este caso el tiempo de espera por ciclo de carguío es de 2.1s en promedio.

**Tabla 13**

*Tiempos promedios optimizados en acarreo, julio 2019*

Julio									
Tiempos promedios optimizados en acarreo - volvo FMX 440									
Volquete	Contrata	Zona	Posicionamiento en excavadora (min)	Transporte lleno (min)	Posicionamiento para descarga (min)	Levante y Descarga (min)	Transporte vacío (min)	Número de ciclos	Tiempo total del ciclo (min)
1			1	20	1	3	16	5	41
2			2	21	1	3	15	4	42
3			2	20	1	2	17	4	42
4			1	21	2	2	16	4	42
5			2	21	2	2	17	5	44
6			2	20	1	2	16	5	41
7			1	20	1	2	17	4	41
8			1	20	1	3	17	5	42
9			1	21	2	3	16	4	43
10			1	21	1	3	16	5	42
11			2	20	1	3	16	4	42
12			1	21	1	2	16	4	41
13			1	20	2	3	15	4	41
14			1	20	1	2	17	4	41
15			2	21	2	2	16	5	43
16			2	21	2	3	16	5	44
17			2	21	1	2	17	4	43
18			1	21	1	3	17	4	43
19			2	20	1	3	15	5	41
20			2	21	2	2	17	5	44
21			1	21	1	3	17	5	43
22			2	20	1	2	17	4	42
23			2	21	1	3	15	4	42
24			2	21	1	2	15	5	41
25			2	21	2	3	16	4	44
26			2	21	2	2	17	4	44
27			2	20	2	2	16	5	42
28			1	20	1	3	15	5	40
29			1	20	1	3	15	4	40
30			1	21	2	3	15	4	42
31			1	21	1	2	16	5	41
32			2	21	1	3	16	4	43
33			1	20	1	2	16	5	40
34			2	21	1	3	17	4	44
35			2	20	2	3	16	4	43
36			1	20	2	3	16	4	42
37			1	20	2	3	17	5	43
38			1	21	1	3	16	5	42
39			1	20	1	3	15	4	40
40			1	20	2	2	16	5	41
41			1	21	2	3	16	5	43
42			1	21	1	3	15	4	41
43			1	21	2	3	15	4	42
44			2	20	2	2	17	5	43
45			2	20	2	3	17	5	44
46			2	20	2	2	16	4	42
47			2	21	2	2	17	4	44
48			1	20	2	3	15	5	41
49			1	21	1	2	17	5	42
50			2	20	1	3	17	4	43

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 13, el tiempo promedio total optimizado de acarreo en julio del periodo del año 2019 fue de 42.14min, debido a la reducción de la espera y presencia de los tiempos improductivos en

el ciclo de acarreo.la reducción de la espera y presencia de los tiempos improductivos en el ciclo de acarreo.

**Tabla 14**

*Tiempos del ciclo del carguío y acarreo, agosto 2019*

Agosto									
Tiempos promedios optimizados en acarreo - volvo FMX 440									
Volquete	Contrata	Zona	Posicionamiento en excavadora (min)	Transporte y lleno (min)	Posicionamiento para descarga (min)	Levante y Descarga (min)	Transporte vacío (min)	Número de ciclos	Tiempo total del ciclo (min)
1			1	20	1	3	17	5	42
2			2	19	1	3	17	4	42
3			2	20	1	2	17	4	42
4			1	20	2	2	16	4	41
5			2	20	2	2	17	5	43
6			2	20	1	2	17	5	42
7			1	20	1	2	17	4	41
8			1	20	1	3	17	5	42
9			1	19	2	3	17	4	42
10			1	20	1	3	17	5	42
11			2	20	1	3	17	4	43
12			1	20	1	2	16	4	40
13			1	19	2	3	16	4	41
14			1	20	1	2	17	4	41
15			2	20	2	2	16	5	42
16			2	20	2	3	17	5	44
17			2	20	1	2	16	4	41
18			1	20	1	3	17	4	42
19			2	20	1	3	17	5	43
20			2	19	2	2	16	5	41
21			1	20	1	3	17	5	42
22			2	19	1	2	17	4	41
23			2	19	1	3	17	4	42
24			2	20	1	2	16	5	41
25			2	19	2	3	17	4	43
26			2	19	2	2	16	4	41
27			2	20	2	2	17	5	43
28			1	20	1	3	16	5	41
29			1	20	1	3	17	4	42
30			1	20	2	3	17	4	43
31			1	20	1	2	17	5	41
32			2	20	1	3	17	4	43
33			1	20	1	2	17	5	41
34			2	20	1	3	17	4	43
35			2	20	2	3	16	4	43
36			1	20	2	3	17	4	43
37			1	20	2	3	16	5	42
38			1	19	1	3	17	5	41
39			1	20	1	3	17	4	42
40			1	20	2	2	17	5	42
41			1	20	2	3	16	5	42
42			1	20	1	3	17	4	42
43			1	20	2	3	16	4	42
44			2	20	2	2	17	5	43
45			2	20	2	3	17	5	44
46			2	19	2	2	17	4	42
47			2	19	2	2	17	4	42
48			1	20	2	3	16	5	42
49			1	20	1	2	17	5	41
50			2	20	1	3	17	4	43

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 14, el tiempo promedio total optimizado de acarreo en agosto del periodo del año 2019 fue de 42min, debido a

la reducción de la espera y presencia de los tiempos improductivos en el ciclo de acarreo.

**Tabla 15**

*Match factor optimizado de los equipos de carguío y acarreo optimizado en julio 2019*

Volquete	Contrata	Zona	Tiempos promedios en carguío y acarreo				Match Factor
			Número de ciclos	Tiempo total del ciclo de acarreo (min)	Tiempo total del ciclo de carguío (s)	Tiempo total del ciclo de carguío (min)	
1	Dominguez	PAD	5	41	35	0.58	1.07
2			4	42	38	0.63	
3			4	42	36	0.60	
4			4	42	40	0.59	
5			5	44	37	0.62	
6			5	41	41	0.58	
7			4	41	36	0.60	
8			5	42	42	0.56	
9			4	43	38	0.63	
10			5	42	36	0.60	
11			4	42	38	0.63	
12			4	41	35	0.58	
13			4	41	31	0.52	
14			4	41	40	0.67	
15	Horna	PAD	5	43	37	0.62	
16			5	44	32	0.53	
17			4	43	36	0.60	
18			4	43	35	0.58	
19			5	41	40	0.60	
20			5	44	32	0.53	
21			5	43	37	0.62	
22			4	42	37	0.62	
23			4	42	35	0.58	
24			5	41	38	0.63	
25	Andian	PAD	4	44	40	0.67	
26			4	44	37	0.62	
27			5	42	39	0.65	
28			5	40	39	0.65	
29			4	40	41	0.68	
30			4	42	31	0.52	
31	Coreasa	Desmante	5	41	38	0.38	1.09
32			4	43	35	0.37	
33			5	40	31	0.48	
34			4	44	40	0.50	
35			4	43	37	0.45	
36			4	42	32	0.56	
37			5	43	36	0.45	
38			5	42	35	0.49	
39			4	40	40	0.51	
40			5	41	32	0.56	
41			5	43	35	0.43	
42			4	41	38	0.42	
43			4	42	36	0.46	
44			5	43	40	0.45	
45	Bolívar	Desmante	5	44	37	0.43	
46			4	42	41	0.43	
47			4	44	36	0.48	
48			5	41	42	0.41	
49			5	42	38	0.43	
50			4	43	36	0.44	
<b>Promedio de acarreo en PAD (min)</b>				42.10	<b>Promedio de carguío en PAD (min)</b>		0.60
<b>Promedio de acarreo en desmante (min)</b>				42.20	<b>Promedio de carguío en desmante (min)</b>		0.46
<b>Número de camiones en PAD</b>				30	<b>Número de excavadoras en PAD (min)</b>		2
<b>Número de camiones en desmante</b>				20	<b>Número de excavadoras en desmante</b>		1

Tiempo promedio de excavadora en el PAD (min)	0.60	Número de paladas para llenar camiones	5
Tiempo promedio de excavadora en el desmonte (min)	0.46		
Promedio total	42.14	36.94	0.54
			42.68

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 15, en el mes de julio del periodo 2019, el tiempo promedio de acarreo en el PAD y desmonte fue de 42.10 y 42.20min, así mismo el tiempo promedio de carguío en el PAD y desmonte fue de 0.6 y 0.46min, El facto de acoplamiento de los equipos en el PAD y desmonte fue de 1.07 y 1.09.

**Tabla 16**

*Match factor optimizado de los equipos de carguío y acarreo optimizado en agosto - 2019*

Agosto								
Volquete	Contrata	Zona	Tiempos promedios en carguío y acarreo				Match Factor	
			Número de ciclos	Tiempo total del ciclo de acarreo (min)	Tiempo total del ciclo de carguío (s)	Tiempo total del ciclo de carguío (min)		Tiempo total del ciclo de carguío y acarreo (min)
1	Dominguez	PAD	5	42	37	0.62	42.62	1.09
2			4	42	32	0.53	42.53	
3			4	42	33	0.55	42.55	
4			4	41	30	0.50	41.50	
5			5	43	33	0.55	43.55	
6			5	42	33	0.55	42.55	
7			4	41	38	0.63	41.63	
8			5	42	38	0.63	42.63	
9			4	42	37	0.62	42.62	
10			5	42	34	0.57	42.57	
11	Horna	PAD	4	43	35	0.58	43.58	
12			4	40	40	0.67	40.67	
13			4	41	39	0.65	41.65	
14			4	41	35	0.58	41.58	
15			5	42	33	0.55	42.55	
16			5	44	36	0.60	44.60	
17			4	41	35	0.58	41.58	
18			4	42	36	0.60	42.60	
19			5	43	33	0.55	43.55	
20			5	41	33	0.55	41.55	
21	Andian	PAD	5	42	35	0.58	42.58	
22			4	41	33	0.55	41.55	
23			4	42	35	0.58	42.58	
24			5	41	33	0.55	41.55	
25			4	43	32	0.53	43.53	
26			4	41	34	0.57	41.57	
27			5	43	32	0.53	43.53	
28			5	41	30	0.50	41.50	
29			4	42	34	0.57	42.57	
30			4	43	33	0.55	43.55	
31	Coreasa	Desmonte	5	41	37	0.45	41.45	1.09
32			4	43	32	0.43	43.43	
33			5	41	33	0.45	41.45	
34			4	43	30	0.46	43.46	
35			4	43	33	0.47	43.47	
36			4	43	33	0.48	43.48	
37			5	42	38	0.44	42.44	
38			5	41	38	0.46	41.46	
39			4	42	37	0.47	42.47	
40			5	42	34	0.47	42.47	
41			5	42	35	0.46	42.46	

42	4	42	40	0.47	42.47
43	4	42	39	0.45	42.45
44	5	43	35	0.44	43.44
45	5	44	33	0.46	44.46
46	4	42	36	0.46	42.46
47	4	42	35	0.45	42.45
48	5	42	36	0.46	42.46
49	5	41	33	0.46	41.46
50	4	43	33	0.44	43.44
<b>Promedio de acarreo en PAD (min)</b>		41.87	<b>Promedio de carguío en PAD (min)</b>		0.57
<b>Promedio de acarreo en desmonte (min)</b>		42.20	<b>Promedio de carguío en desmonte (min)</b>		0.46
<b>Número de camiones en PAD</b>		30	<b>Número de excavadoras en PAD (min)</b>		2
<b>Número de camiones en desmonte</b>		20	<b>Número de excavadoras en desmonte</b>		1
<b>Tiempo promedio de excavadora en el PAD (min)</b>		0.61	<b>Número de paladas para llenar camiones</b>		5
<b>Tiempo promedio de excavadora en el desmonte (min)</b>		0.46			
<b>Promedio total</b>		42	34.37	0.53	42.53

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 16, en el mes de agosto del periodo 2019, el tiempo promedio de acarreo en el PAD y desmonte fue de 41.87 y 42.20min, así mismo el tiempo promedio de carguío en el PAD y desmonte fue de 0.57 y 0.46min, El facto de acoplamiento de los equipos en el PAD y desmonte fue de 1.09 y 1.09.

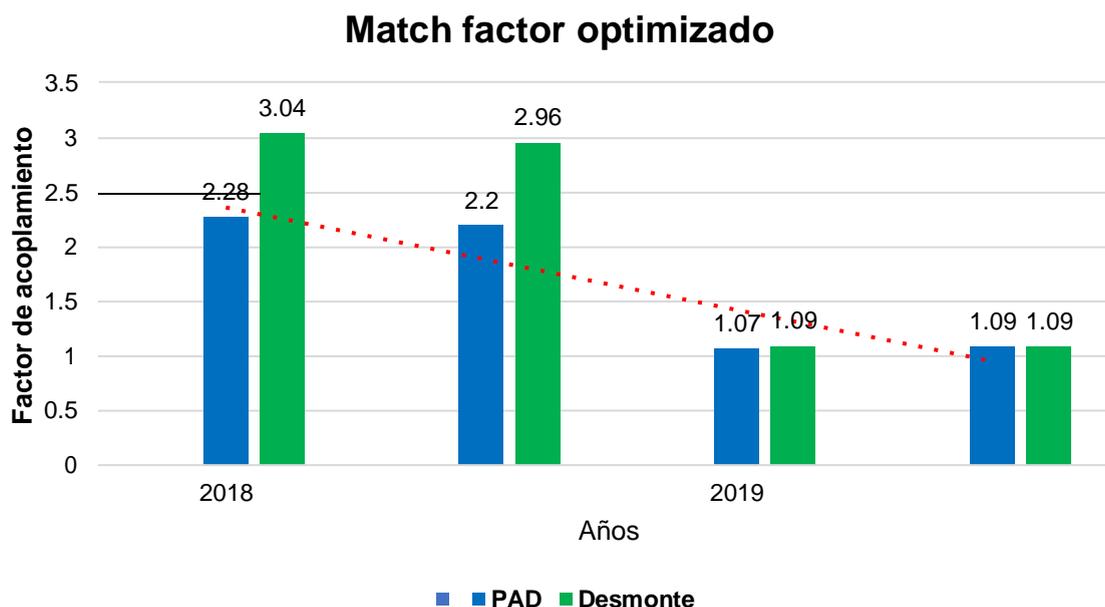


Figura 12. Factor de acoplamiento (MF) optimizado

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Figura 12, el factor de acoplamiento durante el periodo del año 2018 y 2019, mejoró. El factor de acoplamiento en el PAD mejoró de 2.28 a 1.07 y desmonte de 3.04 a 1.09 en el mes de julio. El factor de acoplamiento en el PAD mejoró de 2.2 a 1.09 y desmonte de 2.96 a 1.09 en el mes de agosto.

**Tabla 17**

*Optimización de los tiempos del ciclo de carguío y acarreo del 2018 a 2019*

		2018				2019			
		julio	Promedio	agosto	Promedio	julio	Promedio	agosto	Promedio
		Tiempo total del ciclo de carguío y acarreo (min)		Tiempo total del ciclo de carguío y acarreo (min)		Tiempo total del ciclo de carguío y acarreo (min)		Tiempo total del ciclo de carguío y acarreo (min)	
Domínguez	PAD	44.17	44.34	43.38	45.75	41.58	42.70	42.62	42.44
		44.23		46.25		42.63		42.53	
		43.43		47.48		42.60		42.55	
		44.35		46.47		42.59		41.50	
		45.45		45.43		44.62		43.55	
		45.43		47.27		41.58		42.55	
		42.43		45.23		41.60		41.63	
		42.23		47.42		42.56		42.63	
		47.45		44.38		43.63		42.62	
		44.28		45.20		42.60		42.57	
Horna	PAD	47.25		46.47		42.63		43.58	
		42.45		49.42		41.58		40.67	
		46.38		45.27		41.52		41.65	
		42.40		48.15		41.67		41.58	
		45.15		47.43		43.62		42.55	
		45.37		44.33		44.53		44.60	
		45.13		44.33		43.60		41.58	
		43.42		44.40		43.58		42.60	
		47.47		42.40		41.60		43.55	
		41.15		47.28		44.53		41.55	
Andian	PAD	44.13		45.17		43.62		42.58	
		44.25		43.47		42.62		41.55	
		45.18		44.37		42.58		42.58	
		43.23		44.13		41.63		41.55	
		47.35		43.40		44.67		43.53	
		47.32		46.45		44.62		41.57	
		45.32		46.38		42.65		43.53	
		42.35		45.15		40.65		41.50	
		40.35		46.43		40.68		42.57	
		41.15		49.45		42.52		43.55	
Coresa	Desmonte	44.37	44.35	48.47	45.27	41.38	42.66	41.45	42.66
		41.45		44.40		43.37		43.43	
		40.13		46.37		40.48		41.45	
		43.17		45.35		44.50		43.46	
		48.33		43.45		43.45		43.47	
		46.47		46.18		42.56		43.48	
		45.42		46.37		43.45		42.44	
		43.28		43.45		42.49		41.46	
		43.23		46.13		40.51		42.47	
		43.13		47.48		41.56		42.47	
Bolívar	Desmonte	43.20		43.38		43.43		42.46	
		45.27		45.13		41.42		42.47	
		46.38		46.28		42.46		42.45	

46.25	47.45	43.45	43.44
45.38	46.25	44.43	44.46
47.42	44.37	42.43	42.46
45.15	43.25	44.48	42.45
42.27	47.18	41.41	42.46
42.32	41.15	42.43	41.46
44.45	43.38	43.44	43.44

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 17, se logró optimizar los tiempos en los ciclos de carguío y acarreo, en el carguío en el PAD y desmante se optimizó de 44.34 a 42.70min en julio y 45.75 a 42.44min en agosto. En el desmante se optimizó de 44.35 a 42.66min en julio y en agosto 45.27 a 42.66min.

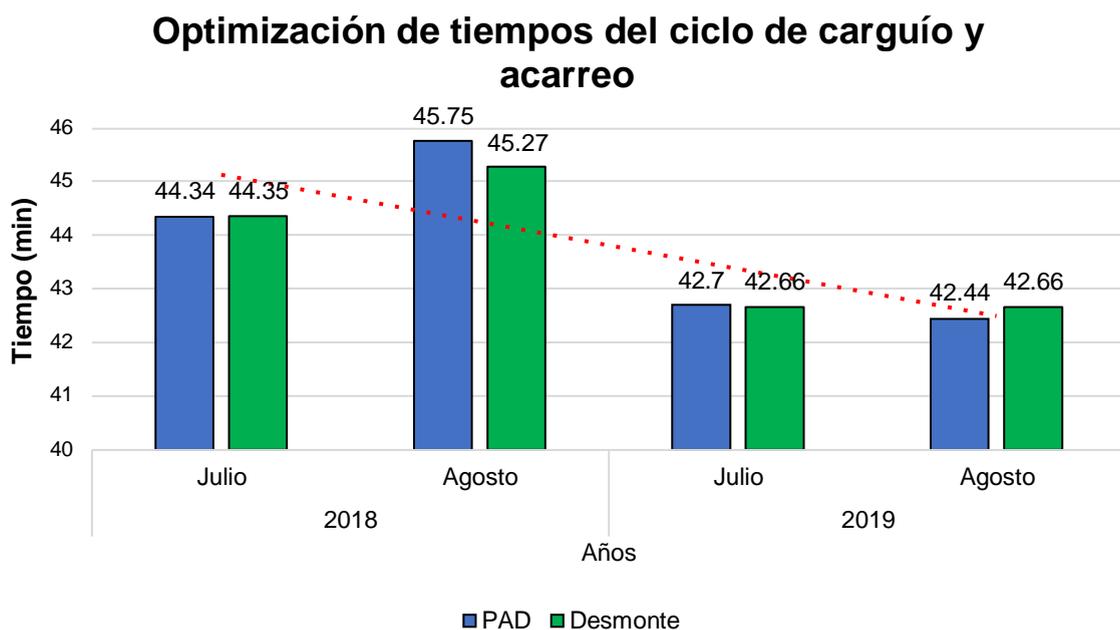


Figura 13. Optimización de tiempos del ciclo de carguío y acarreo, periodos 2018 a 2019

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Figura 13, los tiempos en el ciclo de carguío y acarreo disminuyeron notablemente, en el PAD en el mes de julio disminuyó un 3.69% y en desmante 3.81%, así mismo en el mes de agosto en el PAD disminuyó 7.23% y en el desmante 5.76%.

A continuación, en la Tabla 18, se muestra los indicadores de gestión durante el periodo del 2019, verificando notablemente la disminución de los tiempos improductivos y la optimización del ciclo de carguío y acarreo.

**Tabla 18**

*Indicador de gestión en el periodo 2019*

Horas totales trabajadas	Indicadores de gestión - 2019						
	Total, de paradas	Horas totales de parada	Paradas no programadas por mantenimiento	MTBS	MTTR	DM	MTBF
6712	155	579	128	43	4	91.49%	52
6050	150	584	126	40	4	90.91%	48
6770	126	527	99	54	4	93.10%	68
6774	142	543	115	48	4	92.31%	59
6723	146	523	119	46	4	92.00%	56
6428	150	448	124	43	3	93.48%	52
6404	136	528	11	47	4	92.16%	58
6507	138	511	112	47	4	92.16%	58
6488	152	513	126	43	3	93.48%	51
6654	141	528	115	47	4	92.16%	58
6388	155	535	130	41	3	93.18%	49
6374	136	482	109	47	4	92.16%	58
6830	148	575	120	46	4	92.00%	57
6888	138	472	111	48	3	94.12%	60
6307	141	564	116	45	4	91.84%	54
6800	144	505	116	47	4	92.16%	59
6466	126	544	100	51	4	92.73%	65
6691	135	499	108	50	4	92.59%	62
6499	135	514	109	48	4	92.31%	60
6756	139	580	112	49	4	92.45%	60
6340	144	539	119	44	4	91.67%	53
6874	145	512	127	45	4	93.75%	54
6826	138	522	111	49	3	92.45%	61
6632	156	556	129	43	4	91.49%	51
6964	139	484	111	50	3	94.34%	63
6385	148	515	122	43	3	93.48%	52
6422	148	495	122	43	3	93.48%	53
6611	150	438	124	44	3	93.62%	53
6165	128	562	103	48	4	92.31%	60
6819	137	541	110	50	4	92.59%	62
		<b>Promedio</b>		46.30	3.70	92.60%	56.87

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos en la Tabla 18, muestran que los tiempos promedios del MTBS fue de 46.30, el MTTR fue de 3.70, el MTBF fue de 56.87 y el DM fue de 92.60% durante el periodo del año 2019.

## Informe de capacidad del proceso de MTBS A1

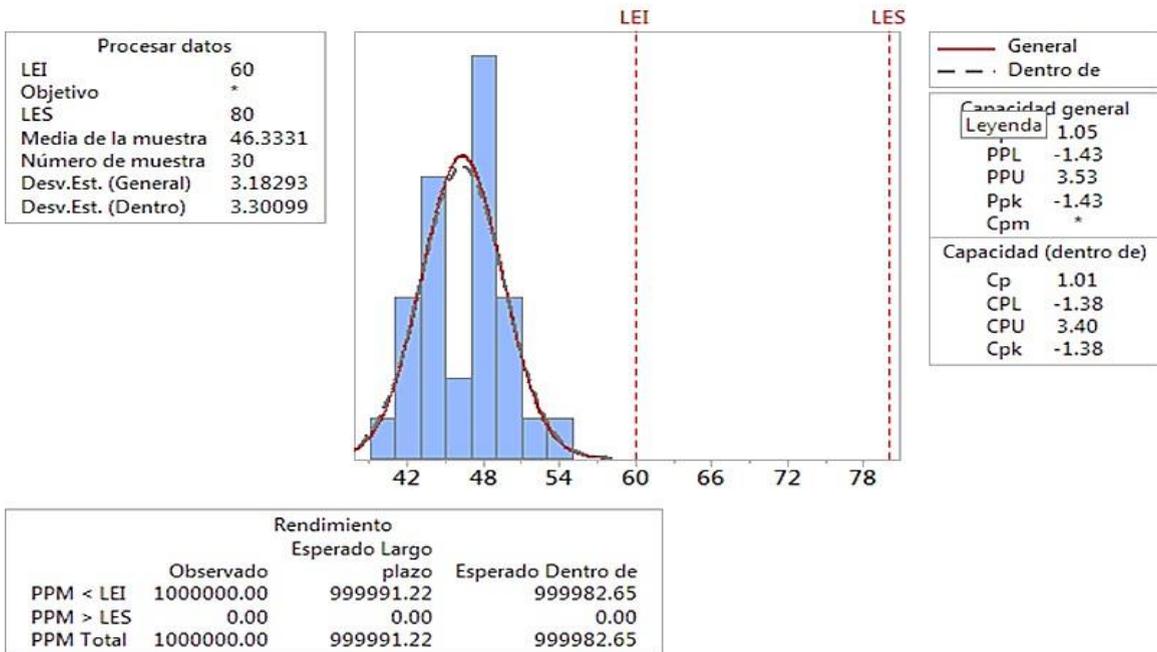


Figura 14. Horas trabajadas entre paradas (MTBS) en el año 2019

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Figura 14, las horas trabajadas por los equipos en el periodo del año 2019 se encuentran muy cercano al rango establecido, así mismo se tiene una desviación estándar de los datos de 3.18.

## Informe de capacidad del proceso de MTTR\_1

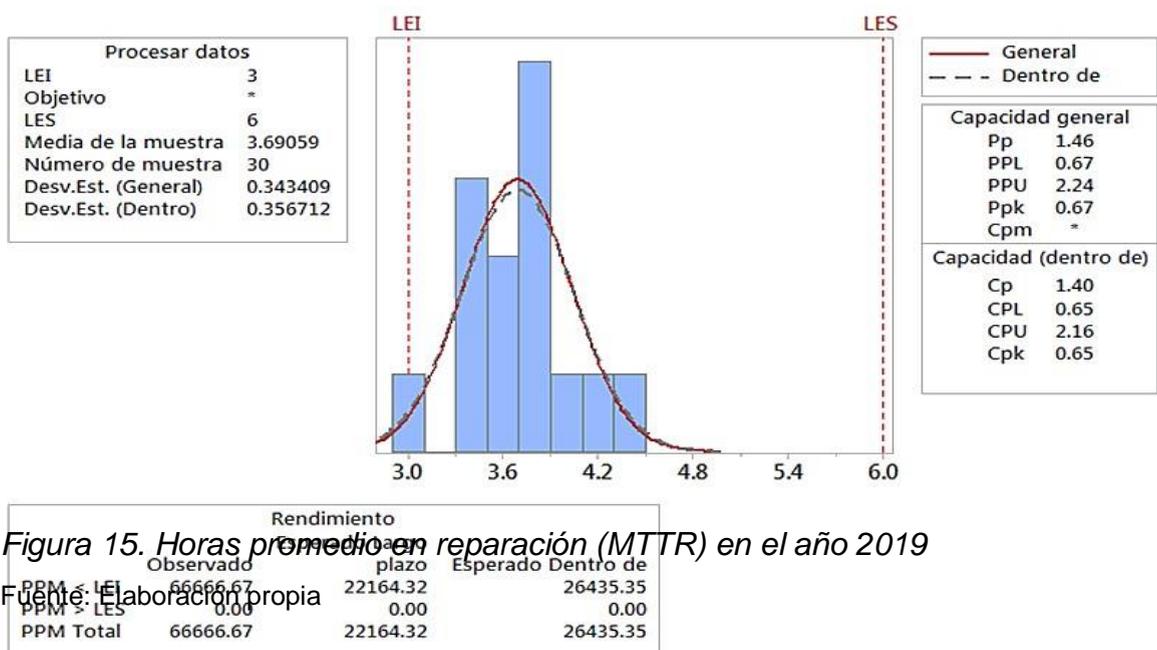


Figura 15. Horas promedio en reparación (MTTR) en el año 2019

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Figura 15, las fallas mecánicas de los equipos en el periodo del año 2019 disminuyeron notablemente, estando dentro del rango establecido que es entre 3 a 6, así mismo se tiene una desviación estándar de los datos de 0.34.

### Informe de capacidad del proceso de Disponibilidad Mecánica-1

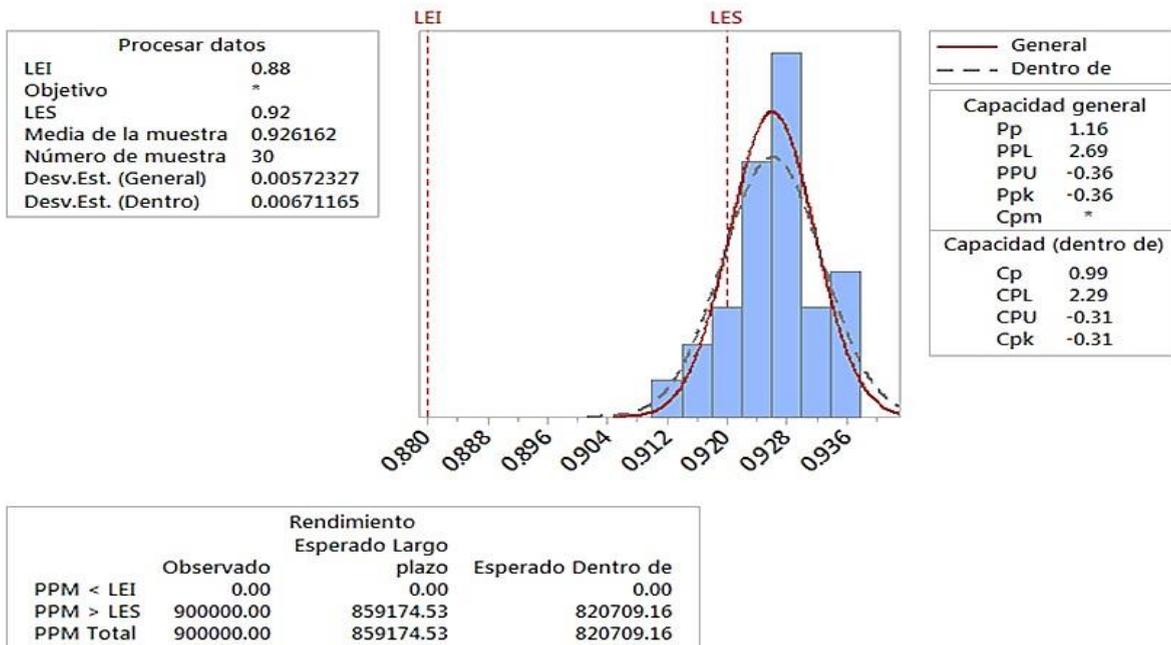


Figura 16. Disponibilidad mecánica (DM) en el año 2019

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Figura 16, la disponibilidad mecánica de los equipos en el periodo del año 2019 se encuentra incluso por encima del rango establecido que es entre 0.88 a 0.92.

Dado este resultado, se ha demostrado el cumplimiento del propósito de este trabajo de investigación, ya que al aumentar la disponibilidad mecánica de los equipos de 86.56% a 92%, estos van a tener más tiempo disponible para efectuar sus labores netamente de producción para los que fueron adquiridos debido a que menos tiempo se encuentran en un taller mecánico debido a que ya no presentan la misma cantidad de desperfectos mecánicos con la implementación de un plan de gestión de mantenimiento.

## Flujograma de proceso de mantenimiento

Tabla 19. Actividades del proceso de mantenimiento

ACTIVIDADES DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO	
PREVENTIVO	CORRECTIVO
1. Planificación: determinar la maquinaria susceptible de mantenimiento preventivo. Se realiza una planificación con todas las acciones a llevar cabo, los plazos pertinentes, así como su responsable.	1. Cualquier persona de la labor puede detectar una falla o anomalía: se debe informar al jefe inmediato. Es posible que se trate de una falla de reparación inmediata o el caso contrario que sea para derivar a tiempo en el taller.
2. Contratar empresas servicios: se contratan, cuando sea necesario a las empresas especializadas para llevar a cabo dichas acciones.	2. Contactar a la empresa especializada: esto en caso de que no se pueda reparar en el taller de la operación
3. Ejecución por parte de las empresas/responsables: se llevan a cabo las actividades planificadas teniendo en cuenta los plazos y responsabilidades estimadas	3. Realización de la acción de mantenimiento: la empresa especializada o el personal de la operación realizan la reparación
4. Realizar seguimiento: se realiza para verificar que el mantenimiento es correcto	4. Se supervisa el trabajo realizado: Se da visto bueno a la reparación

Fuente: elaboración propia

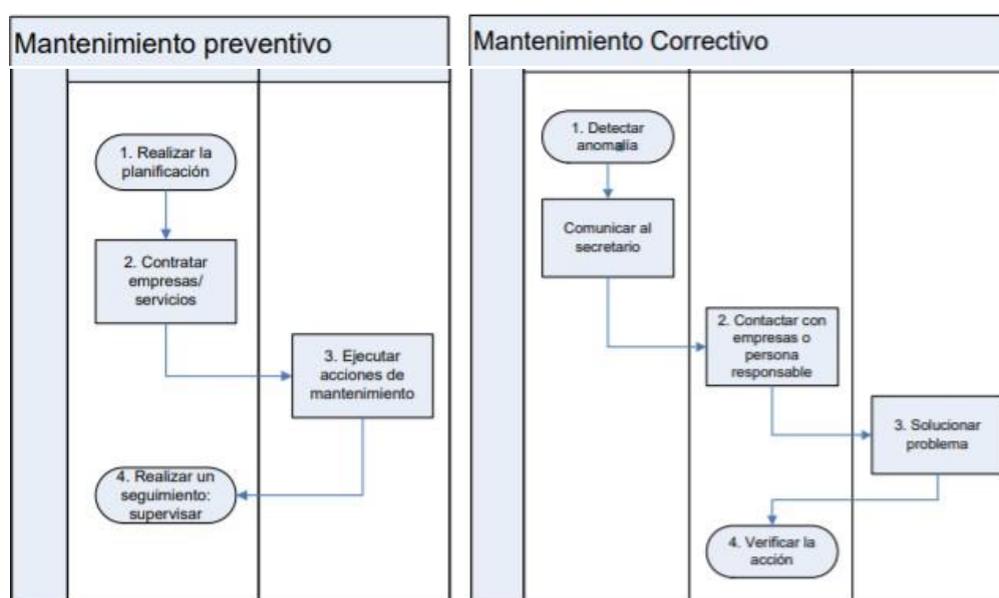


Figura 17. Flujograma de mantenimiento

Fuente: elaboración propia

## V. Discusión

Según el primer objetivo específico: análisis de los tiempos del ciclo de carguío y acarreo para determinar los tiempos improductivos en la empresa minera La Arena, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1 y Tabla 2. Se obtuvo que, en el periodo del año 2018 en el mes de julio y agosto los tiempos del ciclo de carguío fueron de 88.83 y 77.70s, teniendo un promedio total de 77.77s, equivalentes a 1.30min. Mientras que en el ciclo de acarreo fue de 43.04min y 42.22min, teniendo un tiempo promedio total del ciclo de acarreo de 43.63 min. Así mismo los resultados obtenidos de los tiempos promedios del MTBS fue de 37.20, el MTTR fue de 5.77, el MTBF fue de 42.13 y el DM fue de 86.58%. Estos resultados al ser comparados con el autor Burt y Caccetta (2013) mencionan en su investigación que la elección de una flota de equipos en la mayoría de los escenarios es un problema general. Para poder designar una flota de equipos es necesario ver la compatibilidad de los equipos, lo que nos indica que sean necesarios los mismos, si no que al operar puedan desarrollar una tarea específica sin complicaciones, de lo contrario la mala elección de la flota de equipos generaran tiempos muertos, ocasionando baja productividad. La productividad de la flota determina la durabilidad del proyecto. Teniendo en cuenta con lo planteado por los autores, los tiempos presentes en el ciclo de carguío y acarreo obtenidos durante el periodo 2018, fluctúan mucho con respecto a sus medias, esto se debe a la falta de mantenimientos adecuados que se les debe dar a los equipos, es por ello que se presentan los tiempos improductivos en la operación, cabe resaltar que el acoplamiento de los equipos está en función a sus capacidades volumétricas, tiempos promedios de sus ciclo y la cantidad de equipos que son empleados para dicha operación.

En el segundo objetivo específico: cálculo del factor de acoplamiento de los equipos de carguío y acarreo, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 8 y Tabla 9. Se obtuvo que, el factor de acoplamiento durante el periodo del año 2018 superó a 1, siendo este en el mes de julio en el PAD de 2.28 y en desmonte de 3.04, y en el mes de agosto en el PAD de 2.2 y

desmonte de 2.96. Estos resultados al ser comparados con el autor Martínez (2019), en su tesis titulada “Mejoramiento de producción del carguío y transporte mediante la teoría de colas en compañía minera los andes Perú Gold S.A.C.”. concluyó que al aplicar la teoría de colas se logró mejorar la producción del carguío y acarreo del material. A la vez mencionó que, para evitar colas en los frentes es necesario la reducción de equipos de carguío y transporte por cada frente, así mismo menciona que se debe tener un buen plan de mantenimiento de los equipos de carguío y acarreo para así poder evitar los tiempos improductivos que se presentan en la operación, verificando constantemente el factor de acoplamiento de estos a través de su cantidad y tiempos operativos. Con respecto a los resultados obtenidos en comparación con lo mencionado por el autor, el factor de acoplamiento está directamente relacionado a los tiempos improductivos, ya que, si se presenta colas en los equipos de acarreo, se generará disminución de producción y aumento de tiempos operativos. Es por ello que, se tiene que realizar cada cierto tiempo un análisis del factor de acoplamiento para verificar el estado de la operación. Así mismo, se debe revisar e implementar un plan de mantenimiento de los equipos para así poder aumentar también su disponibilidad y la disminución de los tiempos improductivos.

En el tercer objetivo específico: optimizar el ciclo de carguío y acarreo mediante la implementación de un plan de gestión de mantenimiento, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 17. Se obtuvo que a través de la optimización de tiempos mediante el plan de mantenimiento de los equipos el factor de acoplamiento durante el periodo del año 2018 a 2019, mejoró. El factor de acoplamiento en el PAD mejoró de 2.28 a 1.07 y desmonte de 3.04 a 1.09 en el mes de julio. El factor de acoplamiento en el PAD mejoró de 2.2 a 1.09 y desmonte de 2.96 a 1.09 en el mes de agosto. Estos resultados al ser comparados con el autor Villar (2020), en su tesis titulada “Uso de sistemas expertos en el ciclo de carguío y acarreo y su influencia en el proceso de mejora continua y gestión de costos operativos”, el cual es un trabajo teórico que se basa en otras 14 investigaciones, a las

cuales las evalúa y logra evidenciar empírica y teóricamente que un sistema experto, tiene influencia directa en el carguío y acarreo, por lo que en su trabajo tuvo como resultado que se logró la disminución de tiempos de carguío y aumento de factores de carga en los casos como Aspee y Gárate, se consideró un éxito debido a que la razón de toneladas por minuto es 160 [ton/min] vs 154 ton/min, aclarando que se debe aplicar mejoramiento continuo ya que la mina es cambiante. Por otro lado, el autor Julca (2019) en su tesis titulada “Optimización del ciclo de carguío y acarreo del tajo al PAD de lixiviación para evitar tiempos muertos y reducir costos en una empresa minera de la mediana minería, 2019”. Tuvo como resultados que, la velocidad del camión al regresar (vacío) aumenta de 43,11 km/h a 45,22 km/h. Optimizando el ciclo de carga de 28,36 minutos a 25,53 minutos. Concluyó que, el tiempo con y sin retardo de la lixiviación son 56,72 y 52,07 min respectivamente en el turno diurno y turno noche de 58,52 y 57,52 min (p.87). Los resultados obtenidos en la investigación están relacionados con los resultados de los autores en la optimización de los tiempos en relación con el factor de acoplamiento, a la implementación y seguimiento continuo del plan de mantenimiento elaborado por el área de mantenimiento y maquinaria. La reducción de los tiempos improductivos para la optimización de los ciclos de carguío y acarreo es de vital importancia porque a la vez permite el aumento de la producción, el aumento de la disponibilidad mecánica de los equipos y la disminución de grandes pérdidas económicas. Cabe resaltar que los operarios de los equipos deben estar bien capacitados para poder dirigir las máquinas evitando daños mecánicos a estos y para la identificación de problemas en las operaciones.

Según el objetivo general: optimizar los tiempos del ciclo de carguío y acarreo en la empresa La Arena, Huamachuco - La Libertad, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 17 y en la Figura 13. Se obtuvo que los tiempos en el ciclo de carguío y acarreo disminuyeron notablemente, en el PAD en el mes de julio disminuyó un 3.69% y en desmonte 3.81%, así mismo en el mes de agosto en el PAD disminuyó 7.23% y en el desmonte

5.76%. Así mismo los tiempos promedios del MTBS fue de 46.30, el MTTR fue de 3.70, el MTBF fue de 56.87 y el DM fue de 92.60% durante el periodo del año 2019. Estos resultados al ser comparados con el autor Calua (2019) en su tesis titulada “Propuesta de minimización de tiempos improductivos para una mayor producción en carguío y acarreo en la CIA. Minera Coimolache S.A.” Tuvo como resultados que, se minimizó los tiempos improductivos, siendo menor o igual a 3 minutos. Cada camión volquete aumenta en 98.5 TM/día, equivalente a \$ 14.33/día. En las excavadoras CAT 390 DL, aumentó de 32.1 TM/día equivale a 11.95 \$/día, y 163 TM/día en CAT 374 DL equivale a \$ 130,46/día, así mismo la utilización aumento a 3% la excavadora 374 DL, 10% 390 DL y los equipos de acarreo en 3%. Así mismo los resultados obtenidos en la investigación están relacionados con los autores mencionados, logrando la reducción de los tiempos improductivos para aumentar la productividad y la optimización del ciclo de carguío y acarreo, cabe resaltar que la presencia de los tiempos improductivos en su mayoría se debe a la presencia de colas y por la ausencia de un buen plan de mantenimiento.

Las limitaciones que se presentaron durante el desarrollo de la investigación fueron la falta de acceso a la información debido a que la unidad minera se encuentra ubicada en la ciudad de Trujillo, por lo cual, el investigador tenía que viajar de Chiclayo a Trujillo y el tiempo que se disponía para el recojo de información era mínimo, por tanto, esto dificultaba que el desarrollo de la investigación se llevara a cabo de manera fluida.

Este informe de investigación servirá como referencia para futuros investigadores que deseen abordar este tipo de investigación, ya que ha sido elaborado siguiendo el método científico y una secuencia metodológica que facilita su entendimiento y aplicación.

## VI. Conclusiones

1. De acuerdo al análisis de los tiempos del ciclo de carguío y acarreo se concluye que en los meses de julio y agosto del 2018, los tiempos del ciclo de carguío fueron de 88.83s y 77.70s respectivamente, teniendo un promedio total de 77.77s, equivalente a 1.30min. Mientras que en el ciclo de acarreo los tiempos estimados fueron de 43.04min y 42.22min respectivamente, teniendo un tiempo promedio total del ciclo de acarreo de 43.63 min. Así mismo, los resultados obtenidos de los tiempos promedios del MTBS, MTTR, MTBF Y DM fueron de 37.20, 5.77, 42.13 y 86.58% respectivamente, evidenciándose tiempos improductivos.
2. De acuerdo al cálculo del factor de acoplamiento de los equipos de carguío y acarreo se concluye que, durante el periodo del año 2018 el factor de acoplamiento superó a 1. En el PAD y en el desmante se obtuvo un factor de acoplamiento de 2.28 y 3.04 respectivamente durante el mes de julio, y durante el mes de agosto se obtuvo un factor de acoplamiento en el PAD y en el desmante de 2.2 y 2.96 respectivamente.
3. De acuerdo con la implementación del plan de gestión de mantenimiento para la optimización del ciclo de carguío y acarreo se concluye que, el factor de acoplamiento en el PAD y en el desmante mejoró a 1.07 y 1.09 respectivamente durante los meses de julio y agosto. Así mismo, los resultados obtenidos del MTBS, MTTR, MTBF y DM fueron de 46.30, 3.70, 56.87 y 92.60% respectivamente durante el año 2019, notándose una disminución de los tiempos improductivos y la optimización del ciclo de carguío y acarreo, ya que en el PAD y en el desmante durante el mes de julio los tiempos se redujeron entre un 3.69% y 3.81% respectivamente, y durante el mes de agosto los tiempos se redujeron entre un 7.23% y 5.76% respectivamente.

## **VII. Recomendaciones**

1. Se recomienda llevar a cabo cada cierto tiempo un análisis de los tiempos del ciclo de carguío y acarreo de los equipos, para poder verificar si se está cumpliendo con los tiempos establecidos para la operación.
2. Es recomendable monitorear en tiempo real los tiempos presentes en el ciclo, así mismo, se recomienda tener comunicación constante con los operadores para reporte de alguna falla que se presente.
3. Se recomienda que los operadores revisen sus equipos antes de empezar las operaciones, para así evitar tiempos improductivos.
4. Es recomendable mantener el factor de acoplamiento cercano o igual a la unidad, para así evitar aglomeraciones y colas en los equipos de acarreo, siempre y cuando teniendo en cuenta los tiempos de los ciclos y la cantidad de equipos que se va a utilizar para la operación.
5. Se debe tener en cuenta la capacidad volumétrica de la cuchara de los equipos de carguío y de las tolvas de los camiones, ya que tienen que estar en relación para evitar el aumento de los tiempos del ciclo.
6. Se recomienda cada cierto tiempo revisar y mejorar los planes de mantenimiento de los equipos, para reducir los tiempos improductivos evitando fallas durante el ciclo de trabajo y aumentando así su disponibilidad mecánica.
7. Se recomienda realizar un estudio más a fondo sobre los tiempos muertos en donde no solo se consideren a los tiempos improductivos producto de desperfectos mecánicos no programados, sino también a tiempos perdidos dentro de la operación misma.
8. Se debe implementar una estrategia de entrenamiento a los operadores dado que la gran mayoría son fallas operativas.

## REFERENCIAS

1. AMENDOLA, Luis. Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento [en línea]. España, Universidad Politécnica Valencia España, 2017 [fecha de consulta: 24 de noviembre de 2020].  
Disponible en  
[http://www.mantenimientoplanificado.com/Articulos%20gesti%C3%B3n%20mantenimiento\\_archivos/indicadores%20confiabilidad%20amendola.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/Articulos%20gesti%C3%B3n%20mantenimiento_archivos/indicadores%20confiabilidad%20amendola.pdf)
2. ARAUJO, Roberth. Optimización de la flota de volquetes en el acarreo, para incrementar la producción en la mina los andes Perú Gold – Huamachuco. Tesis (Título profesional de ingeniería de minas).  
Trujillo: Universidad Nacional De Trujillo, 2018.  
Disponible en  
<http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/11045/Araujo%20Garc%C3%ADa%20Roberth%20Wilman.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
3. ARIAS, Fidias. El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica [En Línea]. 6ta ed. Venezuela: Episteme, C.A, 2012. [Fecha de consulta: 20 de noviembre de 2020].  
Disponible en <https://evidencia.com/wp-content/uploads/2014/12/EL-PROYECTO-DE-INVESTIGACI%C3%93N-6ta-Ed.-FIDIAS-G.-ARIAS.pdf>  
ISBN: 980-07-8529-9
4. ARSLANKAYA, Seher y ATAY, Hatice. Maintenance management and lean manufacturing practices in a firm which produces dairy products. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* [en línea]. Vol. 207, 20 de octubre 2015. [Fecha de consulta: 21 de noviembre de 2020].  
Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/284559587\\_Maintenance\\_Management\\_and\\_Lean\\_Manufacturing\\_Practices\\_in\\_a\\_Firm\\_Which\\_Produces\\_Dairy\\_Products](https://www.researchgate.net/publication/284559587_Maintenance_Management_and_Lean_Manufacturing_Practices_in_a_Firm_Which_Produces_Dairy_Products)  
ISSN: 1877-0428

5. BURT, Christina. An Optimisation Approach to Materials Handling in Surface Mines. Tesis (Título profesional de doctor de filosofía). Department of Mathematics and Statics.  
Disponible en:  
[https://espace.curtin.edu.au/bitstream/handle/20.500.11937/2157/165737\\_Burt2008.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://espace.curtin.edu.au/bitstream/handle/20.500.11937/2157/165737_Burt2008.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
6. CALUA, Freddy. Propuesta de minimización de tiempos improductivos para una mayor producción en carguío y acarreo en CIA minera Coimolache S.A. Tesis (Título en Ingeniero de minas). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.  
Disponible en  
<http://190.116.36.86/bitstream/handle/UNC/3114/TESIS%20FREDDY.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
7. CARMICHAEL, David. Shovel–truck queues: a reconciliation of theory and practice. *Construction Management and Economics* [en línea]. Vol. 4, n°2, 1986 [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2020].  
Disponible en:  
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01446198600000013>
8. CHANDRA, Savanam. Benchmarking [en línea]. Vol. 4. India: African Journal of Business Management, 2010 [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2020].  
Disponible en: <https://academicjournals.org/journal/AJBM/article-full-text-pdf/94C94A923521>  
ISSN 1993-8233
9. CHUCTAYA, Deyvi y LAROTA, Maria. Optimización de Carguío y Transporte en tiempo real mediante el Software Jmineops en Minería Superficial – Caso de Estudio. Tesis (Título profesional de Ingeniero de Minas).  
Arequipa: Universidad Tecnológica del Perú, 2020.

Disponible en:

[https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2816/Deyvi%20Chuctaya\\_%20Maria%20Larota\\_Tesis\\_Titulo%20Profesional\\_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2816/Deyvi%20Chuctaya_%20Maria%20Larota_Tesis_Titulo%20Profesional_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

10. COHEN, Néstor y GÓMEZ, Gabriela. Metodología de la investigación, ¿para qué? [en línea]. Argentina: Editorial Teseo, 2019 [Fecha de consulta: 23 de noviembre de 2020].

Disponible en:

[http://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/se/20190823024606/Metodologia\\_para\\_que.pdf](http://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/se/20190823024606/Metodologia_para_que.pdf)

11. DAMMERT, Alfredo y MOLINELLI, Fiorella. Panorama de la Minería en el Perú [en línea]. Perú, Osinergmin, 2007 [fecha de consulta: 19 de noviembre de 2020].

Disponible en

[https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Libro\\_Panorama\\_de\\_la\\_Mineria\\_en\\_el\\_Peru.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Libro_Panorama_de_la_Mineria_en_el_Peru.pdf)

12. DE LA CRUZ, Heber. Optimización de los ciclos de carguío y acarreo para reducir los costos operativos en una empresa minera. Tesis (Título de Ingeniero de minas). Trujillo: Universidad Cesar Vallejo. Disponible en [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/34728/delacruz\\_vh.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/34728/delacruz_vh.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

13. DINDARLOO, S y FRIMPONG, S. A stochastic simulation framework for truck and shovel selection and sizing in open pit mines [en línea]. Vol. 115. South Africa: The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2015 [fecha de consulta: 21 de noviembre de 2020].

Disponible en <http://www.scielo.org.za/pdf/jsaimm/v115n3/08.pdf>

ISSN: 2225-6253

14. DREBENSTEDT, Carsten y SINGHAL, Raj. Mine Planning and Equipment

Selection [en línea]. Vol.2. Germany: Springer International Publishing, 2013 [Fecha de consulta: 21 de noviembre de 2020].

Disponible en: <https://www.springerprofessional.de/mine-planning-and-equipment-selection/2042400?tocPage=1>

ISBN: 978-3-319-02678-7

15. ERCELEBI, S. y BASCETIN, A. Optimization of shovel-truck system for surface mining. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy* [en línea]. Vol. 109, Julio 2009 [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2020].

Disponible en: <http://www.scielo.org.za/pdf/jsaimm/v109n7/06.pdf>

ISSN: 2411-9717

16. FICA, María. Detección de anomalías en un proceso de carguío autónomo. Tesis (Título profesional de ingeniería de minas). Santiago de Chile: Universidad De Chile, 2018. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/169246>

17. GACKOWIEC, Paulina. General overview of maintenance strategies – concepts and approaches. *Sciendo* [en línea]. Vol. 2, n°1, agosto 2018 [Fecha de consulta: 19 de noviembre de 2020].

Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/335854452\\_General\\_overview\\_of\\_maintenance\\_strategies\\_-\\_concepts\\_and\\_approaches](https://www.researchgate.net/publication/335854452_General_overview_of_maintenance_strategies_-_concepts_and_approaches)

18. GÁLVEZ, Cindy y RIVERA, Raúl. Propuesta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad aplicado a una flota de camiones fuera de carretera en una mina de tajo abierto. Tesis (Título de Ingeniero Industrial). Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2016

Disponible en:

[https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/619973/LI\\_GC.pdf?sequence=14&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/619973/LI_GC.pdf?sequence=14&isAllowed=y)

19. GARCÍA, Verónica, AQUINO, Silvia, IZQUIERDO, Jesús y SANTIAGO, Pedro [en línea]. 1.<sup>ra</sup> ed. México: Red Durando de Investigadores Educativos, A.C., 2015 [fecha de consulta: 19 de noviembre de 2020].  
Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/706749.pdf>
20. GONZALES, Valeria. Modelo evaluativo para el cálculo de flota de equipos de carguío y transporte en compañía minera Doña Inés de Collahuasi. Tesis (Título de ingeniera civil en minas). Santiago: Universidad de Chile, 2018. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/164023>
21. HERNANDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, María. Metodología de la investigación [en línea]. 6.<sup>a</sup> ed. México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. 2014 [Fecha de consulta: 19 de noviembre de 2020].  
Disponible en <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>  
ISBN: 978-1-4562-2396-0
22. HUAROCC, Pabel. 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 (Título profesional de Ingeniero de Minas). Huancayo: Universidad Nacional Del Centro Del Perú, 2014.  
Disponible en <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1337/%E2%80%9COPTIMIZACION%20DEL%20CARGUIO%20Y%20ACARREO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
23. IONNIS, Dagkinis y NIKITAS, Nikitakos. Application of Analytic Hierarchy Process & TOPSIS methodology on ships' maintenance strategies. *Journal of Polish Safety and Reliability Association* [en línea]. Vol. 4, n°1-2, 2013 [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2020]  
Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/281493801\\_Application\\_of\\_Analytic\\_Hierarchy\\_Process\\_TOPSIS\\_methodology\\_on\\_ships'\\_maintenance\\_strategies](https://www.researchgate.net/publication/281493801_Application_of_Analytic_Hierarchy_Process_TOPSIS_methodology_on_ships'_maintenance_strategies)

24. JULCA Lopez, Dalila. Optimización del ciclo de carguío y acarreo del tajo al PAD de lixiviación para evitar tiempos muertos y reducir costos en una empresa minera de la mediana minería. Tesis (Bachiller en ingeniería de minas). Cajamarca: Universidad Privada del norte, 2019. Disponible en <https://3.210.144.179/bitstream/handle/11537/22308/Julca%20Lopez%20Dalila.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
25. KNIPE, André. Benchmarking for competitive advantage – striving for world class project management practices [en línea]. South Africa: Project Management Institute of South Africa (PMISA), 2002 [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2020].  
Disponible en [https://cdn.ymaws.com/www.projectmanagement.org.za/resource/resmgr/conference\\_proceedings\\_2002/11.pdf](https://cdn.ymaws.com/www.projectmanagement.org.za/resource/resmgr/conference_proceedings_2002/11.pdf)
26. KOMATSU HOLDING SOUTH AMERICA. HD785-7 Camión fuera de [en línea]. Setiembre, 2013, [fecha de consulta: 24 de noviembre de 2020].  
Disponible en <http://www.komatsu.pe/images/pdf-mineria/camiones/HD785-7esp.pdf>
27. MANNA, Rakesh, & METE, Jayanta. Population and Sample. *International Journal of Research and Analysis in Humanities* [en línea]. Vol. 1, n° 1, 2021. [Fecha de consulta: 27 de octubre de 2021].  
Disponible en: <https://www.iarj.in/index.php/ijrah/article/view/39>
28. MARTINEZ, Edwin. Mejoramiento de producción del carguío y transporte mediante la teoría de colas en Compañía Minera Los Andes Perú Gold SAC. Tesis (Título profesional de Ingeniería de Minas). Huancayo: Universidad Nacional Del Centro Del Perú, 2019.

Disponible en

[http://181.65.200.104/bitstream/handle/UNCP/4941/T010\\_47479449\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://181.65.200.104/bitstream/handle/UNCP/4941/T010_47479449_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

29. MKHATSHWA, S. Optimization of the loading and hauling fleet at Mamatwan open pit mine. *South Africa: The Southern African Institute of Mining and Metallurgy* [en línea]. Vol. 109, 2008 [fecha de consulta: 21 de noviembre de 2020].

Disponible en <http://www.scielo.org.za/pdf/jsaimm/v109n4/04.pdf>

ISSN: 0038–223X

30. NEWMAN, Alexandra, RUBIO, Enrique, CARO, Rodrigo, WEINTRAUB, Andrés y EUREK, Kelly. A review of operations research in Mine Planning. *Interfaces* [en línea]. Vol. 40, No. 3, Mayo – junio 2010. [Fecha de consulta: 20 de noviembre de 2020]

Disponible:

[http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/126232/Newman\\_Alexandra.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/126232/Newman_Alexandra.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

ISSN: 0092-2102

31. OTZEN, Tamara y MANTEROLA, Carlos. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *Int. J. Morphol.* [en línea]. Vol.35, n.1, marzo 2017. [Fecha de consulta: 20 de noviembre de 2020]

Disponible

en:

[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-95022017000100037&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022017000100037&lng=es&nrm=iso)

ISSN 0717-9502

32. OWOLABI, A. Loading and Haulage Equipment Selection for Optimum Production in a Granite Quarry. *International Journal of Mining Science (IJMS)* [en línea]. Vol. 5, n°2, 2019 [Fecha de consulta: 23 de noviembre de 2020].

Disponible en: <https://www.arcjournals.org/pdfs/ijms/v5-i2/4.pdf>

33. PAUCA, Mantilla. Selección y remplazo de equipos de acarreo para optimizar tiempos y reducir costos operativos-mina Parcoy y Consorcio minero Horizonte JJD Contratista S.A.C. Tesis (Bachiller en Ingeniería de minas). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2019. Disponible en <http://bibliotecas.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/8672/MIpamamd.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
34. PASCH, O y ULUDAG, S. Optimization of the load-and-haul operation at an opencast colliery [en línea]. Vol. 118. South Africa: The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2018 [fecha de consulta: 21 de noviembre de 2020]. Disponible en <http://www.scielo.org.za/pdf/jsaimm/v118n5/04.pdf>  
ISSN: 2411-9717
35. PINEDA, Elia, ALVARADO, Eva y CANALES, Francisca. Metodología de la Investigación [en línea]. 2.<sup>a</sup> ed. Washington: Paltex, 1994 [fecha de consulta: 21 de noviembre de 2020]. Disponible en: <http://187.191.86.244/rceis/registro/Metodologia%20de%20la%20Investigacion%20Manual%20para%20el%20Desarrollo%20de%20Personal%20de%20Salud.pdf>
36. ZEGARRA, Manuel. Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados. *Ciencia y Desarrollo* [en línea]. 19, n°1, 15 de abril 2016. [Fecha de consulta: 24 de noviembre de 2020]. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/228575405.pdf>
37. SALAMA, Abubakary and GREBERG, Jenny. Optimization of Truck-Loader haulage system in an underground mine: A simulation approach using SimMine [en línea]. Junio, 2012 [Fecha de consulta: 23 de noviembre]. Disponible:

[https://www.researchgate.net/publication/281743346\\_Optimization\\_of\\_Truck-Loader\\_haulage\\_system\\_in\\_an\\_underground\\_mine\\_A\\_simulation\\_approach\\_using\\_SimMine](https://www.researchgate.net/publication/281743346_Optimization_of_Truck-Loader_haulage_system_in_an_underground_mine_A_simulation_approach_using_SimMine)

38. SALAS, Edwin. Diseños preexperimentales en psicología y educación: Una revisión conceptual. Scielo [en línea]. Vol. 9, n°1, 2013. [Fecha de consulta: 26 de octubre de 2021]  
Disponibile en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/liber/v19n1/a13v19n1.pdf>  
ISSN: 223-7666
39. SIURANA, Juan. Los principios de la bioética y el surgimiento de una bioética intercultural [en línea]. España: VERITAS, N° 22, 2010 [Fecha de consulta: 23 de noviembre de 2020].  
Disponibile en <https://scielo.conicyt.cl/pdf/veritas/n22/art06.pdf>  
ISSN 0717-4675
40. SOOFASTERI, Ali, KARIMPOUR, Elnaz, KNIGHTS, Peter, & KIZIL, Mehmet. Energy-Efficient. Loading and Hauling Operations. *Springer* [en línea] 02 de noviembre, 2017 [Fecha de consulta: 23 de noviembre de 2020]  
Disponibile \_\_\_\_\_ en:  
[https://www.researchgate.net/publication/320807074\\_Energy-Efficient\\_Loading\\_and\\_Hauling\\_Operations](https://www.researchgate.net/publication/320807074_Energy-Efficient_Loading_and_Hauling_Operations)  
ISSN: 978-3-319-54199-0
41. SUÁREZ, P. Gobierno de Principado de Asturias. Diciembre 2011.  
Disponibile \_\_\_\_\_ en:  
[http://udocente.sespa.princast.es/documentos/memorias/Metodologia\\_Investigacion/Presentaciones/4\\_%20poblacion&muestra.pdf](http://udocente.sespa.princast.es/documentos/memorias/Metodologia_Investigacion/Presentaciones/4_%20poblacion&muestra.pdf)
42. VARGAS, Katherin. Mejoramiento del sistema de carguío y transporte del mineral marginal en la cancha N°35 – Planta pre concentradora, unidad

minera San Rafael – Melgar Puno. Tesis (Título profesional de ingeniero de minas).

Cusco: Universidad Nacional San Antonio Abad Del Cusco, 2019.

Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/328018646.pdf>

43. VILLAR, Lester. Uso de sistemas expertos en el ciclo de carguío y acarreo y su influencia en el proceso de mejora continua y gestión de costos operativos. Tesis (Título profesional de ingeniería de minas).

Cajamarca: Universidad Privada del Norte, 2020.

Disponible en

<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/23753/Villar%20Zamora%20Lester%20Juan%20De%20Dios.pdf?sequence=5>

## ANEXOS

### Anexo 1

#### Matriz de operacionalización de variables

MATRIZ DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES					
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE EDICIÓN
OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS	Morales, (2020). En general la optimización de tiempos está basada en la siguiente clasificación, tiempo de carguío, transporte, retorno, operativo y colas.	La optimización de tiempos se realizó mediante el software Fleet match, clasificación de tiempos, parámetros MTBS Y MTTR, normativa vigente, con el fin de lograr identificar los factores que generan tiempos improductivos, mantener una alta disponibilidad mecánica, evitar las aglomeraciones en los equipos y verificar que la empresa cumpla con los estándares correctos de la norma.	Dimensionamiento de equipos	Ciclo de carguío y acarreo	RAZÓN
				Tiempo de ciclo de carguío (h).	
				Nº de equipos carguío y transporte	
				Tiempo de ciclo de transporte (h).	
			Flota de equipos	Fleet Match	RAZÓN
				Tamaño de flota	
				Productividad de flota.	
			Benchmarking	Tiempo medio entre paradas (MTBS).	RAZÓN
				Tiempo medio en reparaciones (MTTR).	
			Análisis del proceso	Regla 10 - 10 - 20	RAZÓN
Índice de capacidad del proceso.					

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 2

### Optimización de los tiempos del ciclo de carguío y acarreo

<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO</b>				
<b>Objetivo:</b> Optimizar los tiempos del ciclo de carguío y acarreo en la empresa La Arena, Huamachuco - La Libertad.				
<b>Instrucción:</b> Optimización de los tiempos del ciclo de carguío y acarreo.				
<b>Ítem</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Resultado</b>	<b>Observaciones</b>
1	Dimensionamiento de equipos	Capacidad del equipo de carguío (Tn).		
		Rendimiento horario (Tn/h).		
		Rendimiento diario (Tn/día).		
		Rendimiento x periodo de carguío y transporte.		
		Tiempo de ciclo de transporte (h).		
		Numero de palas para llenar el equipo.		
		Resistencia a la rodadura (%).		
		Pendientes máximas (%).		
		N° de equipos carguío y transporte		
2	Flota de equipos	Fleet Match		
		Tamaño de flota		
		Aglomeración		
		Eficiencia del operador en el equipo		
		Factor de llenado		
3	Benchmarking	Tiempo medio entre paradas (MTBS).		
		Tiempo medio en reparaciones (MTTR).		
		Disponibilidad mecánica (%).		
		Utilización de los equipos (%)		
4	Normativa	Regla 10 - 10 - 20		
		Índice de capacidad del proceso.		

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 3**  
**Fleet Match**

<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO</b>				
<b>Objetivo:</b> Encontrar el número correcto de camiones que se deben emplear en una operación para evitar aglomeraciones, mediante el uso del Fleet Match.				
<b>Instrucción:</b> Fleet Match para lograr encontrar el número correcto de camiones.				
<b>Ítem</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Resultado</b>	<b>Observaciones</b>
1	Tiempo de etapa de carguío	Tiempo de posicionamiento del equipo de acarreo		
2	Tiempo del ciclo	Tiempo de espera para la carga		
		Tiempo de carga		
		Tiempo de acarreo		
		Tiempo de espera de descarga		
		Tiempo de regreso		
3	Número de equipos de acarreo	Flota en general		

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 4

### Factores que condicionan tiempos improductivos

<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO</b>				
<b>Objetivo:</b> Identificar los factores que producen tiempos improductivos o muertos en el interior de la labor de carguío y acarreo				
<b>Instrucción:</b> Condiciones de zona de trabajo, disponibilidad mecánica, tiempos improductivos en el desarrollo de la operación de carguío y acarreo.				
<b>Ítem</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Resultado</b>	<b>Observaciones</b>
1	Geomorfología de la zona de estudio	Pendientes		
		Resistencia al rodado		
		Mantenimiento en los caminos		
2	Disponibilidad mecánica	Horas trabajadas		
		Horas de reparación		
		Horas disponibles		
3	MTBS	Tiempo promedio de la maquinaria		
		Gestión de mantenimiento		
		Gestión de planeamiento		
		Eficiencia del mantenimiento		
		Indicador de confiabilidad		
	MTTR	Horas en reparación		
		Nº de paradas		
		Eficacia del mantenimiento		
		Porcentaje de paradas no programadas (MTTR < 3)		
		Excesivos retrasos (MTTR > 6)		

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 5

### Verificación de la regla 10 – 10 - 20

<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO</b>				
<b>Objetivo:</b> Verificar que la empresa cumpla con la aplicación correcta de los equipos, mediante la verificación de la regla del 10-10-20.				
<b>Instrucción:</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Resultado</b>	<b>Observaciones</b>
1	Regla 10 - 10 - 20	El 10 % de todas las cargas no pueden acceder al 110% de la carga útil.		
		Ninguna carga debe exceder el 120%		
		El promedio de las cargas útiles no deben superar la carga útil del objetivo.		

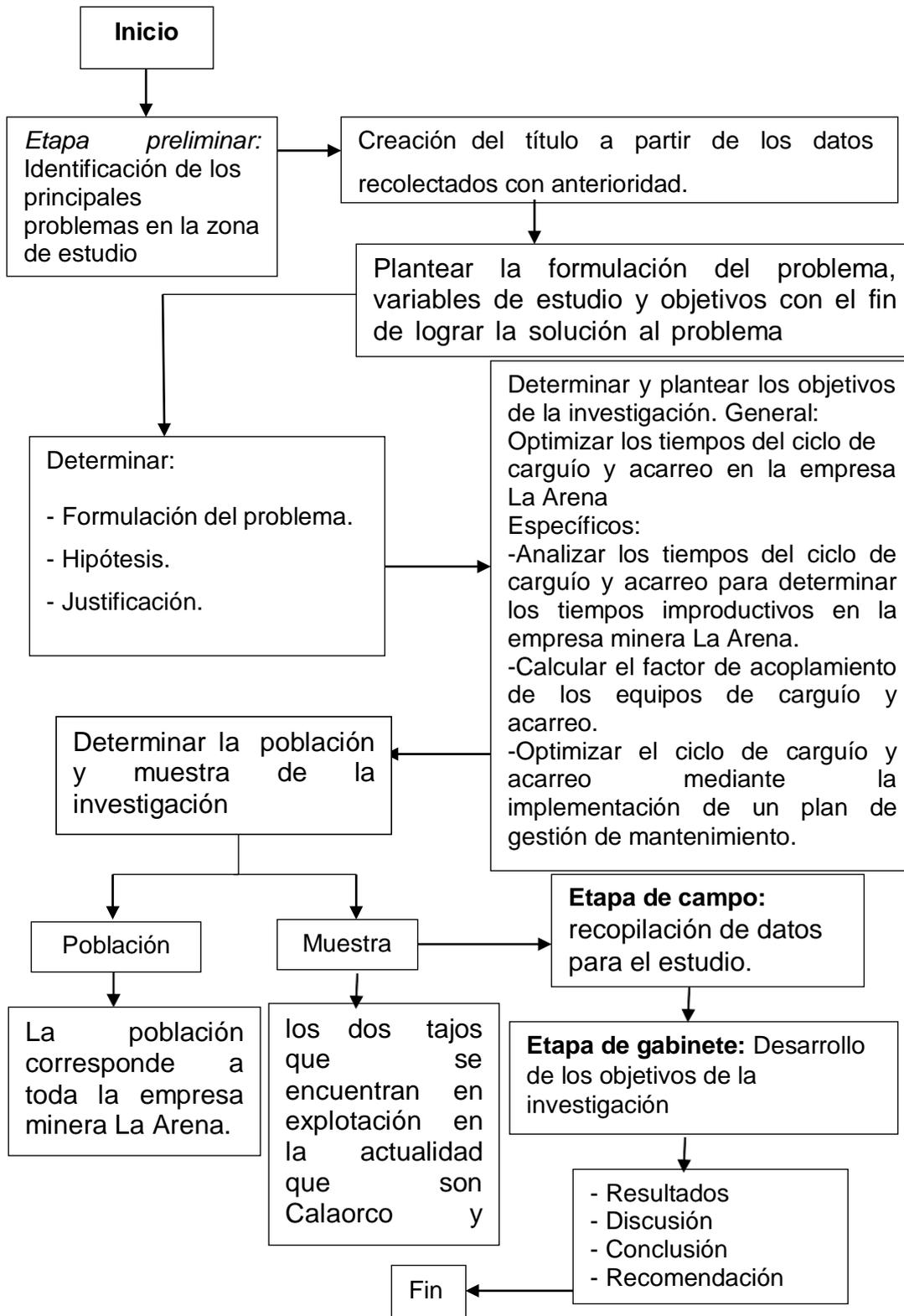
Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 6**  
**Matriz de consistencia**

<b>OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS DEL CICLO DE CARGUÍO Y ACARREO EN LA EMPRESA LA ARENA, LA LIBERTAD</b>						
<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>TIPO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>POBLACIÓN</b>	<b>TÉCNICAS</b>
¿Cómo se puede optimizar el ciclo de carguío y acarreo en la empresa La Arena, Huamachuco - La Libertad?	<p><b>GENERAL:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Optimizar los tiempos del ciclo de carguío y acarreo en la empresa La Arena, Huamachuco - La Libertad</li> </ul> <p><b>ESPECÍFICOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Analizar los tiempos del ciclo de carguío y acarreo para determinar los tiempos improductivos en la empresa minera La Arena.</li> <li>-Calcular el factor de acoplamiento de los equipos de carguío y acarreo.</li> <li>-Optimizar el ciclo de carguío y acarreo mediante la implementación de un plan de gestión de mantenimiento.</li> </ul>	<p>si se optimiza los tiempos de carguío y acarreo entonces se incrementará la productividad en la empresa La Arena, Huamachuco – La libertad.</p>	<p>Optimización De Tiempos</p>	Aplicada	La población está conformada por toda la empresa minera La Arena.	<p>Observación</p> <p>Análisis documental</p>
				<b>DISEÑO</b>	MUESTRA	<b>INSTRUMENTOS</b>
				Experimental y Longitudinal	Todos los equipos de carguío y acarreo	<p>Guía de observación</p> <p>Guía de análisis documental</p>

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 7 Procedimientos



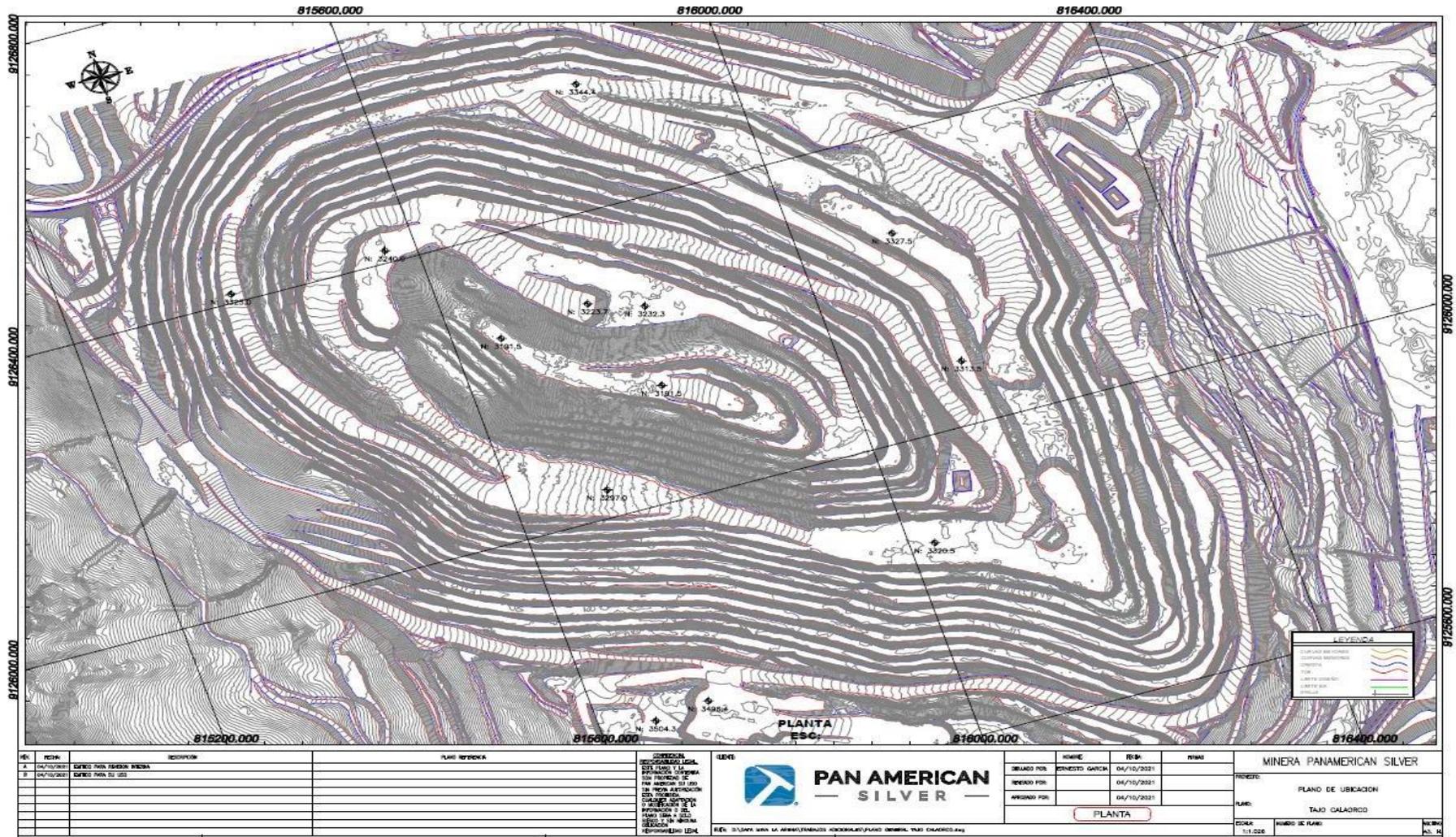
Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 8

### Ubicación de La Mina La Arena



## Anexo 9 Plano Tajo Chalaorco



Fuente: Pan American Silver, 2021



## Anexo 11

### Carta de autorización



Lima, 15 de julio de 2021.

Dr. Beder Erasmo Martell Espinoza.

Director Escuela Profesional de Minas de la Universidad César Vallejo- Chiclayo.

Yo Sr. Miguel Ángel Bringas Rodríguez, identificado con DNI- No. 46820390, Gerente General de la Empresa All Mining EIRL, autorizó a Marcos Weimar Gurreonero Mamani, de la Universidad César Vallejo filial Chiclayo- Perú, de la escuela profesional de Ingeniería de Minas, aplicar su investigación denominada OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS DEL CICLO DE CARGUÍO Y ACARREO EN LA EMPRESA MINERA LA ARENA, con la finalidad de que pueda obtener un título Profesional de Ingeniero de Minas.

Así mismo, dicha autorización comprende el citado de acuerdo con la Universidad César Vallejo en su Repositorio Institucional.

Lima, 15 de Julio del 2021.



Miguel Ángel Bringas Rodríguez  
Gerente General  
Cel.982939019