

Análisis del Mantenimiento Preventivo en los Camiones Mineros 980 E-5 y su Relación con la Disponibilidad Mecánica

Adrian Pedro Baldeon-Pacheco, Student ¹, Nancy De la Cruz-Escobar, Br. Ind², José Velasquez-Costa, PhD³
Herbert Vilchez-Baca, M.Eng⁴
^{1,2,3,4}Universidad Continental, Perú, 44021190@continental.edu.pe, 71584297@continental.edu.pe,
jvelasquezc@continental.edu.pe, hvilchez@continental.edu.pe

Abstract– The processes of the mining industry operate on a large scale, as well as its equipment, personnel, and facilities. It is necessary to plan the work and activities to measure and control its operations. In this sense, mining trucks are a fundamental piece of the board. One of the key indicators for assessing the maintenance process management is availability. To this end, a study and analysis of the performance of 980 E-5 mining trucks has been conducted, obtaining results of key indicators to measure and compare the productivity of the fleet. The quantitative method was applied, with notable results including a 20% increase in mean time between failures (MTBF), indicating improved mean times between truck failures. Mean Time to Repair (MTTR) experienced a slight 5.7% increase in repair time compared to the previous year. Availability saw a 3.3% increase from the contractual value of 91.18%. This was evidenced in the compliance and precision of preventive maintenance with an average frequency of 508 hours in total between each preventive maintenance.

Keywords-- Availability, MTTR, MTBF, Preventive maintenance.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Análisis del Mantenimiento Preventivo en los Camiones Mineros 980 E-5 y su Relación con la Disponibilidad Mecánica

Adrian Pedro Baldeon-Pacheco, Student ¹, Nancy De la Cruz-Escobar, Br. Ind², José Velasquez-Costa, PhD³
Herbert Vilchez-Baca, M.Eng⁴
^{1,2,3,4}Universidad Continental, Perú, 44021190@continental.edu.pe, 71584297@continental.edu.pe,
jvelasquezc@continental.edu.pe, hvilchez@continental.edu.pe

Abstract– *The processes of the mining industry operate on a large scale, as well as its equipment, personnel, and facilities. It is necessary to plan the work and activities to measure and control its operations. In this sense, mining trucks are a fundamental piece of the board. One of the key indicators for assessing the maintenance process management is availability. To this end, a study and analysis of the performance of 980 E-5 mining trucks has been carried out, obtaining results of key indicators to measure and compare the productivity of the fleet. The quantitative method was applied, with notable results including a 20% increase in mean time between failures (MTBF), indicating improved mean times between truck failures. Mean Time to Repair (MTTR) experienced a slight 5.7% increase in repair time compared to the previous year. Availability saw a 3.3% increase from the contractual value of 91.18%. This was evidenced in the compliance and precision of preventive maintenance with an average frequency of 508 hours in total between each preventive maintenance.*

Keywords-- *Availability, MTTR, MTBF, Preventive maintenance.*

Resumen-- *Los procesos de la industria minera se mueven a gran escala, así como sus equipos, su personal, instalaciones. Se requiere planificar los trabajos y actividades para poder medir y controlar sus operaciones. En este sentido los camiones mineros resultan una pieza fundamental del tablero. Unos de los indicadores claves para evaluar la gestión del proceso de mantenimientos es la disponibilidad, para ello, se ha realizado el estudio y análisis del rendimiento de los camiones mineros 980 E-5, obteniendo resultados de indicadores claves para medir y comparar la productividad de la flota. Se aplicó el método cuantitativo, cuyos resultados más destacados son el MTBF que se logró aumentar en 20% el valor de los tiempos medios entre fallas de los camiones, El tiempo medio de reparación (MTTR) experimentó un ligero aumento del 5,7% en el tiempo de reparación en comparación con el año anterior. La disponibilidad experimentó un aumento del 3,3% desde el valor contractual del 91,18%. Esto se evidenció en el cumplimiento y exactitud del mantenimiento preventivo con una frecuencia promedio de 508 hrs. en total entre cada mantenimiento preventivo.*

I. INTRODUCCIÓN

En el escenario dinámico y desafiante en el sector de la minera, las condiciones climáticas, el horómetro del equipo y la calidad de los insumos, así como el soporte técnico calificado son factores que involucran un análisis en la implementación del plan de mantenimiento específico para cada operación minera. La eficiencia operativa de los equipos se presenta como un factor determinante para alcanzar los objetivos productivos y económicos. Entre estos equipos tenemos a los camiones mineros 980 E-5 que cuentan con una capacidad de 363 toneladas de su tolva, por lo que sobresalen como elementos cruciales en el acarreo eficiente de grandes volúmenes de minerales en entornos de operación mineras de 4500 msnm. En este contexto, la gestión de mantenimientos preventivos permite según Emilio [1]. “La intervención activa de la unidad en la planificación, ejecución, monitoreo, control y evaluación de las estrategias implementadas en el plan de gestión de mantenimiento, con el propósito de perfeccionar los lapsos medios entre fallos, los intervalos entre mantenimientos programados y los tiempos medios entre mantenimientos correctivos, buscando alcanzar una mejora continua”. Es importante tener en cuenta los intervalos de servicio recomendados por el fabricante. Para Richard y Vladimir [2]. “La disponibilidad mecánica se define como el porcentaje de tiempo durante el cual un equipo o sistema opera sin experimentar interrupciones no programadas, en relación con el tiempo total planificado para su funcionamiento”. Los camiones mineros 980 E-5 en su punto máximo son evidentes para garantizar operaciones mineras fluidas y rentables. La realización de mantenimientos preventivos de manera imprecisa puede tener consecuencias significativas, desde tiempos de inactividad no planificados, un impacto negativo directo en la disponibilidad, eficiencia de los equipos y pérdidas económicas para el titular minero. Como indica Fernando [3]. “Es esencial considerar que el RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) es una táctica de gestión de mantenimiento que tiene como objetivo garantizar la confiabilidad de un activo físico, maquinaria o equipo. En otras palabras, busca asegurar que el activo mantenga sus condiciones operativas para cumplir con sus funciones de manera planificada.” Asimismo, para Esmilka y Alexis [4]. “En

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Análisis de la gestión de mantenimiento

El mantenimiento preventivo implica anticiparse a posibles fallas en las máquinas, en lugar de esperar a que ocurran para realizar reparaciones. Se sugiere programar los reemplazos necesarios con base en el tiempo adecuado antes de que se manifieste algún problema. Como en “Ref. [2]. “El mantenimiento preventivo se creó como una estrategia de mantenimiento y al pasar del tiempo sigue siendo efectiva en el cual se dan 2 actividades principales el seguimiento e inspección de los equipos”. Esta práctica se puede llevar a cabo al conocer las especificaciones técnicas de los equipos mediante la revisión de los manuales de operación y mantenimiento, manual de funcionamiento del modelo de equipo correspondiente.

La compañía Komatsu se dedica a actividades en los sectores de minería y construcción, donde se emplea maquinaria pesada y especializada para llevar a cabo las operaciones de carguío y acarreo. La empresa está comprometida de la importancia de gestionar el desgaste experimentado por este tipo de equipos y herramientas a lo largo de todo el proceso. El área de Planeamiento de Komatsu recopila información de los camiones mineros semanalmente mediante el uso del software PML, ILM y WABTEC el cual brinda información necesaria y detallada para poder obtener como resultado los indicadores de la disponibilidad mecánica para tomar decisiones de los planes a ejecutar.

Para esta investigación se analizan los datos históricos proporcionados del área de mantenimiento de la flota de camiones 980 E-5 Komatsu. Se tomaron en cuenta los indicadores obtenidos durante el periodo 2023 de la flota de 10 camiones; A través de la evaluación de los indicadores MTBF (Mean Time Between Failures o Tiempo Medio Entre Fallas de los camiones), MTTR (Mean Time To Repair o Tiempo Medio para Reparación) y la Precisión de mantenimiento, Estos indicadores se procesarán para determinar el comportamiento de la disponibilidad a lo largo del 2023. Además, se examinará cómo la gestión del mantenimiento ha impactado positivamente en el estado y la disponibilidad mecánica de los equipos.

El cumplimiento de frecuencia del mantenimiento preventivo es necesario para los equipos, según su estado de vida útil de los componentes definidos, el tipo de condición de operación y según el requerimiento de la actividad. El éxito del mantenimiento consiste En una adecuada elección de los intervalos, el cumplimiento de sus frecuencias en la sustitución de componentes, independientemente de su condición después de un cierto periodo de uso, según [6]. “La tabla de piezas críticas del manual O&M 980E-5, además teniendo en cuenta las condiciones climatológicas, las habilidades y conocimiento del equipo por parte de los operadores y el soporte técnico del dealer.”

Según Roger [7]. “Se aconseja establecer la frecuencia de mantenimiento siguiendo las pautas proporcionadas por el fabricante, asegurando así un enfoque proactivo”. Es esencial sustituir las piezas de desgaste, como el aceite lubricante, los

el presupuesto de proyectos mineros a gran escala, el mantenimiento representa una partida significativa, cuya planificación se realiza meticulosamente a través del análisis de criterios técnicos y económicos.” Esto permite definir plazos y procedimientos que garanticen la rentabilidad y seguridad en el proceso de extracción. La precisión de servicio de Mantenimiento y la mano calificada de los operadores son parámetros cruciales en la gestión de mantenimiento que facilita la medición objetiva y control de las disparidades entre lo planificado y lo ejecutado, contribuyendo así a una gestión más efectiva y eficiente de los procesos de mantenimiento. Como en “Ref.[3]. La vulneración de este indicador posiciona en zona de riesgo y acorta la vida útil de los componentes mecánicos del equipo, afectando directamente las probabilidades de que ocurra alguna falla”. Un indicador que está directamente relacionado con la disponibilidad” y según Alberto [5].“Es el Tiempo medio entre reparaciones MTTR, no siempre se da al poco tiempo de la falla, sino que puede haber un intervalo hasta el comienzo de la reparación”.

“Es el Tiempo medio entre reparaciones MTTR, no siempre se da al poco tiempo de la falla, sino que puede haber un intervalo hasta el comienzo de la reparación.”

Esta investigación se centra en el análisis detallado de la gestión del mantenimiento preventivo en los camiones mineros 980 E-5. A través del estudio de los indicadores de MTBF (Mean Time Between Failures) MTTR (Mean Time To Repair) y su relación directa con la disponibilidad mecánica de los camiones 980 E-5 en el entorno minero, para proponer una metodología de diagnóstico situacional y su ejecución.

En la fig. 1 Se muestra el resumen anual de las toneladas movidas en el año 2023, donde se puede apreciar que el año 2022 fue donde se movió más toneladas con 33,935,447 usando 66,540 Hrs de operación y 91,075 de cargas totales estableciendo una ratio de 510 Tn / Hrs, Oper. En el año 2023 se usaron 53,952 Hrs de operación de los camiones con 88,869 de cargas para lograr mover 31,291,516 toneladas, lo que nos da una eficiencia mayor con respecto al año anterior, logrando una ratio de 580 Toneladas movidas por horas de operación de los camiones.

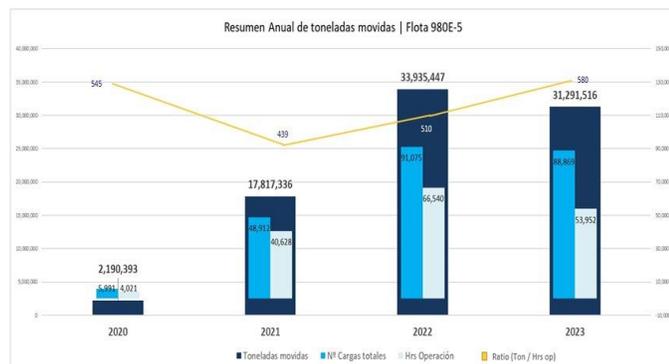


Fig. 1 Toneladas movidas anualmente (2023)
Nota Área de mantenimiento camiones Komatsu

filtros del sistema del motor diésel y sistema hidráulico, etc., durante las rutinas de mantenimiento programadas o incluso antes de alcanzar su tiempo de vida útil, o por condición de trabajo, como lo recomienda el manual del equipo. Asimismo, utilizar insumos originales del fabricante contribuye a mantener la fiabilidad y durabilidad de los equipos.

El indicador MTBF refleja el tiempo promedio transcurrido entre cada interrupción causada por fallos o averías en los camiones. Estos indicadores se calcularon considerando el tiempo total de operación de los camiones y sustrayendo el tiempo total de paradas, dividiendo luego este resultado por el tiempo total de fallos en la flota de camiones.

En la fig. 2 El indicador MTBF contractual es de 48 hrs, en enero se logró que el indicador 62.3 hrs, esto representa que el MTBF en la flota de camiones fue de 14.3 hrs por encima de las horas contractuales, en el mes de febrero el MTBF estuvo por debajo de las horas contractuales con una diferencia mínima de 0.8 horas, en el mes marzo se superó el indicador contractual con una diferencia mínima de 0.1, en abril se obtuvo 53.3 hrs superando el tiempo contractual por 5.3 hrs, en el mes de mayo se superó el MTBF contractual con 15.3 hrs, en junio se obtuvo 5.2 hrs superior al indicador contractual, en julio se obtuvo 4.4 hrs más al indicador contractual, en el mes de agosto se logró superar con 10.6 hrs al contractual. en el mes de setiembre se obtuvo 24.1 hrs con respecto al contractual, en el mes de octubre se logró el valor de 87.6 hrs, esto representa que el MTBF en la flota de camiones fue de 39.6 hrs por encima de las horas contractuales siendo el pico más alto del indicador MTBF, en noviembre no se cumplió con el MTBF contractual y se obtuvo 43 hrs con respecto al contractual y en el mes de diciembre se logró superar las 48 Hrs y se obtuvo un 49.9 hrs; El MTBF se vio afectado debido a las paradas por relleno de refrigerante a los camiones, las cuales fueron 85 eventos y 8 eventos por fallas propias de los componentes del camión. Obteniendo un promedio MTBF positivo de 57.6 horas en el 2023.

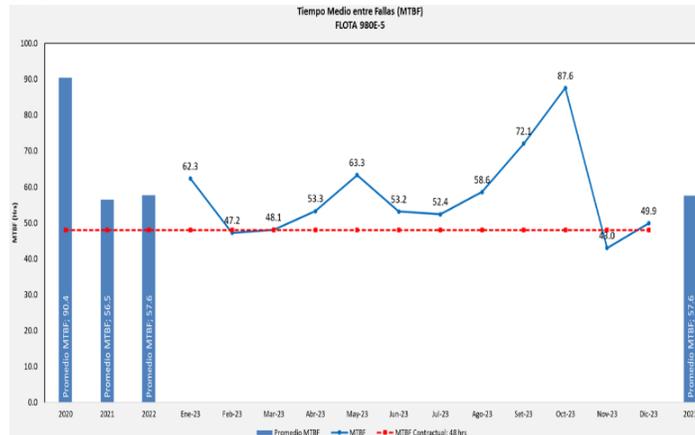


Fig. 2 Indicadores de MTBF (2023).
Nota Área de mantenimiento camiones Komatsu

El indicador de MTTR se calcula sumando el tiempo total dedicado a realizar las reparaciones durante un determinado periodo de tiempo entre el número de reparaciones.

En la fig. 3 El indicador MTTR contractual es de 3.5 hrs, en el mes de enero se logró que el indicador de 1.9 hrs, en el mes de febrero el MTTR superó las horas contractuales obteniendo 4.5 hrs, con una hora más al MTTR contractual, en el mes de marzo se obtuvo 3.9 hrs y en abril se obtuvo 4.4 hrs superando el tiempo contractual por 0.9 hrs, en el mes de mayo se superó el MTTR contractual con 0.2 hrs, en junio se obtuvo 2.8 hrs logrando estar dentro del tiempo contractual, en julio se obtuvo 3.6 hrs, en el mes de agosto se obtiene 5.6 hrs elevando el tiempo promedio de reparación de la flota de camiones, en el mes de setiembre se obtuvo 2.2 hrs con respecto al contractual y en octubre el indicador es de 1.6 hrs manteniendo el tiempo medio de reparación dentro del tiempo contractual, en noviembre no se cumplió con el MTTR contractual y se obtuvo 3.9 hrs con respecto al contractual y en el mes de diciembre se logró superar el MTTR contractual y se obtuvo 2.7 hrs; El MTTR se ha visto afectado por las fallas en motores diésel y motores de propulsión eléctrico (Motores de Tracción) lo que generó una diferencia negativa de 0.2 horas en relación a las horas contractuales del MTTR del 2023.

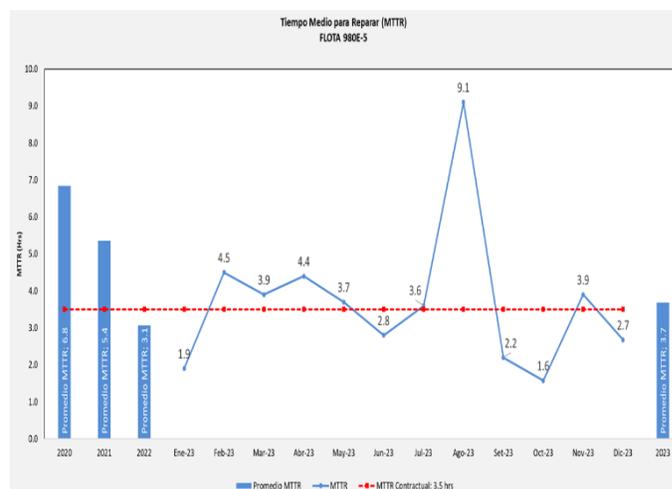


Fig. 3 Indicadores de MTTR (2023).
Nota Área de mantenimiento camiones Komatsu

B. Análisis de la disponibilidad

Según Nolan [8]. “La baja disponibilidad mecánica es una causa fundamental de la disminución de la productividad en maquinaria minera. Sus consecuencias incluyen la reducción de los volúmenes de movimiento y un aumento en los costos operativos debido a las intervenciones de mantenimiento correctivo.” Equivale al porcentaje en horas de los equipos que están habilitados para su manejo y operación, esas horas deberán incluir los tiempos de paradas previstas y no planificadas.

Así mismo César et al [9]. “Indica la Disponibilidad se calcula en función del MTBF Tiempo Medio entre Fallos y el MTTR Tiempo Medio para Reparar.”

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (1)$$

Donde:

MTBF (Tiempo medio entre fallos de los camiones)

MTTR: (Tiempo medio entre reparaciones de los camiones).

A continuación, se presentan los resultados derivados del análisis mensual de la gestión de mantenimiento, abarcando la disponibilidad física, los tiempos medios entre fallas (MTBF) y los tiempos medios para reparar (MTTR). Estos resultados fueron empleados en la formulación de un modelo matemático que establece la relación entre la disponibilidad y la gestión de mantenimiento. En este contexto, se consideraron los datos correspondientes a los años 2023, siendo el foco principal de nuestro estudio.

Luego de las evaluaciones de los indicadores de MTBF y MTTR se obtiene la disponibilidad de la flota de camiones.

La fig. 4 detalla la disponibilidad de la flota de camiones 980 E-5 durante el periodo 2023, teniendo como contractual la disponibilidad mecánica de 91 %, durante este periodo se obtuvo un promedio de disponibilidad mecánica del 94%, en el mes de agosto se obtuvo la disponibilidad más baja con una diferencia 4% inferior a la disponibilidad contractual y en el mes de octubre se obtuvo el pico más alto con 98% de disponibilidad mecánica.

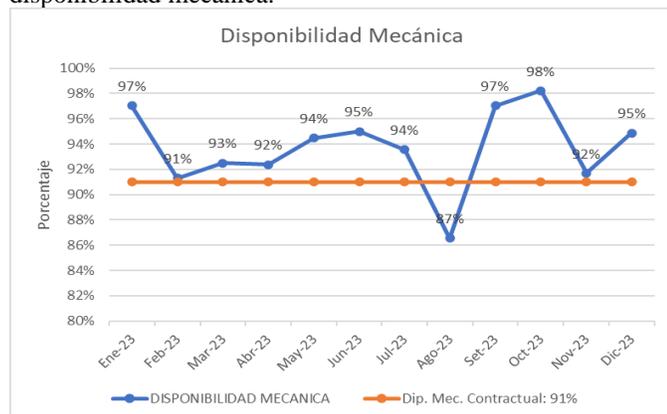


Fig.4 Indicadores de disponibilidad (2023).
Nota Área de mantenimiento camiones Komatsu

C. Análisis de la precisión de Mantenimiento preventivo

La frecuencia de mantenimiento preventivo de camiones 980 E-5 Komatsu es de 500 hrs, según el manual de operación y mantenimiento del fabricante, el área de planeamiento contempla una tolerancia de +/- 50 hrs para su realización.

En la fig. 5 La precisión de mantenimiento a lo largo del 2023, tuvo un promedio de 508 hrs de frecuencia de mantenimientos preventivos, siendo el mes de noviembre con la precisión más cerca al valor ideal con 495 hrs, con el cual se maximizo el aprovechamiento de la vida útil del aceite y filtros; el mes de septiembre obtuvo un desfase en la frecuencia del mantenimiento de la flota de camiones con 556 hrs. superando el margen de tolerancia de la presión de mantenimiento.

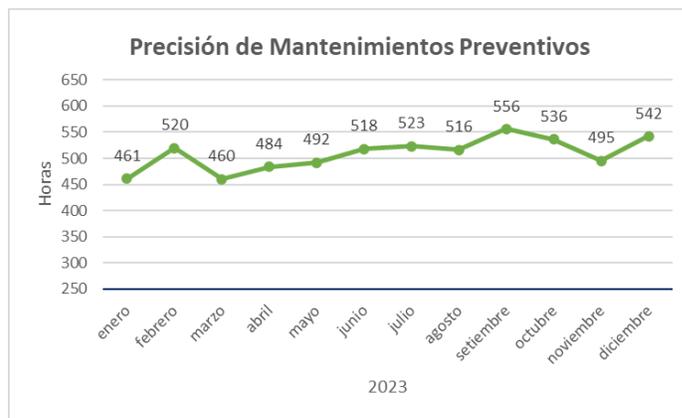


Fig. 5 Precisión de mantenimientos preventivos mensuales (2023).
Nota Área de mantenimiento camiones Komatsu

III. RESULTADO

A. Resultado del análisis de la gestión de mantenimiento

Luego de obtener los resultados de los indicadores MTBF, MTTR, durante la gestión de 2023 se analizará con la ayuda del software (SPSS), que es una herramienta de análisis estadístico, que al ingresar los datos de los indicadores de mantenimiento se generará un valor a comparar.

El alfa de Cronbach se calcula mediante la correlación media entre todos los datos. Un coeficiente de Alfa de Cronbach cercano a 1 indica una alta consistencia interna entre los indicadores, lo que sugiere que la escala es confiable y que los indicadores miden de manera consistente. Por otro lado, un valor más bajo indica una menor consistencia interna y puede indicar que los indicadores dentro de la escala no miden la misma característica de manera consistente.

En la tabla a continuación se refleja el resultado del análisis de los indicadores a considerar.

TABLA 1

Estadísticas de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,860	2

La tabla 1 del Alfa de Cronbach varía de 0 a 1, donde un valor más cercano a 1 indica una mayor consistencia interna. En este caso, el coeficiente alfa es de 0.860, es bastante alto y sugiere una buena consistencia interna entre los elementos de la escala. la tabla indica que hay 2 elementos en total en la escala. Esto indica que los elementos están correlacionados de manera positiva y coherente entre sí.

A continuación, se presenta la tabla que resultó del análisis de varianza (ANOVA) efectuado para contrastar la variabilidad de los indicadores de MTBF * MTTR.

TABLA 2

Tabla de ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
MTTR	Entre grupos	42.044	10	4.204	93.431	0.080
	Dentro de grupos	0.045	1	0.045		
	Total	42.089	11			
MTBF	Entre grupos	1653.557	10	165.356	3.443	0.398
	Dentro de grupos	48.020	1	48.020		
	Total	1701.577	11			

La tabla 2 proporciona el resultado de un análisis de varianza (ANOVA) para comparar la variabilidad entre grupos y dentro de grupos en una variable llamada MTBF y MTTR.; La estadística F es la razón de variabilidad entre grupos a variabilidad dentro de grupos. En este caso, los datos de esta simulación señalan para el MTTR el valor de la estadística F es 93.431 La suma de cuadrados entre grupos (42,044) representa la variación de la media entre los grupos. El valor F de 93,431 indica que la variación entre grupos es mucho mayor que la variación dentro de los grupos. Sin embargo, el valor p de 0,080 es mayor que el nivel de significancia comúnmente utilizado de 0,05. y para el MTBF la suma de cuadrados entre grupos (1653,557) representa la variación de la media entre los grupos. El valor F de 3,443 indica que la variación entre grupos es mayor que la variación dentro de los grupos, pero el valor p de 0,398 es mayor que 0,05, Este resultado no se encontraron diferencias significativas entre los grupos para ninguna de las dos variables (MTTR y MTBF) en base a los datos proporcionados.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La interpretación de los resultados obtenidos en el análisis de la gestión de mantenimiento durante el año 2023.

Para Yeisson y Lugo [10]. “El coeficiente Alfa de Cronbach es una métrica estadística utilizada para evaluar la confiabilidad de una escala de respuesta de medida, considerando una mayor correlación entre los datos como indicativo de mayor fiabilidad”.

Según Miguel et al. [11]. “La confiabilidad de los resultados de un estudio puede considerarse confiables cuando tienen un alto grado de validez, es decir, cuando no hay sesgos”.

Según los resultados obtenidos en el análisis de los indicadores se puede afirmar que:

Según el coeficiente de Alfa de Cronbach entre los indicadores MTBF y MTTR, está respaldado por el valor obtenido del coeficiente de Alfa de Cronbach de 0.860.

El MTBF obtenido el 2023 fue mayor al valor contractual de 48 Hrs, lo que implica que se aumentó las horas de los intervalos de falla. Estando en este caso en que tendría que

transcurrir 57.6 Hrs para contemplar una falla en la flota de camiones. En términos prácticos, esto significa que la flota experimentó un período más prolongado sin experimentar fallos, lo que puede traducirse en una mejora en la eficiencia operativa y potencialmente en la reducción de costos asociados a reparaciones y mantenimientos correctivos. La mención de que serían necesarias alrededor de 57.6 horas para anticipar una falla sugiere una mayor confiabilidad en la operación de la flota durante ese período, lo cual es valioso en el contexto de la gestión y planificación de mantenimiento.

El MTTR del año 2023 fue negativo, aumentando en 0.2 Hrs, a comparación del valor contractual de 3.5 Hrs, el tiempo promedio para la resolución de un problema o falla se aumentó en 3.7 Hrs. Esto implica un leve impacto en la disponibilidad, al estar relacionado directamente en el cálculo del indicador disponibilidad. Este incremento en el MTTR tiene implicaciones directas en la disponibilidad, ya que el MTTR es un componente clave en el cálculo de dicho indicador. Un MTTR más largo significa que los problemas o fallas tardaron más en ser solucionados, afectando potencialmente el tiempo en el que los equipos o sistemas estuvieron fuera de servicio. Esto podría tener un impacto leve pero significativo en la disponibilidad operativa de la flota, destacando la importancia de gestionar eficientemente el tiempo de resolución de problemas para mantener niveles óptimos de disponibilidad.

Según Julio y Mercedes [12] “La validez o fiabilidad de una prueba hace referencia a la calidad de una herramienta para ser eficiente en la medición de un atributo, es decir mide aquello que se supone que mide”.

Para Amat [13] “El funcionamiento básico de un ANOVA consiste en calcular la media de cada uno de los grupos para a continuación comparar la varianza de estas medias”

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para MTTR la comparar la estadística F significativa 93,431, lo que confirma que la variación entre grupos es mucho mayor que la variación dentro de los grupos, Para MTBF La estadística F es de 3,443, lo que indica que la variación entre grupos es mayor que la variación dentro de los grupos. Sin embargo, el valor p asociado (0,080) supera el umbral de significancia, al igual que en el caso del MTTR, el valor p asociado (0,398) es mayor que 0,05, lo que sugiere que no hay diferencias significativas entre los grupos en términos de MTBF.

Es importante considerar que ambos indicadores son inversamente proporcionales y al interpretar los resultados y explorar más a fondo las posibles causas de estas diferencias, se debe a que mientras mayor valor tenga el MTTR menor será la disponibilidad en el cálculo total en la gestión de mantenimiento.

V. CONCLUSIÓN

Los datos revelan que la disponibilidad alcanzada en el año 2023 fue del 88.55%, lo que representa un resultado inferior al valor contractual establecido en 91.18%. Este resultado negativo indica que la disponibilidad real fue menor que la meta

acordada, presentando una brecha de 2.63 puntos porcentuales para alcanzar el objetivo establecido para el año.

Las toneladas movidas en el año 2023 fueron menores en cantidad (31,291,516 ton) con respecto al año 2022 (33,935,447) pero con mayor ratio de Ton movidas / Hrs operación. El aumento en la ratio de Toneladas Movidas por Hora de Operación indica una mayor eficiencia en el manejo de la carga durante el año 2023. Este rendimiento mejorado sugiere que, a pesar de la disminución en el volumen total de toneladas, el proceso de obtención se llevó a cabo de manera más eficiente en términos de tiempo operativo. Esta mejora puede traducirse en beneficios tales como una utilización más efectiva de los recursos y una optimización de la productividad en el proceso de obtención de toneladas.

El aumento de las toneladas movidas en el año 2023 se debe a mejoras en los procesos operativos y estrategias más eficientes de operación y disponibilidad. Además, la afirmación de que se ha demostrado una alta fiabilidad en la medición de los indicadores de mantenimiento sugiere que la gestión de mantenimiento ha sido efectiva. La confiabilidad en la medición de los indicadores indica una sólida base de datos, lo que respalda la calidad de los resultados obtenidos en el análisis de mantenimiento. Esto implica que las prácticas de mantenimiento implementadas han contribuido a mantener un rendimiento fiable en las operaciones. En conjunto, estas interpretaciones apuntan hacia una gestión eficiente y efectiva tanto en términos de eficiencia operativa como de mantenimiento.

Los indicadores MTBF y MTTR con el análisis del software SPSS están altamente correlacionados, mostrando una consistencia interna significativa entre ellos. El coeficiente de Alfa de Cronbach, utilizado para medir esta consistencia interna, fue de 0.860, un valor cercano a 1 que indica una alta fiabilidad de los indicadores.

En el análisis de varianza (ANOVA) los valores p asociados (0,080 para MTTR y 0,398 para MTBF) superan el umbral de significancia convencional de 0,05, lo que sugiere que no hay diferencias significativas entre los grupos en términos de MTBF. Esto destaca la importancia de investigaciones adicionales para comprender completamente las causas subyacentes de estas diferencias y mejorar la eficiencia y la efectividad de la gestión de mantenimiento en el futuro.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a la Universidad Continental, por su apoyo y por todos los servicios brindados a lo largo de nuestros años de estudios en la facultad de Ingeniería. También expresar nuestra gratitud y consideración a Solís Yapias, John Erik por darnos acceso a la información y facilitarnos la data de los camiones mineros Komatsu, para lograr elaborar y poder plasmar esta investigación. Asimismo, agradecemos a nuestro asesor el ingeniero José Antonio Velásquez Costa por habernos brindado el soporte necesario durante todo el proceso de realización del presente estudio.

Finalmente extendemos el agradecimiento a nuestros compañeros y amigos durante todo el tiempo que compartimos conocimientos y experiencias que aportaron un gran valor a nuestro desarrollo profesional.

REFERENCIAS

- [1] E. M. Solórzano-Calero, «Mejora de la disponibilidad de los Volquetes Sinotruk del GADMEC», *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, vol. 5, n.º 9, pp. 34-41, ene. 2022, doi: 10.46296/ig.v5i9.0052.
- [2] R. L. Cordova Vargas y V. Torres De la Cruz, «Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento que permita mejorar la disponibilidad mecánica de las excavadoras en una empresa de Alquiler de Maquinaria Pesada», *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas(UPC)*, vol. 1, n.º Tesis, pp. 1-309, 2024.
- [3] F. G. Puente Quiquia, «Propuesta de un modelo de plan de mantenimiento que permite mejorar la disponibilidad física en los camiones eléctricos Komatsu 730E, basado en metodología TPM-RCM».
- [4] E. Guerra-López y A. M. de Oca-Risco, «Relationship between the productivity, the maintenance and the replacement in the large mining», *Boletín de Ciencias de la Tierra*, vol. 2019, n.º 45, pp. 14-21, ago. 2019, doi: 10.15446/rbct.n45.68711.
- [5] M. A. Leon Urquiza, «Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de las máquinas críticas en la empresa Cynara Perú S.A.C., 2021», Lima, 2021.
- [6] Komatsu America Corp., «Operation & Maintenance Manual 980E-5 DUMP TRUCK», U.S.A, 2021. [En línea]. Disponible en: www.P65warnings.ca.gov/diesel
- [7] R. Medina, «Tipos de mantenimiento en las unidades de medición de producción de pozos petroleros», *Revista Enfoques*, vol. 6, n.º 21, pp. 37-49, mar. 2022, doi: 10.33996/revistaenfoques.v6i21.124.
- [8] N. M. Quispe Vascope, «Plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de las palas de minería P&H 4100A», *Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo*, vol. 1, n.º Tesis, pp. 1-61, 2023.
- [9] C. M. Gallegos Londoño, M. A. Viscaíno Cuzco, y S. R. Sergio Raúl, «Estudio de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad aplicado a grupos electrógenos prime», *ConcienciaDigital*, vol. 3, n.º 3, pp. 44-61, jul. 2020, doi: 10.33262/concienciadigital.v3i3.1266.
- [10] Y. D. T. Salamanca y L. M. B. Guerrero, «Validación de la herramienta IDEG Unicafam, desde un consejo de expertos y el estadístico de Alfa de Cronbach», *Brazilian Journal of Business*, vol. 4, n.º 4, pp. 1906-1919, nov. 2022, doi: 10.34140/bjbv4n4-021.
- [11] M. Á. Villasís-Keever, H. Márquez-González, J. N. Zurita-Cruz, G. Miranda-Novales, y A. Escamilla-

Núñez, «Research protocol VII. Validity and reliability of the measurements», *Rev Alerg Mex*, vol. 65, n.º 4, pp. 414-421, oct. 2018, doi: 10.29262/ram.v65i4.560.

- [12] J. Rodríguez-Rodríguez y M. Reguant-Álvarez, «Calcular la fiabilidad de un cuestionario o escala mediante el SPSS: el coeficiente alfa de Cronbach», *REIRE Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, vol. 13, n.º 2, jul. 2020, doi: 10.1344/reire2020.13.230048.
- [13] Joaquín Amat Rodrigo, «ANOVA análisis de varianza para comparar múltiples medias», vol. 1, pp. 1-49, 2016.