



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO
EN LA FLOTA DE MAQUINARIA PESADA, VEHÍCULOS DE CATEGORÍA N1, N2
Y MOTORES ESTACIONARIOS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Automotriz

AUTOR: JAROD ENRIQUE GUZMÁN RAMÓN

TUTOR: ING. CRISTIAN LEONARDO GARCÍA GARCÍA, PHD.

Cuenca - Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jarod Enrique Guzmán Ramón con documento de identificación N° 0705668408, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 05 de febrero del 2024

Atentamente,



Jarod Enrique Guzmán Ramón

0705668408

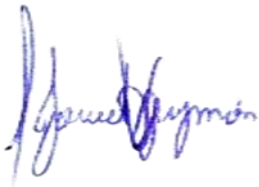
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Jarod Enrique Guzmán Ramón, con documento de identificación N° 0705668408, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy el autor del Artículo académico: “Propuesta metodológica para la gestión de mantenimiento en la flota de maquinaria pesada, vehículos de categoría N1, N2 y motores estacionarios”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 05 de febrero del 2024

Atentamente,



Jarod Enrique Guzmán Ramón

0705668408

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EN LA FLOTA DE MAQUINARIA PESADA, VEHÍCULOS DE CATEGORÍA N1, N2 Y MOTORES ESTACIONARIOS

Guzman Jarod^a

^a Universidad Politécnica Salesiana

Destacado

- Tiempo medio entre fallos;
- Tiempo entre averías;
- Órdenes de trabajo correctivos, preventivos, confiabilidad;
- Procesos de cálculo de los indicadores básicos.

Resumen

Esta investigación propone una metodología para la gestión de mantenimiento en la flota de maquinaria pesada, vehículos de categoría N1, N2 y motores estacionarios. Mediante el uso de los indicadores claves de desempeño de mantenimiento. Se adapta los principios de la norma ISO 14224 para la recolección, intercambio y clasificación de datos de confiabilidad y mantenimiento. Se establece un sistema con el objetivo de recopilar datos históricos reales a través de un registro diario de actividades. Esto puede incluir información sobre las intervenciones de mantenimiento realizadas, las fallas detectadas, el tiempo de actividad, órdenes de trabajo y el consumo de combustible. Se busca la eficiencia operativa y prolongar la vida útil de la flota vehicular, equipo de maquinaria pesada y motores estacionarios. Se selecciona los indicadores claves de desempeño de mantenimiento que medirán la eficiencia del mantenimiento de la flota vehicular, equipo de maquinaria pesada y motores estacionarios, de acuerdo a las necesidades de una empresa proveedora de servicio de maquinaria pesada, vehículos comerciales y motores estacionarios. Esto puede incluir el Tiempo Medio Entre Fallas, el Tiempo Medio para Reparación y la confiabilidad. La metodología se alinea con los estándares básicos de la norma ya mencionada para garantizar la consistencia y calidad de los datos recopilados.

Palabras claves

Confiabilidad, MKPI, Mantenimiento, MTBF, MTTR, órdenes de trabajo.

Abstract

This research proposes a methodology for maintenance management in the fleet of heavy machinery, N1 and N2 category vehicles, and stationary engines. This is achieved through the use of key maintenance performance indicators. We adapt the principles of ISO 14224 for the collection, exchange, and classification of reliability and maintenance data. A system is established with the aim of gathering real historical data through a daily activity log. This may include information about performed maintenance interventions, detected failures, uptime, work orders, and fuel consumption. Our goal is to achieve operational efficiency and extend the lifespan of the vehicle fleet, heavy machinery equipment, and stationary engines. We select key maintenance performance indicators to measure the efficiency of maintenance for the vehicle fleet, heavy machinery equipment, and stationary engines, according to the needs of a company providing services for heavy machinery, commercial vehicles, and stationary engines. This may include Mean Time Between Failures, Mean Time to Repair, and reliability. The methodology aligns with the basic standards of the aforementioned norm to ensure consistency and quality in the collected data.

Key words

Reliability, MKPI, Maintenance, MTBF, MTTR, Work Orders.

1. Introducción

La gestión del mantenimiento se define como el conjunto de actividades, planificación y control que tienen por objeto minimizar los costos asociados al mal funcionamiento de los equipos (1). Para el éxito operativo de cualquier empresa, es importante planificar y controlar el mantenimiento de la flota vehicular, equipo de maquinaria pesada y motores estacionarios. Esto forma conjunto de acciones encaminadas a preparar, programar y verificar los resultados de las actividades de mantenimiento. Sin embargo, el escenario se ve empeorado cuando la carencia de una gestión de mantenimiento se convierte en un desafío crítico para las empresas proveedoras de servicio de maquinaria pesada, vehículos comerciales y motores estacionarios (2). La ausencia de un enfoque sistemático y proactivo que resulta en costosos tiempos de inactividad no planificados, pérdida de productividad y un impacto negativo en la confiabilidad de las entidades públicas como privadas (3).

La gestión de mantenimiento de la flota vehicular, equipo de maquinaria pesada y motores estacionarios es compleja y en el caso de esta investigación es diversa ya que abarca desde maquinaria pesada, vehículos comerciales y motores estacionarios empleados en diversas aplicaciones. Según (4) La falta de un sistema de gestión de mantenimiento adecuado puede resultar en tiempos de inactividad no planificados, costos operativos elevados y, en última instancia, afectar la credibilidad y la eficiencia de la organización.

De acuerdo a la necesidad de las empresas que ofrezcan servicios como: alquiler de maquinaria, vehículos de fletes o alquiler de motores estacionarios, existirán conceptos fundamentales que garantizaran la eficiencia operativa y la disponibilidad de activos. Entre estos destacan los siguientes MKPI: El Tiempo Medio Entre Fallas (Mean Time Between Failures) o sus siglas en inglés MTBF, el Tiempo Medio para Reparación (Mean Time To Repair) o sus siglas en inglés MTTR y la confiabilidad. Estos MKPI son cruciales para entender, mejorar y mantener la salud operativa de la flota vehicular, equipo de maquinaria pesada y motores estacionarios.

Según (5) el MTBF es un indicador clave que mide la fiabilidad de un sistema al calcular el tiempo promedio que transcurre entre cada falla. Este parámetro proporciona una visión cuantitativa de la confiabilidad de los activos. Permite a los

gestores de mantenimiento anticipar posibles problemas y planificar intervenciones antes de que ocurran fallas inesperadas. En esencia, el MTBF no solo cuantifica la resistencia de los equipos, sino que también sirve como una herramienta estratégica para optimizar la gestión de mantenimiento preventivo (6). Respecto del MTBF, el MTTR se enfoca en el tiempo promedio necesario para reparar un equipo o sistema después de una falla (7). Según (8) Este indicador es esencial para evaluar la eficacia de las intervenciones de mantenimiento correctivo, destacando la importancia de una pronta respuesta ante incidentes. Reducir el MTTR no solo minimiza los períodos de inactividad no planificados (7), sino que también contribuye a mejorar la eficiencia operativa y la disponibilidad de la flota de vehículos, equipo de maquinaria pesada y motores estacionarios. Los órdenes de trabajo constituyen el vínculo entre la planificación y la ejecución de actividades de mantenimiento (9). La confiabilidad es la capacidad de una máquina, componente o sistema, para realizar su función determinada, de acuerdo con las condiciones de operación y en un tiempo definido (10). Con la confiabilidad, se espera que los sistemas alcancen los resultados esperados en un plazo determinado.

La norma ISO 14224 (Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural — recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos), proporciona las pautas para la recopilación y estandarización de datos, esto facilita la clasificación de equipos, el desarrollo de estrategias de mantenimiento específicas, la toma de decisiones informada, la optimización de recursos y la mejora continua (11). El benchmarking permite el análisis de tendencias y la planificación eficiente de actividades de mantenimiento (12), así contribuye a una gestión más eficiente de la flota vehicular, equipo de maquinaria pesada y motores estacionarios.

Esta investigación tiene como objetivo llevar a cabo una comparación detallada de dos períodos de 30 días cada uno de actividades operativas, específicamente centrada en la flota de vehículos, maquinaria pesada y motores estacionarios. Los datos utilizados fueron recopilados de una empresa constructora localizada en el sur del país, específicamente en la provincia de El Oro zona 7. El propósito final es analizar y comparar los resultados de ambos meses, se evalúa de manera técnica si la implementación de los MKPI proporcionará beneficios notables en términos de eficiencia en los tiempos de mantenimiento, reducción de costos de reparación y minimización del tiempo de inactividad.

Autor correspondiente.

Dirección de correo electrónico:

J. Guzman jguzmanr@est.ups.edu.ec; jarodguzmanramon@gmail.com

2. materiales y métodos

En esta sección se presentará los materiales y métodos utilizados para el desarrollo de esta investigación.

2.1. Materiales

2.1.1. Indicadores claves de desempeño de mantenimiento

Los indicadores Clave de Desempeño (Key Performance Indicator) o sus siglas KPI. Es un valor medible de forma cualitativa o cuantitativa, generalmente expresado como un porcentaje o ratio (13), permite evaluar el progreso de los objetivos que se plantea una empresa.

Tabla 1. Indicadores Básicos.

KPI	Expresión matemática	Propósito	Referencia
MTBF	$= \frac{t. \text{total de funcionamiento}}{(\# \text{ de fallas})}$	Evalúa la confiabilidad de un sistema o equipo. Indica la duración promedio que transcurre entre dos fallas consecutivas.	(14)
MTTR	$= \frac{t. \text{total reparacion}}{\# \text{ de fallas}}$	Mide la eficiencia del proceso de reparación, proporciona el tiempo promedio necesario para restaurar un sistema o equipo a su funcionamiento normal después de una falla.	(14)
Confiabilidad	$\lambda = \frac{\# \text{ de fallas}}{T. \text{total de func}}$ $= e^{-\lambda t}$	Su función principal es asegurar que los activos operen de manera consistente, eficiente y segura durante su vida útil.	(15)
Órdenes de trabajo	$= \frac{h \text{ de trab disponibles}}{h \text{ de mant por orden}}$	Proporciona un marco estructurado para planificar, ejecutar y dar seguimiento a las actividades de mantenimiento.	(16)
Tiempo de inactividad planificado	$= \frac{t. \text{total de inactividad}}{t. \text{total de op}} * 100$	Mide el tiempo durante el cual un equipo, sistema o proceso no está operativo debido a eventos no planificados como fallas inesperadas.	(17)
Costos de mantenimiento	$= c. \text{mant prev} + c. \text{mant pred} + c. \text{mant corr}$	Evalúa y hace un seguimiento de los gastos asociados con el mantenimiento de activos. Incluye costos de reparación, repuestos, mano de obra y cualquier otro costo relacionado con el mantenimiento.	(18) (19)

Para alcanzar con éxito todos los objetivos en una empresa proveedora de servicio de maquinaria pesada, vehículos comerciales y motores estacionarios es esencial considerar qué indicadores básicos pueden aplicarse según las necesidades de cada sector o meta que la empresa busque a largo plazo. A continuación, se elabora la matriz general de los KPI (ver tabla 1), donde se identifican los MKPI más relevantes que pueden ser utilizados, destacando el propósito de cada uno de los indicadores.

Eficiencia del combustible	$= \frac{\text{produccion o dist. recorrida}}{\text{cons total de combustible}}$	Mide la cantidad de combustible utilizado en relación con la producción o la distancia recorrida.	(20)
Índice del cumplimiento de mantenimiento preventivo	$= \frac{\text{mant prev realizado}}{\text{mant prev prog}} * 100$	Evalúa en qué medida se lleva a cabo las actividades de mantenimiento preventivo planificadas en comparación con el programa establecido.	(21)
Disponibilidad operativa	$= \frac{\text{t. de disponibilidad}}{\text{t total}} * 100$	Mide la proporción de tiempo durante el cual un equipo o sistema está listo y disponible para su operación.	(22)

2.2. Norma ISO 14224: Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural — recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos

2.2.1. Taxonomía y jerarquización de la norma ISO 14224

Para comprender la definición de la jerarquía de la flota de vehículos, maquinaria pesada y motores estacionarios, es necesario tener claridad sobre el concepto de taxonomía. De acuerdo con la norma ISO 14224, la taxonomía se concibe como una agrupación sistemática de elementos en categorías genéricas, fundamentada en factores posiblemente compartidos por todos los elementos, tales como ubicación, uso y subdivisión de equipos (23). En términos simples, la taxonomía se ocupa de asignar la identificación de la flota de vehículos, maquinaria pesada y motores estacionarios según su posición en la jerarquía, basándose en los factores mencionados anteriormente.

La norma ISO 14224 proporciona una estructura jerárquica de clasificación taxonómica con 9 niveles (23) como se muestra en la figura 1, siendo el nivel 1 el más elevado, representativo del tipo de industria, mientras que el nivel 9 constituye el nivel más bajo, identificando una parte o componente específico.

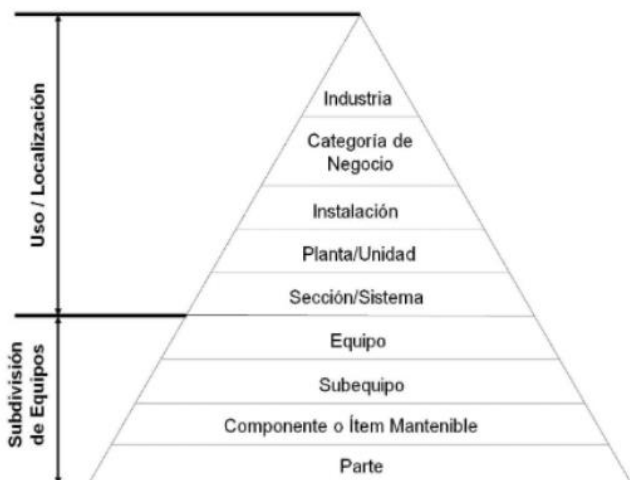


Fig 1. Jerarquía de la norma ISO 14224.

Fuente. Norma ISO – 14224 (2016)

2.3. Flota vehicular, maquinaria pesada y motores estacionarios

En esta sección se presenta cada uno de los vehículos, maquinaria pesada y motores estacionarios usados para esta investigación. La información se obtuvo de una empresa constructora ubicada en la provincia de El Oro, zona 7 al sur del país (tabla 2).

Tabla 2. Flota vehicular, equipo de maquinaria pesada y motores estacionarios

Modelo	Placa o permiso de operación
Cat 320 CL	7.1-07-0028877
John Deere 310 SK	7.2 - 7 - 002393
Jhon Deere 310 K	7.2-12-001078
Bobcat S205	4.5 - 07- 002693
Hino 500 FM1 JLUD	APA-2515
Hino 500 FM1 JLUD	OBA-3406
"Jac T8 doble cabina HFC1037D3KS T LUXURY T8 AC 2.0 CD 4X4 TM Diésel"	OBC-2545
"Jac T8 doble cabina HFC1037D3KS T LUXURY T8 AC 2.0 CD 4X4 TM Diésel"	OBC-2380
Chevrolet LUV D-MAX C/S Diésel 4x2 TM	GOH-0067
"Hyundai HD78 LWB I TM 3.9 2P 4X2 "	OBA-3722
MEZCLADORA MOTOR Shineray	
Mezcladora motor Thunder	
Cortadora de concreto Ing- co	

2.4. Metodología

Esta investigación combina los componentes del trabajo que incluyen: datos, análisis y estadística. Con los métodos analítico, descriptivo, deductivo e investigativo (24). se aplica en un sistema organizado y estructurado para abordar problemas, analizar fenómenos o realizar investigaciones. La sistematicidad se refiere a la aplicación de pasos ordenados, lógicos y coherentes para alcanzar objetivos específicos en cada uno de estos enfoques (25).

De acuerdo a esta investigación, la metodología se presenta en 10 etapas. 5 fases para el diseño de la metodología de la gestión de mantenimiento que son: 1) Evaluación y Análisis; 2) Diseño de la Metodología; 3) Implementación y Ejecución 4) Evaluación y Mejora Continua y 5) Retroalimentación y Mejoras. Se presenta a continuación cinco fases para la categorización de los fallos y la flota de vehículos, maquinaria pesada y motores estacionarios con la norma ISO 14224 que son: 1) Identificación de la flota de vehículos, maquinaria pesada y motores estacionarios; 2) Selección de Datos Relevantes; 3) Desarrollo de Códigos de Categorización; 4) Implementación de Procedimientos de Recopilación de Datos; 5) Registro y Almacenamiento de Datos y 6) Capacitación del Personal.

3. Resultados y Discusión

En esta investigación, se consideraron los siguientes Indicadores Clave de Desempeño en Mantenimiento (MKPI): Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), Tiempo Medio de Reparación (MTTR) y la confiabilidad.

El MTBF evalúa el intervalo promedio entre fallos o averías, siendo crucial en esta investigación para la evaluación de la confiabilidad de la flota vehicular, maquinaria pesada y motores estacionarios. Por otro lado, el MTTR mide el tiempo promedio requerido para reparar un equipo o sistema tras una falla (26), forma parte en este estudio para minimizar los tiempos de inactividad, así preservar la productividad y cumpliendo con los plazos establecidos. las órdenes de trabajo ofrecen una perspectiva detallada de las tareas de mantenimiento realizadas, siendo esencial para comprender las demandas de mantenimiento preventivo y predictivo.

La confiabilidad puede conllevar a una serie de resultados positivos. Se incluye la optimización de la disponibilidad operativa mediante estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo, la reducción de costos operativos, la prolongación de la vida útil de los equipos y la mejora en la seguridad laboral al prevenir accidentes relacionados con fallas mecánicas (27).

Esta evaluación facilita una planificación eficiente, una programación adecuada de las actividades de mantenimiento, la asignación eficaz de recursos y la mejora continua de la gestión de la flota de vehículos, maquinaria pesada y motores estacionarios.

Con la información proporcionada por la empresa constructora ubicada al sur del país, específicamente en la provincia de El

Oro, se lleva a cabo una comparativa entre dos meses de actividad laboral. En el primer mes, se considerará la información en su estado original, mientras que, en el segundo mes, se aplica los Indicadores Clave de Desempeño en Mantenimiento (MKPI) para llevar a cabo una evaluación comparativa entre ambos períodos.

A continuación, se presenta la información obtenida a través de una bitácora diaria de actividades.

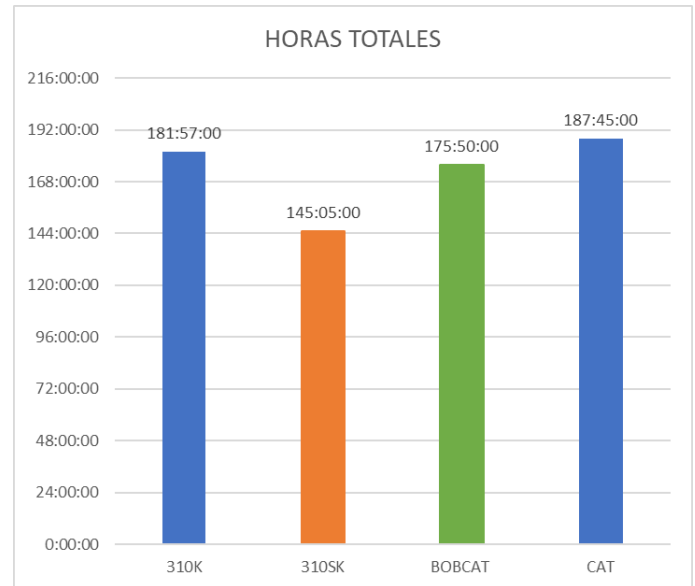


Figura 2. Hora totales de los equipos de maquinaria pesada.

En la Figura 2, se presenta el total de horas laboradas (eje Y) y el equipo de maquinaria pesada (eje X). Los datos son de un mes de labores, siendo el operador el responsable de presentar un registro diario al encargado del campamento de las actividades y equipos utilizados. A lo largo del mes, se observa que el equipo con mayor hora de funcionamiento es el modelo CAT con un total de 187 horas con 45 minutos durante el período de un mes.

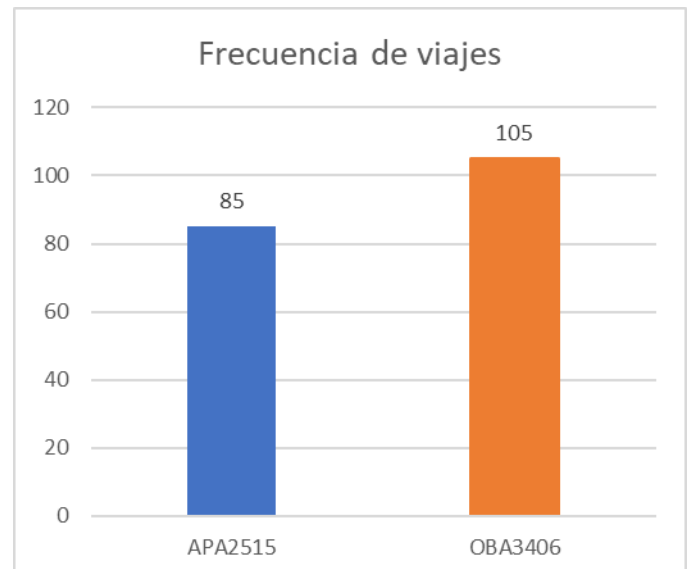


Figura 3. Viajes totales de las volquetas.

En la Figura 3, se presenta la cantidad de viajes realizados (eje Y) y que equipo realizo el viaje (eje X) durante el período de un mes. En la empresa, la planificación de mantenimiento se realizaba por el número de viajes como único criterio para el mantenimiento en las unidades, y en algunos casos, se realizaba el alquiler diario de volquetas para satisfacer la demanda. La determinación de actividades también estaba estrechamente vinculada al tipo de material transportado. Asimismo, el operador de la volqueta proporcionaba un registro diario donde se detalla el número de viajes efectuados y el tipo de material, así facilita el control preciso de las actividades.

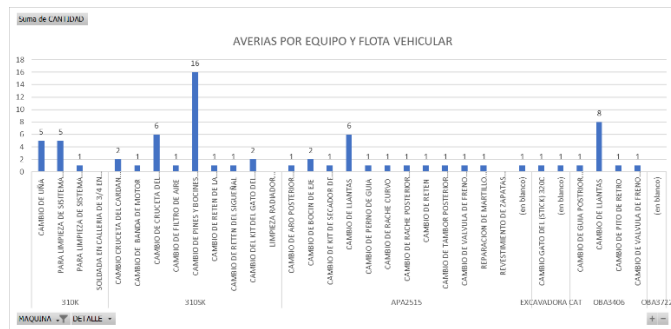


Figura 4. Averías comunes de un período de un mes.

En la Figura 4, se percibe las fallas identificadas durante el período de un mes de actividades, el cual revela un hallazgo significativo. En la empresa constructora, cabe mencionar. La ausencia de programación para tiempos de mantenimiento y la falta de realización de mantenimiento preventivo de manera regular. En lugar de seguir un enfoque preventivo, la empresa optaba por utilizar la flota de vehículos, equipos de maquinaria pesada y motores estacionarios hasta la ocurrencia de un fallo que implica un mantenimiento correctivo, con el objetivo de cumplir con las exigencias del trabajo. Este enfoque podría impactar negativamente en la confiabilidad de la flota de vehículos, equipo de maquinaria pesada y motores estacionarios.



Figura 5. Tiempo de parada de los equipos de maquinaria pesada.

En la Figura 5, se representa el tiempo de parada en horas (eje Y) para cada uno de los equipos de maquinaria pesada y volquetas (eje X). Al comparar con el dato más elevado, se destaca que el 310SK y APA2515 registraron un total de 696 horas cada uno, equivalente a 29 días de parada de cada equipo. Se consideraron diversos factores, como las condiciones

ambientales, el clima, la ubicación del lugar de trabajo y el transporte de la maquinaria, para realizar esta evaluación. Es importante señalar que los tiempos de reparación registrados son notablemente elevados, principalmente debido a la práctica de operar los equipos hasta que dejan de funcionar o la avería alcanza un nivel crítico. Esta estrategia resulta en costos de mantenimiento considerablemente altos y no aporta beneficios significativos a la empresa constructora.

A continuación, se presenta el MTBF, MTTR y la confiabilidad de los equipos en el primer período.

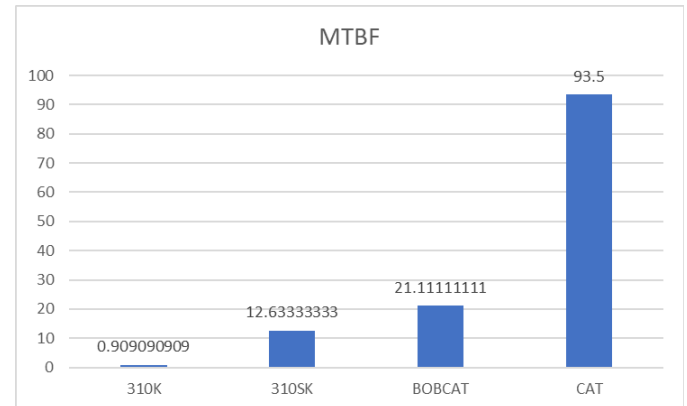


Figura 6. MTBF primer período.

En la Figura 6, se observa que durante el primer período de prueba, los valores de los equipos exhiben niveles bajos. Esta situación se atribuye a la ausencia de un adecuado control de mantenimiento, lo cual los volvió más susceptibles a fallos, llegando incluso a experimentar hasta 3 o 4 fallos consecutivos en una semana.

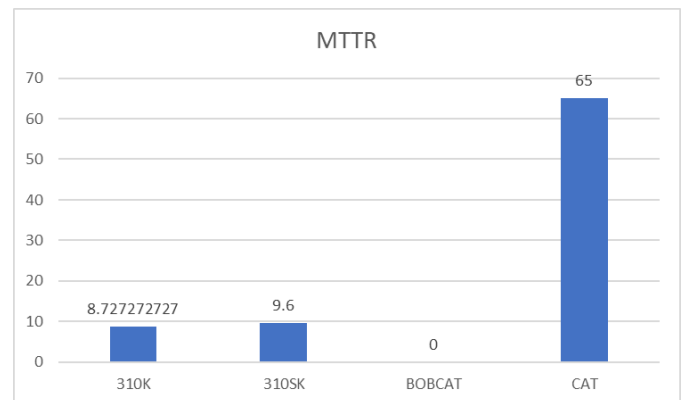


Figura 7. MTTR primer período.

En la Figura 7, se evidencia que los equipos exhiben valores considerablemente elevados, lo cual se atribuye al número de fallas y a los tiempos de inactividad asociados con cada uno de ellos. Esta situación se origina por la práctica de utilizar los equipos hasta agotar su ciclo operativo en una obra, sin considerar su estado de salud. Tal enfoque resulta en costos significativos debido a la necesidad de llevar a cabo mantenimientos correctivos para restaurar su funcionalidad.

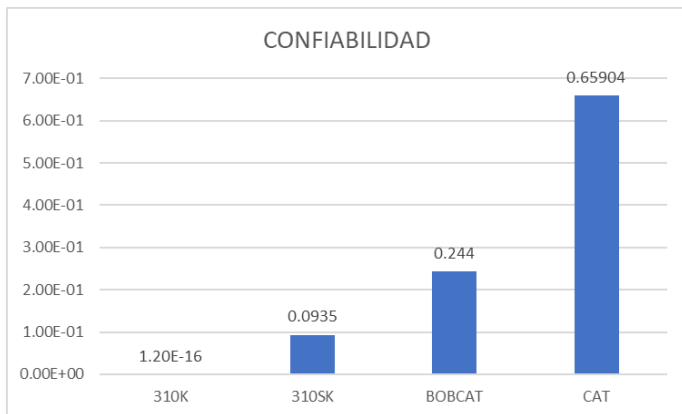


Figura 8. Confiabilidad primer período.

En la Figura 8, se aprecia que la confiabilidad de los equipos oscila entre el 9% al 65% de probabilidad de que el equipo falle durante el periodo de un mes. Estos resultados indican que, hasta el momento y sin la implementación de la metodología propuesta, los equipos mantienen niveles aceptables de seguridad y confiabilidad en su operación. Este hallazgo resalta la robustez inherente de los equipos, pero también sugiere la importancia de considerar la metodología propuesta como una posible mejora para optimizar aún más su rendimiento y prolongar su vida útil de manera eficiente.

Con el fin de aplicar de manera efectiva los Indicadores Clave de Desempeño (MKPI) en esta investigación, se diseña la planificación de mantenimiento estructurada por fases. A sí mismo, se establece las siguientes fases específicas para la categorización de la flota de vehículos, maquinaria pesada y motores estacionarios, se utiliza la norma ISO 14224 como referencia. Esta metodología permite clasificar meticulosamente cada unidad y fallas, así proporcionar un control más riguroso en el ámbito operativo de la empresa constructora. A continuación, se indica cada una de las fases para una buena planificación de mantenimiento estructurada por fases.

3.1. Planificación de la metodología de mantenimiento

Fase 1: Evaluación y Análisis

Se realiza una exhaustiva revisión de la documentación relacionada con la flota de vehículos, equipo de maquinaria pesada y motores estacionarios, manuales de fabricantes, historiales de mantenimiento y registros de fallas anteriores. En esta investigación la revisión proporciona una comprensión detallada de los procedimientos anteriores y establece un contexto esencial. La identificación de patrones y áreas críticas se realiza mediante el análisis de informes de fallas pasadas que contribuye a una estrategia de mantenimiento más efectiva. Además, la fase abarca la identificación y categorización de la flota de vehículos, maquinaria pesada y motores estacionarios. Los requisitos de mantenimiento y ciclos de vida útil esperados. La evaluación también incluye la identificación y análisis de riesgos, se considera posibles amenazas al rendimiento de la flota de vehículos, maquinaria pesada y motores estacionarios

y asegurándose de que la metodología de mantenimiento cumpla con normativas y estándares de la empresa constructora.

Fase 2: Diseño de la Metodología

Con la información obtenida, se desarrolla un enfoque sistemático, que crean Procedimientos Estándares de Mantenimiento (PEM). Esta etapa implica una planificación detallada y diseño para establecer un marco sólido que guiará la ejecución futura y dará forma a las estrategias de mantenimiento. Los PEM detallan estructuras para cada tipo de la flota de vehículos, maquinaria pesada y motores estacionarios, incluso el mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, con listas de verificación, frecuencias y procedimientos de seguridad para una comprensión uniforme de las tareas. La fase incluye la integración de tecnologías como sistemas de monitoreo en tiempo real y software de gestión de mantenimiento, para mejorar la eficacia y precisión, así como la capacidad de respuesta ante cambios. El proceso se completa al planificar recursos, asegurar la asignación eficiente de personal y repuestos, e implementar protocolos de capacitación para el personal de mantenimiento, garantizando habilidades y conocimientos actualizados.

Fase 3: Implementación y Ejecución

En la fase de implementación y ejecución, los planes concebidos se convierten en acciones tangibles, y se sumerge en la gestión práctica, dando vida a las estrategias diseñadas. La implementación gradual inicia con una fase piloto en un subconjunto de la flota de vehículos, equipo de maquinaria pesada y motores estacionarios, permitiendo ajustes antes de la implementación completa. La integración efectiva de sistemas, especialmente sistemas de gestión de mantenimiento, se destaca como crucial para un flujo de información sin problemas y mejora la eficiencia operativa y la colaboración. El monitoreo continuo, mediante la recopilación de datos sobre rendimiento y costos, se posiciona como esencial para ajustar estrategias y mantener la relevancia y eficacia de la metodología a lo largo del tiempo.

Fase 4: Evaluación y Mejora Continua

En la fase de evaluación y mejora continua, marca el comienzo de un proceso iterativo que asegura una evolución constante para adaptarse a las demandas cambiantes y alcanzar niveles crecientes de eficiencia. Este enfoque iterativo se consolida mediante el análisis de datos y métricas de desempeño, la retroalimentación y mejoras, y la capacitación continua del personal. Inicia con el análisis de datos recopilados para evaluar el rendimiento de la flota de vehículos, equipos de maquinaria pesada y motores estacionarios y la eficacia de la metodología. Utiliza métricas clave, como la reducción de costos, el aumento de la disponibilidad y la mejora en la seguridad, se obtiene una visión cuantitativa del impacto de las estrategias implementadas.

Fase 5: Retroalimentación y Mejoras.

La fase se sustenta en la retroalimentación del personal y revisiones periódicas para obtener perspectivas directas y valiosas de quienes interactúan con la metodología en la práctica. Las revisiones regulares identifican áreas de mejora. permite ajustes continuos para abordar problemas y adaptarse a cambios en las condiciones operativas. La capacitación continua del personal es fundamental para mantener y mejorar habilidades técnicas, comprensión de la metodología y adaptación a nuevas tecnologías. Un enfoque colaborativo, donde se involucran a diferentes departamentos y niveles de la organización, garantiza coherencia y eficacia en la gestión de mantenimiento. La comunicación efectiva y la adaptabilidad son elementos clave para el éxito a largo plazo, se consolida el ciclo de mejora y las bases para la excelencia sostenida en la gestión de mantenimiento y la operación de la flota de vehículos, equipos de maquinaria pesada y motores estacionarios.

3.2. Categorización de la flota de vehículos, maquinaria pesada y motores estacionarios con la norma ISO 14224

En este contexto, la norma ISO 14224 emerge como una herramienta esencial para estandarizar la categorización y el registro de datos relativos a la flota de vehículos, maquinaria pesada y motores estacionarios, así facilita una toma de decisiones informada y una administración eficaz de los recursos.

La norma ISO 14224, siendo una norma internacional, brinda directrices para la recopilación, intercambio y gestión de datos de la flota de vehículos, maquinaria pesada y motores estacionarios. Su objetivo principal radica en mejorar la disponibilidad y confiabilidad de la flota de vehículos, maquinaria pesada y motores estacionarios a lo largo de su ciclo de vida. Con este propósito, la norma establece un marco estructurado para la categorización de la flota de vehículos, maquinaria pesada y motores estacionarios, así asegura una uniformidad en la clasificación de datos que simplifica la comparación y el análisis.

3.3. Proceso de Categorización según la norma ISO 14224

Tabla 2. Clasificación maquinaria pesada.

Nivel	Subnivel	Subsubnivel
Clase 1: Maquinaria de Construcción	Subclase 1: Excavadoras	Subsubclase 1: Excavadoras de orugas Subsubclase 2: Excavadoras de ruedas
	Subclase 2: Cargadoras Frontales	
	Subclase 3: Retroexcavadoras	
	Subclase 4: Motoniveladoras	
	Subclase 5: Bulldozers	
	Subclase 6: Compactadoras de Suelos	
	Subclase 7: Equipos de Pavimentación	Subsubclase 1: Extendedoras de asfalto Subsubclase 2: Compactadoras de asfalto
Clase 2: Maquinaria de transporte de materiales	Subclase 1: Camiones de carga y acarreo	Subsubclase 1: Camiones de transporte de material Subsubclase 2: Equipos de Carga y Acarreo

Paso 1: Identificación de Activos.

Se deben enumerar y definir claramente los activos que serán objeto de categorización, esto incluye: equipos, instalaciones, sistemas y cualquier otro elemento pertinente.

Paso 2: Selección de Datos Relevantes.

Debe determinarse los parámetros e información relevante para cada tipo de activo, como características técnicas, condiciones de operación, eventos de fallos, y otros datos específicos.

Paso 3: Desarrollo de Códigos de Categorización.

Es necesario establecer un sistema de códigos estandarizado para cada categoría de activo y los datos asociados, esto facilita la organización y comparación de la información a lo largo del tiempo y entre diferentes sistemas.

Paso 4: Implementación de Procedimientos de Recopilación de Datos.

Se deben definir procedimientos para la recopilación de datos, se asegura la consistencia y precisión en la información recabada mediante métodos de inspección, monitoreo y registros de eventos.

Paso 5: Registro y Almacenamiento de Datos.

Se requiere establecer un sistema de registro y almacenamiento de datos que cumpla con los requisitos de la norma, utilizando bases de datos, sistemas de gestión de activos u otros medios que garanticen la integridad y accesibilidad de la información.

Paso 6: Capacitación del Personal.

Es fundamental proporcionar formación adecuada al personal involucrado en el proceso de categorización, se asegura un entendimiento claro de los criterios y procedimientos establecidos por la norma.

A continuación, se proporciona la siguiente clasificación como un ejemplo conforme a la norma ISO 14224 tanto para la clasificación de la flota de vehículos, maquinaria pesada y motores estacionarios y de fallas.

Tabla 3. Clasificación de vehículos de categoría N1 y N2.

Nivel	Subnivel	Subsubnivel
Clase 1: Vehículos de Categoría N1 (Vehículos Comerciales Ligeros)	Subclase 1: Furgonetas	
	Subclase 2: Camionetas	
	Subclase 3: Camiones pequeños	
	Subclase 4: Autobuses ligeros	
Clase 2: Vehículos de Categoría N2 (Vehículos Comerciales Pesados)	Subclase 1: Camiones medianos	
	Subclase 2: Camiones pesados	
	Subclase 3: Autobuses pesados	

Tabla 4. Clasificación de motores estacionarios.

Nivel	Subnivel	Subsubnivel
Clase 1: Motores Estacionarios para Equipos de Construcción	Subclase 1: Motores de Combustión Interna	Subsubclase 1: Motores diésel Subsubclase 2: Motores de gasolina Subsubclase 3: Motores de gas natural
	Subclase 2: Motores Eléctricos	
	Subclase 3: Motores Hidráulicos	
	Clase 2: Mezcladoras de Cemento	Subclase 1: Mezcladoras de Tambor
Subclase 2: Mezcladoras de Paletas		
Subclase 3: Mezcladoras de Tornillo		
Subclase 4: Mezcladoras de Transportador de Tornillo		
Clase 3: Cortadoras de Pavimento	Subclase 1: Cortadoras de Pavimento con Disco Diamantado	
	Subclase 2: Cortadoras de Pavimento con Cuchillas de Carburo	
	Subclase 3: Fresadoras de Pavimento	

Tabla 5. Clasificación de una falla

Nivel	Subnivel	Subsubnivel	Descripción	Nombre del equipo
Identificación del Equipo	Equipos de Motor	Motor Eléctrico		
Tipo de Evento	Paro No Programado	Fallo del Motor	Detención inesperada del motor M-001	
Modo de Falla	Eléctrico	Sobrecalentamiento	Sobrecalentamiento del motor debido a un mal funcionamiento en el sistema de enfriamiento.	
Causa de la Falla	Diseño	Inadecuada Disipación de Calor	El diseño del sistema de enfriamiento no fue eficiente para disipar el calor, lo que llevó al sobrecalentamiento.	Motor M-001
Efecto de la Falla	Pérdida de Producción	Paro de la Línea de Producción	El motor M-001 falló, esto causa un paro no programado en la línea de producción y pérdida de producción.	
Actividades de Mantenimiento	Mantenimiento Correctivo	Reemplazo del Sistema de Enfriamiento	Se realizó el reemplazo del sistema de enfriamiento para corregir la causa	

Una vez revisado y luego haber implementado las fases para la correcta planificación de mantenimiento se observa que, si existieron cambios en el control de la flota de vehículos, equipos de maquinaria pesada y motores estacionarios de la empresa constructora.

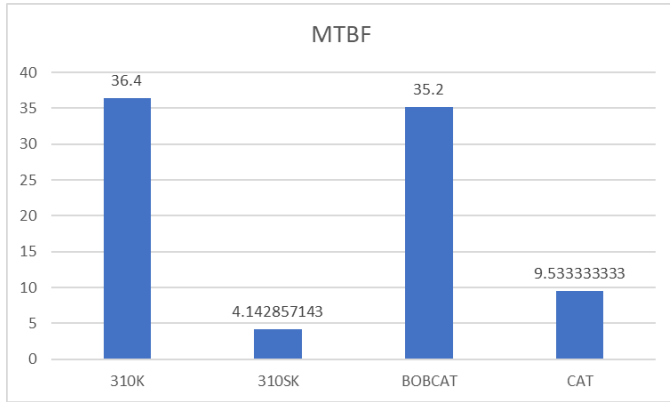


Figura 9. MTBF segundo período

En la Figura 9, se evidencia que los valores elevados de MTBF sugieren una mayor confiabilidad y menor propensión a experimentar fallos. Es más tolerante a las interrupciones contribuye a una disponibilidad más robusta de estos equipos durante el período evaluado de un mes. En otras palabras, el 310K y BOBCAT muestran una capacidad superior para mantenerse operativos sin enfrentar problemas significativos, lo que los posiciona como opciones más fiables y eficientes en la ejecución de sus respectivas tareas. Por el contrario, los equipos 310SK y CAT, al presentar valores bajos de MTBF, indican una tendencia a sufrir fallos con mayor frecuencia. Esta menor fiabilidad se traduce en una disponibilidad más limitada, afectando la capacidad de estos equipos para llevar a cabo sus funciones de manera constante y eficiente. Es crucial abordar y mitigar los problemas identificados en el 310SK y CAT para mejorar su rendimiento y disponibilidad en actividades futuras.

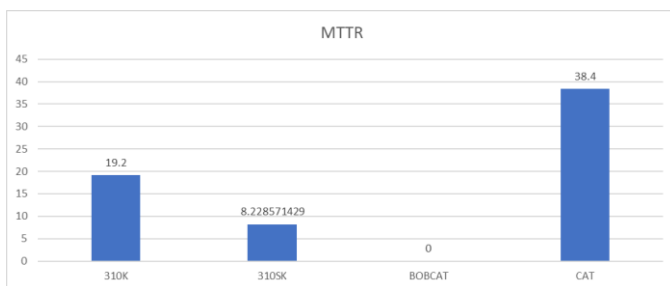


Figura 10. MTTR segundo período

Un MTTR bajo, como se evidencia en el 310K, 310SK y BOBCAT de la Figura 10, representa un aspecto positivo en la gestión de mantenimiento. Este indicador implica que, cuando estos equipos experimentan una avería, el tiempo necesario para

llevar a cabo las reparaciones y restaurar su funcionalidad es relativamente corto.

Por otro lado, un MTTR alto, como el que muestra el CAT en la Figura 10, indica que este equipo requiere un tiempo extenso para ser reparado después de una avería. Las consecuencias de un MTTR alto son opuestas a las mencionadas anteriormente, lo que puede resultar en mayores períodos de inactividad, afectando negativamente la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta del sistema de producción.

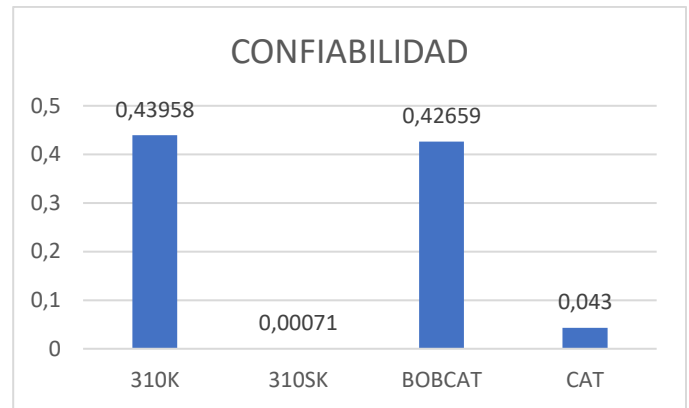


Figura 11. Confiabilidad segundo período

En la Figura 11, se representa el segundo período de análisis, revelando un cambio significativo. Es particularmente destacable el caso del equipo 310K, que, a pesar de su extenso uso, mantiene un nivel de confiabilidad del 44% de que el equipo falle durante el período de un mes. Este resultado evidencia de manera concluyente que la metodología propuesta ha cumplido efectivamente con su objetivo. La mejora en la confiabilidad del equipo 310K sugiere la eficacia de la implementación de la metodología, lo que puede tener implicaciones positivas para la gestión general de los equipos en términos de fiabilidad y desempeño continuo.

A continuación, se detallará una tabla con los valores de confiabilidad entre el primer periodo y segundo periodo.

Tabla 6. Comparación de dos periodos de la confiabilidad.

Equipo	Primer periodo	Segundo periodo
310K	1.20E-16	0.43958
310SK	0.0935	0.00071
BOBCAT	0.244	0.42659
CAT	0.65904	0.043

Se evidencia que los equipos exhiben menos del 50% de fallos durante un periodo de 30 días, lo cual resulta beneficioso, ya que esto implica que mantendrán su capacidad para desempeñar sus funciones diarias hasta que ocurra una falla que interrumpa sus operaciones. Es importante destacar que la confiabilidad debe aproximarse lo más posible a cero, indicando así que el

equipo tiene una baja probabilidad de experimentar una falla en el transcurso de 30 días, siendo 1 el valor más alto. Al multiplicar los resultados por 100, se obtiene el porcentaje de confiabilidad, proporcionando una métrica más intuitiva para evaluar la robustez del equipo en términos de disponibilidad y rendimiento continuo.

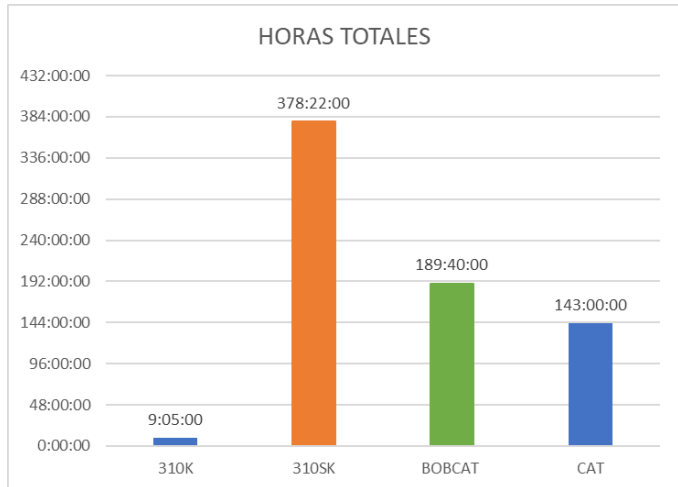


Figura 12. Horas totales de los equipos de maquinaria pesada segundo período

En comparación con la Figura 2, la Figura 12 evidencia un rendimiento destacado de los equipos de maquinaria, logrando alcanzar un promedio de 143 horas de funcionamiento sin requerir mantenimiento correctivo. La gestión eficiente de la maquinaria pesada demostró un control efectivo, respaldado por una optimización significativa que alcanzó un impresionante 94.51%. Este resultado subraya la eficacia de las prácticas de mantenimiento preventivo implementadas, contribuyendo a una operación más fluida y a la minimización de interrupciones debidas a fallos imprevistos.

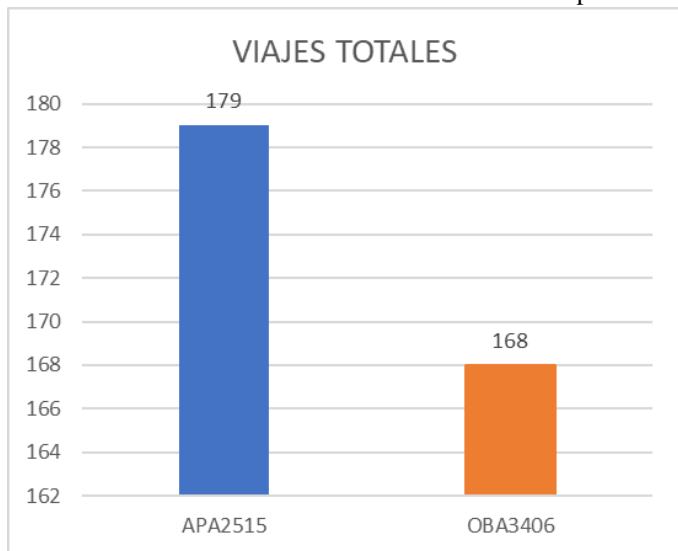


Figura 13. Viajes totales

En la Figura 13, al contrastarla con la Figura 3, se destaca una notable similitud en el rendimiento operativo de ambas volquetas. En el análisis de la Figura 3, se observó una disparidad significativa entre las volquetas, donde una de ellas registraba un desplazamiento considerablemente mayor en

comparación con la otra. Este fenómeno se atribuye a la presencia de varios episodios de mantenimiento correctivo que impactaron negativamente en la disponibilidad y eficiencia operativa de la volqueta en cuestión.

Por otro lado, la Figura 13 refleja un escenario más equilibrado, donde ambas maquinarias parecen trabajar en la misma frecuencia, solo con 11 viajes de diferencia. Comparado con la figura 3 que en su caso fueron 20 viajes de diferencia. Indicando una mejora sustancial en la gestión de mantenimiento. La reducción de órdenes de mantenimiento correctivo ha permitido un funcionamiento más constante y una mayor disponibilidad operativa para ambas volquetas.

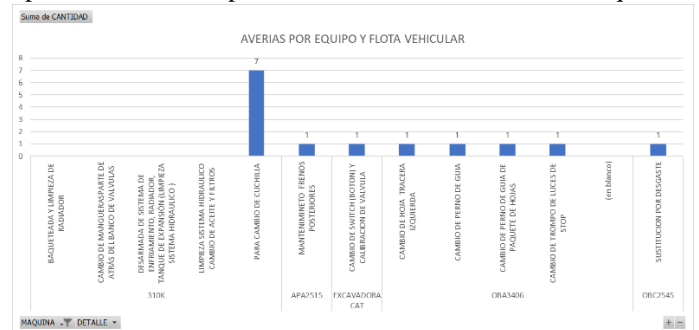


Figura 14. Averías comunes de un período de un mes

La implementación de los MKPI dentro de la constructora ha marcado uno de los cambios más significativos. Se evidencia en la figura 14 una disminución notable en el número de averías, lo que representa un avance considerable para el desarrollo de la empresa constructora. Este logro refleja una mejora sustancial en la optimización y control de las órdenes de trabajo de mantenimiento.

El impacto positivo de esta reducción en las averías se traduce directamente en beneficios para la ejecución de las labores. La empresa ahora cuenta con un mejor control sobre el tiempo de parada de los equipos, así como sobre la gestión de repuestos a revisar. Además, el registro detallado de los momentos de ingreso y salida de los equipos del mantenimiento demostró ser invaluable. Esto ha facilitado la identificación de tiempos de inactividad, la planificación de mantenimiento preventivo de manera más efectiva y la optimización de los procesos de trabajo en general.

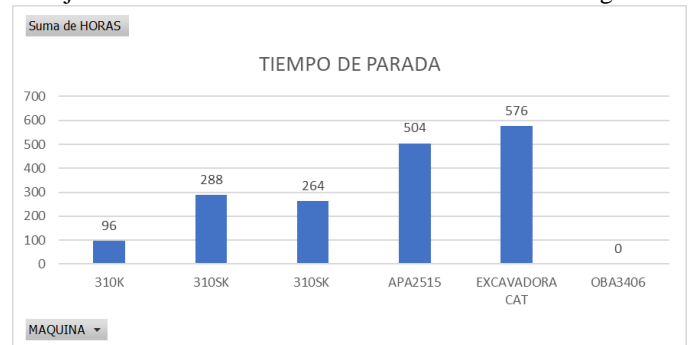


Figura 15. Tiempo de parada

Tras analizar detenidamente los datos obtenidos, se destaca que el registro diario de actividades durante este mes específico

presentó complicaciones. La demora en la reparación de maquinaria fue notable, principalmente atribuible a la escasez de personal técnico en las instalaciones. Es relevante señalar que, a pesar de estas dificultades, el objetivo del trabajo no se vio completamente obstaculizado. En comparación con la Figura 5, se logró una reducción del 14.03% en los tiempos de parada.

4. Conclusión

La metodología propuesta en este trabajo de titulación se erige como una herramienta esencial para potenciar la gestión de mantenimiento en la flota de vehículos, equipos de maquinaria pesada y motores estacionarios. La utilización de Indicadores Clave de Desempeño en Mantenimiento (MKPI), tales como MTBF, MTTR y la confiabilidad, se revela como un componente fundamental para evaluar la eficiencia y confiabilidad de los equipos automotrices.

La ausencia del MTBF y al MTTR indica posibles deficiencias en la recopilación y análisis de datos, así como en la ejecución de prácticas de mantenimiento preventivo y predictivo. Una propuesta efectiva debería focalizarse en mejorar estos aspectos, fomentando la implementación de sistemas de registro eficaces y estrategias proactivas de mantenimiento.

Incrementar el MTBF implica adoptar enfoques más allá de las reparaciones simples, incluyendo la adopción de prácticas preventivas y proactivas para abordar posibles problemas antes de que se traduzcan en fallas significativas. Por otro lado, la reducción del MTTR implica mejorar la eficiencia del personal de mantenimiento, garantizando la disponibilidad oportuna de repuestos y optimizando la planificación de las intervenciones de reparación.

La confiabilidad, definida como la habilidad de la maquinaria para operar sin inconvenientes a lo largo del tiempo, debe ser abordada desde la fase de diseño hasta la implementación de prácticas de mantenimiento. La propuesta metodológica debería priorizar estrategias que impulsen la mejora continua y la adopción de tecnologías predictivas para asegurar un desempeño confiable y disminuir los períodos de inactividad no planificados.

La adopción de la norma ISO 14224, que ofrece directrices para la recopilación y estandarización de datos, facilita la clasificación de equipos, el diseño de estrategias de mantenimiento específicas, la toma de decisiones informada, así como la optimización de recursos y la consecución de mejoras continuas.

En la sección de resultados y discusión, se procedió a la comparación de las gráficas de horas totales de los equipos de maquinaria pesada y los viajes totales de las volquetas entre dos meses de actividad laboral: uno sin la aplicación de los MKPI y otro con su implementación. Se observó una mejora sustancial en la eficiencia y confiabilidad de los equipos durante el mes en que se aplicaron los MKPI, evidenciando así la efectividad práctica de la propuesta metodológica.

5. Referencias

1. Castillo R, Prieto AT, Zambrano E. Elementos de la gestión de mantenimiento en las instituciones públicas de educación superior del municipio Cabimas. *Journal of Management Sciences*. 2013;31.
2. Viveros P, Stegmaier R, Kristjanpoller F, Barbera L, Crespo A. Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Ingeniare Revista chilena de ingeniería*. abril de 2013;21(1):125-38.
3. Cunalata X. Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para el área de sellado de una empresa dedicada a la fabricación de productos plásticos [Internet] [Propuestas metodológicas y tecnologías avanzadas]. [Guayaquil]: Universidad Politécnica Salesiana; 2023. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25145>
4. Alarcón B, Romero D. Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para una empresa productora y comercializadora de harina y aceite de pescado ubicada en la ciudad de Santa Elena [Internet] [bachelorThesis]. [Guayaquil]: Universidad Politécnica Salesiana; 2021 [citado 31 de enero de 2024]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20080>
5. Sánchez D. Análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad del sistema de compresión de gas, en la Central de Facilidades de Producción del Bloque 15, Petroamazonas, Cantón Shushufindi [Internet]. [Riobamba]: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2016 [citado 31 de enero de 2024]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5080>
6. Ochoa N, Augusto C. Propuesta de una metodología para el mantenimiento centrado en la confiabilidad en la línea de corte de materia prima en la empresa Tugalt. 2019;
7. Del Solar M. MTTR: Tiempo medio de reparación de maquinaria industrial. *Sistemas OEE - Technology to Improve*. 2023;8.
8. García S. Indicadores en mantenimiento. *Renovetec*. 2018;9.
9. Padilla C. Plan de gestión del mantenimiento para la flota vehicular del Gobierno Autónomo Descentralizado Intercultural de la ciudad de Cañar [Internet] [bachelorThesis]. [Cuenca]: Universidad Politécnica Salesiana; 2012 [citado 31 de enero de 2024]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3268>
10. Campos O, Tolentino G, Toledo M, Tolentino R. Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Científica*. 2019;23(1):51-9.
11. ISO 14224. BS EN ISO 14224:2016: petroleum, petrochemical and natural gas industries -- collection and

- exchange of reliability and maintenance data for equipment. London: British Standards Institution; 2016.
12. Xiaoye W, Changsheng Z, Tao W. Benchmark for welding gun fault prediction with multivariate time series data. Scientific Data [Internet]. 2024 [citado 30 de enero de 2024];(83). Disponible en: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2226/record/display.uri?eid=2-s2.0-85182669530&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=00d00b84d3053db44a818ea044f51feb&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28maintenance+reliability%29&sl=38&sessionSearchId=00d00b84d3053db44a818ea044f51feb&relpos=0>
 13. Lanza Cruz I. Definición y análisis de indicadores estratégicos para redes sociales: un caso de estudio en el sector automovilístico [Internet]. [España]: Universitat Jaume I; 2016 [citado 30 de enero de 2024]. Disponible en: <https://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/165315>
 14. Martinez B. Investigación MTTR y MTBF. Escuela Superior De Ingeniería Ambiental Y Procesos Industriales. 2020;9.
 15. Fuenmayor E. Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad de un Sistema de Bombeo. 2018;7.
 16. UNE-EN 15341:2020+A1:2023. Mantenimiento. Indicadores clave de rendimiento del mantenimiento. [Internet]. España: AENOR; 2023 [citado 30 de enero de 2024]. 30 p. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=norma-une-en-15341-2020-a1-2023-n0071017>
 17. Hansen S. Tiempo de inactividad: planificado, no planificado y su impacto en los convertidores de tisú [Internet]. [citado 3 de enero de 2024]. Disponible en: <https://blog.koerber-tissue.com/es/tiempo-de-inactividad-planificado-no-planificado-y-su-impacto-en-los-convertidores-de-tisú>
 18. Sanmartin J. Gestión de mantenimiento para controlar los tiempos de averías en la producción de alimentos balanceados. Caso empresa Bal Gran Cía. Ltda. [Internet] [masterThesis]. [Cuenca]: Universidad Politécnica Salesiana; 2023 [citado 31 de enero de 2024]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24850>
 19. Sanmartin J, Quezada M. Propuesta de un sistema de gestión para el mantenimiento de la empresa Cerámica Andina C.A. [Internet] [bachelorThesis]. [Cuenca]: Universidad Politécnica Salesiana; 2014 [citado 31 de enero de 2024]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8944>
 20. Ubitec. Calculo del rendimiento del combustible de una flota vehicular flota vehicular. 2015;7.
 21. González C. Medición de la efectividad de un Plan de Mantenimiento con el Software GMAO. 2021;8.
 22. Hernández E. Método para el cálculo de la disponibilidad de sistemas en serie y paralelo en función de las consecuencias operacionales particulares de la indisponibilidad individual de cada etapa [Internet]. [Riobamba]: Escuela Superior Politecnica de Cimbrazo; 2016 [citado 30 de enero de 2024]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/4444>
 23. Torres C. Taxonomía para la jerarquización de activos con la norma ISO 14224:2016. Power-MI. 1 de junio de 2020;7.
 24. Hernández C, Fernandez C, Pilar L. Metodología de la investigación [Internet]. Mexico: McGRAW - HILL Interamericana de México, S.A. de C.V.; 1997. 497 p. Disponible en: https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf
 25. Ramos J, Rhea B, Ramón P, Omar V. La sistematización como metodología, método y resultado científico investigativo en la practica educativa [Internet]. Editorial Universidad Técnica del Norte UTN; 2018 [citado 25 de enero de 2024]. 98 p. Disponible en: https://issuu.com/utnuniversity/docs/ebook_la-sistematizaci_n-como-metol
 26. Rivera L, Antonio J. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA MANTENIBILIDAD (MTTR) MEDIANTE HERRAMIENTAS DE CALIDAD (LEAN). diciembre de 2020 [citado 30 de enero de 2024]; Disponible en: <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/52824>
 27. Espinosa Ortiz AA. Propuesta de diseño de un sistema de gestión de mantenimiento con base en la norma ISO 9001: caso Parque Automotor del GAD Municipal del Cantón Mejía [Internet] [masterThesis]. [Quito]: Universidad Andina Simón Bolívar; 2022 [citado 30 de enero de 2024]. Disponible en: <http://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/9209>