

FACULTAD DE INGENIERÍA



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

Carrera de Ingeniería Industrial

“Aplicación del mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad para incrementar la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, 2019”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Luis Alberto Ordinola Rugel

Asesor:

Ing. Ulises Abdon Piscocoya Silva

Lima - Perú

2020

DEDICATORIA

Esta tesis le dedico a mi familia, por ser mi sustento y motivación personal, a mis compañeros de trabajo, por la paciencia y el apoyo incondicional, sobre todo para mi amigo Elmer y Leoncio jefes de taller y de operaciones, con la mejor voluntad y su apoyo en la recolección de datos, referencias y los histogramas de seguimiento de los equipos para hacer posible esta investigación.

A mis hijos, con todo mi amor y dedicación, con mi ejemplo, en un futuro sean unos grandes profesionales y contribuyan al desarrollo y progreso de ese país.
a mi colega Diego, Roberto por sus enseñanzas y críticas constructivas en el área de la ingeniería.

AGRADECIMIENTO

Principalmente a Dios, a mi asesor UPN, por todo el apoyo posible y llevar a cabo correctamente la presente investigación. A mis padres, por su apoyo incondicional, a mi esposa Angélica María, por ser mi soporte en todas mis actividades. a mi hermano, el ingeniero Boris, por su apoyo académico y moral en todo el proceso de la presente.

Tabla de Contenido

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
INDICE DE TABLAS.....	6
INDICE DE FIGURAS	7
INDICE DE ECUACIONES	9
RESUMEN EJECUTIVO	10
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Antecedentes	11
1.2. Justificación	22
1.2.1. Justificación teórica.....	22
1.2.2. Justificación practica	22
1.2.3. Justificación económica	22
1.2.4. Justificación académica.....	23
1.3. Formulación del Problema.....	23
1.3.1. Problema general.....	23
1.3.2. Problema específico	23
1.4. Objetivos.....	24
1.4.1. Objetivo general	24
1.4.2. Objetivo específico.....	24
1.5. Hipótesis	25
1.5.1. Hipótesis general	25
1.5.2. Hipótesis específica.....	25
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	26
2.1. Antecedentes	26
2.1.1. Antecedentes Internacionales	26
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	30
2.2. Bases teóricas.....	36
2.2.1. Mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad.....	36
2.2.1.1. Metodología RCM	36
2.2.1.2. Procedimiento para la puesta en marcha.....	40

2.2.1.3. Fallas funcionales	44
2.2.1.4. Medidas preventivas para aumentar la disponibilidad.....	48
2.2.1.5. Disponibilidad.....	52
2.2.1.6. Tiempo promedio para reparar (MTTR).....	55
2.2.1.7. Tiempo promedio para fallar (MTBF).....	56
2.2.1.8. Diagrama de Pareto.....	56
2.2.1.9. Limitaciones que se presentaron en el desarrollo del trabajo de suficiencia profesional.	58
2.3. Definición de términos básicos.....	59
CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA	62
3.1. Análisis de la situación inicial	64
3.2. Diagnóstico de los puntos críticos	74
3.3. Planificación de la implementación	76
3.4. Actividades para el plan de mejora.....	78
Desarrollo del AMEF.....	78
Formato para el registro de fallas	96
Capacitación del personal	100
Orden en el área de trabajo	103
CAPITULO IV: RESULTADOS	106
DISCUSIÓN.....	116
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
RECOMENDACIONES	121
REFERENCIAS	122
ANEXOS.....	127

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Información de la empresa	11
Tabla 2 Equipos de la empresa	14
Tabla 3 Fortalezas y debilidades del RCM.....	38
Tabla 4 Pasos de AMEF	45
Tabla 5 Hoja de decisión RCM	51
Tabla 6 Evolución del tiempo medio entre fallas (MTBF)	65
Tabla 7 Evolución del tiempo medio para reparaciones (MTTR).....	67
Tabla 8 Puntuaciones de Pareto.....	72
Tabla 9 Diagrama de cumplimiento aplicado en mantenimiento centrado en confiabilidad	77
Tabla 10 Ocurrencia de fallos en los 5 volquetes inicial	79
Tabla 11 Ocurrencia de fallos en los 5 volquetes final.....	81
Tabla 12 Especificación para la detección del fallo inicial	83
Tabla 13 Detección de fallos en los 5 volquetes inicial	83
Tabla 14 Detección de fallos en los 5 volquetes	86
Tabla 15 Gravedad de fallos en los 5 volquetes inicial	88
Tabla 16 Gravedad de fallos en los 5 volquetes final.....	91
Tabla 17 RPN de fallos en los 5 volquetes inicial.....	93
Tabla 18 Prioridad de fallos en los 5 volquetes final	95
Tabla 19 Programa de capacitaciones	102
Tabla 20 Evolución del tiempo medio para reparaciones.....	106
Tabla 21 Evolución del tiempo medio entre fallas	108
Tabla 22 Evolución de la disponibilidad	110
Tabla 23 Gastos en repuestos	113
Tabla 24 Comparación de gastos en escenario (expresado en USD)	114

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la empresa	11
Figura 2 Organigrama de la empresa.....	12
Figura 3 Volquetes de la empresa.....	14
Figura 4 Desarrollo de los trabajos de reparación de piezas	15
Figura 5 Desarrollo de los trabajos de mantenimiento preventivo	16
Figura 6 Almacén de abastecimientos de repuestos	17
Figura 7 Cantidad de vehículos en Lima y crecimiento del sector de mantenimiento ...	20
Figura 8 Fases del RCM	41
Figura 9 Elementos involucrados en la puesta en marcha.....	43
Figura 10 Objetivos y beneficios de AMEF.....	47
Figura 11 Fases RCM.....	49
Figura 12 Factores para la disponibilidad	53
Figura 13 Experiencia de campo	64
Figura 14 Evolución del tiempo medio entre fallas (MTBF)	66
Figura 15 Evolución del tiempo medio para reparaciones (MTTR)	67
Figura 16 Evolución de la disponibilidad.....	68
Figura 17 Diagrama de Ishikawa.....	70
Figura 18 Diagrama de Pareto	73
Figura 19 Ausencia de una metodología	74
Figura 20 Falta de formatos para el registro de fallas	76
Figura 21 Análisis de ocurrencia de fallos inicial	78
Figura 22 Análisis de Pareto para la ocurrencia de fallas inicial.....	80
Figura 23 Ocurrencia de fallas final	81
Figura 24 Análisis de Pareto para la ocurrencia de fallas final	82
Figura 25 Análisis de Pareto para la detección de fallas inicial	84
Figura 26 Análisis para la detección de fallas inicial	85
Figura 27 Análisis de Pareto para la detección de fallas final.....	86
Figura 28 Análisis de la detección de fallas final.....	87
Figura 29 Análisis de Pareto para la gravedad de fallas inicial.....	89
Figura 30 Análisis de la gravedad de fallas inicial	90
Figura 31 Análisis de Pareto para la gravedad de fallas.....	91

Figura 32	Análisis de la gravedad de fallas final.....	92
Figura 33	Análisis del índice de prioridad de fallo (RPN) inicial.....	93
Figura 34	Análisis de Pareto para el RPN de las fallas inicial.....	94
Figura 35	Análisis de Pareto para el RNP de las fallas final.....	95
Figura 36	Análisis del índice de prioridad de fallo (RPN) final.....	96
Figura 37	Formato para el registro de fallas (I).....	97
Figura 38	Trabajo en equipo para el llenado de formato para el registro de fallas.....	98
Figura 39	Formato para el registro de fallas (II).....	99
Figura 40	Registro de fallas.....	100
Figura 41	Instructivo para la capacitación del personal.....	101
Figura 42	Capacitación del personal.....	103
Figura 43	Check list para organización de área.....	104
Figura 44	Orden en el área de trabajo.....	104
Figura 45	Evolución del tiempo medio para reparaciones.....	107
Figura 46	Comparación del tiempo medio para reparaciones.....	108
Figura 47	Evolución del tiempo medio entre fallas (MTBF).....	109
Figura 48	Comparación del tiempo medio entre fallas (MTBF).....	110
Figura 49	Evolución de la disponibilidad.....	111
Figura 50	Comparación de la disponibilidad.....	112
Figura 51	Gastos en repuestos a lo largo de 12 meses.....	114
Figura 52	Comparación de gastos en escenario previo y posterior a la mejora.....	115

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Prioridad de riesgo AMEF	44
Ecuación 2 Programa de mantenimiento basado en el uso.....	43
Ecuación 3 Decisiones basadas en la confiabilidad.....	52
Ecuación 4 Disponibilidad	53
Ecuación 5 Tiempo medio entre reparaciones.....	55
Ecuación 6 Tiempo medio entre fallas	56

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo de suficiencia profesional se efectúa la aplicación del mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad para lograr un incremento en la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G durante el año 2019, dicha empresa se dedica al transporte de carga por carretera, por lo que la disponibilidad de sus volquetes es de gran importancia para sus actividades. En este sentido, el objetivo general fue determinar en qué medida la aplicación del mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad incrementa la disponibilidad de volquetes.

Para alcanzar esta finalidad fue necesario el desarrollo previo de objetivos específicos tales como establecer cuál fue la situación inicial de la disponibilidad, determinar cuáles fueron las fallas funcionales de los volquetes, conocer los procedimientos de puesta en marcha y establecer cuáles son las medidas preventivas para aumentar la disponibilidad de dichos vehículos; además, se calculó el beneficio económico de la aplicación de metodología. El levantamiento de información corresponde a un año, de dicha forma se puede evaluar los cambios de manera mucho más certera, ante ello en el escenario inicial se observa un MTTR de 3.9 y MTBF de 76.10 lo que indica un nivel de disponibilidad de 95.13%. A partir de ello, con el análisis AMEF se detalla que los factores más influyentes son las fallas en la caja de transmisión con 37%, el motor y combustible con 30% y el sistema hidráulico con 16.6%; ellos tres acumulan el 84% del problema total, por lo que es prioritario mejorarlos.

Luego de aplicar mejoras en el mantenimiento preventivo como la creación de formatos, capacitación del personal, orden en el área y el análisis AMEF, se obtuvieron solo 3 fallas de riesgo medio y 5 de riesgo bajo. Finalmente, se logra un incremento en la disponibilidad hasta el 98.8%, lo que se sustenta en un indicador MTTR de 2.25 y el MTBF de 179.5; por lo que se concluye que la aplicación de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad incrementa la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G en el año 2019.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Información de la empresa

En la presente sección se mostrará el desarrollo de la información de la empresa de acuerdo a la situación inicial observada; posteriormente se detallará la aplicación de la mejora y los cambios acontecidos en los indicadores claves. En primer lugar, se mostrará la información de la compañía en evaluación.

Tabla 1

Información de la empresa

Nombre	Transervice Generales L&G
RUC	20603943547
Actividad económica	CIIU 60230 – Transporte de carga por carretera
Dirección	Mz B Lt. 33 Asoc. Resid. Villa Los Olivos – San Martín de Porres - Lima
Gerente General	Gonzales Ocaña Leoncio Sevastian

Elaboración propia

Ubicación

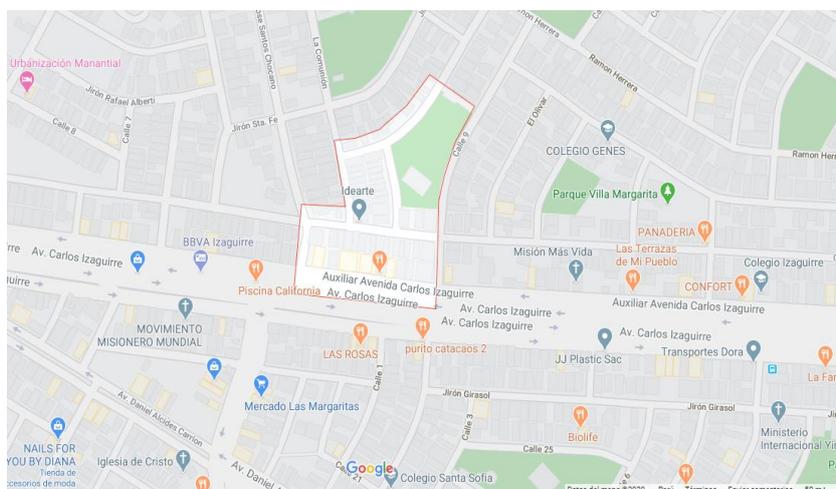


Figura 1 Ubicación de la empresa

Elaboración propia

Misión

Ser la empresa líder en el transporte de mercadería, contando con un nivel de mantenimiento de volquetes y todo tipo de maquinaria pesada a nivel nacional, siempre con un servicio de calidad.

Visión

Lograr integrar a todo el país mediante el transporte de carga, desarrollar nuevos enfoques para la mejora de los vehículos de carga pesada y volquetes, siendo pioneros en el uso de tecnología para lograr la eficiencia del mantenimiento

Valores

- Honestidad
- Responsabilidad
- Confianza
- Credibilidad
- Amabilidad

Organigrama

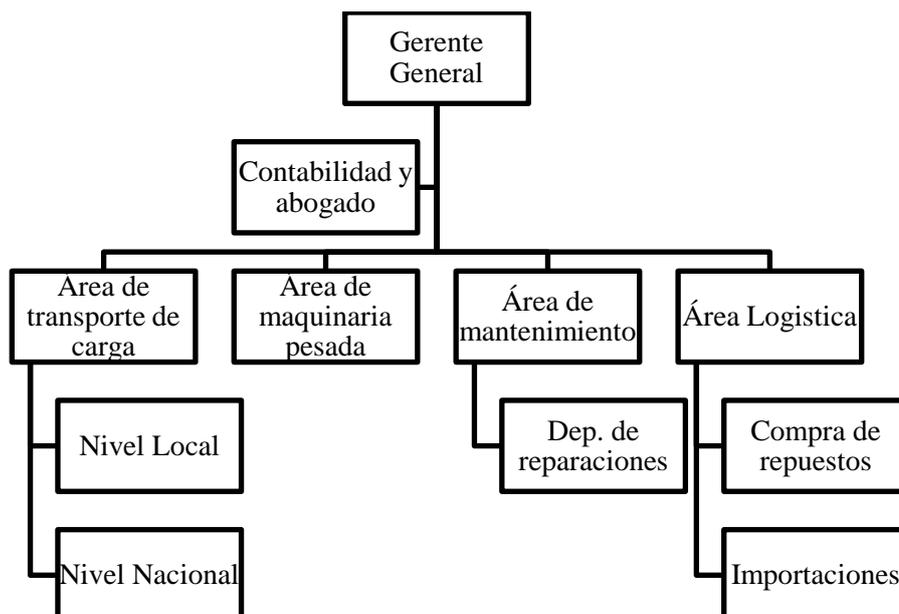


Figura 2 Organigrama de la empresa

Elaboración propia

Servicios

La empresa cuenta con 2 servicios, el transporte de carga pesada y el uso de volquetes como parte de las actividades de construcción y transporte, en ambos casos se requiere de un mantenimiento general para el mejor desarrollo de las operaciones. El detalle de cada uno de los servicios se menciona a continuación:

- Transporte de carga

El transporte de carga pesada se realiza tanto a nivel local como en el ámbito nacional; para ello se emplean vehículos especializados para resistir el trayecto con las características de nuestro territorio y llevar con bien los productos solicitados a su destino final con la mejor calidad.

- Maquinaria pesada

El uso de maquinaria pesada es importante en muchos tipos de actividades industriales y dentro de sector construcción, pues así se permite el transporte de todo tipo de elementos necesarios para el desarrollo de las operaciones.

Equipos

El proveedor de la marca de procedencia china Sinotruck en su volquete Howo 371; cabe destacar, que la marca en mención es parte de una línea de negocio y marca que tiene la empresa. Para el desarrollo de sus actividades de la carga pesada y otro tipo de uso industrial, la empresa cuenta con los volquetes que se detallan a continuación:

Tabla 2

Equipos de la empresa

Equipo	Descripción
Volquete 1	HOWO 371 EURO III MODELO:ZZ3257N3
Volquete 2	HOWO 371 EURO III MODELO:ZZ3257N3
Volquete 3	HOWO 371 EURO III MODELO:ZZ3257N3
Volquete 4	HOWO 371 EURO III MODELO:ZZ3257N3
Volquete 5	HOWO 371 EURO III MODELO:ZZ3257N3

Elaboración propia



Figura 3 Volquetes de la empresa

Elaboración propia

En la figura anterior se observan los vehículos de volquetes que posee la empresa dentro del taller de mantenimiento, si bien es cierto no es posible enfocar a todos los elementos en una sola imagen por su gran tamaño, es posible apreciar algunos de ellos. En estos volquetes, propiedades de la empresa Transervice Generales L&G, se aplicará la metodología RCM y sus herramientas en búsqueda de una mejora en su disponibilidad para efectuar las actividades de transporte. Para lograr dichos cambios se hará uso de los principios básicos del RCM así como de un control de los datos del funcionamiento de los vehículos.

Labores

Dentro de las actividades en la empresa, una de las labores más importante es el mantenimiento de los vehículos, ello conlleva a un minucioso trabajo práctico para la revisión de cada parte en búsqueda de alguna mejora en los componentes. A partir de ello, se logra corregir el problema y poner en funcionamiento a los volquetes. En la siguiente figura se observan algunas de las actividades dentro del mantenimiento.



Figura 4 Desarrollo de los trabajos de reparación de piezas

Elaboración propia

En la figura anterior se observa el trabajo de reparación de piezas como parte del mantenimiento correctivo de los volquetes, es decir, se identifican los elementos defectuosos para su cambio en búsqueda de un mejor funcionamiento. En este sentido, se debe desmontar la pieza de su sección original en el volquete para así realizar en análisis correspondiente y la reparación mediante la soldadura o lubricación de las partes; en caso dicha sección se encuentre muy dañada, se procederá con el cambio completo con algunos de los repuestos que posea la empresa, en caso de no tener el repuesto necesario se procede con el pedido de importación al proveedor correspondiente. A partir de ello, es importante contar con un amplio conocimiento sobre los mecanismos para el cambio. Otra de las

labores importantes es el mantenimiento preventivo para evitar fallas y ello se presenta a continuación.



Figura 5 Desarrollo de los trabajos de mantenimiento preventivo

Elaboración propia

Otra de las labores importantes dentro del almacén es el mantenimiento de algunos volquetes, tal como se observa en la figura. Estos trabajos se realizan de acuerdo al kilometraje recorrido, de las condiciones físicas y mecánicas que muestra o respecto a algún problema que haya observado el conductor dentro de su ruta de transporte. En este sentido, se observa el mantenimiento del motor, la cual es una de las revisiones más comunes para observar el funcionamiento interno del volquete, luego de ello se revisa un cambio de aceite así como la lubricación de sus partes; la revisión del sistema eléctrico, entre otras implicancias.

Es posible notar que se realizan trabajos de mantenimiento preventivo en el motor de los volquetes para lograr un mejor funcionamiento. Desde otra perspectiva, si algún elemento se encuentra con características deficientes se procede a su cambio; es por ello que la empresa cuenta con un almacén de los repuestos que de forma más frecuente requieren cambios; entonces en la siguiente figura se aprecia las identificación de repuestos dentro del almacén.



Figura 6 Almacén de abastecimientos de repuestos

Elaboración propia

Se observa en la figura anterior los trabajos de búsqueda dentro del almacén de repuestos de la empresa, para dicha labor se requiere de un amplio conocimiento de las partes involucradas en el funcionamiento de los volquetes, es por ello que se efectúa una revisión a detalle de las partes que realmente sean necesarias para el cambio. La empresa posee un almacén con los implementos necesarios para reponer las piezas que de forma más frecuente poseen fallas, su abastecimiento se realiza a través de la importación y la compra a nivel nacional de algunas partes que puedan ser adaptadas en el volquete.

Realidad problemática

Para la mejora de la disponibilidad de los volquetes en la empresa se ha elegido la metodología RCM, la cual ha mostrado su efectividad en la experiencia de Díaz, Villar, Cabrera, Gil, Mata y Rodríguez (2016) en República Dominicana. La reducción de las averías en equipos proporcionó un ahorro con los costos de reparación y mantenimiento; además la mejora del rendimiento y el uso de las herramientas se logró incrementar la disponibilidad de los equipos hasta el 92%. Situación similar se observa en Tang, Liu, Jing, Yang y Zou (2017) dada la importancia de conocer la situación inicial de la criticidad, solo de esta forma será

posible realizan una correcta identificación de los factores que más afectan la disponibilidad; dicho análisis también se realizó en el presente trabajo para identificar los elementos que presentan fallas más recurrentes. Se indica que el RCM junto con la herramienta AMEF son métodos de operaciones sistemáticos y convenientes para identificar los fallos mediante la combinación de análisis cuantitativo con análisis cualitativo, a partir de la configuración de un árbol de jerarquía del sistema y el análisis de riesgo de una matriz de riesgo.

Dentro de nuestra experiencia, en la ejecución y control de los sistemas de mantenimiento RCM es importante contar con el sustento metodológico que proporciona los lineamientos necesarios para el éxito, el cual consiste en la identificación de fallas y criticidad para disminuir los riesgos, pues no se centra en la ocurrencia de averías, sino que desea brindar un soporte para que esta labor sea de ejecución secuencial así no se presenten fallas. Tal situación se muestra en Emovon, Normal y Murphy (2016) en su experiencia en Nigeria. Otro elemento trascendental empleado en el presente trabajo fue contar con indicadores que permitan supervisar la gestión que se realiza en el mantenimiento y en el mencionado estudio se comenta sobre el tiempo promedio entre fallas y el tiempo medio de reparaciones. Es por ello que se propone al mantenimiento centrado en la confiabilidad como mecanismo de gestión dado, la evaluación de riesgos, la selección de estrategias y el intervalo de tarea. En Rachman, Kesay y Mujayin (2017) se comenta que esta metodología también permite el uso de herramientas complementarias, como el AME (Análisis de Modo y Efecto de Fallos) que fue de gran utilidad en nuestra experiencia para identificar las fallas más graves y recurrentes. Este enfoque requiere de tiempo para llegar a una decisión en cada modo de falla. Además, el uso del árbol lógico RCM no permite clasificar las alternativas de estrategia de mantenimiento de modo que la solución óptima se pueda determinar fácilmente.

En nuestro estudio fue importante el uso de indicadores para controlar el nivel de disponibilidad en el sector transportes, tal como es el caso de Penabad, Iznaga, Rodríguez y Cañazas (2016), donde se requiere el óptimo funcionamiento de los equipos para asegurar la producción y la distribución. En este sentido, para

evaluar el desempeño es necesario medir el nivel de eficiencia en la circulación de la flota de vehículos, es por ello que se realizan constantes mejoras en búsqueda de cálculos y evaluación de semejanzas y diferencias entre los indicadores.

En la mejora de nuestros volquetes la metodología RCM se ha convertido en una herramienta importante debido a la necesidad de aumentar la disponibilidad, calidad y reducir los costos de operación, como se observa en Afzali, Keynia y Rashidinejad (2019) donde las evaluaciones más importantes para decidir el desempeño adecuado del sistema de distribución. Por otro lado, el presupuesto para mantenimiento de componentes es limitado, por lo que el mantenimiento solo debe realizarse en componentes críticos. La identificación de los componentes críticos se utiliza para lograr el objetivo de minimizar el costo de las acciones de mantenimiento. Nuestra finalidad fue mejorar la disponibilidad para el cumplimiento oportuno de ejecución de tareas, además es la habilidad de una unidad funcional para encontrarse en un estado óptimo y así emplear los recursos de forma eficiente dentro de un espacio y tiempo previsto, como en el caso de Bassiouny, Damcese Mustafa y Eliwa (2016), para evaluar dicho aspecto se cuentan con muchos indicadores, y su elección dependerá de los datos que puedan ser recolectados; entre ellos se cuentan el desempeño estimado, el tiempo medio entre fallas, el tiempo medio entre reparaciones, la flota instantánea estimada, índice ideal o máximo (como indicador de referencia), entre otros.

Un análisis del sector se muestra en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), en donde se menciona el crecimiento del parque automotor en Lima Metropolitana y, por otro lado, la tasa de crecimiento del sector de mantenimiento y reparaciones de vehículos de forma anual.

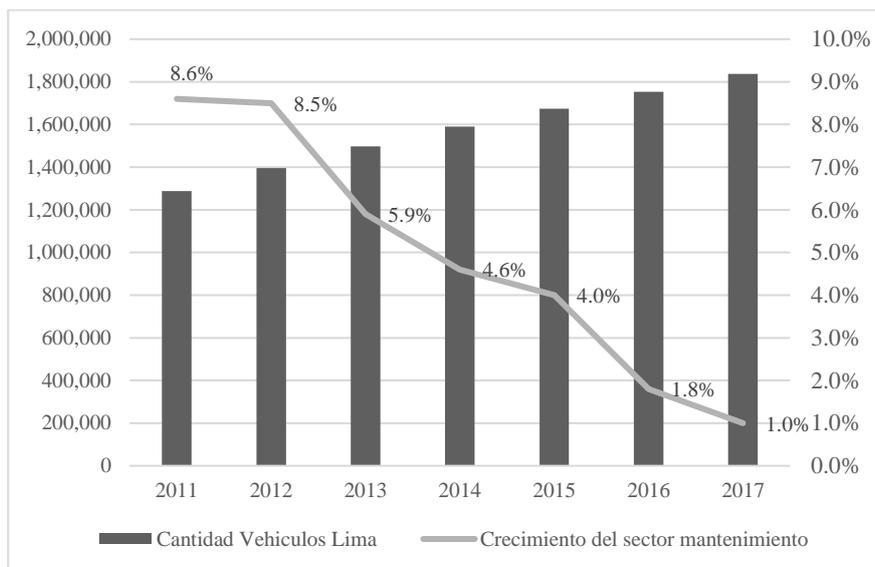


Figura 7 Cantidad de vehículos en Lima y crecimiento del sector de mantenimiento

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018).

Se observa un sostenido crecimiento de la cantidad de vehículos, pero de forma contradictoria es notorio que el sector de mantenimiento ha crecido en una menor proporción, es decir, la gran cantidad de vehículos que existe en esta ciudad se debe a muchos de ellos son desechados rápido por no mejorar su disponibilidad y vida útil. Tal situación se aclara en el Instituto de Investigación y Desarrollo de Comercio Exterior de la Cámara de Comercio de Lima (2018) lo que se debe a la falta de planificación y mala logística en el sector, además de generarse retrasos en transporte y exceso de costos, es por ello que nuestra propuesta basada en la mejora del mantenimiento puede ser útil para alargar la vida de los vehículos. Una alternativa similar basada en el mantenimiento preventivo de los equipos centrado en la confiabilidad se plantea en Ypanaqué, Chucuya y Esquivel (2017) para un incremento de la disponibilidad, dado su experiencia por la aplicación en grúas, ante el constante fallo se requieren altos costos de reparación que involucra una salida de efectivo no previsto, dicha situación es bastante similar en la empresa de análisis, es por ello que con el empleo del RCM, se conocen herramientas más efectivas que la labor empírica, por lo que la inversión realizada puede ser recuperada en el mediano plazo.

En nuestra investigación la disponibilidad es un factor esencial en los vehículos puesto que se requiere su operación durante el mayor tiempo posible tal

como se menciona en Pareja, Amado y Gutiérrez (2017). Las labores siempre se apoyan en el sector de mantenimiento para el reto de mejorar cada día más; es por ello que el mantenimiento preventivo permite predecir las fallas y averías en búsqueda de un planteamiento eficiente, los cambios se centran en la programación de un sistema para generar una mayor productividad y rentabilidad en la empresa. A partir de ello, se pueden emplear indicadores claves como el tiempo medio entre reparaciones y el tiempo medio entre fallas, así es posible predecir la disponibilidad en el mediano plazo.

En la misma línea, en Alavedra et al. (2016) se menciona que todo sistema será eficiente en la medida que desarrolle sus actividades considerando el menor número de fallas posibles. En el caso de camiones, la presencia de averías es un hecho que no se puede evitar, pero en gran medida se puede predecir la falla que ocurrirá y cuándo probablemente aparecerá, para ello se realizan mantenimientos preventivos en búsqueda de mejorar la disponibilidad como combinación de los indicadores del tiempo entre fallas y para reparaciones. Se propone un sistema de vigilancia continua, tal como se realiza en esta investigación, con el fin de conocer el funcionamiento sistemático de cada una de sus partes; estas labores de mantenimiento no deben esperar que se presente fallas, sino que deben actuar como un agente predictor.

Nuestro análisis ha determinado que la gestión del mantenimiento para vehículos pesados es una solución técnica a los problemas más frecuentes, además debe estar acompañado por políticas de buenas prácticas para atender a las reparaciones tal como se muestra en Zegarra (2016) donde se cuenta con información oportuna sobre el plan de mantenimiento para elegir indicadores claves en la medición de resultados. Luego de aplicar el modelo RCM, en el escenario final se logra alargar la vida útil, se reducen los costos de reparación y lo más importante, es la mejora de la disponibilidad lo que permite mejorar la producción y, por lo tanto, el nivel de ingresos. Situación similar se muestra en Berger et al. (2015) se sostiene que la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad es una herramienta importante para incrementar los niveles de disponibilidad dada su experiencia en el manejo de vehículos de transporte marino

en el sector pesquero de nuestro país. En este sentido, se decidió implementar un sistema de mantenimiento basado en este método en 10 vehículos, para ello se inspeccionaron indicadores como el tiempo medio entre fallas y entre reparaciones. Se concluye que es posible determinar la frecuencia de la intervención para los equipos y así generar programas para las labores de mantenimiento.

1.2. Justificación

1.2.1. Justificación teórica

La presente investigación pretende profundizar en el conocimiento teórico de la metodología del mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad, en tanto que se detallan los procedimientos y pasos a seguir para conocer a profundidad los elementos que implican la disponibilidad de equipos mediante la revisión de fórmulas y conceptos relacionados.

1.2.2. Justificación practica

Es necesario demostrar que sus resultados pueden ser útiles, para resolver un problema importante o explicar un fenómeno. En otras palabras, la investigación desea resolver un problema que afecta la realidad de una empresa, la cual está referida a la disponibilidad de los vehículos; por lo tanto, se busca una alternativa de solución que relacione la teoría existente de la metodología RCM con la práctica en la mejora de la disponibilidad; es por ello que el presente trabajo cuenta con justificación práctica.

1.2.3. Justificación económica

Dentro de este aspecto, se ha encontrado razones y motivaciones que nos animan para emprender una mejora en los elementos de estudio. Dicho de otra manera, se sostiene que esta investigación posee una naturaleza económica dado que la mejora de la disponibilidad mejora la producción y el rendimiento de los equipos; adicionalmente, con el implemento de la metodología se reducirán los

costos de reparación de equipos dado el menor número de fallas. Entonces, por los comentarios expuestos se sostiene que se cuenta con justificación económica.

1.2.4. Justificación académica

El trabajo que se desarrolla también abarca una justificación académica puesto que se emplean técnicas y herramientas para la mejora de la disponibilidad de vehículos basadas en la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad; por otro parte, la investigación servirá como base y guía para el desarrollo de otros trabajos que deseen mejoras con el uso de esta técnica.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema general

¿En qué medida aplicación de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad incrementa la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019?

1.3.2. Problema específico

¿Cuál es la situación inicial de la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019?

¿Cuáles son las fallas funcionales de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019?

¿Cuáles son los procedimientos para la puesta en marcha de los de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019?

¿Cuáles son las medidas preventivas para aumentar la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar en qué medida aplicación de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad incrementa la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019.

1.4.2. Objetivo específico

Determinar cuál es la situación inicial de la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019.

Determinar cuáles son las fallas funcionales de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019.

Determinar cuáles son los procedimientos para la puesta en marcha de los de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019.

Determinar cuáles son las medidas preventivas para aumentar la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La aplicación de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad incrementa la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019.

1.5.2. Hipótesis específica

Existe un bajo nivel de disponibilidad inicial de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019.

Las fallas funcionales afectan negativamente la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019.

Los procedimientos de puesta en marcha de volquetes no son lo más apropiados en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019.

Las medidas preventivas permiten aumentar la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

A nivel internacional, Campos, Tolentino, Toledo y Tolentino (2019) titulado *Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos*, para la revista Científica por investigadores pertenecientes al Instituto Politécnico Nacional de México. La finalidad de este trabajo fue incrementar la disponibilidad de equipos a través del uso de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad de los equipos, en tanto que, además de aplicar los conocidos pasos se incluyen aspectos adicionales para facilitar la implementación de acuerdo a la norma SAE JA 1011. Fue necesario la evaluación de la situación inicial mediante el análisis de modos de falla (AMEF) lo que permite identificar los puntos críticos a mejorar; posterior a ello se aplica la metodología y se comparan los efectos de esas acciones. La investigación cuenta con una metodología de tipo cuantitativa, de enfoque descriptivo y de diseño no experimental. Las principales herramientas empleadas fueron la ficha de observación de datos, el registro de fallas de equipos y el acceso a información sobre las máquinas de la empresa y su mantenimiento.

Los resultados mostraron, en primer lugar, el análisis de modos y causas de falla, en donde la falla funcional más importante fue el paro inesperado de los equipos; en este punto la falla por alimentación eléctrica representó el 5.02% del total, seguido por las fallas del aislamiento a tierra (2.15%) y las fallas mecánicas (2.15%). Ante esta situación se decidió aplicar la metodología RCM, se identificaron en total 6 funciones con 23 fallas y a partir de estas fallas funcionales se observaron 30 modos de fallas y 132 causas; es decir, se obtuvo una situación distinta al análisis inicial efectuado. Dentro de las 23 causas de fallas, las que alcanzan una criticidad media son el daño de los rodamientos, la desalineación, el daño por eje del motor, la banda mal ajustada y el desbalance entre fases. A partir de ello se planteó un sistema de mantenimiento con 27 actividades a nivel mecánico y 7 controladas por un sistema de computadoras. En nuestra investigación se logró

desarrollar el sistema RCM donde se detectaron fallas similares a este estudio, tales como los problemas en partes del vehículo, fallas en el motor y otros problemas funcionales. A partir de este trabajo se puede notar que la metodología es eficiente para lograr mejoras.

Tudon, Zúñiga, Lerma y Méndez (2019) en su trabajo titulado *Implementation of the RCM methodology in pleating machine*, para la revista científica *Journal of Quantitive and Statistical Analysis*, de investigadores de la Universidad Tecnológica de San Luis de Potosí, Bolivia; tuvo el principal objetivo de aplicar la metodología RCM en búsqueda del incremento de la disponibilidad de los equipos. Para alcanzar esta finalidad fue necesario realizar el diagnóstico de la situación inicial, lo que permite determinar los puntos críticos que deben ser mejorados con el empleo de la metodología; posterior a la aplicación se miden los indicadores claves para evaluar si el método elegido ha obtenido los resultados deseados. La comparación se apoya en el análisis de los indicadores de tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio entre reparaciones (MTTR), los cuales desempeñan un papel clave para evaluar la disponibilidad. La metodología del trabajo fue de tipo cuantitativo y aplicado, en tanto que se obtienen indicadores numéricos de la realidad de una empresa, además tuvo un enfoque descriptivo y un diseño experimental. La población y muestra corresponden a 32 de semanas de análisis (16 previas y 16 posteriores).

Los resultados señalan el análisis de criticidad de la situación inicial donde el factor más frecuente fue el daño por golpes a los sensores y la inflamación de las zonas seguras; ante ello se diseñó un plan basado en la metodología para ser adaptada a la realidad de la empresa. Se evidenciaron cambios importantes en los factores que influyen en la disponibilidad del equipo y se logró mejorar los indicadores de mantenimiento; en primer lugar, el tiempo medio entre fallas (MTBF) en un escenario inicial fue de 5,566 minutos, el cual incremento a 14,785 minutos; por otro lado, el tiempo medio entre reparaciones (MTTR) disminuyo de 49 a 10 minutos con la aplicación de mejoras. En este trabajo se observan similitudes en el análisis previo y posterior a la mejora, en tanto que también se utilizan los indicadores MTTR y MTBF para mostrar los cambios en la

disponibilidad, siendo en cambio más importante en nuestra investigación, dado que el MTBF pasó de 71.85 a 124.37 horas, es decir en nuestro es de mayor tiempo.

Barrera y Estrada (2017) en su investigación denominada *Propuesta de mantenimiento preventivo para flotas de camiones Modelo Mack, en el plantel los cocos (Alcaldía de Managua)*, para alcanzar el título profesional del Ingeniero Mecánico por la Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua; tuvo como objetivo principal brindar un sistema de mantenimiento basado en la metodología RCM para mejorar la disponibilidad de los vehículos. Su alcance fue posible mediante el establecimiento de técnicas para el mantenimiento que permitirán diagnosticar la situación inicial de la flota, luego se procedió a aplicar los parámetros de la confiabilidad y mantenibilidad en búsqueda de encontrar fallas en los equipos, en tercer lugar, se registraron las fallas para obtener datos de frecuencia que permitan plantear alternativas preventivas y finalmente, se indican los equipos a mejorar por el plan. La investigación es de tipo aplicado y cuantitativo en tanto que se evalúan indicadores numéricos de la realidad, cuenta con un diseño no experimental y de enfoque descriptivo. Las principales herramientas empleadas fueron la ficha de recolección de datos sobre fallas y las plantillas o formatos de mantenimiento; adicionalmente, la población y muestra corresponden a 26 camiones.

Los resultados muestran la situación inicial de los vehículos, el 42% se encuentra operando en buen estado, luego el 30% opera de forma regular y finalmente, el 19% se encuentra en un mantenimiento correctivo, es decir, ha presentado fallas y fue mandando a reparar. De dichos datos se concluyen que las actividades iniciales que se realizan no son se encuentran bien enfocadas puesto que una parte importante de vehículos presenta averías y esto disminuye su vida útil. Ante esta situación se plantea un nuevo sistema de mantenimiento basado en la metodología RCM que toma 8 horas al día y 40 horas a la semana, el cual permite incrementar la disponibilidad en los equipos, ello se refleja en la mejora de los indicadores del tiempo medio entre fallas y para reparaciones. A modo de comparación es posible mencionar que el MTTR permite una mayor disponibilidad

de los volquetes, en tanto que el MTTR pasó de 4.12 a 2.83 horas, además se siguió un planteamiento de mejoras similar a este trabajo.

Álvarez (2017) en su investigación denominada *Implementación de la metodología RCM para los vehículos de emergencia del benemérito cuerpo de bomberos voluntarios de Cuenca*, para alcanzar el título profesional de Ingeniero Mecánico por la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador; el principal objetivo fue desarrollar un plan de mantenimiento en base a la metodología RCM para mejorar la disponibilidad de los equipos. Para ello se requirió de analizar la situación inicial respecto a la cantidad de fallos que presentan los vehículos, luego se obtuvo la información crítica de los aspectos a mejorar; posteriormente, se realizó el análisis de criticidad donde se obtuvieron los criterios para implementar la metodología y finalmente, el plan fue aplicado para hallar la mejora de indicadores. La investigación cuenta con una metodología de tipo aplicado y cuantitativo, dado que los resultados son indicadores numéricos; es de diseño experimental y de enfoque descriptivo. La población corresponde a 106 vehículos y la muestra fue de 29 que presentan estado crítico.

Los resultados muestran en la situación inicial que la gran cantidad de vehículos obtenía un bajo índice de disponibilidad, siendo los casos más críticos el vehículo A-22 con 64%, 60% para el A-34 y 65% para el U-3. Luego de aplicar la metodología RCM se lograron cambios importantes en los equipos. En primer lugar, el índice del tiempo medio entre fallas o MTBF fue de 272.9 días o su equivalencia en 6550.5 hora, el indicador del tiempo medio entre reparaciones MTTR fue de 18.1 días o 434.4 horas y finalmente, la disponibilidad fue del 94% con una tasa de fallo de 0.055 fallos por día. En este sentido, se concluye que esta mejora representa un ahorro para la institución, en tanto que durante el periodo anterior al análisis los vehículos alcanzaron 25 fallos con un costo de reparación de USD 7,528.25 dólares. Este trabajo es de gran importancia puesto que se logra un beneficio económico por el ahorro en los costos de reparaciones, en nuestra investigación dicha cifra alcanza el valor de USD 3,577 dólares al mes.

Gonzáles (2015) llamado *Mantenimiento centrado en la confiabilidad aplicado al sistema hidráulico de la planta generadora Huaji de Cobee* para la revista científica Journal Boliviano de Ciencias, perteneciente a la Universidad del Valle, Bolivia; tuvo el objetivo principal de aplicar la metodología RCM en búsqueda de una mejora de la disponibilidad de los equipos en la mencionada planta. Fue necesario el estudio de la situación inicial para identificar las fallas críticas; cabe resaltar que la empresa de energía hidráulica en estudio es una de las más importantes en dicho país y siempre se ha caracterizado por la búsqueda de la mejora continua en sus sistemas, es por ello que se aplicó el RCM. Se emplearon los parámetros de la normativa SAE JA 1011, para ello se formó un grupo un grupo de trabajo con varias disciplinas involucradas en el tema de la confiabilidad de equipos. La investigación es de tipo cuantitativo, de enfoque descriptivo; las principales herramientas fueron la ficha de recolección de datos sobre las fallas, la información histórica de la empresa y el plan de mantenimiento

En primer lugar, se mostraron el desarrollo y aplicación de la metodología en la empresa; en este sentido, se utilizó una plantilla u hoja de decisión RCM que permite dar lineamientos sobre las acciones a tomar ante la presencia de distintas situaciones que pueden afectar la disponibilidad. Los resultados del análisis RCM determinaron que existen 5 funciones y 28 fallas funcionales; ante esta situación se proponen 7 tareas de mantenimiento, de las cuales 4 son realizadas de forma anual y 3 diarias. Un aspecto positivo que se logró en esta investigación fue generar diagramas de decisión RCM y un plan de manutención diaria fácil de entender, lo cual permitirá una mejor supervisión de las acciones para incrementar la disponibilidad de los equipos; en nuestro caso no ha sido posible llegar a dicho nivel de análisis y se espera en futuros planteamientos lograrlo.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

A nivel nacional, Romero (2019) realizó una investigación denominada *Elaboración de un plan de mantenimiento para incremento de disponibilidad de los equipos de flota en una empresa comunal*, para alcanzar el título profesional de Ingeniero Mecánico por la Universidad Continental, Arequipa. Se tuvo como finalidad aplicar un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para el incremento de la disponibilidad; ello fue posible mediante la descripción de la

situación inicial de la flota, se determinó los componentes con mayor frecuencia de fallas mediante el análisis de Pareto para posteriormente, proponer un programa de mantenimiento y aplicarlo diseñando formatos de control tales como ordenes, fichas de trabajo, entre otros similares. La investigación cuenta con una metodología de tipo cuantitativo y aplicado, debido a que los resultados se muestran en indicadores numéricos; además posee un enfoque descriptivo dado que se narran los rasgos y características; cuenta con un diseño tecnológico, en tanto que se parte del conocimiento para la aplicación. La población y muestra corresponde a 12 volquetes FMX evaluados en 12 semanas; las técnicas para la recolección de datos fue la revisión bibliográfica, las consultas académicas, la información empírica y la observación directa.

Los resultados evidenciaron un cambio sustancial en la disponibilidad de los vehículos, lo cual se basa en la mejora de los indicadores del tiempo medio entre fallas y el tiempo medio entre reparaciones. En el escenario inicial el MTBF fue de 50.3 horas y el MTTR fue de 17.6 horas, lo que determina una disponibilidad del 79% de los 12 equipos en promedio; ello se basa en la presencia de 53 fallas. En el escenario posterior se observa que el MTBF es de 73.17 horas y el MTTR es de 14.6 horas, dado que solo ocurrieron 41 fallas; estos resultados determinan una disponibilidad del 85% en promedio de los 12 equipos. Este trabajo es de gran importancia puesto que se ha podido incrementar la disponibilidad de volquetes, tal como en nuestra investigación los equipos, pero su cambio su mejora no logra niveles tan altos como el nuestro que alcanza el 98.9% en el escenario final, respecto al 85% hallado en el mencionado trabajo.

Cruz (2019) en su investigación denominada *El plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) y su influencia en la disponibilidad de las unidades de la flota vehicular Municipalidad de San Miguel – Callao 2018*, para optar por el título profesional de Ingeniero Mecánico por la Universidad Nacional del Callao; tuvo la finalidad de determinar el grado de influencia de la aplicación de la metodología RCM para lograr un incremento en la disponibilidad de los vehículos de la mencionada entidad. Para lograr dicho objetivo se requirió de la elaboración del análisis de modos y efectos de falla (AMEF) en búsqueda de

conocer las prioridades de atención del subsistema orientado a incrementar la disponibilidad y también determinar con el uso de la estadística el cambio de este factor por el uso del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). En la metodología se cuenta con un tipo de investigación tecnológica, de tipo cuantitativo, de diseño descriptivo simple y correlacional. Entre las técnicas para la recolección de datos se indica la observación directa, realizada en el taller de operaciones y la entrevista al personal técnico y coordinador del mantenimiento. La población corresponde a 76 vehículos y la muestra fue de una unidad ya que todas presentan las mismas características mecánicas.

En el análisis de los resultados se muestra una situación previa con una disponibilidad del 59%, ello se basa en el tiempo medio entre fallas de 3 factores, 3584 horas para el sistema de embrague que presentó 2 fallas, 557 horas para el sistema de frenos que presentó 13 fallas y 1855 horas para el sistema de suspensión que presentó 4 fallas. En el análisis AMEF se proponen y desarrollan tareas para la mejora tales como la inspección de los frenos y su calibración cada 7 días, el cambio de bobines cada 15 días, la revisión de zapatas cada 22 días y el cambio de pastillas cada 22 días, el cambio de pines de forma mensual, el cambio de amortiguadores cada 2 meses y la revisión de resortes de forma mensual. Luego de realizar la aplicación de la mejora en base a la metodología RCM se observa una mejora sustancial en la disponibilidad que pasó a ser de 86%, con valores de mejora el tiempo medio entre fallas del sistema de freno en 95.1%, para el sistema de embrague fue de 95.3% y para el sistema de suspensión fue de 95%. Finalmente, se concluye que la metodología RCM influye de manera positiva en la disponibilidad por lo que se recomienda que otras municipalidades implementen este sistema.

Ramírez y Yanac (2019) en su tesis llamada *Implementación del RCM para incrementar la productividad en una empresa convertidora de bolsas de papel*, para lograr el título profesional de Ingeniería Industrial por la Universidad César Vallejo, Lima; tuvo el objetivo principal de aplicar un sistema para el mantenimiento preventivo de los equipos basado en la metodología RCM, lo que permitirá el incremento de la disponibilidad. Fue necesario el estudio de la situación inicial, la identificación de los factores, el diseño del plan para su aplicación y posteriormente,

la evaluación de los cambios surgidos por la mejora y se considerarán los indicadores de tiempo medio entre fallas y entre reparaciones. La investigación fue de tipo cuantitativa, aplicada, de nivel explicativo, de diseño cuasi experimental y longitudinal. La técnica para la recolección de datos fue la observación directa, empleando el instrumento de la ficha de recolección de datos. La población y muestra fue el análisis de los datos durante 8 semanas, 4 previas y 4 posteriores.

Los resultados mostraron los cambios por la aplicación de la metodología RCM en los equipos, en tanto que los niveles de mantenimiento mejoraron. En primer lugar, se evidencia un cambio en el tiempo medio entre fallas (MTBF), el cual en el escenario inicial fue de 378 horas y luego incrementó a 1270 horas. En segundo lugar, el indicador del tiempo medio para reparaciones (MTTR) se redujo de 80.8 a 27.8 horas. Dado que ambos indicadores influyen sobre la disponibilidad, esta logró un incremento del 10.4%, es decir paso de 77.8% a 88.2%; de forma complementaria, con la ayuda de la estadística inferencial, se obtuvo una significancia de $0.00 < 0.05$, lo cual valida la afirmación. Un aspecto muy importante en este trabajo es el uso de la estadística inferencial para probar la mejora de la disponibilidad, en nuestro trabajo ello no ha sido posible; un aspecto similar fue el seguimiento a los equipos para controlar la aplicación.

Vega (2018) en su investigación titulada *Implementación de la metodología RCM para aumentar la disponibilidad mecánica del volquete Volvo FM1364R en la empresa Vickers Ingenieros EIRL*, para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico por la Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo; tuvo como principal objetivo aplicar la metodología RCM mediante un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad del mencionado vehículo. El alcance de esta finalidad fue posible mediante la identificación de la situación inicial, lo que permite determinar los puntos críticos en el proceso de mantenimiento para mejorarlo; posterior a ello se implementa la metodología y se evalúan los cambios mediante los indicadores de MTTR y MTBF para hallar la disponibilidad. La investigación es de tipo cuantitativo y tecnológica, de nivel aplicado y de diseño experimental. La población en estudio corresponde a 7 volquetes que posee la empresa y para la muestra se eligió uno de ellos (el más crítico) durante 6 meses.

Los instrumentos para la recolección de datos fueron las órdenes de trabajo para el mantenimiento, los datos históricos de volquetes, el reporte del horómetro y la ficha de recolección de datos.

En la situación inicial las horas programadas corresponden a 216, de ellas 176 horas fueron de trabajo, 6.5 horas de mantenimiento preventivo y 33.5 horas de mantenimiento no programando, es decir, reparaciones por fallas del equipo; todo ello determina una disponibilidad del 79.13 %. En la situación al final de la investigación se lograron 234 horas programadas divididas en 210.9 horas de trabajo, 2.5 horas de mantenimiento preventivo y 23.1 de mantenimiento no programado; en donde se alcanza una disponibilidad del 89.72 %. Comparando los promedios de cada escenario se obtiene que este indicador mejora en 10.59%; adicionalmente, con el empleo de la estadística inferencial se valida esta afirmación con una significancia de 0.05. Por otro lado, la media de las horas operativas o MTBF incrementó de 183.5 a 222 horas y las horas de paradas para el mantenimiento o MTTR paso de 44.8 a 25.5 horas. Esta comparación es importante puesto que se ha podido incrementar la disponibilidad de volquetes, tal como en nuestra investigación los equipos, pero su cambio su mejora no logra niveles tan altos como el nuestro que alcanza el 98.9% en el escenario final, respecto al 89.7 % hallado en esta investigación.

Campos (2018) en su trabajo llamado *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad para incrementar la rentabilidad en la Empresa de Transporte Sayvan E.I.R.L*, para alcanzar el título profesional de Ingeniero Industrial por la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo; tuvo el objetivo principal de brindar una solución basada en la metodología RCM que permita incrementar la disponibilidad de los equipos y reducir los costos de mantenimiento, de esta forma aumentará la rentabilidad de la empresa. Para lograr esta finalidad fue necesario conocer la situación inicial de la empresa respecto a la confiabilidad de sus equipos, posterior a ello se procede a proponer un plan de mejora sustentado en el RCM, para posteriormente evaluar los cambios originados y determinar si la propuesta es rentable económicamente para la compañía. La investigación cuenta con una metodología de tipo cuantitativo y

aplicado, en tanto que los resultados se desarrollan mediante indicadores numéricos de la realidad; contó con un diseño cuasi experimental y con un nivel descriptivo. Las principales herramientas fueron la ficha de recolección de datos y la información sobre las fallas y tiempos de los equipos; además, la población y muestra corresponde a 7 volquetes.

Fue posible identificar el nivel de criticidad y confiabilidad de los equipos; en promedio se observa que durante el último periodo acontecieron un total de 1328 fallos y un total de 2967 horas de paradas; por otro lado, la confiabilidad total se calcula con 2600 horas de producción y una frecuencia de uso de 233 veces, lo que brinda un índice de confiabilidad de 11.16. El tiempo medio para reparaciones MTTR fue de 46.1 horas, lo que genera una disponibilidad de promedio de 41.7%. Con la implementación de las mejoras se considera un tiempo de trabajo de 2600 horas con un total de 783 horas para el mantenimiento, lo que determina un impacto en la disponibilidad que aumenta a 76.8%, es decir, un incremento del 35.2%. En el campo económico se obtiene un beneficio de S/ 52,623 soles que se genera por la diferencia del costo por falla (S/ 197,020) sobre el costo del mantenimiento preventivo (S/ 144,397) y una rentabilidad de 36.4%. Este trabajo es de gran utilidad puesto que se permite incrementar la disponibilidad al igual que generar un beneficio económico, comparándolo con nuestro trabajo, nuestra disponibilidad en volquetes es mayor, 98.9% sobre 76.9% y existe un beneficio económico de USD 3,577 dólares al mes.

Soto (2016) en su investigación denominada *Mantenimiento basado en la confiabilidad para el mejoramiento de la disponibilidad mecánica de los volquetes Faw en Gym S.A.*, para alcanzar el título profesional de Ingeniero Mecánico por la Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo; el principal objetivo fue desarrollar un plan de mantenimiento en base a la metodología RCM para mejorar la disponibilidad de los equipos, con ello se podrá aumentar la rentabilidad (por reducción de costos) en la mencionada institución. Para ello se requirió de analizar la situación inicial respecto a la cantidad de fallos que presentan los vehículos, luego se obtuvo la información crítica de los aspectos a mejorar; posteriormente, se realizó el análisis de criticidad donde se obtuvieron los criterios para implementar

la metodología y finalmente, el plan fue aplicado para hallar la mejora de indicadores. La investigación cuenta con una metodología de tipo aplicado y cuantitativo, de diseño experimental y de enfoque descriptivo. Las principales herramientas la ficha de recolección de datos sobre fallas y las plantillas o formatos.

El análisis RCM determino que los principales fallos que afectan la disponibilidad de los equipos fueron los cambios de focos y cableado deciente, lo que ocurrió 55 veces, las fallas en el alternador con 54 veces, el cambio de faros laterales (17) y el cambio de faja de motor (15); adicionalmente se encontró una disponibilidad del 90.1%. Luego de aplicar la mejora durante los 4 meses posteriores la disponibilidad fue en aumento, dado que fue 91.73% en el primer mes, 92% para el segundo, 92.09% para el tercero y finalmente, 92.27% en el último mes de análisis. En otras palabras, se obtuvo un cambio en la disponibilidad del 1.89%; la validación de la hipótesis mediante la estadística inferencial confirma, con una significancia de $0.00 < 0.05$ que el plan de mantenimiento basado en RCM incrementa la disponibilidad. En nuestra investigación también se trabaja con volquetes y en este caso se logra sustentar los cambios mediante el uso de la estadística inferencial, lo cual no se realizó en nuestra experiencia, lo que sí se pudo implementar al igual que este trabajo fue la instrucción hacia más operadores para que todos se involucren en el plan de mantenimiento.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad

2.2.1.1. Metodología RCM

De acuerdo con Campos et al. (2019) el mantenimiento centrado en la confiabilidad es una metodología que, mediante la mejora de las labores de manutención de equipos, busca mejorar el nivel de la operatividad del mismo; en este sentido, se utiliza la identificación de fallas y criticidad para disminuir los riesgos. Desde otra perspectiva, esta metodología instaure una nueva forma de pensar en el mantenimiento, pues no se centra en la ocurrencia de averías, sino que

desea brindar un soporte para que esta labor sea de ejecución secuencial así no se presenten fallas.

Según Parra y Crespo (2012) la metodología RCM surge a partir de la necesidad de entender y análisis los complejos sistemas que fueron desarrollándose en la ingeniería de producción en los últimos años. Ante los cambiantes contextos del funcionamiento de maquinarias y equipos era necesario contar con una metodología que brinde soluciones eficientes; ello involucra entonces reducir los tiempos de parada y las averías, dado que uno de los aspectos más importantes para las empresas es la producción en serie y de forma continua, detención significa pérdidas económicas importantes y clientes insatisfechos. El éxito de la metodología se basa en el buen conocimiento de los equipos basado en una recolección constante de datos sobre mantenimientos preventivos y otro tipo de inspecciones. Entre los elementos básicos que proporciona el RCM se encuentran las herramientas para el control de las fallas, procedimientos sistemáticos para alcanzar un óptimo mantenimiento, sistemas para el análisis de fallos, entre los principales.

Para Gonzales (2015) el mantenimiento centrado en la confiabilidad se implementa con la premisa de mejorar la productividad de los sistemas o equipos dentro de cualquier organización, para ello hace uso de una perspectiva distinta del mantenimiento dado que guarda un enfoque preventivo para anticiparse a los problemas que pueden ocurrir. En este sentido, se tienen claras algunas premisas importantes tales como:

- Evaluación estricta y supervisada de cada tipo de avería que pueda suceder, es decir, con la correcta documentación de los sistemas es posible obtener un resultado certero sobre la situación y tomar medidas adecuadas.
- Estudio de la situación en base a datos reales para definir una táctica con un sistema de auditoria que mantenga la mejora.
- Apoyo del personal con capacitación y conocimiento lo cual permite que las acciones sean mucho más eficientes en la solución de problemas.

- Mejora de la calidad de los servicios mediante la ininterrupción de la producción; adicionalmente se debe mantener una actitud proactiva en las actividades planificadas.

Adicionalmente, se plantea que no todo es positivo dentro de la metodología RCM, dado que, si bien es cierto que se pueden lograr mejoras y cambios significativos en el mantenimiento, también es posible notar que se requieren de requisitos o exigencias mínimas para su aplicación; para detallar más aun esta premisa se muestra un cuadro comparativo entre los puntos fuertes y débiles de esta metodología en la siguiente tabla:

Tabla 3

Fortalezas y debilidades del RCM

Puntos débiles	Puntos fuertes
Requiere de mucho conocimiento, en caso de sistemas nuevos puede generar complicaciones	Atención en la seguridad y cuidado del medio ambiente
Se requiere de un líder y el éxito de la propuesta se basa en su desempeño	Método auditable que aporta garantías dada su rigurosidad
Necesita predisposición al cambio de todo el personal	Involucra a todo el personal
Proceso lento	Evidencia todo tipo de fallas
Se debe conocer nuevas tecnologías	Incremento de la fiabilidad de los equipos
Es importante el trabajo en equipo	Brinda lineamientos para acciones de cambio
	Herramienta motivadora para la mejora continua

Fuente: Gonzales (2015)

Por otro lado, según Sinha y Mukhopadhyay (2015) el mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad inicia como solución dado los problemas de altos y crecientes costos de mantenimiento de equipos, baja disponibilidad y poca efectividad de los sistemas de mantenimiento existentes. En por ello que surge la idea de emplear toda la información sobre el tema y convocar a expertos en búsqueda de plantear una mejora en el sistema de producción; el primer paso fue identificar los requerimientos para cada unidad operativa, luego se optimización los

rendimientos y se evaluaron los alcances del planteamiento. Esta metodología también es conocida como RCM (por sus siglas en inglés) y se basa, fundamentalmente, en el análisis de las fallas y averías de carácter potencial que puede presentar un equipo o sistema de los mismos, en tanto que se pretende evitarlas de forma consecuyente.

Objetivos

Gonzales (2015) menciona que este tipo de metodología, mediante su aplicación continua en los sistemas de producción o equipos, tiene objetivos claramente señalados y que colaboran en los lineamientos para alcanzar la mejora continua. A continuación, se mencionan algunos de ellos.

- Estudio y planificación de las actividades de mantenimiento, ya sean de carácter correctivo o preventivo
- Planificación de las labores en el trabajo
- Se debe priorizar la asignación de carga mediante las ordenes de trabajo
- Emitir informes de manera continua para conocer la situación real de cada equipo con el mayor detalle posible
- Análisis secuencial para aplicar acciones correctivas
- Diseñar medidas de prevención para mejorar el sistema de producción.

Desde otra perspectiva, de acuerdo con Braglia et al. (2019) la aplicación de esta metodología tiene como objetivo principal mejorar las labores de mantenimiento en los equipos, ello es posible estableciendo un orden en las prioridades de atención a ciertos inconvenientes que puedan surgir. En este sentido, se precisa de un análisis de las fallas técnicas y funcionales de las maquinas donde se evalúe todo el proceso productivo que se sigue. Otro de sus objetivos es reducir las fallas para disminuir las averías lo que determina, en el mediano y largo plazo, un ahorro por la reducción de gastos en reparaciones o mantenimientos no programados; adicionalmente, esta metodología proporciona lineamientos para realizar un proceso articulado en los trabajos de mantenimiento.

Fases

Según Plaza (2009) para aplicar la metodología RCM se requiere de una fase previa que permita realizar un correcto análisis de la situación inicial que atraviesa la empresa. En primer lugar, se requiere de una esquematización o planificación de las actividades a realizar en búsqueda de una mejora en los equipos. Para ello se debe elegir a un líder que cuente con la experiencia necesaria para desarrollar mejoras, conozca a detalle el funcionamiento de los equipos y pueda realizar un correcto diagnóstico. En este punto también se pueden diseñar las políticas de la capacitación del personal operativo en la empresa, puesto que es necesario un nivel de tecnificación para lograr un mantenimiento adecuado. Otro punto a considerar dentro de la planificación es definir el contexto situacional de la empresa, conocer los indicadores iniciales de productividad o confiabilidad para partir hacia el análisis.

A partir de ello, se realiza el proceso de revisión en base a la metodología RCM, se diseña el programa de acción para cada equipo; aquí es importante realizar una clasificación entre aquellos que cuenten con características similares a fin de hacer simple el análisis posterior. El empleo de las hojas RCM es importante dado que permiten llevar de forma objetiva los puntos necesarios en cada paso de la evaluación. En el final de la fase previa se elaboran los equipos de trabajo para que de forma conjunta realicen las acciones del RCM, estos grupos deben estar conformados por un técnico en mantenimiento, un técnico en ingeniería, el guía experto, el técnico de la producción y operarios para el soporte de las acciones. Si bien es cierto que en muchos casos no se cuenta con tanto personal, es importante que se tenga a personas capacitadas para el sistema de mejora continua en los equipos.

2.2.1.2. Procedimiento para la puesta en marcha

Consideraciones del RCM para la puesta en marcha

En Plaza (2009) se menciona la puesta en marcha es un elemento central de la metodología RCM en búsqueda de lograr el planteamiento de acciones

preventivas para evitar los fallos y reducir sus riesgos; para ello se hace uso de 4 lineamientos que se detallan en la siguiente figura.

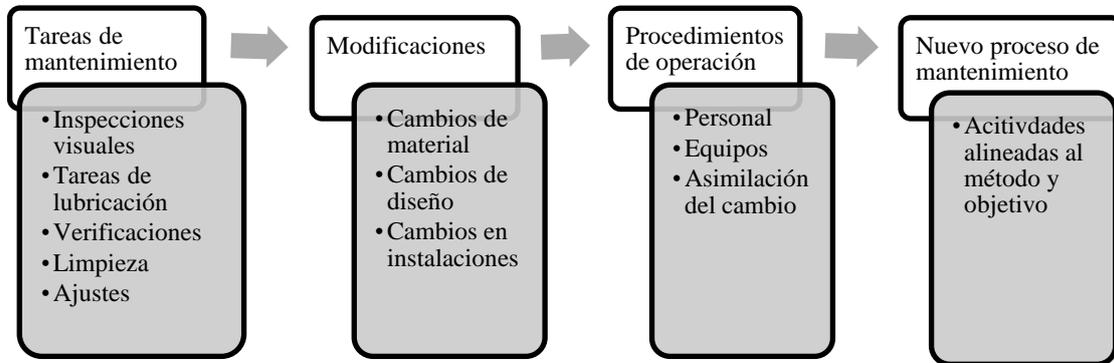


Figura 8 Fases del RCM

Fuente: Plaza (2009)

En la figura anterior dichas fases se basan en 4 enfoques claros; el primero de ellos es la mejora en las tareas de mantenimiento en base a inspecciones visuales, tareas de lubricación verificaciones, limpieza de las piezas y ajustes en todo el sistema. En segundo lugar se deben lograr modificaciones, es decir, cambios en los materiales de repuesto, cambio en el diseño o programa de mantenimiento y cambio en las instalaciones donde se realiza dicha actividad. En tercer lugar, a partir de los puntos anteriores, se espera una mejora en el procedimiento operacional que se basa en una capacitación del personal, incremento de la disponibilidad de equipos y una asimilación completa para el cambio. Finalmente, se obtiene un nuevo procedimiento en base al método propuesto.

Etapas importantes

Socconini (2019) manifiesta que la finalidad de estos sistemas es la creación de una cultura basada en la constante acción preventiva, es decir, se deben realizar las labores no solo desde un enfoque productivo, sino que también se deben evitar las detenciones o fallas que puedan afectar en gran manera a los equipos. Lograr una mentalidad de anticiparse a los problemas y evitarlos es necesario haber alcanzado la plenitud en otras etapas importantes tales como:

- Acciones de sostenimiento

Son aquellas labores que se realizan en la producción orientada a solucionar un problema específico que surge dentro del marco regular, en otras palabras, son todos aquellos actos comunes en el mantenimiento correctivo para mantener el sistema tal como funcione.

- Acciones de mejora

Este tipo de actividades busca incrementar la productividad y eficiencia del sistema mediante pequeños cambios en una etapa inicial al análisis del mantenimiento; aquí se desarrollan todos los planteamientos y propuestas necesarias.

Acciones correctivas

Ante la propuesta de mejora, se desarrollan actividades para disminuir la ocurrencia de fallas, minimizar sus riesgos y evitar las graves consecuencias que trae consigo la detención del sistema productivo

Acciones preventivas

Finalmente, al haber interiorizado las 3 fases anteriores, es posible plantear una política de acción preventiva constante que tiene como objetivo evitar la aparición de fallas, lo cual es posible anticipándose a ellos.

Elementos en la puesta en marcha

De acuerdo con Rojas (2017) un elemento central es el análisis de confiabilidad de los equipos para determinar un plan para la puesta en marcha, es decir, que tan dispuestos se encuentran para ejecutar las labores de producción; en este sentido, este enfoque desea maximizar el tiempo operativo de las máquinas. Este concepto hace referencia a el buen desarrollo y funcionamiento del equipo para ejecutar sus actividades, para ello se debe evaluar el tiempo que ha estado operando, las condiciones en que se realizan dichos trabajos y los elementos técnicos que posee el equipo. El mantenimiento centrado en el uso es un aspecto que no solo

involucra a las máquinas, sino a otros elementos que también se requieren en la producción, ellos se mencionan en la siguiente imagen.

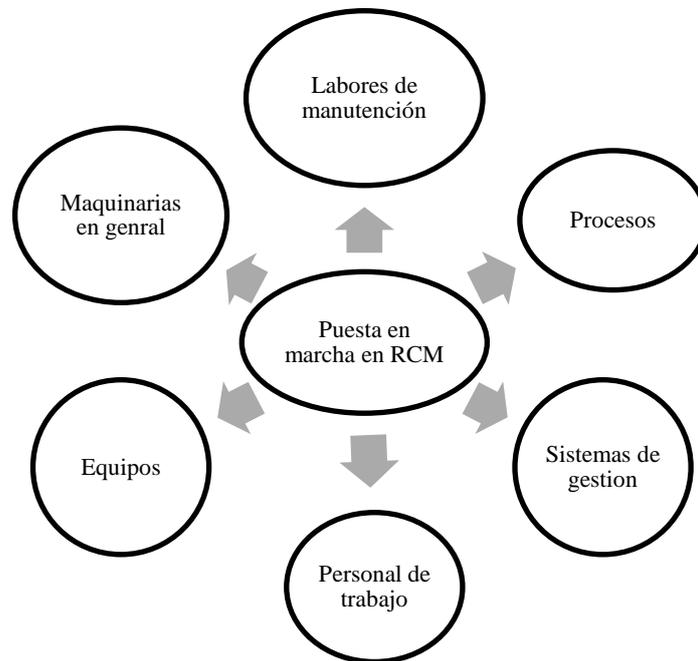


Figura 9 Elementos involucrados en la puesta en marcha

Fuente: Rojas (2017), elaboración propia

En la figura anterior se observa que este concepto involucra muchos aspectos, tales como los procesos de la producción, los trabajos de mantenimiento, los sistemas de gestión, el personal de trabajo involucrado en las labores y en general todos los equipos y maquinarias. Desde otra perspectiva, esta idea es fundamental en la metodología, dado que los encargados del proceso desean conservar la mayor disponibilidad de equipos para una mayor producción; ello conlleva a un análisis profundo de la efectividad del funcionamiento de los equipos y también a considerar labores complementarias, como el mantenimiento preventivo o correctivo, para este punto. En este sentido, los planes para la mejora de la confiabilidad se fundamentan en la resolución de problemas en base a planes de mantenimiento, lo cual es posible mediante la reducción de riesgos en las labores y el planteamiento de mecanismos de control. Finalmente, como parte del análisis de esta dimensión se presenta la fórmula para determinar los trabajos programados

Ecuación 1 Programa de mantenimiento basado en el uso

$$TP = N^{\circ} \text{ de trabajos programados}$$

2.2.1.3. Fallas funcionales

Definición de análisis modal de fallas (AMEF)

Diestra et al. (2017) precisan que el AMEF o análisis modal de fallas es una metodología de carácter sistemático que permite la identificación de ciertas fallas que podrían ocurrir de forma potencial en un determinado sistema o equipo de trabajo, los cuales, generalmente, son ocasionadas por fallas en el diseño de las actividades. Por otro lado, también se menciona que permite definir e identificar las características a nivel de diseño y operación que presenten puntos críticos y que además requieran una supervisión para la prevención de fallas. En este sentido, la metodología es una herramienta para controlar problemas antes que estos sucedan, dada la constante supervisión en la evaluación analítica y estandarizada de los problemas sistemáticos. Ante esta afirmación. Se puede sostener que se basa principios como el reconocimiento y evaluación de los modos de fallas, la determinación de los efectos de dichas fallas potenciales, la identificación de acciones para la prevención y reducción de problemas y finalmente, el análisis de la confiabilidad total del sistema o equipo que se evalúa. Para obtener el número de prioridad de riesgo (RPN) se emplea la siguiente formula:

Ecuación 2 Prioridad de riesgo AMEF

$$RPN = Severidad \times Ocurrencia \times Detección$$

Desde otra perspectiva, Socconini (2019) menciona que el sistema AMEF posee características especiales que lo diferencian de otras metodologías en la solución de problemas. En primer lugar, se detalla que posee un carácter preventivo dado que permite anticiparse a la aparición de fallos funcionales en el proceso, ello posibilita realizar acciones a modo de planificación para evitarlas. En segundo lugar, presenta una sistematización en tanto que es un enfoque estructurado, se estudian el sistema o equipo por secciones de forma ordenada para comprender el proceso que se sigue y determinar el mejor camino en búsqueda de una solución. En tercer lugar, es útil como una guía de priorización de medidas necesarias para actuar de forma previa a los problemas, considerando de forma crítica los efectos

que se puedan ocasionar; adicionalmente, permite la identificación de problemas específicos. Por último, es relevante mencionar que se requiere de una importante participación del trabajo en equipo para poner en marcha esta metodología, además de que se debe contar con un alto nivel de conocimiento sobre las áreas afectadas.

Proceso de implementación AMEF

Gupta y Sri (2016) menciona que para el proceso de implementación AMEF se deben seguir algunos pasos clave para implementar la metodología AMEF en un área de trabajo; en este sentido, mediante la siguiente tabla se explica de forma ilustrativa dicho procedimiento.

Tabla 4

Pasos de AMEF

Paso	Definición	Explicación
Paso 1	Selección de equipo de trabajo	Compuesto por trabajadores con experiencia en el rubro y con conocimientos de la metodología AMEF
Paso 2	Establecer límites y objetivos	Se definirán los lineamientos para actuar y los resultados esperados a alcanzar
Paso 3	Aclarar funciones del producto	Se expresan los lineamientos de forma clara y precisa para tener un conocimiento exacto de la situación
Paso 4	Determinar los modos potenciales de fallo	Se identifican las fallas existentes y las posibles causas que puedan haberla originado
Paso 5	Establecer efectos potenciales de fallos	En este punto se desea conocer las consecuencias que traen las fallas que puedan ocurrir
Pas 6	Determinar las fallas potenciales	Se recomienda el uso de diagramas de causa y efecto para determinar relaciones de causalidad
Paso 7	Identificar sistemas de control	Se establecen controles diseñados para prevenir los fallos de forma directa o indirecta
Paso 8	Índices de evaluación	Se evalúa el índice de gravedad, ocurrencia y detección en los sistemas o equipos
Paso 9	Cálculo de cada modo potencial	Empleo de ecuaciones con los índices hallados en el paso anterior
Paso 10	Proponer acciones de mejora	Con los resultados y el conocimiento del caso es posible plantear acciones que permitan mejorar la situación actual
Paso 11	Revisar AMEF	Como parte de la mejora continua se revisa de forma periódica para volver a evaluar los índices

Fuente: Gupta y Sri (2016), elaboración propia

En la tabla anterior se observan los pasos a seguir para desarrollar el proceso AMEF dentro de un sistema. En primer lugar se debe seleccionar el equipo de trabajo, el cual debe estar conformado por trabajadores de amplia experiencia como

líderes, dado que ellos conocen a detalle en funcionamiento de los equipos. En segundo lugar, es necesario establecer límites y objetivos para tener claro cuáles serán los resultados esperados; a partir de ellos se aclaran las funciones de equipo a evaluar, puede ser útil la revisión de manuales de fábrica para conocer a profundidad las características de la maquinaria.

El cuarto paso está relacionado a la determinación de modos potenciales de fallo, o que incluye la identificación de la situación inicial y las posibles consecuencias que estas pueden generar; a continuación, se realiza el análisis de los efectos potenciales de fallo para determinar las fallas más críticas en el sector. De forma conjunta, al haber hallado los tres indicadores anteriores, será posible determinar la prioridad del riesgo, es decir establecer cuáles son las motivantes más importantes y actuar sobre ellas. Los últimos pasos están relacionados a la propuesta de acciones para la mejora y la revisión continua del sistema AMEF.

Objetivos del AMEF

Vallencillos (2017) manifiesta que la aplicación de esta metodología tiene como base el alcance de ciertos objetivos que traen importantes beneficios para el sistema en donde se aplique, es por ello que se debe ser cuidadoso en su implementación. Para detallar algunos de dichos objetivos se muestra la siguiente figura.

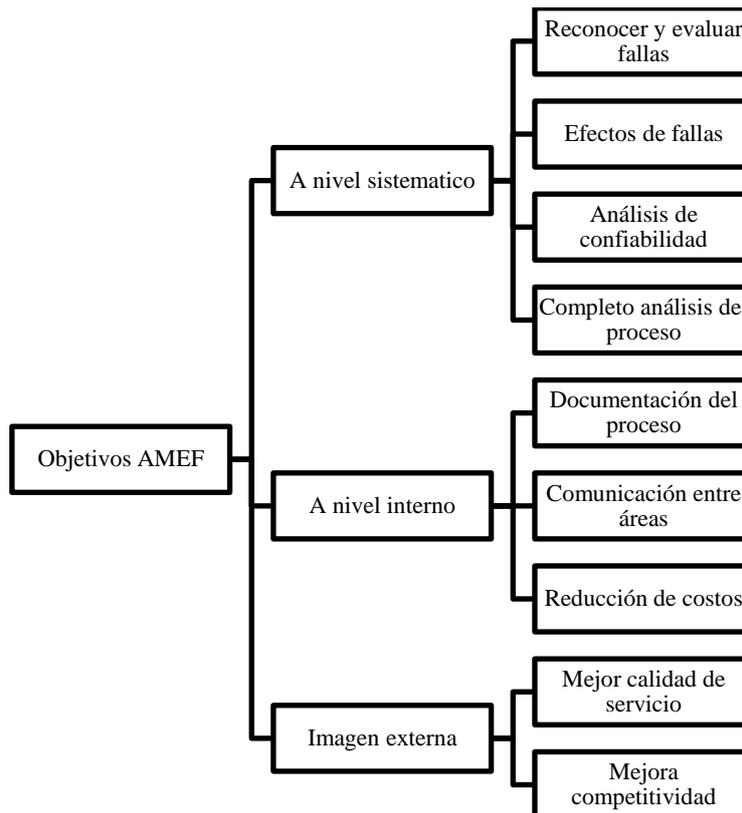


Figura 10 Objetivos y beneficios de AMEF

Fuente: Vallencillos (2017), elaboración propia

En la figura anterior se observan algunos de los objetivos de la aplicación de la metodología AMEF de acuerdo a tres niveles de identificación, los objetivos y beneficios de carácter sistemático, de carácter interno y de imagen externa. En primer lugar, se observa que permite reconocer y evaluar las fallas que se originan en el proceso interno, luego reduce los efectos de las fallas al poder identificarlas de forma previa, mejora el análisis de la confiabilidad y finalmente, permite un completo análisis del proceso. En segundo lugar, se muestran algunos objetivos de nivel interno tales como la mejor documentación del proceso operativo, la mayor comunicación en las áreas dado el trabajo en equipo y la importante reducción de costos por el menor gasto en reparación. Por último, a nivel de imagen externa permite evidenciar una óptima calidad del servicio por el buen proceso operativo y esto evidentemente incrementa la competitividad de la empresa en el mercado.

2.2.1.4. Medidas preventivas para aumentar la disponibilidad

Mantenimiento RCM

Aguilera (2011) señala que el empleo de la metodología RCM en distintos tipos de procesos productivos ha llevado consigo la creación de nuevas vertientes para este enfoque, es decir, a través de la especialización del mantenimiento preventivo, se han generado nuevas metodologías con pasos mucho más específicos para generar mejoras. Es por ello que se sostiene que la metodología RCM es una pieza fundamental y relativamente joven que permite lograr mejoras en la confiabilidad de los equipos en base a la concentración de esfuerzos y la creación de nuevas estrategias de acuerdo a las características del sistema. Debido al gran crecimiento de la participación de las maquinarias y equipos en el sistema de producción, lo que sumado a la necesidad de reducir los costos de reparación y mantenimiento, han logrado que el RCM se posicione como uno de los elementos de mayor interés en los sectores de la ingeniería.

Fases de las medidas preventivas

Cárcel (2016) al respecto precisa que luego de su aparición en 1978, esta técnica se ha ido perfeccionando, pero aún mantiene aspectos clave o fases sobre el proceso que propone de forma clara y precisa; para explicar este último punto se muestra la siguiente imagen:

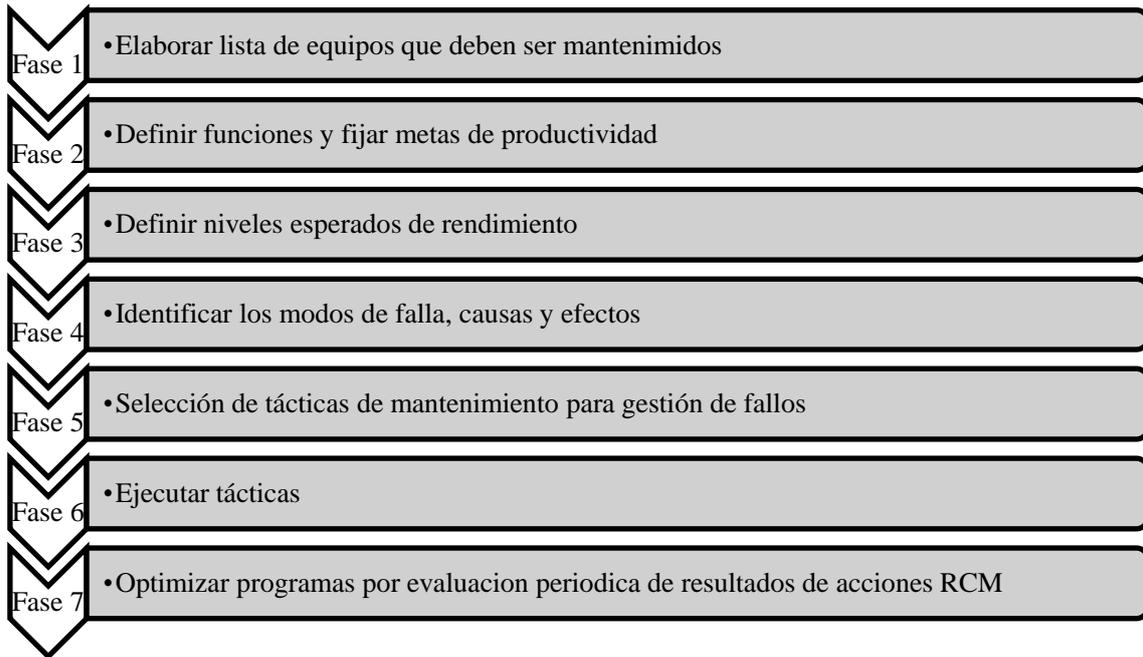


Figura 11 Fases RCM

Fuente: Cárcel (2016)

Como se observa en la figura anterior, existen 7 fases o etapas en la aplicación de la metodología RCM para mejorar el mantenimiento de equipo, las cuales se detallan a continuación

- En primer término, se requiere identificar los equipos que deben pasar por mantenimiento de acuerdo al nivel de fallas que presente, en este punto se evalúan las funcionalidades del equipo para poder describirlo en un periodo acotado del tiempo, lo que determina un lineamiento para el control esperado.

- En segundo lugar, se requiere caracterizar los fallos más comunes que presenta el equipo y definir las funciones principales que se deben mantener luego de la intervención, además de indicar las medidas de productividad a alcanzar.

- Posterior a ello, en la tercera fase, se recomienda determinar los niveles esperados de rendimiento, lo cual refleja la calidad del servicio de mantenimiento. Este punto es vital para el planteamiento de labores preventivas y correctivas programadas.

- En cuarto lugar, como parte del análisis, se identifican las probables fallas para describir sus efectos y consecuencias, es decir, se realiza el análisis de criticidad
- A continuación, en el quinto paso, se seleccionan las tácticas de mantenimiento para la gestión, lo que permitirá mejorar el rendimiento de los equipos.
- En la sexta fase se aplican estas técnicas en el mantenimiento y se recoge la información de los cambios.
- Finalmente, en el séptimo paso, se optimizan los procedimientos a través de evaluaciones periódicas que han surgido a través de las acciones RCM.

Hojas de decisión

Parra y Crespo (2012) manifiestan que esta es una herramienta vital dentro del proceso de implementación de la metodología del mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad puesto que permite elegir de manera correcta la labor de mantenimiento más adecuada de acuerdo al análisis de los modos de fallas, lo cual permite prevenirlas. En este sentido, este formato es empleado para el registro de la información a través de respuestas en el diagrama de decisión RCM, en tanto que debe ser llenado de forma cuidadosa en la rutina del mantenimiento al momento de su ejecución por el encargado. Para graficar este formato se muestra el siguiente ejemplo.

Ecuación 3 Decisiones basadas en la confiabilidad

$$HD = N^{\circ} \text{ de hojas de decisión RCM}$$

Disponibilidad de maquina

2.2.1.5. Disponibilidad

Rey (2001) precisa que la disponibilidad es la posibilidad que un equipo pueda funcionar de forma correcta e ininterrumpida en la producción, lo cual es necesario para abastecer la demanda y satisfacer a los consumidores. Desde otra perspectiva, es la relación que existe entre el buen funcionamiento del sistema, expresado en el tiempo medio para fallar y el tiempo para su reparación; estos dos conceptos muestran el tiempo en el cual el equipo no se encuentra participando en la producción. La relación que existe entre estos dos conceptos es inversamente proporcional; en otras palabras, para una mejora de la disponibilidad de los equipos el tiempo medio entre fallas debe ser el más amplio posible, ello expresa que el equipo no se detiene de forma relevante; en tanto que el tiempo medio para reparar se espera que sea en menor posible puesto que expresa la ausencia de la maquina en la producción. Para mejorar los indicadores de tiempo medio entre fallas y tiempo medio para reparaciones se presentan los siguientes lineamientos:

- Diseño adecuado del plan de mantenimiento
- Herramientas de ayuda para el diagnóstico.
- Utensilios adecuados para el mantenimiento
- Documentación a detalle
- Capacitación del personal

Para García (2016) la disponibilidad es una magnitud de carácter estadístico que explica la probabilidad de que un determinado sistema o equipo se encuentre en las mejores condiciones para realizar sus actividades en cualquier momento. En otras palabras, evalúa la posibilidad que existe un óptimo funcionamiento en un determinado instante, lo cual permite que se realicen los trabajos y la producción no se detenga. De forma complementaria, es posible mencionar que existen algunos

factores que influyen sobre la disponibilidad de los equipos y para ello se presenta la siguiente figura.

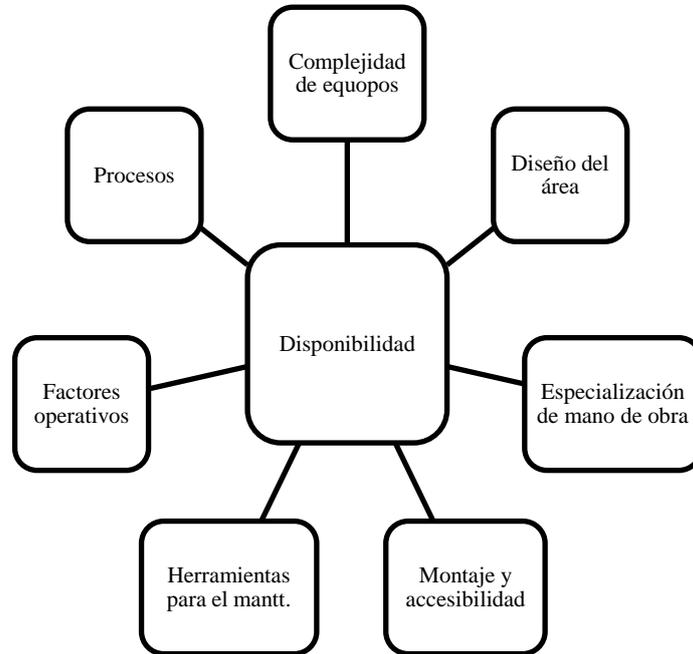


Figura 12 Factores para la disponibilidad

Fuente: Rey (2001), elaboración propia

En la figura anterior se muestran algunos de los factores que influyen sobre la disponibilidad de los equipos. En primer término, es posible comentar que un elemento importante es la complejidad de la máquina o sistema de producción dado que algunos requieren de un alto nivel de tecnificación para poder ser entendidos, incluso existen cursos completos para aprender a utilizar cierta clase de equipos. Por otro lado, se menciona al diseño del área como un elemento influyente dado que es parte del contexto exterior del equipo, también es importante la especialización de la mano de obra para realizar la operatividad adecuada; entre otros como las herramientas para el mantenimiento y la dificultad del proceso. Para conocer la magnitud de la disponibilidad se emplea una relación matemática la cual se muestra a continuación.

Ecuación 4: Disponibilidad

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Donde:

MTBF: Tiempo promedio para fallar

MTTR: Tiempo promedio para reparar

En la ecuación anterior se muestra la relación que existe entre el tiempo medio para fallas y para reparaciones en la determinación de un valor para la disponibilidad de los equipos. Se da como resultado un parámetro que proporciona la idea del tiempo en el cual el equipo se encuentra en óptimas condiciones para sus labores. Desde otra perspectiva, es posible notar que los valores que explican dicha ecuación son los parámetros del tiempo en el cual la maquina o sistema se encuentra detenido, ya sea por una falla o trabajo de mantenimiento; esto da una idea del tiempo complementario que queda para sus labores.

Para Cárcel (2014) lograr una mejora en la disponibilidad de equipos se requiere de ciertas acciones claves tales como:

- Evaluación de la capacidad operacional y técnica de los equipos para seleccionar y diseñar actividades efectivas en las condiciones iniciales
- Identificación de los elementos más influyentes dentro del sistema de producción, se debe reducir al mínimo toda situación que no permita alcanzar el mejor desempeño
 - Propuesta de acciones eficientes orientadas hacia un objetivo
 - Uso de tecnología para las actividades de diagnóstico, detección de fallos, verificación y supervisión del sistema
 - Control del buen cumplimiento de la estrategia desarrollada por parte de todo el personal involucrado en el mantenimiento.
 - Realizar acciones de mejora
 - Integración de todas las actividades en un sistema preventivo que permita optimizar el ciclo de vida de los equipos con la producción necesaria

2.2.1.6. Tiempo promedio para reparar (MTTR)

Para Morales (2013) este indicador señala el tiempo promedio que se toma para poder reparar un equipo o sistema ante la aparición de una avería o falla; el uso de las siglas MTTR proviene del origen inglés de este indicador como *medium time to repair*. Su hallazgo es posible mediante la división del tiempo promedio de los fallos de un sistema o equipo entre el total de las ocurrencias evidenciadas.

Lomte, et al. (2018) manifiestan que para evaluar los fallos y averías de una equipo o sistema existen varios KPI o indicadores clave de rendimiento; uno de ellos es el tiempo promedio para reparar o MTTR que puede ser empleado para realizar un seguimiento mediante el análisis de la descomposición repetida, con herramientas de análisis de causa-raíz, entre otros; es decir, el análisis de por qué, el problema principal de las piezas de falla de la máquina ayuda a identificar coherente y soluciones sostenibles. Mediante su aplicación se proporciona un enfoque estructurado y basado en hechos para la identificación y corrección de problemas mediante una solución permanente y el uso de los tipos de fallas. El concepto de optimización se basa en la noción de que la confiabilidad de la máquina puede obtener si los operadores realizan una lista de verificación de mantenimiento preventivo diario, lista de verificación de lubricación y también ayuda a mejorar la disponibilidad de la máquina. Para una mejor explicación se muestra la siguiente formula:

Ecuación 5 Tiempo medio entre reparaciones

$$MTTR = \frac{\sum \text{Horas de mantenimiento correctivo}}{N^{\circ} \text{ Fallas}}$$

Desde otra perspectiva, en Wakiru et al. (2018) muchas veces los sistemas de producción experimentan pérdidas significativas debido a fallas, actividades de mantenimiento, retrasos prolongados en el tiempo de entrega, entre otros. El caso de las fallas imprevistas podría ocasionar interrupciones significativas; en este sentido, se requiere que duren el menor tiempo posible, es por ello que se realizan estudios y modelos sobre la disponibilidad y el tiempo de mantenimiento. La

actividad de reutilización también produce un mejor tiempo medio de recuperación (MTTR), mientras que la reparación tiene el más alto entre las estrategias de recuperación evaluadas. Se agrega un valor al desarrollar un marco, aplicando además un enfoque de modelado de simulación para evaluar los efectos de las estrategias de mantenimiento en la disponibilidad de la planta.

2.2.1.7. Tiempo promedio para fallar (MTBF)

De acuerdo con Caballero y Clavero (2016) este indicador proporciona la medición del tiempo promedio para las fallas que ocurren en los equipos, es decir, mide el tiempo aproximado en el cual una máquina funcione sin errores. Su cálculo es posible dividiendo el total de horas de operación del equipo respecto al número de fallos ocurridos, para graficar esta explicación se presenta la siguiente fórmula.

Ecuación 6 Tiempo medio entre fallas

$$MTBF = \frac{\sum \text{Horas total de operación}}{N^{\circ} \text{ Fallos}}$$

Según Moreira, Silva, Correira, Pereira, Ferreira y Almeida (2018) el tiempo medio para fallar influye sobre la competitividad que ha sido el factor clave para la supervivencia de las empresas., en tanto que se forzó el reajuste total de los procesos y operaciones que, en algunos casos, dieron origen a cambios profundos. Además, las preocupaciones y las consiguientes limitaciones ambientales han comenzado a aumentar; ante ello se debe promover un aumento de la productividad del sistema productivo. En este sentido, se busca el aumento del tiempo medio entre fallos (MTBF) y reduciendo el tiempo medio de reparación (MTTR) en relación con el equipo, lo cual significará la reducción de los costos y la mayoría de los problemas durante el proceso de producción.

2.2.1.8. Diagrama de Pareto

Según Betancourt (2016) la definición y fundamento de la gráfica de Pareto se enfoca para organizar y cuantificar a través de valores las causas que originan el problema al que se debe dar solución; en este sentido, prioriza aquellos que son más

importantes para generar un alto impacto en la solución. Ello fue posible, a través de un riguroso estudio realizado por Wilfredo Pareto donde se determina que el 80% de las consecuencias de un fenómeno, es causado por el 20% de las causas, gracias a dicho análisis se puede generar una notación grafica realizada por un diagrama de barras, donde concentra las causas en orden descendente las que permite identificar cual es el cruce con la línea del 80% que genera los problemas y concentrar nuestros esfuerzos en su solución.

En nuestro caso, se tomará como referencia el Diagrama de Pareto como una de las 7 herramientas de la calidad que nos permitirá llevar a cabo los siguientes procesos:

- La mejora continua.
- Evidenciar y registrar los cambios un (antes y después)
- Analizar y priorizar los problemas.

A partir de ello, se debe tomar en cuenta.

- ¿Qué es lo que se requiere realizar?
- ¿Situación o fenómeno para el análisis?
- ¿Cuáles son los factores por analizar?

Ello será posible a través de los siguientes procedimientos

- La recolección de los datos en función a las causas
- Ordenar la información de mayor a menor

Finalmente, con toda esta información se podrá calcular el acumulado, porcentaje y porcentaje acumulado donde.

- X = Causas
- Y = Acumulado
- $Y^?$ = Porcentaje acumulado.

2.2.1.9. Limitaciones que se presentaron en el desarrollo del trabajo de suficiencia profesional.

- Falta de accesibilidad de la información por parte de la compañía específica sobre el tema de investigación, lo que llevó a dirigir una carta oficial al gerente general o representante hasta la obtención del permiso.
- Contar con toda la flota de vehículos de los clientes para un análisis integral, motivo por el cual se escogió a un solo cliente de mayor relevancia en la cartera de clientes de la empresa.
- Reducida disponibilidad de tiempo por exceso en la carga de trabajo operativo diario por parte del investigador, que implicó realizar horas adicionales fuera del horario laboral establecido para la recolección de datos sobre disponibilidad.
- Se superaron estas limitaciones, recolectando todo el material de fuentes primarias y secundarias, tales como: fuentes bibliográficas, tesis, artículos indexados, revistas y libros especializados sobre la materia de estudio.

2.3. Definición de términos básicos

Avería: se comprende como el estado de una máquina que se caracteriza por presentar incapacidad para desempeñar su función. (Zegarra, 2016, pg. 32)

AMEF: es un registro sistemático y disciplinado de observaciones con el objeto de identificar y evaluar las fallas potenciales de un producto o proceso. (Montalban, Arenas, Talavera, & Magaña, 2015, pg.231)

MTTR: es un indicador que muestra el tiempo promedio que tardan las reparaciones de las máquinas. (Zegarra, 2016, pg. 31)

MTBF: es un indicador que engloba las todas las paradas del sistema o equipo, en tanto que es la sumatoria no diferenciada entre las paralizaciones correctivas o preventivas (Garcia, 2016, pg.55)

Acciones de mejora: son todas las acciones empleadas para lograr la calidad total y el funcionamiento adecuado con eficiencia y eficacia. (Proaño, Gisbert, & Pérez, 2017, pg.52)

Disponibilidad: hace referencia a la relación entre las horas trabajadas y las horas que se emplean para la reparación. (Zegarra, 2016, pg. 31)

Camión: es un vehículo motorizado empleado para el transporte de productos y mercancías. (Perú Construye, 2018, pg.2)

Falla: se comprende como el fin de la capacidad de desempeño de función que posee una máquina. (Zegarra, 2016, pg. 32)

RCM: es un tipo de mantenimiento que busca lograr la confiabilidad de los equipos. (Barreda, 2015, pg.18)

Hoja de decisión RCM: es aquella que se emplea para evaluar las consecuencias de las averías y las tareas de mantenimiento. (Barreda, 2015, pg. 25)

Confiabilidad: es la probabilidad de que no suceda una falla de los componentes en un determinado tiempo. (Zegarra, 2016, pg. 33)

Mantenimiento: es la actividad que busca generar las mejores condiciones para el funcionamiento de los equipos, indagando los posibles problemas que pueden generar fallas. (Barreda, 2015, pg.12)

Mantenimiento preventivo: su principal objetivo es prevenir la falla de los equipos, a través de la sustitución de piezas de modo periódico. (Barreda, 2015, pg.14)

Mantenimiento correctivo: este tipo de mantenimiento busca el problema que a originado la falla. (Barreda, 2015, pg.13)

NPR (Severidad, ocurrencia, detención): es un indicador empleado para priorizar las diferentes actividades de corrección, prevención y de mejora. (Claro, 2017, pg.23)

Desperdicio: Son los excesos que afectan negativamente a la productividad en el transcurso de las operaciones, es decir, incluyen un costo alto pero no generan beneficios claros y deben ser eliminados o minimizados. (Socconini, 2019, pg.23)

Productividad: Es el alcance de resultados tangibles en base a una mejora de los sistemas con la menor utilización de recursos en búsqueda de la competitividad. (Socconini, 2019, pg.27)

Volquete: Es un vehículo empleado para la construcción con características para el movimiento de tierra y acero, posee una tolva que le permite realizar las descargas. (Perú Construye, 2018, pg.2)

Lean: Se puede definir como el proceso continuo y sistemático de identificación y eliminación de desperdicios o excesos que no agregan valor para lograr un mejor desempeño de las actividades (Socconini, 2019, pg.20)

CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

3.0.- Experiencia Profesional

Experiencia académica

Mi experiencia académica tiene como inicio en el Instituto Cecitel, programa de telecomunicaciones y redes de planta externa y telefonía en el año 1992, en el cual, la formación teórica practico recibida por docentes egresados principalmente de la UNI. En el mismo año paso a formar parte de la Armada Peruana es la Escuela Básica de Radio Comunicaciones ENZO y poner en práctica a corto plazo lo aprendido, desempeñándome como operador de radio comunicaciones y técnico de planta externa en la base naval del Callao. (1993-1995).

Experiencia de campo

Después de este proceso de formación, asumí nuevos retos en la empresa Graña y Montero, desde el año 1995 como asistente electricista y de instalaciones de campamentos, pasando por varias de sus divisiones como Graña y Montero electromecánica, desempeñándome como montajista de equipos de transmisión y transformadores, operario en sistemas de mallas y puestas a tierra en proyectos como Lt. Mantaro Socabaya y proyecto minero Antamina (2000-2002).

Con la experiencia en campo a partir del (2002- 2005) la empresa Graña y Montero en su división GMI , me da oportunidad de participar en proyectos de construcción y carreteras como técnico de grupos electrógenos y operario de mantenimiento de zarandas, planta chancadoras y fajas transportadoras para los proyectos, como la construcción del Puente colgante oleo ducto nor peruano, tramo km 400, construcción de la carretera Imperial, Izcuchaca en el departamento de Huancavelica y el proyecto gas de camisea en la planta Malvinas departamento del cuzco provincia de Echarate, y la construcción del túnel Pillones para la empresa Cerro Verde y otros proyectos más a nivel nacional.

Experiencia Internacional

España-Toledo (2008-2009) , Con la experiencia de haber laborado en proyectos de construcción y minería en cargos de confianza en Perú , dando soporte a equipos eléctricos, la empresa Vca Transform Europa , me da la oportunidad de laborar como técnico en electro Hidráulica en su planta de montaje de grúas móviles con mando a distancia, en la ciudad de Toledo, en la cual recibo una capacitación muy profesional en sistemas electro hidráulicos y montaje de componentes de mando para la marca DAF, Iveco Traker ,y grúas Palfinger .

República Dominicana (2009-2011) Graña y Montero en su proyecto construcción de la mina Pueblo Viejo K124 Cotuí, nuevamente me convoca para asumir un nuevo reto, como técnico supervisor de campo, a cargo y responsable de la parte del mantenimiento predictivo y de reparaciones de sus equipos de soporte a la construcción del proyecto, tal como cargadores frontales ,excavadoras Caterpillar, volquetes de carreo para la eliminación de materiales y cisternas para el traslado de combustible para los equipos de campo.

Experiencia en montaje de equipos de izaje

Graña y Montero (2011-2012) División equipos de Izaje, en un proceso de capacitación y selección de personal, me convoca como supervisor electricista de mantenimiento para sus grúas móviles Pecco, Terex, Liebherr, poniendo en práctica los conocimientos adquiridos en España , para organizar y apoyar las labores y tareas del mantenimiento predictivo y de pre- montaje de estos equipos en su taller de la central de equipos ubicada en Villa el Salvador .

Experiencia en gestión y ventas de servicios.

Sinomaq (2012-2016) En esta empresa me desempeñé como ejecutivo de ventas y servicios en el área de repuestos, dando servicio de asesoramiento en la selección de sus requerimientos, a los principales clientes dedicados a la

construcción y minería tales como Iccgsa ingenieros , Incot constructora, Graña y montero sa.

M&O Soluciones en Ingeniería sac. (2016 -2020) Actualmente presto mis servicios en esta empresa, dedicada a la venta de repuestos para maquinaria de procedencia China, igualmente enfocado principalmente a las reparaciones de equipos y maquinaria amarilla para el sector de transporte, construcción y minería.

Cursos y capacitaciones

Tecsup (2005) Electricidad y electrónica del vehículo.

Ferreyros Cat (2006) Operación y mantenimiento de grupos electrógenos.

Vca Transform Europa (2008) Instalación de mandos hidráulicos en cabina.

Fluor & Barrick Dominicana (2009) Prevención de riesgos y cuidado ambiental

APP (Asociación peruana automotriz) 2014 Técnicas de venta y ofrecimiento comercial.



Figura 13 Experiencia de campo

Fuente (informe trabajo Republica Dominicana, 2009, Trujillo Perú 2019- Anexo 5)

3.1. Análisis de la situación inicial

En el análisis de la situación inicial, se ha desarrollado una evaluación de los factores referidos a la disponibilidad de los vehículos, en tanto que es parte esencial dentro de las labores de mantenimiento en el taller y se desea brindar un servicio para el correcto funcionamiento de los volquetes. Con el apoyo de la dirección se pudo realizar un control del estado inicial de los indicadores de la

disponibilidad, lo cual incluye el tiempo medio entre fallas y el tiempo medio para las reparaciones; el detalle de cada uno se muestra en las siguientes líneas.

Tiempo medio entre fallas (MTBF)

En primer lugar, se evalúa el desempeño del tiempo medio entre fallas durante los primeros 6 meses de estudio, ello involucra el escenario previo a la mejora; el detalle de las cifras respecto a las horas de reparación y el número de fallas se presenta en la tabla a continuación.

Tabla 6

Evolución del tiempo medio entre fallas (MTBF)

Mes	Horas de operación	N° Fallas	MTBF
Mes 1	761	10	76.10
Mes 2	742	13	57.08
Mes 3	759	13	58.38
Mes 4	762	10	76.20
Mes 5	757	11	68.82
Mes 6	756	8	94.50

Elaboración propia

En la tabla anterior se observa que durante 6 meses de evaluación el indicador del tiempo medio entre fallas tuvo un desempeño irregular a lo largo del tiempo, es decir, no se observa que se haya mantenido constante dado que en algunos meses sube y otros baja. En el primer mes se logra un total de horas de operación de 761 con 10 fallas, lo arroja un MTBF de 76.10; en el siguiente periodo de análisis se obtienen 742 horas de operación, un número mayor de fallas, a saber, 13, y un MTBF de 57.08; finalmente, en el último mes de evaluación del escenario previo se alcanza un indicador del tiempo medio entre fallas de 94.50. Para evaluar el escenario completo se presenta la siguiente figura.

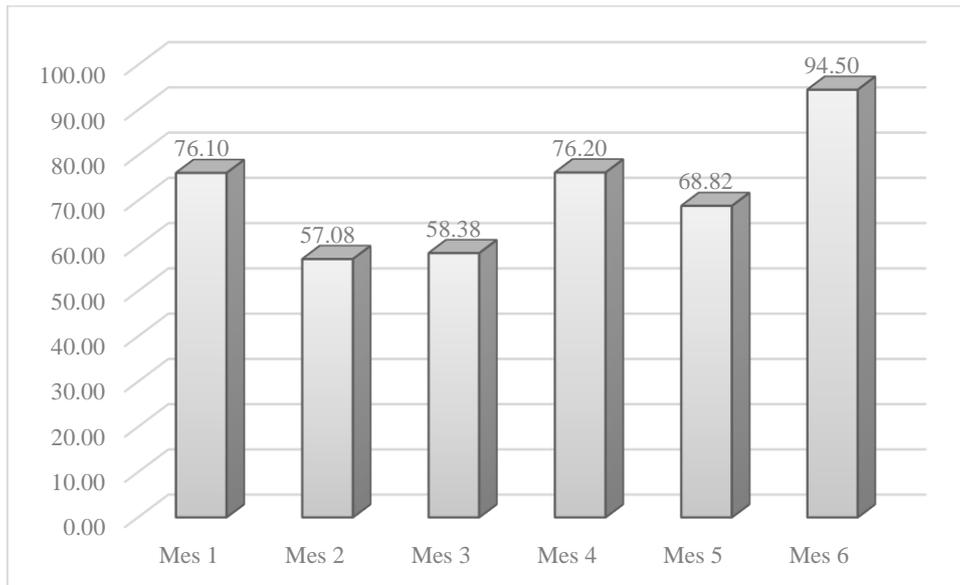


Figura 14 Evolución del tiempo medio entre fallas (MTBF)

Elaboración propia

En la figura anterior es posible notar el desempeño irregular del tiempo medio entre fallas, el cual debe aumentar mucho más que lo mostrado dentro de estos periodos de análisis. Como se observa, el indicador pasa del 76.10 en el primer mes a 57.08 en el segundo, obtiene una cifra similar en el tercer mes (58.38), mejora para el cuarto mes a 76.20 para disminuir nuevamente en el quinto mes a 68.82 y finalmente, alcanza el valor de 94.50 en el sexto mes.

Tiempo medio para reparaciones (MTTR)

Otro aspecto fundamental para el correcto funcionamiento de los vehículos es el tiempo medio para reparaciones, es decir, el periodo que dura las correcciones y mantenimiento de cada vehículo en el taller; a partir de ello, se podrá notar que mientras el volquete se encuentre en reparaciones no estará disponible para el trabajo dentro de la planta. El análisis del desempeño de este indicador se muestra a través de la siguiente tabla:

Tabla 7

Evolución del tiempo medio para reparaciones (MTTR)

MTTR			
	Horas de mantenimiento Correctivo	Nº Fallas	MTTR
Mes 1	39	10	3.90
Mes 2	58	13	4.46
Mes 3	41	13	3.15
Mes 4	38	10	3.80
Mes 5	43	11	3.91
Mes 6	44	8	5.50

Elaboración propia

En la tabla anterior se observa que durante 6 meses de evaluación el indicador del tiempo medio para reparaciones tuvo un desempeño irregular, en otras palabras, no se observa que se haya mantenido constante dado que en algunos meses sube y otros baja. En el primer mes se logra un total de horas de mantenimiento correctivo de 39 con 10 fallas, lo arroja un MTTR de 3.9; en el siguiente periodo de análisis se obtienen 758 horas de mantenimiento de carácter correctivo, un número mayor de fallas, a saber, 13, y un MTTR de 4.46; finalmente, en el último mes de evaluación del escenario previo se alcanza un indicador del tiempo medio reparaciones de 5.50. De una forma más didáctica se presenta la siguiente figura con el escenario de los 6 meses.

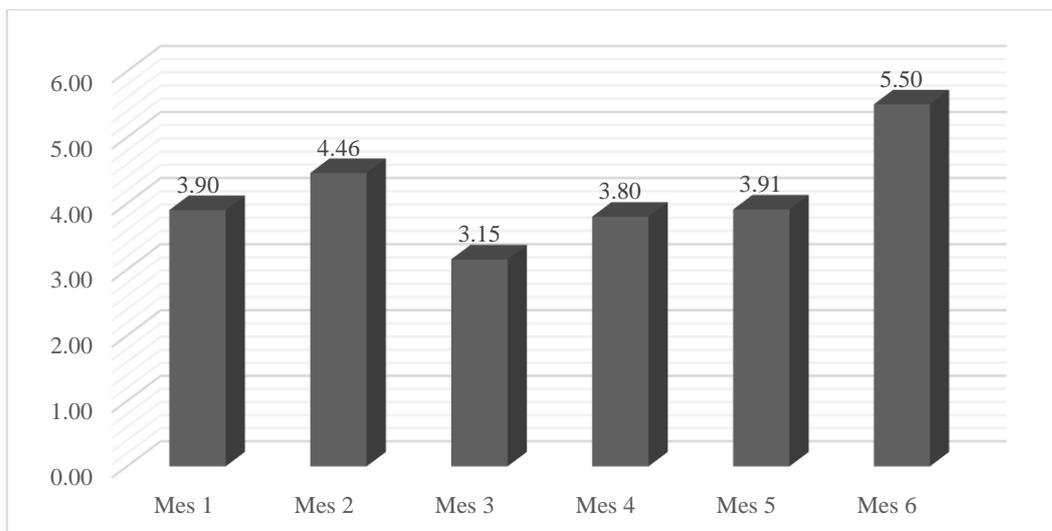


Figura 15 Evolución del tiempo medio para reparaciones (MTTR)

Elaboración propia

En la figura anterior es posible notar el desempeño irregular del tiempo medio para reparaciones, el cual debe disminuir mucho más que lo mostrado dentro de estos periodos de análisis. Como se observa, el indicador pasa del 3.90 en el primer mes a 4.46 en el segundo, obtiene una cifra menor en el tercer mes (3.15), aumenta para el cuarto mes a 3.80 para aumentar nuevamente en el quinto mes a 3.91 y finalmente, alcanza el valor de 5.50 en el sexto mes.

Disponibilidad

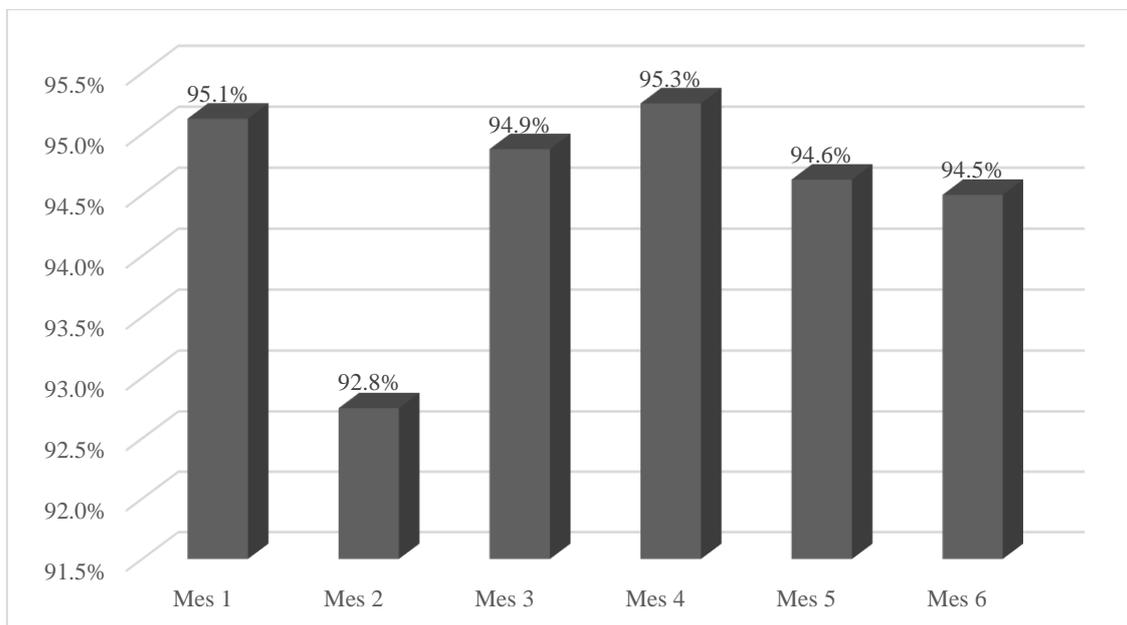


Figura 16 Evolución de la disponibilidad

Elaboración propia

Como consecuencia de los cambios en el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio entre reparaciones (MTTR) se observa una disponibilidad que tiende a la baja en los últimos periodos. El detalle indica que en el primer mes se logró un indicador del 95.1%, el cual disminuyó hasta el 92.8% en el segundo mes, paso a 94.9% en el tercer mes, siguió mejorando para alcanzar el valor de 95.3% en el cuarto mes y a partir de dicho periodo experimentó disminuciones a 94.6% y 94.5% en los meses 5 y 6 respectivamente. A partir de dicha problemática se ha planteado las mejoras en el área para lograr una disponibilidad mucho más alta de estos volquetes.

Diagrama de Ishikawa y Pareto

En el ámbito local se menciona que la empresa en análisis es Transervice Generales L&G, la cual se dedica a realizar todo tipo de mantenimiento y reparación a vehículos de transporte terrestre; la compañía se ubica en el distrito de San Martín de Porres en Lima Metropolitana. En el desarrollo de sus labores, se han identificado diversas causas que originan el problema de baja disponibilidad de volquetes en la empresa; ante ello, se ha procedido a emplear el diagrama de Ishikawa para ordenar las causas que originan el problema principal de la baja disponibilidad de los vehículos, en este sentido, se ha dividido en seis aspectos fundamentales referidos al método, ambiente de trabajo, medición, mano de obra, materiales y equipos. Dicho análisis se observa mediante la siguiente figura donde se agruparon las causas del problema de baja disponibilidad, según:

- Dimensión de medición
- Dimensión de método de trabajo
- Dimensión Medioambiente
- Dimensión Mano de Obra
- Dimensión Material
- Dimensión Maquinaria

Asimismo, se determinaron las causas específicas para cada caso de manera que se pueda ahondar o profundizar en la solución del problema, para luego enfocarse en las causas más críticas en relación a la disponibilidad de los volquetes de la compañía.

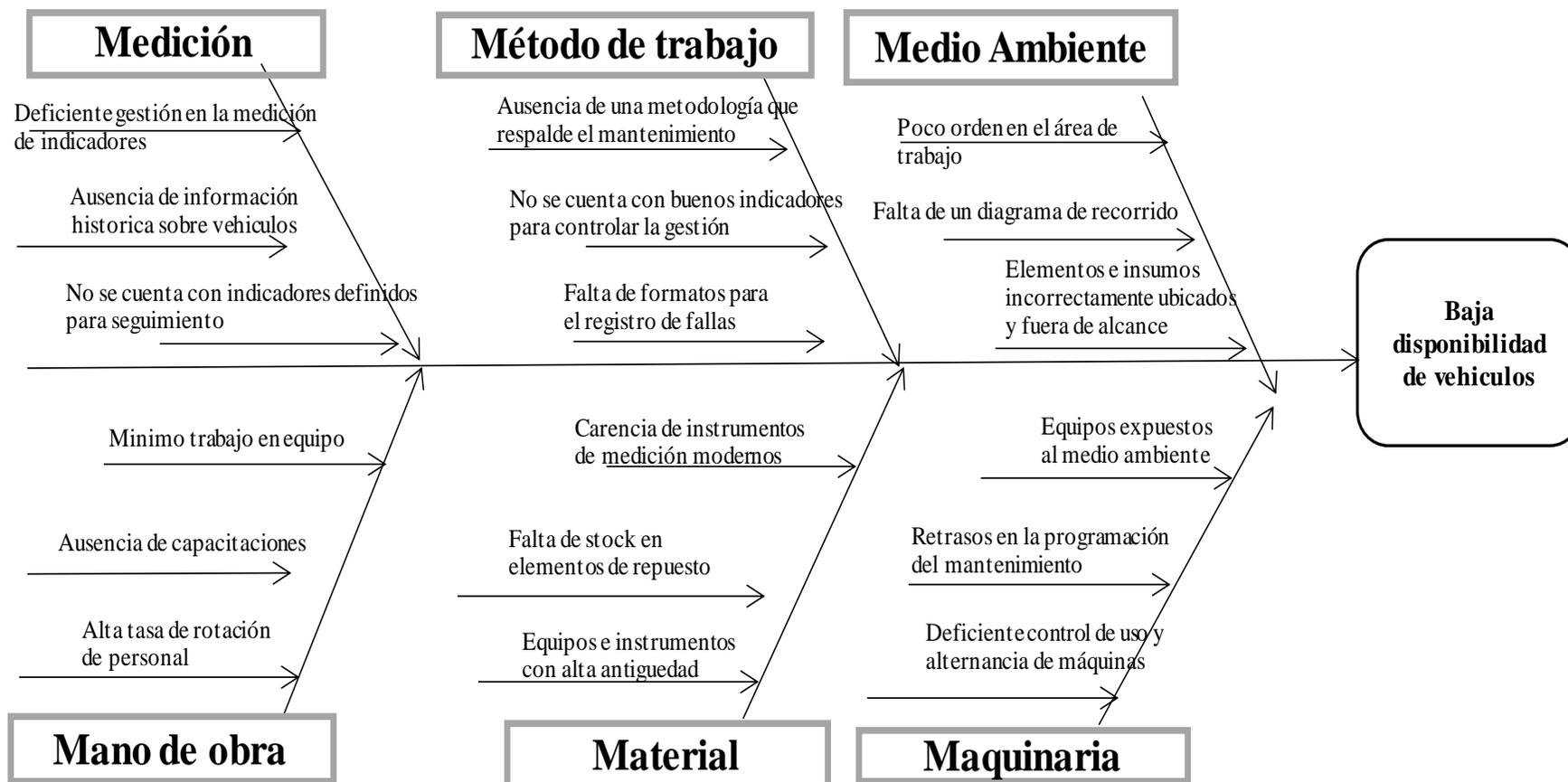


Figura 17 Diagrama de Ishikawa
Elaboración propia

En la figura anterior se observa la división de las causas que afectan a problema principal de acuerdo a cada aspecto que refieren. En primer lugar, se menciona que en la medición se encontró una deficiente gestión en la medición de indicadores, luego ausencia de información histórica de los vehículos y no se cuenta con indicadores bien definidos. En segundo lugar, sobre el método de trabajo se sostiene la ausencia de una metodología, la ausencia de indicadores para la gestión y la falta de formatos para el registro de fallas. Respecto al medio ambiente se observó un área desordenada, la falta de un diagrama de recorrido y la incorrecta distribución de los elementos. Por otro lado, en el análisis de la mano de obra se identificó el mínimo trabajo en equipo, la ausencia de capacitaciones y la alta tasa de rotación del personal. Respecto al material se menciona la carencia de instrumentos modernos, la falta de stocks de repuestos e instrumentos con alta antigüedad. Finalmente, en la maquina se determinó que los equipos están expuestos al ambiente, el retraso de programación de mantenimiento y la poca alternancia. A continuación, se presenta la puntuación de cada aspecto por los expertos en el tema.

Asimismo, se realizó un análisis de Pareto de dichas causas específicas, el cual se sometió al análisis de los trabajadores experimentados del área y personal responsable como gerentes y jefes. En primer lugar, se menciona que en la medición se encontró una deficiente gestión en la medición de indicadores, luego ausencia de información histórica de los vehículos y no se cuenta con indicadores bien definidos. En segundo lugar, sobre el método de trabajo se sostiene la ausencia de una metodología, la ausencia de indicadores para la gestión y la falta de formatos para el registro de fallas. Respecto al medio ambiente se observó un área desordenada, la falta de un diagrama de recorrido y la incorrecta distribución de los elementos.

Por otro lado, en el análisis de la mano de obra se identificó el mínimo trabajo en equipo, la ausencia de capacitaciones y la alta tasa de rotación del personal. Respecto al material se menciona la carencia de instrumentos modernos, la falta de stocks de repuestos e instrumentos con alta antigüedad. Finalmente, en la maquina se determinó que los equipos están expuestos al ambiente, el retraso de

programación de mantenimiento y la poca alternancia. A continuación, se presenta la puntuación de cada aspecto por los expertos en el tema

Tabla 8

Puntuaciones de Pareto

N ^o	Descripción de Partida	1	2	3	4	5	Punt.	F. Relativ a	F. Acumulad a
1	Ausencia de una metodología que respalde el mantenimiento	1	1	1	1	1	50	20.8%	21%
2	Falta de formatos para el registro de fallas	1	1	9	1	1	49	20.4%	41%
3	No se cuenta con indicadores definidos para seguimiento	1	1	9	9	9	47	19.6%	61%
4	Retrasos en la programación del mantenimiento	9	9	1	8	9	45	18.8%	80%
5	Ausencia de información histórica sobre vehículos	2	2	2	2	1	9	3.8%	83%
6	Ausencia de capacitaciones	2	2	1	2	1	8	3.3%	87%
7	Deficiente gestión en la medición de indicadores	1	1	1	2	1	6	2.5%	89%
8	Poco orden en el área de trabajo	1	1	1	1	1	5	2.1%	91%
9	Falta de stock en elementos de repuesto	1	0	1	1	1	4	1.7%	93%
10	Elementos e insumos incorrectamente ubicados y fuera de alcance	1	0	1	1	1	4	1.7%	95%
11	No se cuenta con buenos indicadores para controlar la gestión	0	1	1	0	1	3	1.3%	96%
12	Deficiente control de uso y alternancia de máquinas	1	0	1	0	1	3	1.3%	97%
13	Alta tasa de rotación de personal	1	0	1	1	0	3	1.3%	98%
14	Equipos expuestos al medio ambiente	0	0	1	1	0	2	0.8%	99%
15	Mínimo trabajo en equipo	0	0	1	0	0	1	0.4%	100%
16	Falta de un diagrama de recorrido	1	0	0	0	0	1	0.4%	100%
17	Carencia de instrumentos de medición modernos	0	0	0	0	0	0	0.0%	100%
18	Equipos e instrumentos con alta antigüedad	0	0	0	0	0	0	0.0%	100%
TOTAL							240	100%	

Elaboración propia

En la tabla anterior se muestran las puntuaciones de las 18 causas encontradas que originan el problema principal; adicionalmente, se ha puntuado cada una de ellas para hallar una frecuencia relativa y acumulada en búsqueda de la relación de 80-20; es decir el 20% de las causas explican el 80% del problema. En este sentido los factores más importantes fueron la ausencia de una metodología con 50 puntos y 20.8% de frecuencia relativa, la falta de formatos para el registro de fallas con 49 puntos y 20.4% de frecuencia, los retrasos en la programación del mantenimiento con 45 puntos y 18.8% en la frecuencia y la deficiente gestión en la

medición de indicadores con 47 puntos. Mediante la siguiente figura se ordenan las puntuaciones y se analiza la frecuencia acumulada del total.

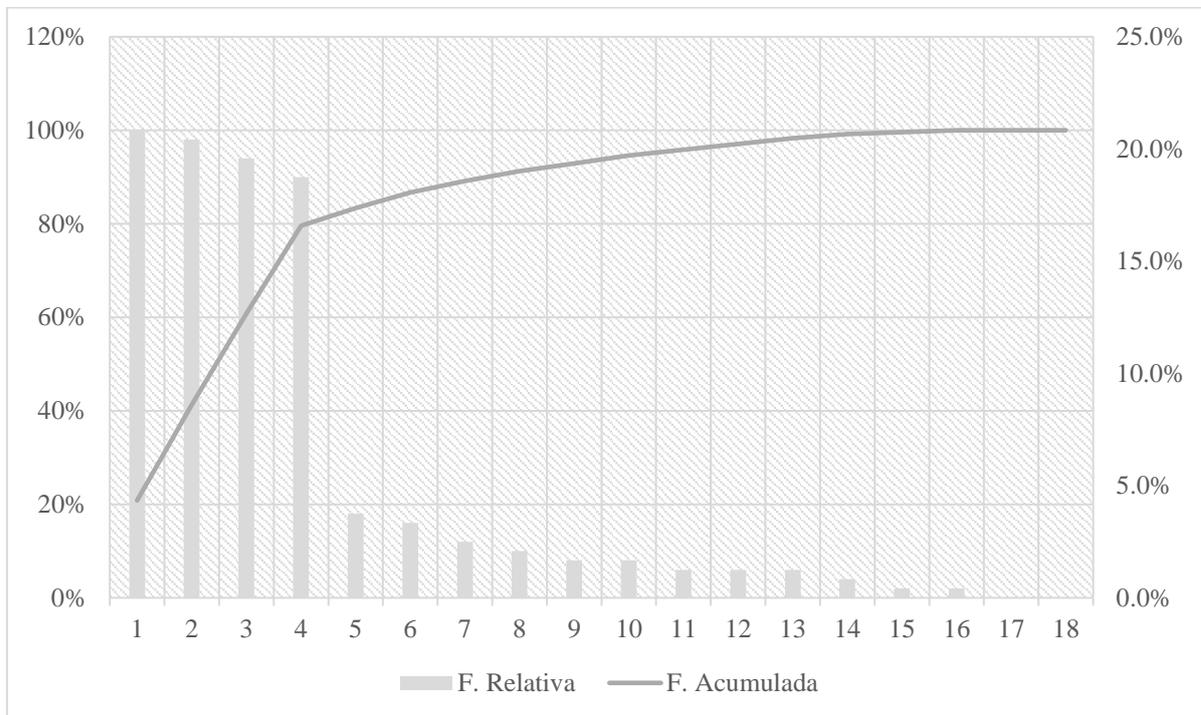


Figura 18 Diagrama de Pareto

Elaboración propia

Es posible notar que con el recuento de las 4 causas con mayor puntuación y más alta frecuencia relativa se alcanza la explicación del 80% del problema de la baja disponibilidad de vehículos; entonces es posible concluir que se cumple el principio de Pareto en tanto que estas 4 causas son el 20% del total. Para lograr una mejora en esta problemática se debe plantear una solución que permita incidir de forma directa sobre esas 4 causas.

3.2. Diagnóstico de los puntos críticos

En esta sección es preciso mencionar cual es la situación previa a la implementación de la mejora en la empresa para una mejora en la disponibilidad de volquetes; en este sentido, se debe trabajar sobre los puntos críticos encontrados que dificultan el correcto desempeño en dicho campo. A partir de este análisis será posible adecuar la información correspondiente para lograr cambios significativos.

Ausencia de una metodología que respalde el mantenimiento

Como primer elemento en el análisis del problema principal, se encontró que la ausencia de una metodología para efectuar las labores de mantenimiento, es decir, todos los trabajos se realizan de forma empírica en base al conocimiento y la experiencia de los encargados de la regulación de los equipos. Dicho escenario muestra una falencia grave pues se requiere de alto nivel de conocimiento técnico y sobre todo entender las fallas del volquete para mejorarlo y solucionarlo. En base a esta problemática, en muchos casos los vehículos regresan al mantenimiento puesto que presentan las mismas fallas, ello implica que la causa de fondo no ha podido ser solucionada y se expresa de manera tangible con la detención total del vehículo. Para graficar este escenario se muestra la siguiente imagen.



Figura 19 Ausencia de una metodología

Elaboración propia

En la figura anterior se observa que la tarea de calibración del equipo es realizada por un operario sin el control o ayuda de algún elemento tecnológico de regulación, es decir, de acuerdo a su experiencia decidirá el nivel adecuado para el equipo.

No se cuenta con indicadores definidos para seguimiento

Para supervisar y mantener un control efectivo sobre el nivel de mantenimiento de los vehículos es necesario contar con indicadores claves para el seguimiento en el mediano y largo plazo. En este sentido, el área correspondiente no posee los lineamientos necesarios para lograr mejoras efectivas en este tema, lo que sumado a la falta de información histórica hace que muchas veces los equipos regresen al taller por las mismas fallas que sucedieron meses atrás. Para lograr un cambio efectivo se debe construir indicadores que representen la información más importante para incrementar la disponibilidad de los vehículos.

Falta de formatos para el registro de fallas

La falta de formatos para el registro de información dificulta el recojo de datos para el análisis posterior de las fallas, es decir, si no se cuenta con información histórica sobre la causa de los fallos no será posible plantear una solución efectiva sobre el tema. A partir de esta afirmación es necesario crear fichas para el registro de las fallas donde se indique el problema que ha surgido, la reparación realizada y los encargados de dicha información.



Figura 20 Falta de formatos para el registro de fallas

Elaboración propia

Como se observa en la figura anterior, las labores de mantenimiento se realizan sin tomar en cuenta la presencia de formatos o fichas para el registro de la información importante sobre el motivo de la falla.

Retrasos en la programación del mantenimiento

La programación de actividades es esencial para generar impactos en la disponibilidad de los equipos en tanto que con el apoyo de un trabajo articulado y se pueden lograr cambios significativos en la disponibilidad de los vehículos. Ante ello, se ha observado que el taller no cuenta con el lineamiento necesario y existen retrasos en el trabajo de mantenimiento, en tanto que las labores se realizan sin una programación adecuada y de forma empírica. Parte de la propuesta de mejora y su posterior aplicación debe cambiar este escenario en búsqueda de la planificación empleando herramientas y técnicas propias de la Ingeniería Industrial como diagramas, cronogramas, entre otros similares.

3.3. Planificación de la implementación

A continuación, se presentan las actividades efectuadas para el cumplimiento del plan de mejora basado en mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad:

Tabla 9

Diagrama de cumplimiento aplicado en mantenimiento centrado en confiabilidad

Etapa	Actividades	Duración	Comienzo	Fin	Responsable
Análisis de criticidad de equipos	• Diagnóstico de la situación inicial	1 semana	05-ene	12-ene	L. Ordinola
	• Determinación de causas críticas	1 semana	13-ene	20-ene	L. Ordinola
Análisis de modos y efecto de fallas	• Levantamiento de datos de mantenimiento inicial	1 mes	21-ene	22-feb	L. Ordinola
	• Análisis de Pareto de ocurrencia de fallos	2 semanas	8-mar	22-mar	L. Ordinola
	• Detección de fallos en volquetes inicial	1 semana	23-mar	30-mar	L. Ordinola
	• Gravedad de fallos en volquetes inicial	1 semana	31-mar	06-abr	L. Ordinola
	• Determinación del RPN inicial	2 semanas	07-abr	21-abr	L. Ordinola
Mejora de gestión de mantenimiento	• Definición del formato para registro de fallas	1 semana	22-abr	29-abr	L. Ordinola
	• Elaboración de procedimiento de gestión	2 semanas	30-abr	14-may	L. Ordinola
	• Programa de capacitación a trabajadores	2 semanas	15-may	29-may	L. Ordinola
	• Elaboración de check-list para área mantenimiento	1 semana	30-may	06-jun	L. Ordinola
Evaluación de gestión del mantenimiento aplicada	• Levantamiento de datos de mantenimiento final	1 mes	07-nov	08-dic	L. Ordinola
	• Detección de fallos en volquetes final	1 semana	09-dic	16-dic	L. Ordinola
	• Gravedad de fallos en volquetes final	1 semana	17-dic	23-dic	L. Ordinola
	• Determinación del RPN final	2 semanas	24-dic	07-ene	L. Ordinola

Elaboración propia

3.4. Actividades para el plan de mejora

Desarrollo del AMEF

Para lograr una eficiente propuesta de mejora para lograr cambios significativos en la disponibilidad de los equipos, en primer lugar, se debe reconocer cual es el escenario inicial de acuerdo a la metodología empleada del mantenimiento centrado en la confiabilidad. Para ello se detalla la evaluación completa de los fallos a través del nivel de ocurrencia, gravedad y detección en las siguientes líneas.

- **Análisis de ocurrencia de fallos**

Situación inicial

Como parte del análisis para la implementación de la metodología RCM, se procede a detallar el análisis AMEF que comprende la frecuencia, gravedad y detección de los problemas. En primer lugar, se evaluará la frecuencia de los fallos, es decir, que tan seguido aparecieron problemas en los 5 volquetes de estudio. En la siguiente imagen se muestra el detalle de los elementos dentro del volquete a analizar.



Figura 21 Análisis de ocurrencia de fallos inicial

Elaboración propia

En la figura anterior se detallan los elementos que están involucrados dentro del análisis interno de los volquetes. En este sentido, se han dividido los fallos de acuerdo al área del vehículo que afectan, se han identificado 8 en total, el motor y sistema de combustible, la caja de transmisión, el chasis de la cabina, los mandos finales, el sistema eléctrico, la suspensión, el sistema hidráulico y los neumáticos. Para evaluar cuáles serán las acciones a mejorar se muestra la siguiente tabla.

Tabla 10

Ocurrencia de fallos en los 5 volquetes inicial

Nº	Fallas	V1	V2	V3	V4	V5	Puntuación.	Frec. Relativa	Frec. Acumulada
1	Motor y combustible	2	3	2	2	1	10	15.4%	15%
2	Caja de transmisión	1	3	2	2	2	10	15.4%	31%
3	Suspensión	2	3	1	2	1	9	13.8%	45%
4	Sistema eléctrico	1	2	3	2	1	9	13.8%	58%
5	Chasis de cabina	3	2	1	2	1	9	13.8%	72%
6	Mandos finales	1	2	2	1	1	7	10.8%	83%
7	Sistema hidráulico	2	1	1	2	1	7	10.8%	94%
8	Sistema de neumáticos	1	1	0	1	1	4	6.2%	100%
TOTAL							65	100%	

Elaboración propia

En la tabla anterior se observa el detalla de las ocurrencias de fallos de acuerdo a las áreas afectadas en cada uno de los volquetes, para luego sumar en total y ponderar la frecuencia relativa y acumulada para en análisis de Pareto. En primer lugar, los problemas en el motor y combustible han ocurrido 3 veces en el volquete 2 y 2 veces en los demás, es decir, un total de 10; las fallas en la caja de transmisión sucedieron en 10 oportunidades también, siendo estas las más frecuentes. Por debajo se ubican los problemas en el chasis de la cabina y los mandos finales con 9 ocurrencias, seguido por las fallas del sistema eléctrico con 9. Entre las fallas menos frecuentes se detallan el sistema hidráulico y los neumáticos con 4 ocurrencias. Mediante la siguiente figura se muestra el análisis de Pareto para observar de manera gráfica la situación ilustrada en las líneas anteriores.

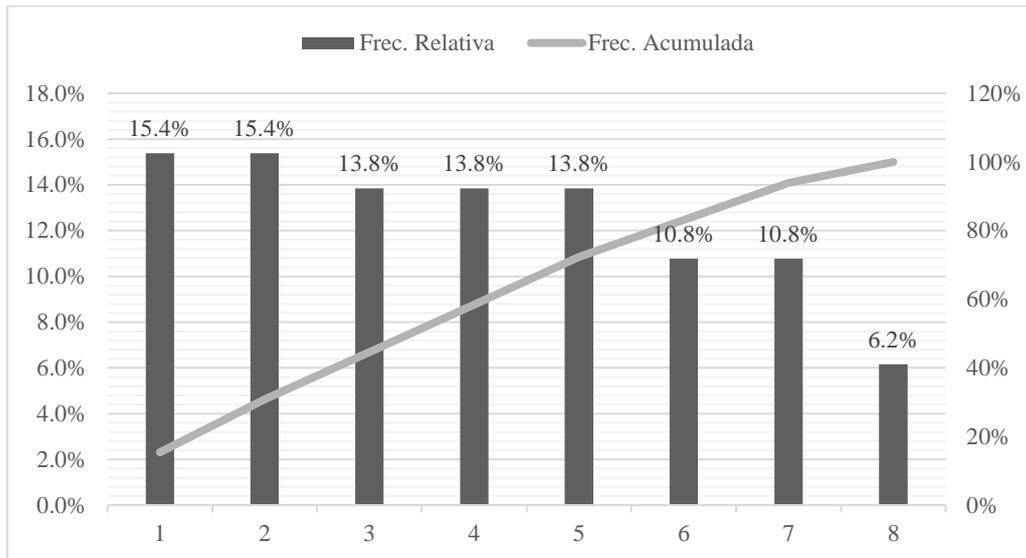


Figura 22 Análisis de Pareto para la ocurrencia de fallas inicial

Elaboración propia

En la información de la figura anterior se observa la curva de frecuencia acumulada y las barras de la frecuencia relativa de las fallas más frecuentes que afectan el funcionamiento de los volquetes; el cruce de ambas informaciones se da en la quinta sección de las fallas, lo que involucra mejorar el motor y combustible, la caja de transmisión, el chasis de la cabina y los mandos finales.

Situación final

Como parte del análisis del impacto de la metodología RCM en la empresa, se procede a detallar el análisis AMEF que comprende la frecuencia, gravedad y detección de los problemas. En primer lugar se evaluará la frecuencia de los fallos, es decir, que tan seguido aparecieron problemas en los 5 volquetes luego de la aplicación de la mejora. En este sentido, se han dividido los fallos de acuerdo al área del vehículo que afectan, tal cual se hizo en el escenario inicial, tales como el motor y sistema de combustible, la caja de transmisión, el chasis de la cabina, los mandos finales, el sistema eléctrico, la suspensión, el sistema hidráulico y los neumáticos. Para medir el cambio de la frecuencia se presenta la siguiente:

Tabla 11

Ocurrencia de fallos en los 5 volquetes final

N°	Fallas	V1	V2	V3	V4	V5	Puntuación.	Frec. Relativa	Frec. Acumulada
1	Sistema eléctrico	1	2	1	2	1	7	17.1%	17%
2	Suspensión	2	1	1	2	1	7	17.1%	34%
3	Chasis de cabina	1	2	1	1	1	6	14.6%	49%
4	Caja de transmisión	1	3	1	0	1	6	14.6%	63%
5	Sistema hidráulico	1	1	1	1	1	5	12.2%	76%
6	Sistema de neumáticos	1	1	0	1	1	4	9.8%	85%
7	Mandos finales	1	0	1	0	1	3	7.3%	93%
8	Motor y combustible	1	1	0	1	0	3	7.3%	100%
TOTAL							41	100%	

Elaboración propia

Se detallan las ocurrencias de fallos de acuerdo a las áreas afectadas en cada uno de los volquetes, para luego sumar en total y ponderar la frecuencia relativa y acumulada para en análisis de Pareto en la situación final. En primer término, los problemas en sistema eléctrico y la suspensión han ocurrido 7 cada una; las fallas en el chasis de la cabina y la caja de transmisión sucedieron en 6 oportunidades también, siendo estas las más frecuentes. Por debajo se ubican los problemas en el sistema hidráulico con 5 ocurrencias, seguido por las fallas en el sistema de neumáticos con 4 veces. Entre las fallas menos frecuentes se detallan los inconvenientes en los mandos finales y el motor y combustible con 3 ocurrencias cada una.



Figura 23 Ocurrencia de fallas final

Elaboración propia

En la figura anterior se muestra la evaluación para la ocurrencia de fallas en el motor de un volquete. Ahora bien a través de la siguiente figura se muestra el análisis de Pareto para observar de manera gráfica la situación ilustrada en las líneas anteriores.

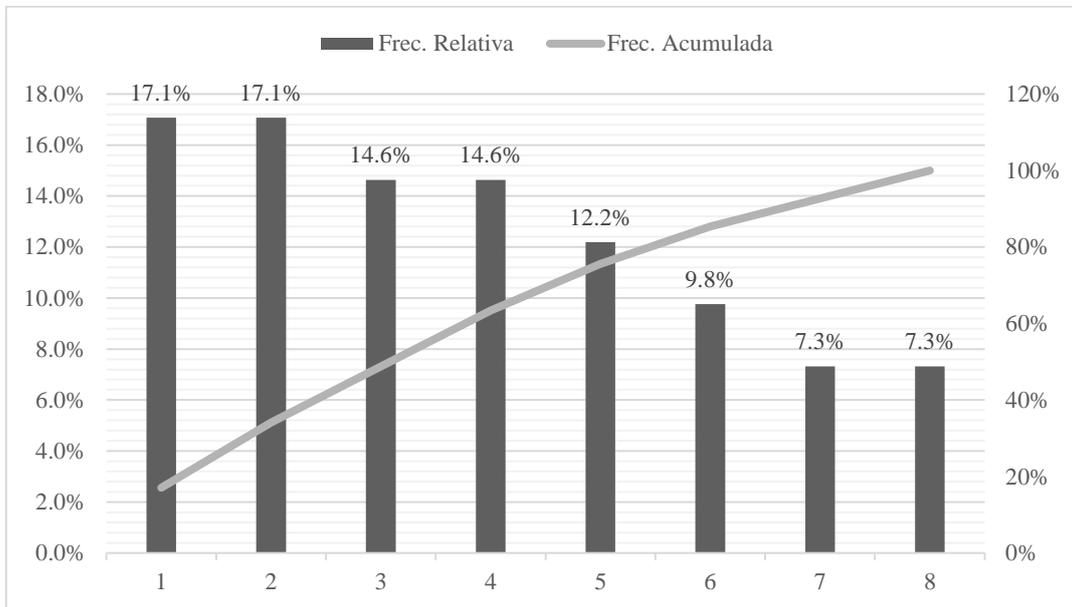


Figura 24 Análisis de Pareto para la ocurrencia de fallas final

Elaboración propia

En la información de la figura anterior se observa la curva de frecuencia acumulada y las barras de la frecuencia relativa de las fallas más frecuentes que afectan el funcionamiento de los volquetes; el cruce de ambas informaciones se da en la quinta sección de las fallas, lo que involucra mejorar el sistema eléctrico, la suspensión, el chasis de la cabina, la caja de transmisión y el sistema hidráulico en posteriores mejoras.

Análisis de detección de fallos

La detección del fallo se relaciona con la forma en la cual se descubre las fallas o averías que pueden ocasionar problemas en el equipo de análisis; ante esta situación, existen problemas difíciles de identificar dado que se encuentran ocultos bajo otro tipo de síntomas o problemáticas. Entonces, desde otra perspectiva se mostrará la clasificación para la detección de cada falla en la siguiente tabla:

Tabla 12

Especificación para la detección del fallo inicial

Especificación	Valor	Criterio	Probabilidad de fallo
Muy alto	1	Presenta una consecuencia visible, se detecta y modifica	99.9%
Alto	2-3	Es probable que se detecte y mejore en los mantenimientos	99.7%
Mediano	4-5	Posiblemente pueda ser detectado	98%
Bajo	6-8	Es fallo no es muy notorio	90%
Improbable	9-10	No se puede detectar con facilidad, genera gran daño	< 90%

Fuente: Gonzales (2012)

En la tabla anterior se muestra el grado de especificación para la detección del fallo, es decir, si será posible identificar el problema que sucede para resolverlo en las labores del mantenimiento. En este sentido la puntuación va desde 1 para un nivel detección alto, dado que podrá ser resuelto por su pronta detección, hasta 9-10 en el caso de las fallas difíciles de detectar y por lo tanto podrían generar grandes daños en el equipo.

Situación inicial

Luego de este detalle, se mostrará el grado de detección para cada volquete de acuerdo al área que afecta y la ponderación total de estos factores a través de la siguiente tabla y figura.

Tabla 13

Detección de fallos en los 5 volquetes inicial

N°	Fallas	V1	V2	V3	V4	V5	Punt.	Frec. Relativa	Frec. Acumulada
1	Caja de transmisión	7	8	8	7	9	39	26.7%	27%
2	Sistema hidráulico	8	7	5	6	7	33	22.6%	49%
3	Motor y combustible	5	4	5	6	7	27	18.5%	68%
4	Sistema eléctrico	3	3	4	2	5	17	11.6%	79%
5	Suspensión	2	3	2	3	1	11	7.5%	87%
6	Chasis de cabina	1	2	3	2	1	9	6.2%	93%
7	Sistema de neumáticos	1	1	1	1	1	5	3.4%	97%
8	Mandos finales	1	1	1	1	1	5	3.4%	100%
TOTAL							146	100%	TOTAL

Elaboración propia

En la tabla anterior se observa la detección de fallos ocurridos en los 5 volquetes de la empresa en análisis, en donde la puntuación más alta corresponde a la caja de transmisión con 39 puntos, seguido por el sistema hidráulico con 33 puntos y el motor y combustible con 27 puntos. Con una menor representación se encuentra el sistema eléctrico con 17 puntos, la suspensión con 11 puntos, el chasis de la cabina con 9 puntos, el sistema de neumáticos y los mandos finales, ambos con 5 puntos. Para ilustrar la información presentada se muestra la siguiente figura con el análisis de Pareto.

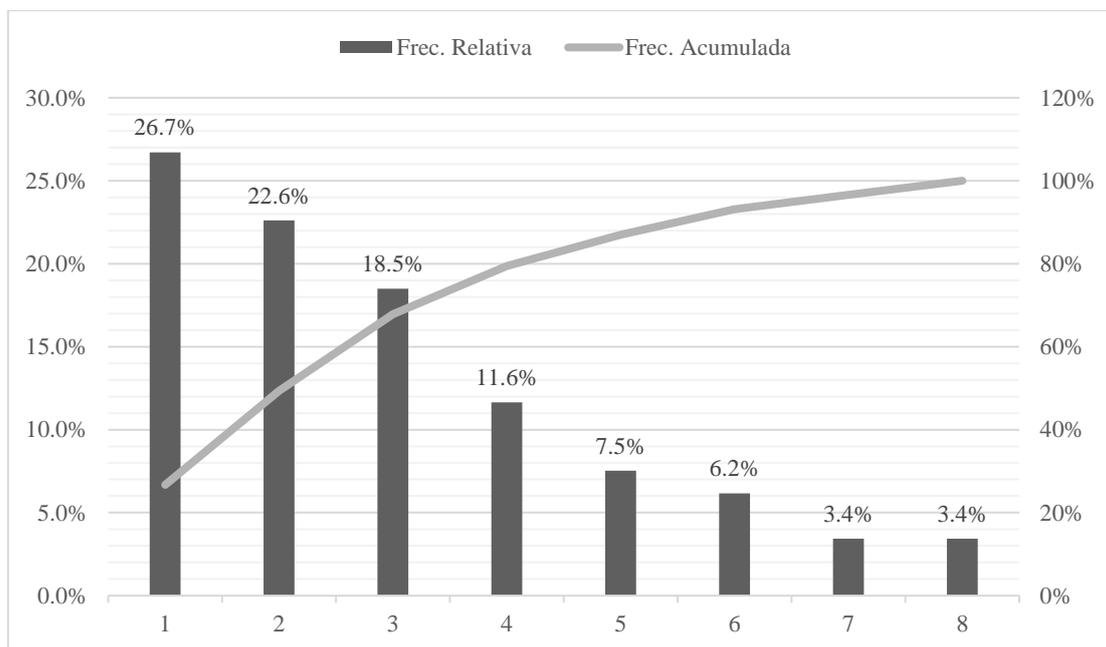


Figura 25 Análisis de Pareto para la detección de fallas inicial

Elaboración propia

En el análisis de Pareto de la figura anterior se observa la curva de frecuencia acumulada y las barras de la frecuencia relativa de las fallas más frecuentes que afectan el funcionamiento de los volquetes; el cruce de ambas informaciones se da en la tercera sección de las fallas, lo que involucra mejorar la caja de transmisión, el sistema hidráulico y el motor y combustible. A continuación se detallará el análisis de gravedad. Para conocer un poco más respecto al tema se muestra la siguiente figura.



Figura 26 Análisis para la detección de fallas inicial

Elaboración propia

En la figura anterior se observa el análisis de las fallas en el sistema hidráulico, la caja de transmisión y parte del motor del vehículo que se repara dentro del taller; con el uso de lubricantes y solventes se logra una mejora para este tema que es bastante recurrente dentro las fallas que se presentan. En este sentido, se deben plantear alternativas de mejora para disminuirlo. Las tres fallas mencionadas explican el 68% del problema principal dentro de la detección de fallas en los volquetes, siendo la caja de transmisión con el 26.7% de la frecuencia relativa.

Situación final

A partir de la aplicación de la metodología RCM se han logrado cambios importantes en la detección de fallos en los equipos. A continuación, se mostrará la clasificación para la detección de cada falla, la cual se guiará del mismo esquema empleado en el escenario inicial.

Tabla 14

Detección de fallos en los 5 volquetes

Nº	Fallas	V1	V2	V3	V4	V5	Punt.	Frec. Relativa	Frec. Acumulada
1	Sistema hidráulico	5	4	5	6	6	26	23.4%	23%
2	Caja de transmisión	5	3	2	4	5	19	17.1%	41%
3	Motor y combustible	4	3	4	2	4	17	15.3%	56%
4	Sistema eléctrico	3	3	3	2	5	16	14.4%	70%
5	Suspensión	2	3	2	2	1	10	9.0%	79%
6	Chasis de cabina	1	2	3	2	1	9	8.1%	87%
7	Mandos finales	1	2	1	2	1	7	6.3%	94%
8	Sistema de neumáticos	1	2	1	1	2	7	6.3%	100%
TOTAL							111	100%	

Elaboración propia

En la tabla anterior se observa la detección de fallos ocurridos en los 5 volquetes de la empresa posterior a la aplicación de la metodología RCM, en donde la puntuación más alta corresponde al sistema hidráulico con 26 puntos, seguido por la caja de transmisión con 19 puntos y el motor y combustible con 17 puntos. Con una menor representación se encuentra el sistema eléctrico con 16 puntos, la suspensión con 10 puntos, el chasis de la cabina con 9 puntos, el sistema de neumáticos y los mandos finales, ambos con 7 puntos. Para ilustrar la información presentada se muestra la siguiente figura con el análisis de Pareto.

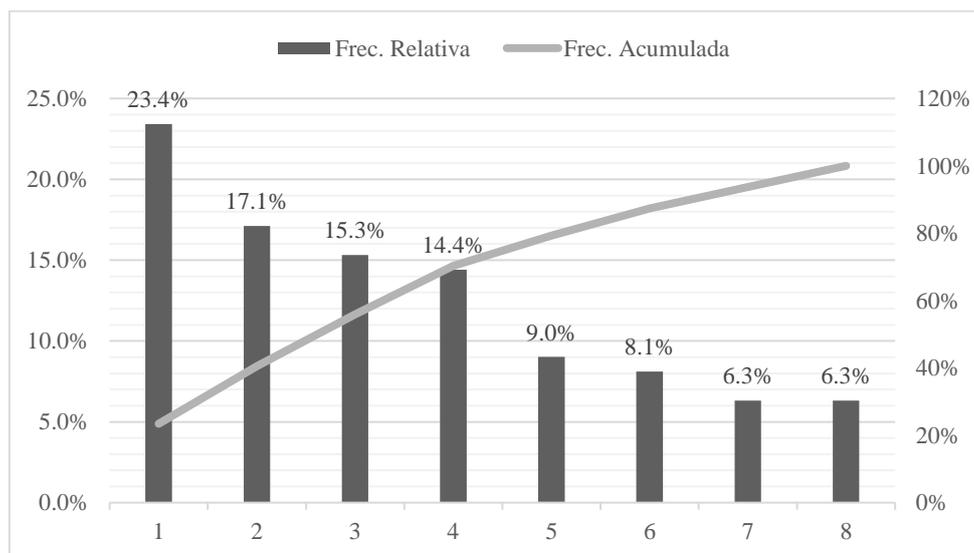


Figura 27 Análisis de Pareto para la detección de fallas final

Elaboración propia

En el análisis de Pareto de la figura anterior se observa la curva de frecuencia acumulada y las barras de la frecuencia relativa de las fallas más frecuentes que afectan el funcionamiento de los volquetes en la situación posterior a la mejora; el cruce de ambas informaciones se da en la cuarta sección de las fallas, lo que involucra mejorar en próximas implementaciones el sistema hidráulico, la caja de transmisión, el motor y combustible y el sistema eléctrico.



Figura 28 Análisis de la detección de fallas final

Elaboración propia

En la figura anterior se observa como el personal se encuentra detectando las fallas en los equipos después de haber desarmado gran parte del motor, en otras palabras, la labor de detección de problemas es menos exhaustiva y se requiere de un análisis de mucho menos tiempo para lograr entender el problema de fondo, dado que se da un seguimiento continuo al vehículo.

- **Análisis de la gravedad de fallos**

Situación inicial

Para el análisis de la gravedad de cada falla se debe tomar en cuenta una escala que va desde el 1 al 10, donde la puntuación más baja corresponde a los problemas que

representan fallas pequeñas, es decir, no son pérdidas considerables de la operatividad; por otro lado, la puntuación más alto significa que el fallo ocasiona problemas a todo el sistema e involucra a otras partes para el desarrollo de actividades del equipo, en otras palabras, representa un pato total de la circulación del vehículo, y su solución conlleva al mantenimiento correctivo. En análisis de cada uno de estos factores en los volquetes se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 15

Gravedad de fallos en los 5 volquetes inicial

Nº	Fallas	V1	V2	V3	V4	V5	Punt.	Frec. Relativa	Frec. Acumulada
1	Motor y combustible	10	9	10	9	10	48	23.3%	23%
2	Caja de transmisión	9	8	8	7	9	41	19.9%	43%
3	Sistema hidráulico	6	7	7	5	6	31	15.0%	58%
4	Sistema de neumáticos	4	6	5	3	7	25	12.1%	70%
5	Sistema eléctrico	3	5	6	6	4	24	11.7%	82%
6	Suspensión	4	3	2	4	5	18	8.7%	91%
7	Chasis de cabina	2	3	1	2	3	11	5.3%	96%
8	Mandos finales	2	1	1	3	1	8	3.9%	100%
TOTAL							206	100%	

Elaboración propia

Adicionalmente, para el análisis gráfico de la situación mostrada se muestra la siguiente figura donde se observa a manera de barras la frecuencia relativa de cada una de estas fallas y en la línea la frecuencia acumulada donde es claro el corte entre ambos elementos para identificar los factores críticos.

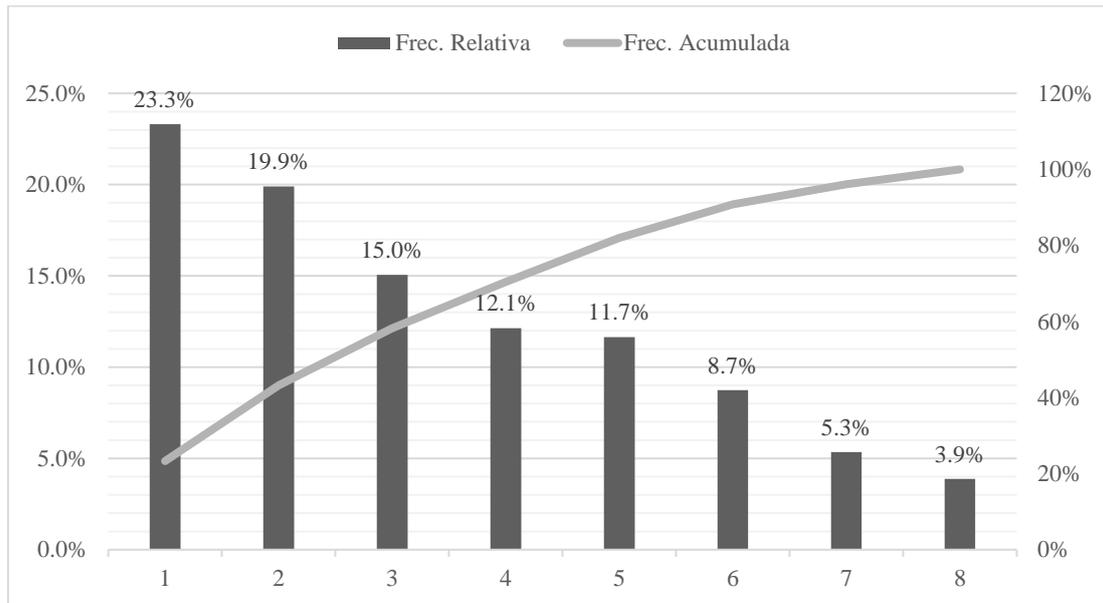


Figura 29 Análisis de Pareto para la gravedad de fallas inicial

Elaboración propia

En la tabla y figura anterior se observa en análisis de Pareto para evaluar la gravedad de las fallas en los 5 volquetes de la empresa. Dentro de los más representativos se encuentran el motor y combustible con 48 puntos y el 23.3% de frecuencia sobre el problema total, luego se ubica los errores en la caja de transmisión con 41 puntos y el 19.9% de frecuencia, seguido por el sistema hidráulico con 31 puntos y el 15% de frecuencia; hasta este punto se logra cortar la curva de frecuencia acumulada, es decir, estos tres problemas son los más importantes respecto a la gravedad por lo que se recomienda ser atendidos y considerados en la evaluación final. En la siguiente figura se observa en análisis real de la gravedad de las fallas mediante la descomposición de las partes involucradas en el funcionamiento del vehículo.



Figura 30 Análisis de la gravedad de fallas inicial

Elaboración propia

Situación final

A continuación, se detallará el análisis de gravedad, el cual sigue el esquema mostrado en el análisis inicial donde se emplea una escala que va desde el 1 al 10, donde la puntuación más baja corresponde a los problemas que representan fallas pequeñas, es decir, no son pérdidas considerables de la operatividad; por otro lado, la puntuación más alto significa que el fallo ocasiona problemas a todo el sistema e involucra a otras partes para el desarrollo de actividades del equipo, en otras palabras, representa un pato total de la circulación del vehículo, y su solución conlleva al mantenimiento correctivo.

Tabla 16

Gravedad de fallos en los 5 volquetes final

N°	Fallas	V1	V2	V3	V4	V5	Punt.	Frec. Relativa	Frec. Acumulada
1	Motor y combustible	4	5	4	4	6	23	16.9%	17%
2	Sistema eléctrico	3	2	6	6	4	21	15.4%	32%
3	Sistema de neumáticos	4	6	5	3	2	20	14.7%	47%
4	Caja de transmisión	3	4	2	6	5	20	14.7%	62%
5	Suspensión	3	3	2	4	4	16	11.8%	74%
6	Sistema hidráulico	5	2	3	2	3	15	11.0%	85%
7	Chasis de cabina	2	3	1	2	3	11	8.1%	93%
8	Mandos finales	2	1	2	3	2	10	7.4%	100%
TOTAL							136	100%	

Elaboración propia

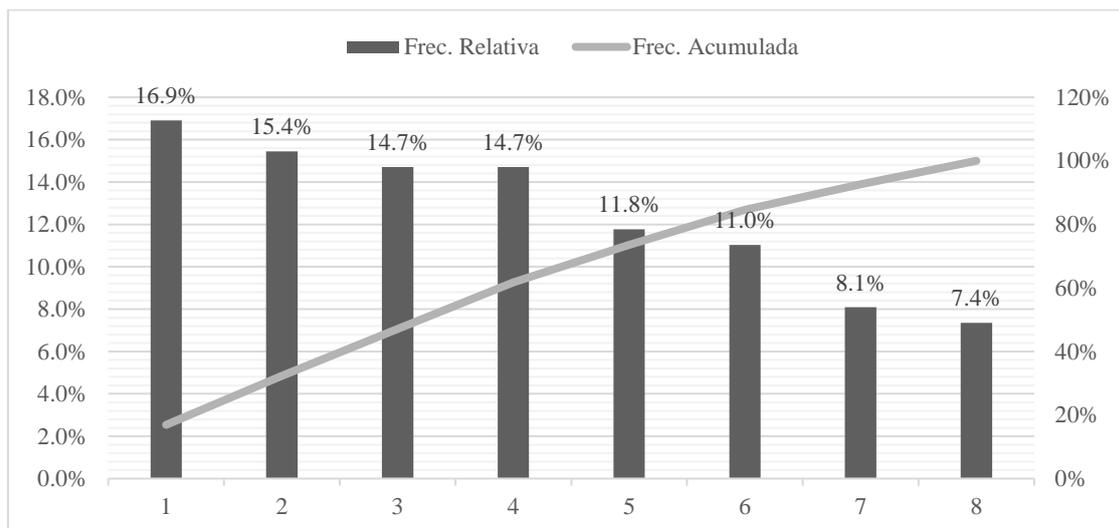


Figura 31 Análisis de Pareto para la gravedad de fallas

Elaboración propia

En la tabla y figura anterior se observa en análisis de Pareto para evaluar la gravedad de las fallas en los 5 volquetes en el escenario posterior a la mejora. Entre los aspectos más representativos se encuentran el motor y combustible con 23 puntos y el 16.9% de frecuencia sobre el problema total, luego se ubica los errores en el sistema eléctrico 21 puntos y el 15.4 %de frecuencia, seguido por el sistema de neumáticos y la caja de transmisión con 20 puntos y el 14.7% de frecuencia para cada uno y la suspensión con 15 puntos 11%; hasta este punto se logra cortar la curva de frecuencia acumulada, es

decir, estos tres problemas son los más importantes respecto a la gravedad por lo que se recomienda ser atendidos y considerados para próximas mejoras. Para graficar el contenido mencionado anteriormente, se muestra la siguiente figura sobre el análisis en el sistema hidráulico y eléctrico del volquete.



Figura 32 Análisis de la gravedad de fallas final

Elaboración propia

Como se observa en la figura anterior el personal encargado de resolver los problemas mejora la parte averiada de forma rápida y sin muchas complicaciones dado que la gravedad dentro de la sección del motor y combustible no está tan alta como en el escenario previo; ello se debe a que con la implementación de la metodología RCM se logran cambios por el mantenimiento constante a los volquetes.

- Análisis del índice de prioridad de fallo (RPN)

Situación inicial

Luego de haber detallado cada uno de los puntos anteriores se presenta la unión expresado mediante el índice de prioridad de fallo (RPN), el cual se logra a través de la multiplicación de los promedios de factores mencionados anteriormente para ordenar la prioridad en atención.; dicho análisis se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 17

RPN de fallos en los 5 volquetes inicial

Nº	Fallas	O	D	G	Punt.	Frec. Relativa	Frec. Acumulada
1	Caja de transmisión	10.00	7.80	8.20	640	37.0%	37%
2	Motor y combustible	10.00	5.40	9.60	518	30.0%	67%
3	Sistema hidráulico	7.00	6.60	6.20	286	16.6%	84%
4	Sistema eléctrico	9.00	3.40	4.80	147	8.5%	92%
5	Suspensión	9.00	2.20	3.60	71	4.1%	96%
6	Chasis de cabina	9.00	1.80	2.20	36	2.1%	98%
7	Sistema de neumáticos	4.00	1.00	5.00	20	1.2%	99%
8	Mandos finales	7.00	1.00	1.60	11	0.6%	100%
TOTAL					1,729	100%	

Elaboración propia

Para el análisis de la prioridad de fallos se debe considerar que las fallas con prioridad de riesgo alto alcanzan una puntuación entre 500 y 150 puntos, luego la prioridad de fallo medio va desde 50 a 150 puntos y de 1 a 50 puntos corresponde a la prioridad de riesgo bajo. En la tabla anterior se observa que los fallos considerados como prioridad de riesgo son la caja de transmisión con una puntuación de 640 y una frecuencia del 37% sobre el total, seguido por los fallos en el motor y combustible con 518 puntos y 30% y las fallas del sistema hidráulico con 286 y 16.6%. Luego se ubican las fallas con prioridad de riesgo medio que son el sistema eléctrico con 147 puntos y la suspensión con 71 puntos; las otras tres causas como el chasis de la cabina, el sistema de neumáticos y los mandos finales se consideran como prioridad del riesgo bajo.



Figura 33 Análisis del índice de prioridad de fallo (RPN) inicial

Elaboración propia

En la figura anterior se observa la evaluación de la gravedad de fallos a través del sistema de rodajes dentro del motor de vehículo. Para graficar la situación detallada en las líneas anteriores se presenta la siguiente figura con el diagrama de Pareto.

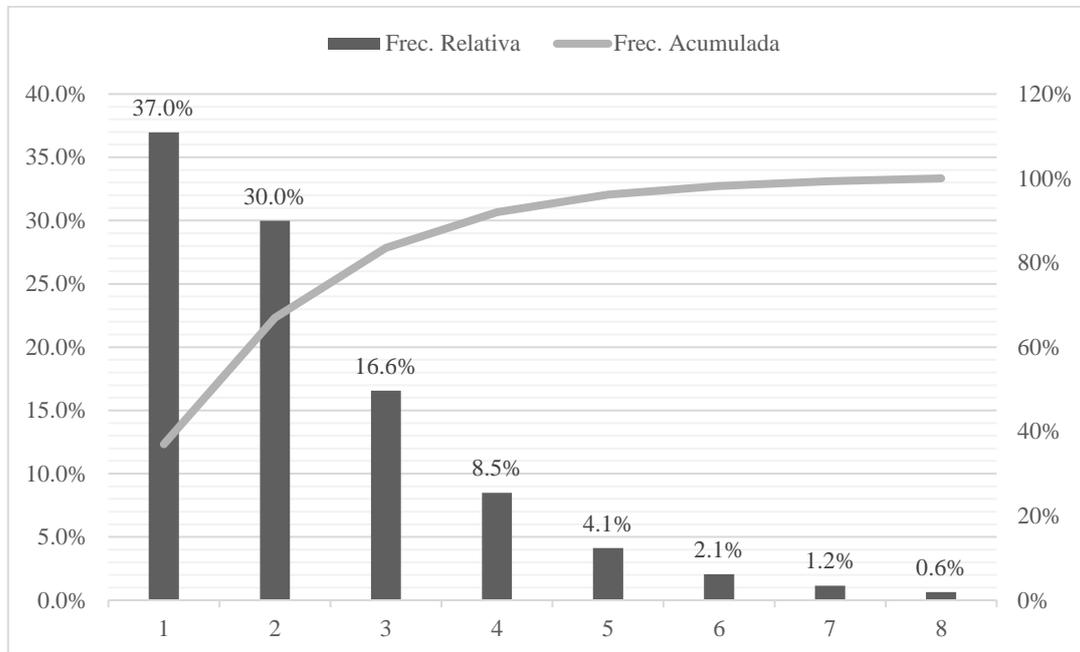


Figura 34 Análisis de Pareto para el RPN de las fallas inicial

Elaboración propia

En la figura anterior se observa el análisis de Pareto para la prioridad de riesgo en las fallas encontradas; en este sentido, se cumple el principio que el 20% de las causas explican el 80% de problema principal, es decir, las 2 causas prioritarias (la caja de transmisión y el motor de combustible) explican en gran medida el problema principal; es por ello que estos aspectos deben ser atendidos en la implementación de mejoras en base al RCM.

Situación final

Luego de haber detallado cada uno de los puntos anteriores en la mejora mediante la metodología RCM, se presenta la unión expresado mediante el índice de prioridad de fallo (RPN) en el escenario final, el cual se logra a través de la multiplicación de los promedios de factores mencionados anteriormente para ordenar la prioridad en atención.; dicho análisis se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 18

Prioridad de fallos en los 5 volquetes final

Nº	Fallas	O	D	G	Punt.	Frec. Relativa	Frec. Acumulada
1	Sistema eléctrico	7	3	4	94	23.0%	23%
2	Caja de transmisión	6	4	4	91	22.3%	45%
3	Sistema hidráulico	5	5	3	78	19.0%	64%
4	Motor y combustible	3	3	5	47	11.5%	76%
5	Suspensión	7	2	3	45	10.9%	87%
6	Chasis de cabina	6	2	2	24	5.8%	92%
7	Sistema de neumáticos	4	1	4	22	5.5%	98%
8	Mandos finales	3	1	2	8	2.1%	100%
TOTAL					410	100%	

Elaboración propia

Para el análisis de la prioridad de fallos se debe considerar que las fallas con prioridad de riesgo alto alcanzan una puntuación entre 500 y 150 puntos, luego la prioridad de fallo medio va desde 50 a 150 puntos y de 1 a 50 puntos corresponde a la prioridad de riesgo bajo. En la tabla anterior se observa que los fallos finales considerados como prioridad de fallo medio son el sistema eléctrico con 94 puntos y 23%, seguido por la caja de transmisión con 91 puntos y 22.3% de frecuencia y el sistema hidráulico con 78 puntos y 19% de frecuencia. Luego se ubican las fallas con prioridad de fallo bajo que son el motor y combustible con 47 puntos, la suspensión con 45 puntos, el chasis de la cabina con 24 puntos, el sistema de neumáticos con 22 puntos y los mandos finales con 8 puntos. Para graficar la situación detallada en las líneas anteriores se presenta la siguiente figura con el diagrama de Pareto para la prioridad de fallos en el escenario final.

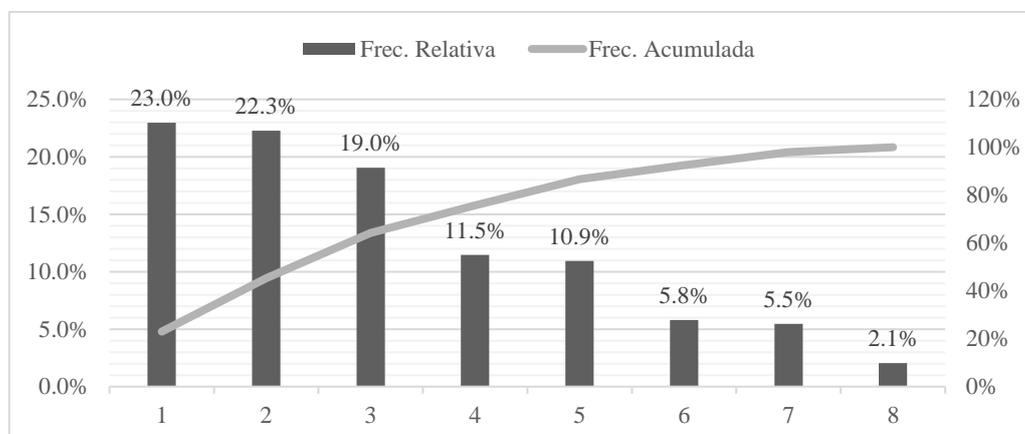


Figura 35 Análisis de Pareto para el RNP de las fallas final

Elaboración propia

En la figura anterior se observa el análisis de Pareto para la prioridad de riesgo en las fallas encontradas; en este sentido, la prioridad de fallas se ubica el sistema eléctrico, la caja de transmisión y el sistema hidráulico, todos ellos con prioridad de fallo medio.



Figura 36 Análisis del índice de prioridad de fallo (RPN) final

Elaboración propia

Formato para el registro de fallas

Uno de los elementos más importantes para lograr mejoras y cambio en la disponibilidad de equipos es la implementación de formatos para el registro de fallas. Para evidenciar dicha mejora se presenta la siguiente figura.

TRANSERVICE GENERALES:		CONTROL Y GESTION EQUIPOS			FECHA: 10 //11 //2019		
		CHECK LIST VOLQUETE	MODELO:ZZ3257N3	NOMENCLATURA: E			
HOROMETRO ACTUAL		FECHA ULTIMO MANTENIMIENTO : 15/08/2019					
PLACA:		TECNICO EJECUTOR			FIRMA INICIAL: Teodoro Rojas		
PROCEDENCIA:	Lima	FECHA INICIO EVALUACIÓN			FIRMA FINAL: Teodoro Rojas		
VIN:		FECHA FINAL EVALUACIÓN			OBSERVACIÓN: Terminado operativo		
	SISTEMA DESCRIPCIÓN	SI	NO	NA	OBSERVACIÓN	RESULTADO FINAL	HORAS TRABAJO
	MOTOR COMBUSTIÓN						
1.1	COMPRESOR AIRE	X			Presenta fuga de aceite en el eje propulsor	Se desmonto y cambio el reten del eje propulsor	4
1.2	INYECCIÓN COMBUSTIBLE		X			NO PRESENTA FALLA	
1.3	COMPRESOR INTERNA		X			NO PRESENTA FALLA	
1.4	TAPAS Y PERIFERICOS		X			NO PRESENTA FALLA	
1.5	FAJAS Y POLEAS		X			NO PRESENTA FALLA	
1.6	SISTEMA ENFRIAMIENTO		X			NO PRESENTA FALLA	
1.7	SISTEMA LUBRICACIÓN	X			La bomba de aceite presenta desgaste y fuga de líquido	Se desmonto y reemplazó los Retenes del propulsor	3
1.8	SOPORTES MOTOR		X			NO PRESENTA FALLA	
						TOTAL HORAS	7
	CHASIS CABINA	SI	NO	NA	OBSERVACIÓN	RESULTADO FINAL	HORAS TRABAJO
2.1	ESPEJOS LATERALES		X			NO PRESENTA FALLA	
2.2	PUERTOS PILOTO/COPILOTO		X			NO PRESENTA FALLA	
2.3	VALVULA PARQUEO		X			NO PRESENTA FALLA	
2.4	SISTEMA CONTROL DIRECCION		X			NO PRESENTA FALLA	
2.5	ASIENTOS PILOTO/COPILOTO		X			NO PRESENTA FALLA	
2.6	ACCESORIOS SEGURIDAD		X			NO PRESENTA FALLA	
2.7	TAPICES PROTECTORES		X			NO PRESENTA FALLA	
2.8	GUARDA PISOS		X			NO PRESENTA FALLA	
2.9	SOPORTES PERIFERICOS		X			NO PRESENTA FALLA	
						TOTAL HORAS	0
	SUSPENSIÓN	SI	NO	NA	OBSERVACIÓN	RESULTADO FINAL	HORAS TRABAJO
3.1	BARRAS SUSPENSIÓN SUPERIORES		X			NO PRESENTA FALLA	
3.2	BARRAS SUSPENSIÓN INFERIORES	X			Se desmonta barras de suspension para cambiar pines de	Cambio de pines de fijacion	5
3.3	MUELLES DELANTEROS		X			NO PRESENTA FALLA	
3.4	MUELLES POSTERIORES		X			NO PRESENTA FALLA	
3.5	GOMAS MUELLE TOLVA		X			NO PRESENTA FALLA	
3.6	SOPORTES Y PERIFERICOS		X			NO PRESENTA FALLA	
3.7	GUIAS, PERNOS Y BOCINAS	X			Pines de direccion presenta desgaste	Se desmonta y cambia los pines	3
3.8	BOCINA ACERO/BRONCE		X			NO PRESENTA FALLA	
3.9	SEGUROS PASADORES		X			NO PRESENTA FALLA	
						TOTAL HORAS	8

Figura 37 Formato para el registro de fallas (I)

Elaboración propia

Ahora bien, dado que no es posible realizar el diagnostico manual de las fallas en el equipo mientras se está desarmando las piezas o se está trabajando en búsqueda de mejoras, es necesario trabajo en conjunto para el llenado de las fichas y formatos donde

se detallarán las fallas y averías que se han generado así como las posibles causas. Mediante la siguiente figura se observa una imagen que ejemplifica dicha situación.



Figura 38 Trabajo en equipo para el llenado de formato para el registro de fallas
Elaboración propia

En la imagen anterior se detalla cómo se logra un trabajo coordinado entre el experto en reparaciones y mantenimiento acompañado de una persona que le posibilita el llenado correcto de los formatos, con el conocimiento de ambos es posible obtener una propuesta eficiente para la solución del problema de la disponibilidad.

Mediante la siguiente figura se muestra la segunda parte del formato para el registro de fallas en donde se detalla la evaluación de la caja de transmisión, el análisis del sistema hidráulico, eléctrico y de neumáticos, así como el control de los mandos finales.

TRANSSERVICE GENERALES: 		CONTROL Y GESTION EQUIPOS			FECHA: 10 //11 //20			
CHECK LIST VOLQUETE		MODELO: ZZ3257			NOMENCLATURA:			
HOROMETRO ACTUAL		FECHA ULTIMO MANTENIMIENTO : 15/						
PLACA:		TECNICO EJECUTOR			FIRMA INICIAL: Teodoro Rojas			
PROCEDENCIA: Lima		FECHA INICIO EVALUACIÓN			FIRMA FINAL: Teodoro Rojas			
VIN:		FECHA FINAL EVALUACIÓN			OBSERVACIÓN: Terminado operativo			
	TRANSMISIÓN CAJA Y CORONAS DIREFEN	SI	NO	NA	OBSERVACIÓN	RESULTADO FINAL	HORAS TRABAJO	
4.1	BARRAS TRANSMISION 1RA CORONA		X			NO PRESENTA FALLA		
4.2	BARRAS TRANSMISION 2DA CORONA		X			NO PRESENTA FALLA		
4.3	REENVIO		X			NO PRESENTA FALLA		
4.4	1RA CORONA TRANSMISION		X			NO PRESENTA FALLA		
4.5	2DA CORONA TRANSMISION		X			NO PRESENTA FALLA		
4.6	TAPAS PERIFERICOS CAJA		X			NO PRESENTA FALLA		
4.7	CAMBIO DE ALTA		X			NO PRESENTA FALLA		
4.8	CAMBIO DE BAJA		X			NO PRESENTA FALLA		
4.9	VARILLAS Y CABLES		X			NO PRESENTA FALLA		
5	RETENES, TRANSMISIÓN	X			Corona posterior presenta fuga de aceite	Se procede a cambiar los retenes de los tapas delanteras y	4	
5.1	SOPORTES Y PERNOS		X			NO PRESENTA FALLA		
						TOTAL HORAS	4	
	SISTEMA HIDRÁULICO	SI	NO	NA	OBSERVACIÓN	RESULTADO FINAL	HORAS TRABAJO	
5.2	BOTELLA HIDRÁULICA		X			NO PRESENTA FALLA		
5.3	TAVAME HIDRÁULICO		X			NO PRESENTA FALLA		
5.4	MANDO LEVANTE TOLVA		X			NO PRESENTA FALLA		
5.5	CILINDRO LEVANTA CABINA		X			NO PRESENTA FALLA		
5.6	MANDOS HIDRÁULICOS		X			NO PRESENTA FALLA		
5.7	MANGUERAS HIDRAULICAS		X			NO PRESENTA FALLA		
5.8	FILTROS ACCESORIOS HIDRÁULICOS	X			Filtro de alta del tanque presenta acumulacion de solidos	Se procede a cambiar el filtro Hidraulico de baja y alta	2	
						TOTAL HORAS	2	
	SISTEMA ELÉCTRICO	SI	NO	NA	OBSERVACIÓN	RESULTADO FINAL	HORAS TRABAJO	
5.9	ARRANCADOR, ALTERNADOR		X			NO PRESENTA FALLA		
6	SENSORES MOTOR		X			NO PRESENTA FALLA		
6.1	SENSORES CAJA TRANSMISION		X			NO PRESENTA FALLA		
6.2	MANDOS LUCES, CONTROLES		X			NO PRESENTA FALLA		
6.3	FAROS NEBLINEROS POSTERIORES	X			Faros neblineros presenta rajaduras y se muestras opacos	PRESENTA FALLA		
6.4	CABLEADO CABINA, CHASIS, MOTOR		X			NO PRESENTA FALLA		
6.5	COMPUTADORAS, PERIFERICOS		X			NO PRESENTA FALLA		
6.6	NEBLINEROS		X			NO PRESENTA FALLA		
						TOTAL HORAS	0	
	SISTEMA NEUMÁTICO	SI	NO	NA	OBSERVACIÓN	RESULTADO FINAL	HORAS TRABAJO	
7.1	PULMONES DE FRENO		X			NO PRESENTA FALLA		
7.2	ZAPATAS DE FRENO DELANTERO Y POSTERIOR	X			Zapatas posteriores presenta desgast	PRESENTA FALLA		
7.3	VÁLVULAS AUXILIARES Y RELÉ					-		
7.4	SOPORTES METÁLICOS DE ZAPATAS		X			NO PRESENTA FALLA		
7.5	PERNOS, RESORTES DE RETORNO		X			NO PRESENTA FALLA		
7.6	MANGUERAS NEUMÁTICAS	X			Mangueras neumaticas de aire , presenta fuga . Se procede	PRESENTA FALLA		
7.7	ACOPLES Y PERIFÉRICOS		X			NO PRESENTA FALLA		
						TOTAL HORAS	0	
	MANDOS FINALES	SI	NO	NA	OBSERVACIÓN	RESULTADO FINAL	HORAS TRABAJO	
8.1	PINES BOCINAS Y TREN DE DIRECCIÓN		X			NO PRESENTA FALLA		
8.2	CUBOS DELANTEROS		X			NO PRESENTA FALLA		
8.3	CUBOS POSTERIORES					-		

Figura 39 Formato para el registro de fallas (II)

Elaboración propia

En la figura anterior se observa el formato para el registro de fallas para el motor de combustión, el chasis de la cabina y la suspensión, en dicho elemento se encuentra la información más relevante del vehículo así como una sección para marcar si se ha encontrado fallas o no, adicionalmente, se comenta el tiempo del trabajo así como el resultado final. Con la información recolectada sobre el nivel del funcionamiento se procede a realizar las mejoras estructurales y reparaciones necesarias en búsqueda de una mejora en la disponibilidad; todo ello se presenta en la siguiente figura.



Figura 40 Registro de fallas

Elaboración propia

Capacitación del personal

Un aspecto fundamental para lograr cambios significativos es realizar capacitaciones al personal de trabajo, para tener un nuevo lineamiento para las acciones en el mantenimiento, centrando la carga en el enfoque preventivo. Para lograr este objetivo se presente un procedimiento de capacitación donde se detallan los temas y la documentación a utilizar.

Tabla 19

Programa de capacitaciones

		PROGRAMA SEMESTRAL DE CAPACITACIONES																								
N°	TEMA	SEMANAS																								RESP.
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	
1	Introducción al RCM	■	■																							Ing. Seguridad
2	Mantenimiento básico de equipos			■	■							■												■		Ing. Seguridad
3	Ventajas del mantenimiento preventivo					■	■										■									Ing. Seguridad
4	Mantenimiento correctivo de equipos								■				■									■				Ing. Seguridad
5	Análisis AMEF							■				■									■					Ing. Seguridad
6	Hojas de decisión RCM									■	■													■		Ing. Seguridad
7	Evaluación de consecuencias			■									■										■			Ing. Seguridad
8	Acciones ante fallas				■						■							■								Ing. Seguridad
9	Mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad							■							■					■			■			Ing. Seguridad
10	Repaso						■						■						■						■	Ing. Seguridad

Elaboración propia

En la tabla anterior se detallan las actividades de mantenimiento a lo largo de 24 semanas, es decir, 6 meses que corresponden al escenario posterior a la propuesta. Muchas de los temas mencionados se repiten a lo largo del tiempo dado que es importante reforzar el tema de manera constante; otro aspecto considerado ha sido realizar 4 repasos generales durante este periodo. Las charlas se encuentran a cargo de Ingeniero supervisor quien conoce a fondo las herramientas empleadas en búsqueda de mejoras. Mediante las siguientes imágenes se detalla la evidencia de haber efectuado las capacitaciones al personal:



Figura 42 Capacitación del personal

Elaboración propia

Orden en el área de trabajo

Otro aspecto importante para lograr mejoras y cambios en el sistema de mantenimiento es el orden en el área de trabajo, es decir, contar con un espacio organizado para el desarrollo de las labores. Es conocido que para la reparación de equipos se cuenta con gran cantidad de herramientas, instrumentos de medición, grasa, solventes, entre otros; pero ello el exceso de insumos no debe ser una limitante al momento de contar con un orden necesario para la distribución del ambiente.

En primer lugar, fue necesario ordenar el área de trabajo y eliminar todos los elementos innecesarios que dificultan o retrasan las labores, para ello se muestra la siguiente tabla de los artículos encontrados.

ELEMENTOS ENCONTRADOS					
N°	Descripción del artículo	Lugar donde se encontró	Necesario	Innecesario	Decisión
1	Lijas usadas	Taller		X	Desecharlo
2	Retazos de cintas	Almacén		X	Desecharlo
3	Bujías usadas	Taller		X	Venderlo
4	Recipiente de aceite vacío	Taller		X	Venderlo
5	Cajas de repuestos vacías	Almacén		X	Venderlo
6	Latas de grasa usadas	Taller	X		Sacarlo del área
7	Recipientes con aceite	Almacén		X	Desecharlo
8	Artículos de limpieza	Taller	X		Reubicarlo
9	Uniformes viejos	Taller, Vestuarios		X	Desecharlo
10	Autopartes deterioradas	Taller		X	Venderlo
11	Mobiliario en desuso	Almacén		X	Venderlo
12	Elementos ajenos al giro	Almacén		X	Reubicarlo
13	Maquinaria en desuso	Taller		X	Venderlo

Firma

Figura 43 Check list para organización de área

Elaboración propia

Adicionalmente, se realizó una clasificación de los instrumentos necesarios de acuerdo a la frecuencia de uso, en otras palabras, las herramientas más empleadas dentro del mantenimiento están al alcance de los trabajadores de forma rápida. Para graficar este escenario se muestra la siguiente figura.



Figura 44 Orden en el área de trabajo

Elaboración propia

CAPITULO IV: RESULTADOS

Tiempo medio para reparaciones (MTTR)

Dentro de los cambios que se pueden observar por la aplicación de la metodología RCM, se encuentra, según las dimensiones mencionadas anteriormente, el análisis del tiempo medio entre reparaciones (MTTR), el cual ha ido disminuyendo a lo largo del tiempo. Con el empleo de la siguiente tabla se mostrarán la variación del indicador durante un año.

Tabla 20

Evolución del tiempo medio para reparaciones

		Horas de mantenimiento correctivo	N° Fallas	MTTR
Escenario Previo	Mes 1	39	10	3.90
	Mes 2	58	13	4.46
	Mes 3	41	13	3.15
	Mes 4	38	10	3.80
	Mes 5	43	11	3.91
	Mes 6	44	8	5.50
Escenario Posterior	Mes 7	31	9	3.44
	Mes 8	27	8	3.38
	Mes 9	20	7	2.86
	Mes 10	21	8	2.63
	Mes 11	12	5	2.40
	Mes 12	9	4	2.25

Elaboración propia

En la tabla anterior se observan las variaciones que han tenido los indicadores para el cálculo del tiempo medio para reparaciones. En primer término, es posible observar que la columna correspondiente a las horas de mantenimiento correctivo, es decir, el plazo que toma reparar los equipos ha ido disminuyendo considerablemente a partir del sexto mes (cuando se aplica la metodología), en el escenario inicial dichas horas fluctuaba entre 38 a 58 horas para las labores, luego en la situación final disminuye hasta lograr las 9 horas. Por otro lado, el número de fallas también ha experimentado reducciones dado que en los primeros meses se presentaban entre 13 a 10 fallas por periodo, pero luego de la aplicación de la mejora se reduce hasta 4 fallas en el último mes de análisis. Como

consecuencia de ambos cambios el indicador MTTR ha disminuido de forma sostenida y clara desde el sexto mes de análisis; en el escenario inicial se inició con un índice de 3.90 y en el último periodo fue de 2.25. Para graficar dicha situación se muestra la siguiente figura:

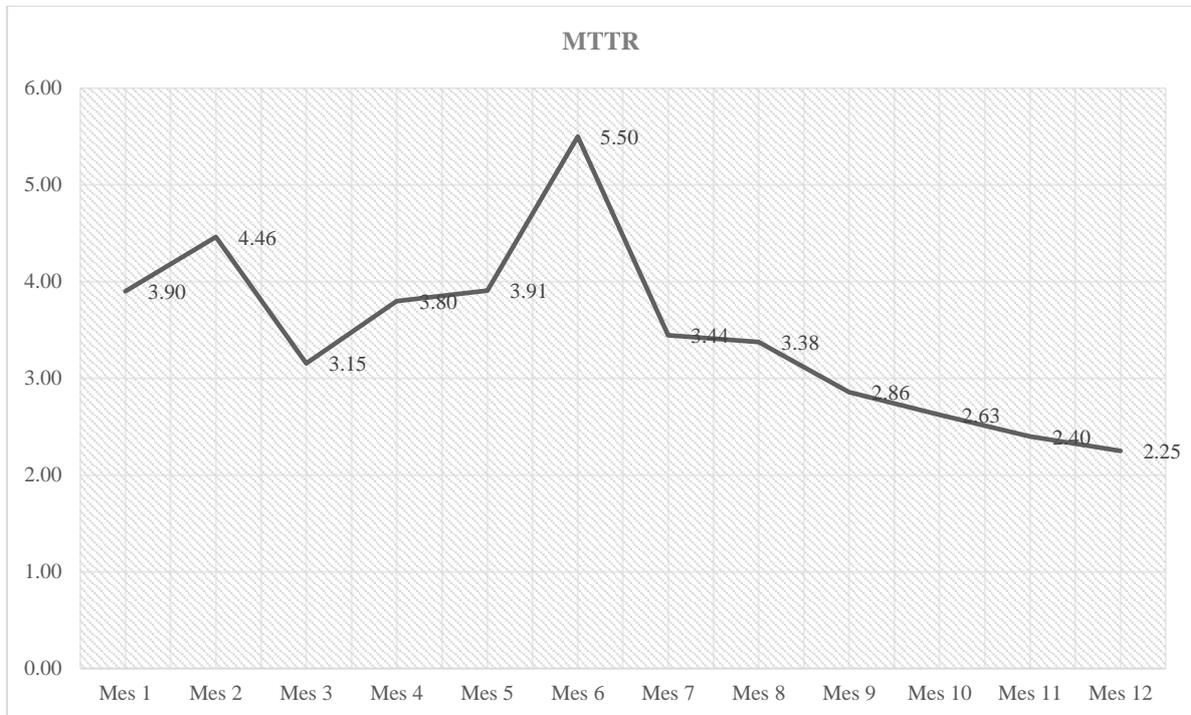


Figura 45 Evolución del tiempo medio para reparaciones

Elaboración propia

Como se observa en la figura anterior el indicador de MTTR en el primer periodo ha experimentado un comportamiento cambiante, pero siempre manteniéndose en valores altos como 4.46 o 3.80; luego de la implementación se logra una reducción importante y sostenida para finalmente alcanzar en el último periodo el valor de 2.25. Otro indicador que ha experimentado mejoras ha sido el tiempo medio entre fallas; para ello se muestra la siguiente tabla.

A partir de dicha información es posible comparar los promedios del indicador MTTR en el escenario antes y después de la mejora, dicho análisis podrá fortalecer la hipótesis sobre la efectividad de la metodología. Mediante la siguiente figura es posible observar de forma clara el cambio en el tiempo medio para las reparaciones.

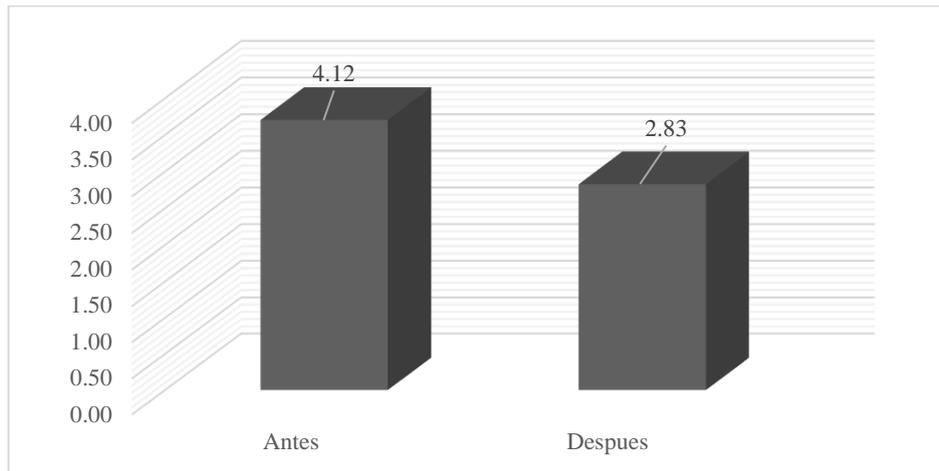


Figura 46 Comparación del tiempo medio para reparaciones

Elaboración propia

En la figura anterior se observa que el tiempo medio entre reparaciones ha disminuido de forma considerable dado que paso de 4.12 a 2.83 horas, lo que implica un ahorro del tiempo y recursos para la empresa.

Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Otro indicador importante para el análisis es el tiempo medio entre fallas, y su evolución se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 21

Evolución del tiempo medio entre fallas

		Horas de operación	Nº Fallas	MTBF
Escenario Previo	Mes 1	761	10	76.10
	Mes 2	742	13	57.08
	Mes 3	759	13	58.38
	Mes 4	762	10	76.20
	Mes 5	757	11	68.82
	Mes 6	756	8	94.50
	Mes 7	769	9	85.44
	Mes 8	773	8	96.63
Escenario Posterior	Mes 9	780	7	111.43
	Mes 10	779	8	97.38
	Mes 11	788	5	157.60
	Mes 12	791	4	197.75

Elaboración propia

Anteriormente, se han mostrado los cambios que han tenido los indicadores para el cálculo del tiempo medio entre fallas. En primer lugar, es posible observar que la columna correspondiente a las horas de operación, es decir, el plazo que las maquinas han operado de forma correcta ha ido aumentando considerablemente a partir del sexto mes; en el escenario inicial dichas horas fluctuaba entre 761 a 742 horas para las labores, luego en la situación final aumenta hasta lograr las 791 horas. Por otro lado, el número de fallas también ha experimentado reducciones dado que en los primeros meses se presentaban entre 13 a 10 fallas por periodo, pero luego de la aplicación de la mejora se reduce hasta 4 fallas en el último mes de análisis. Como consecuencia de ambos cambios el indicador MTBF ha aumentado de forma sostenida y clara desde el sexto mes de análisis; en el escenario inicial se inició con un índice de 76.10 y en el último periodo fue de 197.75. Para graficar dicha situación se muestra la siguiente figura:

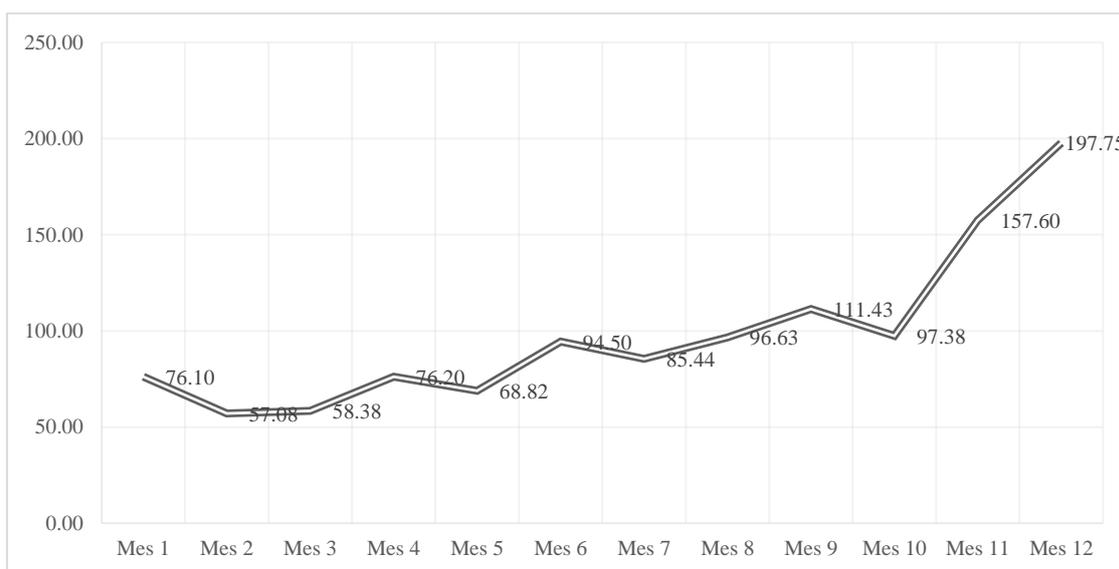


Figura 47 Evolución del tiempo medio entre fallas (MTBF)

Elaboración propia

Se detalla en la figura el indicador de MTBF en el primer periodo ha experimentado un comportamiento cambiante, pero siempre manteniéndose en valores bajos como 76.10 o 58.38; luego de la implementación se logra un aumento importante y sostenido para finalmente alcanzar en el último periodo el valor de 197.75. Desde otra perspectiva, para corroborar el cambio, se puede apreciar la comparación de escenarios de este indicador a través de la siguiente figura

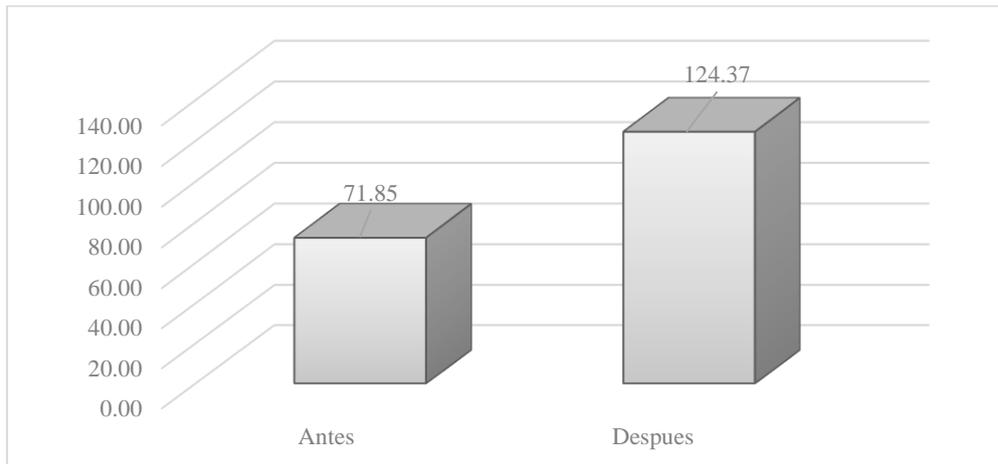


Figura 48 Comparación del tiempo medio entre fallas (MTBF)

Elaboración propia

En la figura anterior se observa que el tiempo medio entre fallas ha incrementado de forma considerable dado que paso de 71.85 a 124.37 horas en promedio, lo que implica un ahorro del tiempo y recursos.

Disponibilidad

Como conclusión de ambos se ha logrado impactar en la disponibilidad de los equipos; para aclarar dicha información se presenta la siguiente tabla.

Tabla 22

Evolución de la disponibilidad

		MTBF	MTTR	Disponibilidad
Escenario Previo	Mes 1	76.10	3.90	95.1%
	Mes 2	57.08	4.46	92.8%
	Mes 3	58.38	3.15	94.9%
	Mes 4	76.20	3.80	95.3%
	Mes 5	68.82	3.91	94.6%
	Mes 6	94.50	5.50	94.5%
	Mes 7	85.44	3.44	96.1%
	Mes 8	96.63	3.38	96.6%
Escenario Posterior	Mes 9	111.43	2.86	97.5%
	Mes 10	97.38	2.63	97.4%
	Mes 11	157.60	2.40	98.5%
	Mes 12	197.75	2.25	98.9%

Elaboración propia

En la tabla anterior se observan las variaciones que han tenido los indicadores para el cálculo de la disponibilidad. En primer término, es posible observar que la columna correspondiente al MTBF o también llamado fiabilidad de los equipos ha ido aumentando considerablemente a partir del sexto mes (cuando se aplica la metodología), en el escenario inicial dichas corresponde a 76.10 y luego en la situación final incrementa a 197.75. Por otro lado, el tiempo medio entre reparaciones o mantenibilidad también ha experimentado cambios a modo de reducciones, dado que en el primer mes de análisis era de 3.90 y posterior a la aplicación de la mejora se reduce hasta 2.25 en el último mes de evaluación.

Como consecuencia de ambos cambios el indicador de la disponibilidad ha incrementado de forma sostenida y clara desde el sexto mes de análisis; en el escenario inicial se inició con un índice de 95.13% y en el último periodo fue de 98.8%. Para graficar dicha situación se muestra la siguiente figura:

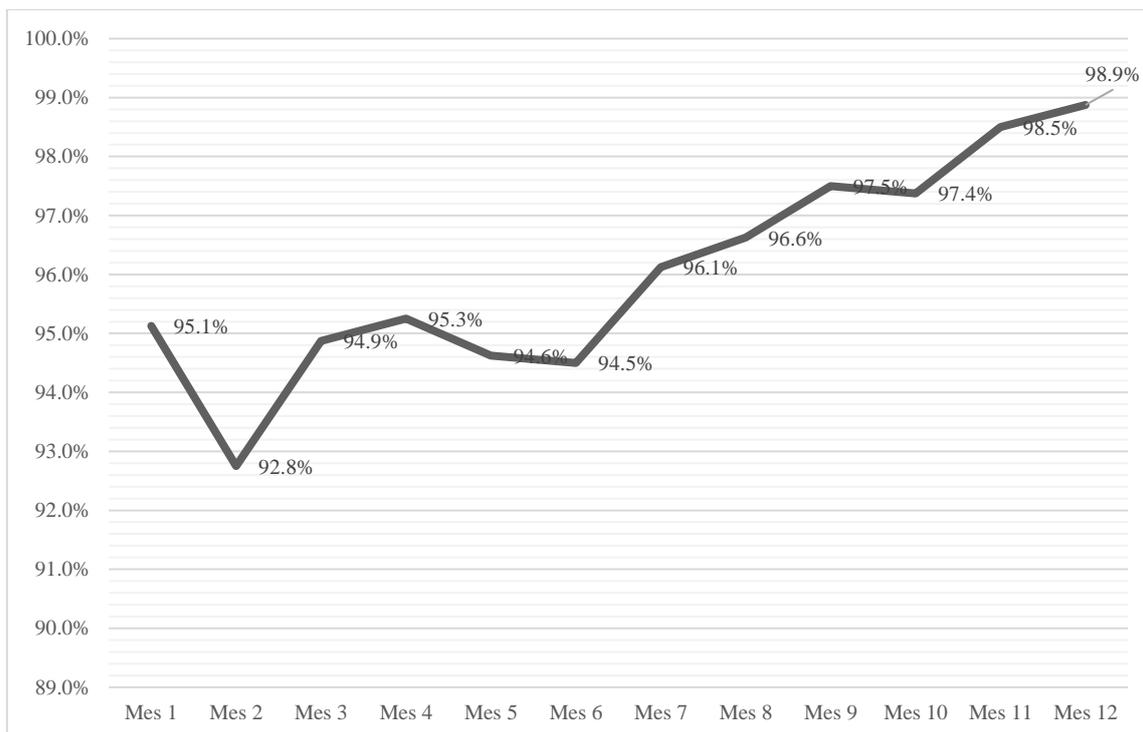


Figura 49 Evolución de la disponibilidad

Elaboración propia

Como se observa en la figura anterior el indicador de la disponibilidad de los equipos en los primeros periodos, al inicio fue de 95.1% y en el segundo mes disminuyó al 92.8%; posterior a la implementación de la metodología RCM se logra un aumento importante y sostenido para finalmente alcanzar en el último periodo el valor de 98.9%.

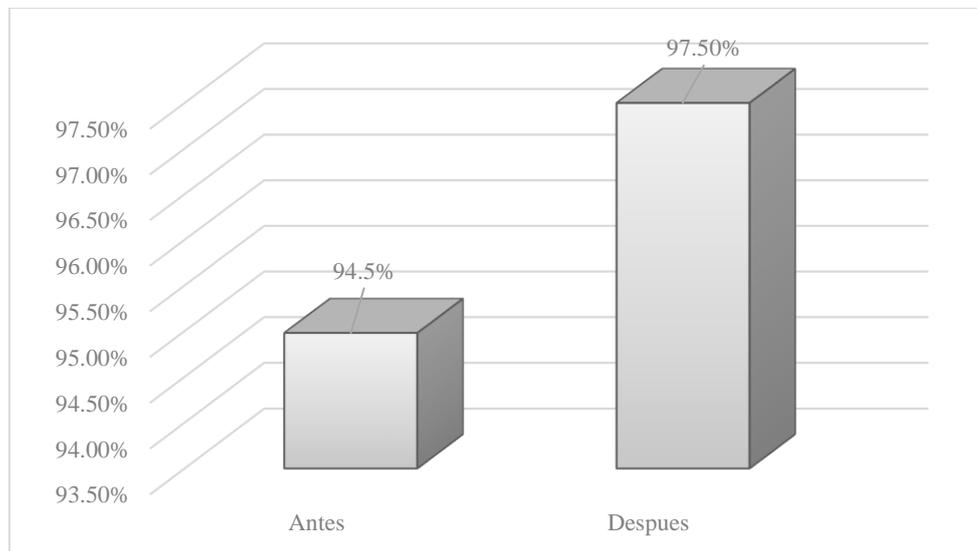


Figura 50 Comparación de la disponibilidad

Elaboración propia

Es claro notar que se ha experimentado un cambio sustancial en la disponibilidad de los vehículos, dado que se pasó del 94.5% al 97.5% en promedio en la comparación de escenarios previo y posterior a la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Ante ello, es posible afirmar que se han logrado los resultados esperados respecto al tema.

Impacto económico de la propuesta

Para calcular el impacto económico de la aplicación del mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad, se ha desarrollado una comparación de escenarios en el punto más crítico de las reparaciones, a saber, el gasto en repuestos de la maquinaria. El costo de cada uno de ellos en la respectiva falla se detalla en el Anexo X y para la comparación se empleará la moneda del dólar, dado que los repuestos son importados. Para demostrar la efectividad de la propuesta se presenta la siguiente tabla con la

información de los gastos mensuales en este concepto a lo largo de los 12 meses de evaluación.

Tabla 23

Gastos en repuestos

Escenario	Meses	Nº Fallas	Gastos en repuesto (USD)
Previo	Mes 1	10	5700.8
	Mes 2	13	5410.8
	Mes 3	13	5701.2
	Mes 4	10	5733.6
	Mes 5	11	5319.6
	Mes 6	8	5275.6
	Mes 7	9	3583.8
Posterior	Mes 8	8	2881.0
	Mes 9	7	1958.3
	Mes 10	8	1651.0
	Mes 11	5	1024.0
	Mes 12	4	581.5

Elaboración propia

Como se observa en la tabla anterior, se ha detallado el número de fallas a lo largo de los 12 meses de análisis, el cual por la aplicación de la mejora ha ido disminuyendo de forma sostenida. Ahora bien, la reparación de los equipos incluye el costo en los repuestos, cifra que está relacionada con el número de fallas y la gravedad de la falla ocurrida; muchas veces se deben realizar cambios importantes de piezas por la avería sucedida. En el primer mes de análisis se presentaron 10 fallas, las que requirieron una inversión de USD 5,700 dólares en repuestos; en el segundo mes se presentaron 13 fallas con un costo de repuestos de USD 5,400 dólares. En el escenario final, el gasto en repuestos fue disminuyendo dado que no se requirió cambiar de piezas por el mantenimiento preventivo que se hizo a cada parte del vehículo; a partir de ello se observan gastos de USD 3,583 dólares para el séptimo mes, USD 2,881 dólares para el octavo mes hasta llegar a USD 581 dólares en el último periodo de evaluación. Para detallar el escenario mostrado en estas líneas de forma más didáctica, se presenta la siguiente figura con el desarrollo histórico de los gastos en repuestos.

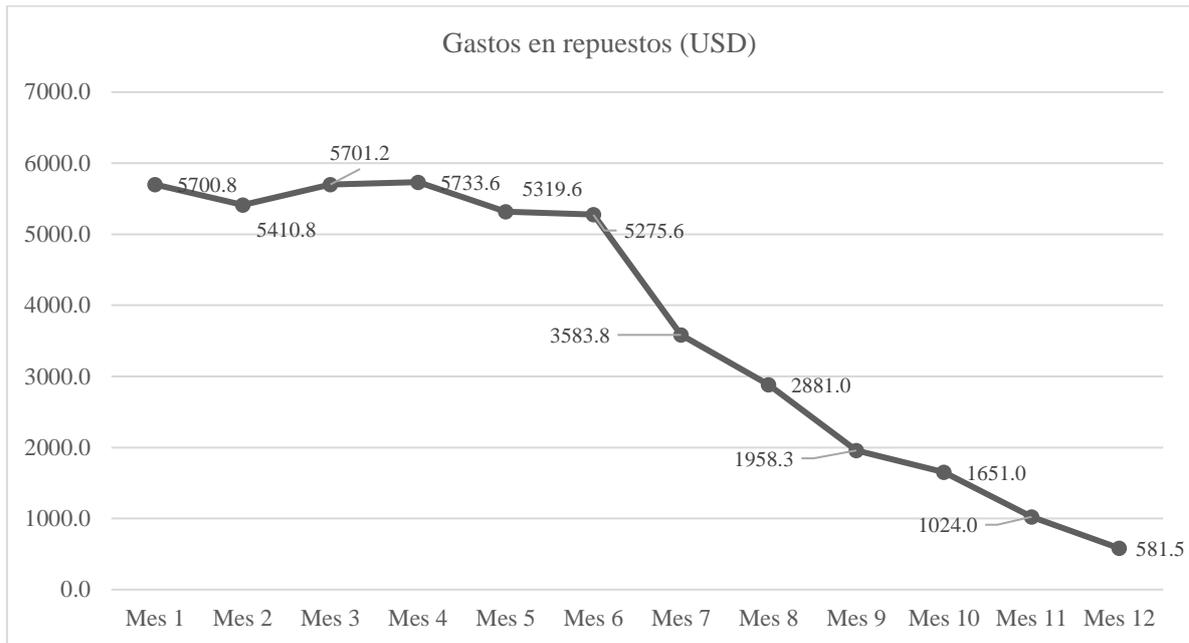


Figura 51 Gastos en repuestos a lo largo de 12 meses

Elaboración propia

Como se observa en la figura anterior, el gasto en repuestos ha ido disminuyendo de forma considerable a partir de la aplicación de la metodología RCM en los equipos en evaluación. En el escenario inicial (6 primeros meses) el gasto en este concepto estaba alrededor de los USD 5,700 dólares en promedio; dicho valor se mantuvo similar antes de la aplicación de la mejora. A partir del sexto mes se observan cambios hasta el gasto de solo USD 581 dólares en el mes 12. Esta situación confirma la efectividad de la metodología. De forma complementaria se presenta una comparación de escenarios entre el gasto promedio en el escenario previo a la mejora y el posterior a ella en la siguiente tabla:

Tabla 24

Comparación de gastos en escenario (expresado en USD)

	Pre	Post	Ahorro
Gasto promedio mensual	5,523.60	1,946.60	3,577.00
Promedio de fallas	10.8	6.8	4
Costo Unitario promedio	509.87	284.87	225.00

Elaboración propia

Es posible notar que en el escenario previo a la aplicación del RCM el gasto promedio mensual en repuestos era de USD 5,523 dólares, esta es una cifra muy superior comparada con el gasto en el escenario posterior de USD 1,946 dólares, por lo que se obtiene un ahorro mensual promedio de USD 3,577 dólares. Desde otra perspectiva, considerando el número de fallas, se puede obtener el gasto unitario promedio, es decir, la división del gasto promedio mensual entre el promedio de fallas en cada escenario. En la situación anterior se observa un promedio de fallas de 10.8 al mes, por lo que se obtiene un gasto promedio por cada falla de USD 509.87 dólares; en cambio, en la situación posterior con la presencia de 6.8 fallas al mes se alcanza un gasto promedio por cada falla de USD 284.87 dólares. En otras palabras, comparando los escenarios se ha logrado un ahorro en gasto de repuestos en cada reparación de fallas de USD 225 dólares, dicho ahorro beneficia en gran manera a la compañía y expresa un importante impacto económico por la aplicación del RCM; para graficar dicha comparación se muestra la siguiente figura:

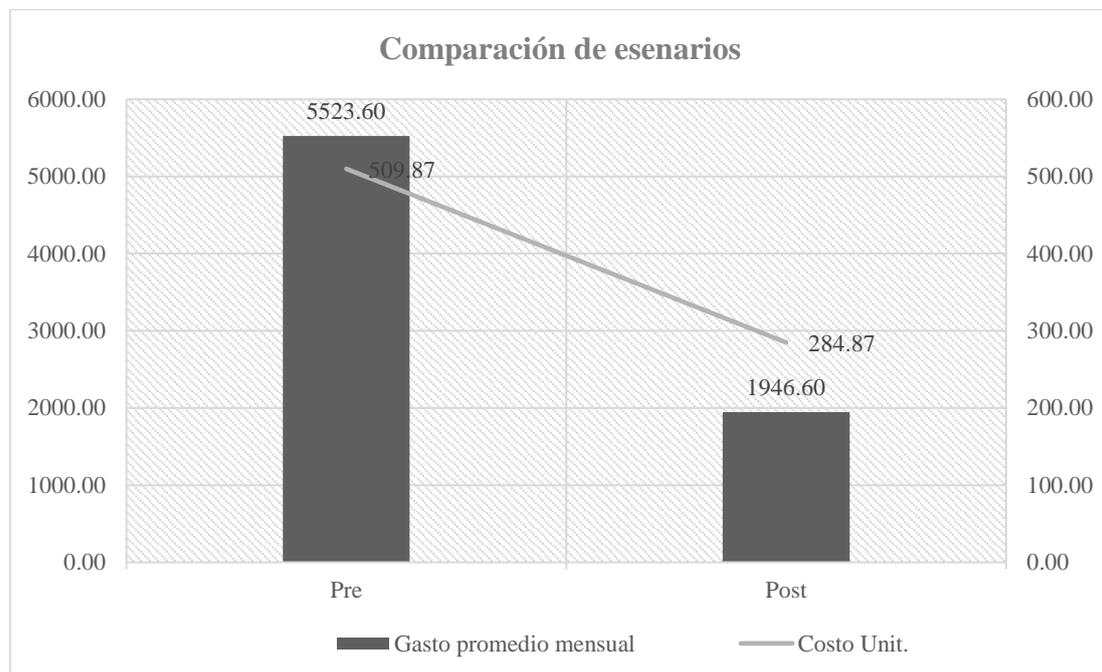


Figura 52 Comparación de gastos en escenario previo y posterior a la mejora

Elaboración propia

DISCUSIÓN

En primer lugar, se observa que debido a la implementación de la metodología RCM se logran cambios en el tiempo medio entre reparaciones, el cual ha ido disminuyendo de forma constante a partir de sexto mes de evaluación (periodo donde se aplica la mejora); en este sentido, se inició con un índice de 3.90 y en el último periodo fue de 2.25, dicha situación se observa en la tabla 20. Por otro lado, el MTTR promedio de cada escenario también disminuyó, pasando de 4.12 a 2.83, tal como se señala en la figura 45. Una situación análoga sucede a nivel internacional en Tudon, Zúñiga, Lerma y Méndez (2019) donde el tiempo medio entre reparaciones (MTTR) disminuyó de 49 a 10 minutos a 16 semanas de la aplicación de mejoras, por lo que se recomienda que este plan sea adaptado para otras máquinas que presenten un problema similar en la empresa.

En el análisis nacional de acuerdo con Romero (2019) con el empleo de la metodología RCM se logran reducciones importantes en el tiempo medio para reparaciones dado que al inicio fue de 17.6 horas y pasó a 14.6 horas, en el escenario final; de forma similar en Ramírez y Yanac (2019) el MTTR se redujo de 80.8 a 27.8 horas. Una mención especial merece el trabajo de Vega (2018) debido a que también se aplicó el RCM sobre volquetes, pero en su caso el tiempo para reparaciones se expresa en las horas de mantenimiento no programado, que pasaron de 33.5 a 21.3 horas por la aplicación de la mejora durante 6 meses posteriores, es decir, se evidencia un claro impacto de la metodología. Cabe resaltar que en nuestra investigación, este indicador se redujo de 3.90 a 2.25, tal como se detalla en la tabla 20, dicho cambio representa una disminución del 42.3 %, cifra superior al cambio de 36.4% en el estudio presentado por Vega (2018) lo que evidencia la correcta aplicación de la metodología RCM para nuestros volquetes en el mismo tiempo de análisis.

En segundo lugar, se ha experimentado en nuestra investigación un cambio en el tiempo medio entre fallas en la situación previa y posterior a la mejora. El indicador MTBF ha aumentado de forma sostenida y clara desde el sexto mes de análisis; en tanto que se inició con un índice de 76.10 y en el último periodo fue de

197.75; tal como se muestra en la tabla 21 y figura 46, ello se basa en el aumento del número de horas en el funcionamiento y la reducción de las fallas que ocurren. En el escenario internacional se evidencia en Tudon, Zúñiga, Lerma y Méndez (2019) que la metodología obtuvo resultados positivos, en tanto que el tiempo medio entre fallas (MTBF) en un escenario inicial fue de 5,566 minutos, el cual incremento a 14,785 minutos. Dicha comparación permite sostener que los alcances de la metodología han seguido una tendencia similar en ambos trabajos.

En la recolección de trabajos a nivel nacional se detalla que en Romero (2019) el empleo del RCM logra incrementos sustanciales en el tiempo medio entre fallas, en tanto que al inicio fue de 50.3 horas y aumentó a 73.17 horas en el escenario final; de forma similar en Ramírez y Yanac (2019) el indicador del tiempo medio fallas (MTBF) se incrementó de 378 a 1270 horas. Una mención especial merece el trabajo de Vega (2018) debido a que también se aplicó el RCM sobre volquetes, pero en su caso el tiempo entre fallas se expresa en las horas de trabajo realizadas que pasaron de 183.5 a 222 horas por la aplicación de la mejora durante 6 meses posteriores, es decir, se evidencia un claro impacto de la metodología. En este sentido, nuestra investigación logra un cambio del MTBF de 76.10 a 197.75 (tabla 21), lo que implica un incremento del 103.6% de dicho indicador, cifra altamente superior al 20.9% del análisis de Vega (2018), siendo este el ejemplo más cercano al tema dado que se mantienen volquetes, o al 45.4% de Romero (2019), pero inferior al 235% observado en el trabajo de Ramírez y Yanac (2019) dado que se trabaja con otro tipo de equipos (convertidora de papel)

Como consecuencia de los cambios, se observa una importante variación respecto a la disponibilidad de los equipos, objetivo principal de la presente investigación; a partir de ello se observaron cambios en el periodo donde se implementa la mejora, en tanto que la disponibilidad de los volquetes en los primeros periodos, al inicio fue de 95.1% y en el segundo mes disminuyó al 92.8%; posterior a la implementación de la metodología RCM se logra un aumento importante y sostenido para finalmente alcanzar en el último periodo el valor de 98.9%, ello se observa en la tabla 22 y figura 48. A nivel internacional, un resultado similar se observa en Álvarez (2017) donde el cambio de la disponibilidad de los

equipos en Ecuador pasó del 60% al 94% por la aplicación de la metodología RCM; adicionalmente se recomendó revisar de forma periódica los planes de mantenimiento y el análisis de criticidad de los vehículos, además de capacitar al personal para realizar una mejor gestión del mantenimiento.

En el escenario nacional se observan trabajos interesantes como en Romero (2019) en donde con el empleo del mantenimiento centrado en la confiabilidad se lograron mejoras sustanciales en la disponibilidad de los equipos que en el escenario previo alcanzó un valor de 79% y posterior a los cambios fue de 85%. De forma similar en Ramírez y Yanac (2019) la disponibilidad logró un incremento del 10.4%, es decir paso de 77.8% a 88.2%; de forma complementaria, con la ayuda de la estadística inferencial, se obtuvo una significancia de $0.00 < 0.05$, lo cual valida la afirmación. En Vega (2018) se muestran los cambios en la disponibilidad de volquetes con el uso de la mencionada metodología; en el escenario inicial este indicador fue de 79.13% y luego paso al 89.72%, comparando los promedios de cada escenario se obtiene que este indicador mejora en 10.59%; adicionalmente, con el empleo de la estadística inferencial se valida esta afirmación con una significancia de 0.05. En el trabajo de Campos (2018) la comparación de escenarios evidencia un incremento del 35.2% de la disponibilidad, dado que paso del 41.7% al 76.8% con el empleo de la metodología RCM.

Comparando dichos resultados, en nuestra investigación se logró un incremento del 3.8% de la disponibilidad (cambio de 95.1% a 98.9% en la figura 48), si bien es cierto que esta variación es inferior a la disponibilidad observada en Vega (2018) de 10.59% (79.13% a 89.72%) o en el caso de Ramírez y Yanac (2019) de 10.4%, la ventaja de nuestro indicador es que logra una disponibilidad bastante elevada para los volquetes, lo que permite un mayor tiempo en el ejercicio de actividades para el beneficio de la empresa, dado que en pocas investigaciones se obtiene un valor tan alto (98.9%), ello demuestra la efectividad de la metodología RCM y la buena aplicación de la propuesta para los volquetes.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la presente sección se detallan las conclusiones a las que llega la investigación luego de haber desarrollado la metodología RCM en el mantenimiento de los volquetes en la empresa de análisis. Para ello, debe considerarse como lineamientos de acción los objetivos planteados al inicio de la investigación, dado que es importante saber si fue posible cumplirlos a cabalidad.

En primer lugar, se concluye que fue posible determinar cuál fue la situación inicial de la disponibilidad de volquetes en la empresa; para ello se emplearon los indicadores de MTTR de 3.9 (tabla 20 y figura 44) y MTBF de 76.10 (tabla 21 y figura 46) lo cual muestra un nivel de disponibilidad de 95.13% en el escenario inicial, como se observa en la tabla 22 y figura 48. A partir de ello se toma la decisión de generar un cambio.

En segundo lugar, se concluye que se determinaron los factores que afectan la disponibilidad de volquetes en la empresa usando el análisis AMEF y empleando el enfoque del índice de prioridad de fallos (RPN). Se demuestra que los factores más influyentes son las fallas en la caja de transmisión con 37%, el motor y combustible con 30% y el sistema hidráulico con 16.6%; ellos tres acumulan el 84% del problema total en este tema, tal como se observa en la tabla 17. Estos indicadores son de gran importancia para la empresa pues expresan los problemas que deben ser atendidos con prioridad en los volquetes para el correcto funcionamiento y la disponibilidad, puesto que ante fallas de algunos de los mencionados casos el vehículo podría parar en cualquier momento afectando las actividades de transporte.

En tercer lugar, fue posible diseñar un plan de mantenimiento preventivo con el análisis AMEF inicial, la creación de formatos para el registro de fallas (figura 36 y 38), la capacitación del personal (figura 40 y 41; tabla 19 con cronograma), el orden en el área de trabajo (figura 42 y 43) y el desarrollo del AMEF final que determinó 3 fallas de riesgo medio (94 puntos para el sistema

eléctrico, 91 puntos para la caja de transmisión y 78 puntos para el sistema hidráulico) y 5 fallas de riesgo bajo, tal como se observa en la tabla 18.

En cuarto lugar, se concluye que fue posible determinar la situación final de la disponibilidad de los volquetes en la empresa; para este fin se utilizaron los indicadores de MTTR de 2.25 (tabla 20 y figura 44) y MTBF de 197.75 (tabla 21 y figura 46) lo cual muestra un nivel de disponibilidad de 98.88% en el escenario posterior a la implementación de la metodología RCM, tal como se detalla en la tabla 22 y figura 48.

Finalmente, se concluye que la aplicación de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad incrementa la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019, dado que el indicador paso de 95.13% en la situación inicial a 98.88% en el escenario final (tabla 22 y figura 48).

RECOMENDACIONES

En esta última sección se detallan las sugerencias o recomendaciones para lograr la mejora continua en la empresa y no presentar problemas graves en la disponibilidad de los equipos, lo cual ya ha sido resuelto con la aplicación del RCM.

En primer lugar, se recomienda el empleo de tecnología de punta para evaluar la situación inicial de cada uno de los vehículos que reciben mantenimiento dado que muchas veces las causas no son visibles y es necesario contar con herramientas que colaboren en dicha labor.

Se recomienda crear líneas participativas para la identificación de puntos críticos que afecten el desarrollo en el área, es decir, implementar una constante comunicación entre los colaboradores para conocer sus perspectivas y opiniones para la mejora.

Se recomienda implementar mecanismos de control para supervisar el correcto funcionamiento de la metodología en el taller; si se desea tener una mejora continua se deben controlar los avances y se debe buscar la perfección en cada mantenimiento.

Se recomienda emplear herramientas dinámicas para la presentación de los resultados finales, para que de esa forma el cliente pueda conocer la evolución de sus vehículos y tener en claro cuáles serán las fallas que posiblemente aparezcan en el futuro para mejorar.

Finalmente, se recomienda aplicar el análisis RCM a otros vehículos de menor tamaño, puesto que el problema de la disponibilidad es un factor que afecta a todo tipo de equipos y retrasa la producción en cada uno de los sistemas.

REFERENCIAS

- Afzali, P., Keynia, F., & Rashidinejad, M. (2019). A new model for reliability-centered maintenance prioritisation of distribution feeders. *Energy Vol 171*, 701-709; <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.040>.
- Aguilera, A. (2011). *Gestión del mantenimiento de instalaciones de energía eólica*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Vértice.
- Alavedra, C., Gastelu, Y., Méndez, G., Minaya, C., Pineda, B., Prieto, K., . . . Moreno, C. (2016). Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013. *Ingeniería Industrial N° 34*; , ISSN 1025-9929, 11-26.
- Alvarez, I. (2017). *Implementación de la metodología RCM para los vehículos de emergencia del benemérito cuerpo de bomberos voluntarios de Cuenca*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Baena , G. (2016). *Metodología de la Investigación*. Ciudad de México: Grupo Editorial Patria.
- Barreda, S. (2015). *Plan de Mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM en la Edar de Nules*. Universitat Jaume.
- Barrera, E., & Estrada, Z. (2017). *Propuesta de mantenimiento preventivo para flotas de camiones Modelo Mack, en el plantel los cocos (Alcaldía de Managua)*. Managua, Nicaragua : Universidad Nacional de Ingeniería.
- Bassiouny, A., Damcese, M., Mustafa, A., & Eliwa, M. (2016). Mixture of Exponentiated Generalized Weibull-Gompertz Distribution and its Applications in Reliability. *Journal of Statistics Applications & Probability Vol 5 N° 3*, 455-468.
- Berger, E., Yarin, A., Velásquez, C., Gambini, I., De la Cruz, L., Nuñez, L., . . . Gálvez, H. (2015). Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad en motores de combustión interna de las embarcaciones pesqueras de la serie intrépido de una empresa pesquera. *PESQUIMAT Vol 18 N° 2*, 5-18.
- Braglia, M., Castellano , D., & Gallo, M. (2019). A novel operational approach to equipment maintenance: TPM and RCM jointly at work. *Journal of Quality in Maintenance Engineering Vol. 25 N° 4*, 612-634; <https://doi.org/10.1108/JQME-05-2016-0018>.

- Caballero, C., & Clavero, J. (2016). *UF1466 - Sistemas de almacenamiento*. Madrid, España: Ediciones Paraninfo.
- Campos, I. (2018). *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad para incrementar la rentabilidad en la Empresa de Transporte Sayvan E.I.R.L.* Chiclayo, Perú: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Campos, O., Tolentino, G., Toledo, M., & Tolentino, R. (2018). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Revista Científica del Instituto Politécnico Nacional Vol 23 N° 1*, 2-16.
- Cárcel, F. (2014). *La gestión del conocimiento en la ingeniería de mantenimiento industrial*. Valencia, España: OmniaScience.
- Cárcel, F. (2016). Características del sistema TPM y RCM en la ingeniería de mantenimiento. *3C Tecnología Vol 5 N° 3*, 68-75.
- Claro, P. (2017). *Reducción del índice de riesgo y su efecto sobre el nivel de reclamos en la recarga de extintores*. Lima: Universidad San Ignacio de Loyola.
- Díaz, A., Villar, L., Cabrera, J., Gil, A., Mata, R., & Rodríguez, A. (2016). Implementación del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad en empresas de transmisión eléctrica. *Ingeniería Mecánica Vol 19 N° 3*, 137-142.
- Diestra, J., Esquiviel, L., & Guevara, R. (2017). Programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para optimizar la disponibilidad operacional de la maquina con mayor criticidad. *Rev. Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación Vol 4 N° 1*, 1-10.
- Emovon, I., Norman, R., & Murphy, A. (2016). Elements of a maintenance system and tools for implementation within framework of Realiability Centred Maintenance - Review. *Journal of Mechanical Engineering and Technology Vol 8 N° 2*, 1-34.
- Garcia, I. (2016). *Anatomía de sistemas: Su análisis y su apoyo*. Madrid, España: Diaz de Santos.
- Gonzales, M. (2016). Mantenimiento centrado en la confiabilidad aplicado al sistema hidráulico de la planta generadora Huaji de Cobee. *Journal Boliviano de Ciencias Vol 11 N° 35*, 9-14; ISSN 2075-8936.
- González, F. (2015). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*. Madrid, España: Fundación CONFEMETAL.

- Gupta, P., & Sri, A. (2014). *Seis Sigma sin Estadística: Enfoque en la búsqueda de las mejoras inmediatas*. Porto, Portugal: Accelper Consulting.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Hinojosa, J. (2017). *El arte de hacer una tesis*. Lima, Perú: José Adolfo Hinojosa Pérez. Instituto de Investigación y Desarrollo de Comercio Exterior de la Cámara de Comercio de Lima. (2018). Aumento continuo del parque automotor, un problema que urge solucionar. *La Camara Vol 26*, 24-26.
- Lomte, R., Bhosle, S., Ambad, P., & Gaikwad, R. (2018). Reliability Improvement for TSR Machine of Banburry Mixer using Plant Optimization Process. *Procedia Manufacturing Vol 20*, 440-445.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Anuario Estadístico 2017*. Lima, Perú:
https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/publicaciones/anuarios/ANUARIO_ESTADISTICO_2017.pdf.
- Montalban, E., Arenas, E., Talavera, M., & Magaña, R. (2015). Herramienta de mejora AMEF (Análisis del modo y efecto de la Falla Potencial) como documento vivo en un área operativa. Experiencia de aplicación en empresa proveedora para Industria Automotriz. *Revista de Aplicaciones de la Ingeniería*, 230-240.
- Moreira, A., Silva, G., Correia, I., Pereira, T., Ferreira, P., & Almeida, F. (2018). Cost reduction and quality improvements in the printing industry. *rocedia Manufacturing Vol 17*, 623-630.
- Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., & Romero, E. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de tesis*. Bogotá, Colombia : Ediciones de la U.
- Pareja, C., Amado, J., & Gutiérrez, J. (2017). Gestión de mantenimiento preventivo y disponibilidad de la flota de tractores del área de maquinarias en una empresa pecuaria. *INGnosis Vol 3 N° 1*, 169-182.
- Parra, C., & Crespo, A. (2012). *Ingeniería del Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos*. Madrid, España: Editorial Ingeman.
- Penabad, L., Iznaga, A., Rodríguez, P., & Cazañas, C. (2016). Disponibilidad y disponibilidad como indicadores para el transporte. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias Vol 25 N° 4*, 64-73; ISSN -1010-2760.

- Perú Construye. (2018). *Transporte de Máxima potencia*. Lima: Perú Construye.
- Plaza, A. (2009). *Apuntes teóricos y ejercicios de aplicación de gestión del mantenimiento industrial*. Madrid, España: Lulu Editorial.
- Proaño, D., Gisbert, V., & Pérez, E. (2017). Metodología para elaborar un plan de mejora continua. *3C Empresa*, 50-56.
- Rachman, H., Kesy, A., & Mujayin, H. (2017). Usulan Perawatan Sistem Boiler dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM). *Jurnal Teknik Industri, Vol 18 N° 01*, 86-93; ISSN 1978-1431.
- Ramirez, M., & Yanac, Y. (2019). *Implementación del RCM para incrementar la productividad en una empresa convertidora de bolsas de papel, Lima, 2019*. Lima, Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- Rey, F. (2001). *Manual del mantenimiento integral en la empresa*. Madrid, España: FC Editorial.
- Rojas, J. (2017). *Por Qué Cambiar La Forma De Hacer Minería En Chile: Una Oportunidad Para Reinventar Nuestra Oferta Profesional en la Industria*. Bloomington, Estados Unidos: Balboa Press.
- Romero, Y. (2019). *Elaboración de un plan de mantenimiento para incremento de disponibilidad de los equipos de flota en una empresa comunal*. Arequipa, Perú: Universidad Continental.
- Silvestre, I., & Huamán, C. (2019). *Pasos para elaborar la investigación y redacción de la tesis universitaria*. Lima, Perú: San Marcos .
- Sinha, R., & Mukhopadhyay, A. (2015). Reliability centered maintenance of cone crusher: a case study. *International Journal of System Assurance Engineering and Management Vol 6 N°1*; ISSN: 0975-6809, 32–35; <https://doi.org/10.1007/s13198-014-0240-7>.
- Socconini, L. (2019). *Lean Manufacturing: paso a paso*. Barcelona: Marge Books.
- Socconini, L. (2019). *Lean Six Sigma Yellow Belt. Manual de certificación*. Barcelona: Marge Books.
- Soto, J. (2016). *Mantenimiento basado en la confiabilidad para el mejoramiento de la disponibilidad mecánica de los volquetes Faw en Gym S.A*. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.

- Tang, Y., Liu, Q., Jing, J., Yang, Y., & Zou, Z. (2017). A framework for identification of maintenance significant items in reliability centered maintenance. *Energy Vol 118*, 1295-1303; <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.011>.
- Tudon, A., Zuñiga, M., Lerma, M., & Méndez, L. (2019). Implementation of the RCM methodology in pleating machine. *Journal of Quantitative and Statistical Analysis Vol 6 N°8*, 13-16.
- Valderrama, S. (2019). *Pasos para Elaborar Proyectos de investigación Científica*. Lima: Editorial San Marcos.
- Vallencillos, M. (2017). *UF1216 - Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo otto*. Madrid, España: Editorial ELEARNING S.L.
- Vega, L. (2018). *Implementación de la metodología RCM para aumentar la disponibilidad mecánica del volquete Volvo FM1364R en la empresa Vickers Ingenieros EIRL*. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Wakiru, J., Pintelon, L., Muchiri, P., & Chemweno, P. (2018). Maintenance optimization: Application of remanufacturing and repair strategies. *Procedia CIRP Vol 69*, 899 - 904 .
- Ypanaqué, S., Chucuya, R., & Esquivel, L. (2017). Mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad y confiabilidad de una grúa de 50 toneladas . *INGnosis Vol 3 N° 2*, 309-322.
- Zegarra, M. (2016). Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados. *Ciencia y Desarrollo Vol 19 N° 1*, 25-37; : <http://dx.doi.org/10.21503/CienciayDesarrollo.2016.v19i1.02>.

ANEXOS

Anexo 1 Matriz de consistencia	128
Anexo 2 Detalle en gastos de repuestos	129
Anexo 3 Lista de fallas funcionales (Sistema eléctrico) Hoja de análisis modo de falla.	136
Anexo 4 Lista de fallas funcionales (Sistema Hidráulico) Hoja análisis modo de falla.	137
Anexo 5 Lista de fallas funcionales (Sistema Motor Periféricos) Hoja análisis modo de falla	138
Anexo 6 Cartilla de mantenimiento preventivo, volquete Howo 371.	139
Anexo 7 Participación proyecto (Flúor Barrick Dominicana 2009-2011)	140
Anexo 8 Capacitación Tecsup electricidad y electrónica del vehículo (Lima – 2005) 141	
Anexo 9 Reconocimiento a la seguridad y medio ambiente, proyecto planta tostación y ácido Gym sa, Votorantim Metais (Cajamarquilla – 2009).....	142
Anexo 10 Experiencia profesional Madrid – España (Toledo – 2008)	143
Anexo 11 Certificados Experiencia laboral nacional: Proyecto gas de Camisea , Graña y Montero - Pluspetrol (2002-2006).....	144
Anexo 12 Certificado experiencia profesional Graña y Montero – Barrick Republica Dominicana (Santo Domingo 2009-2011)	145

Anexo 1 Matriz de consistencia

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
¿En qué medida aplicación de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad incrementa la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019?	Determinar en qué medida aplicación de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad incrementa la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019.	La aplicación de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad incrementa la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019.	Mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad	AMEF (Análisis modal de efectos y fallas)	$RPN = Severidad \times Ocurrencia \times Detección$	Razón
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General		Programa de mantenimiento basado en el uso	$TP = N^{\circ} \text{ de trabajos programados}$	Razón
¿Cuál es la situación inicial de la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019?	Determinar cuál es la situación inicial de la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019.	Existe un bajo nivel de disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019.		Decisiones basadas en confiabilidad	$HD = N^{\circ} \text{ de hojas de decisión RCM}$	Razón
¿Cuáles son los factores que afectan la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019?	Determinar cuáles son los factores que afectan la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019.	Los factores afectan negativamente la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019.	Disponibilidad	MTTR (Tiempo promedio para reparar)	$MTTR = \frac{\sum \text{Horas de mantenimiento correctivo}}{N^{\circ} \text{ Fallas}}$	Razón
¿Cuál es la situación final de la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019?	Determinar cuál es la situación final de la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019.	Existe un alto nivel de disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019.		MTBF (Tiempo promedio para fallar)	$MTBF = \frac{\sum \text{Horas total de operación}}{N^{\circ} \text{ Fallos}}$	Razón
¿Cuál es el impacto económico de la aplicación de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad al incrementar la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019?	Determinar cuál es el impacto económico de la aplicación de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad al incrementar la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019.	Existe un impacto económico positivo debido a la aplicación de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad al incrementar la disponibilidad de volquetes en la empresa Transervice Generales L&G, año 2019.				

Anexo 2 Detalle en gastos de repuestos

Meses	N° Falla	Descripcion del repuesto	Numero de parte	Precio USD
Mes 1	Falla 1	Valvula levante hyba	14750667H	60.5
Mes 1		Freno de motor ensamblado E3	3523010-D815	130
Mes 1		Collarin de embrague E3	C124C131	60
Mes 1		Cilindro camiseta wp12.375	612630010055	70
Mes 1		Kit anillos	'612600030051	140
Mes 1	Falla 2	Espejo retrovisor rh	'8202020-A17	70
Mes 1		Amortiguador delantero	2905010-D650B	55
Mes 1		Cremallera luna derecha	'6104020E109	35
Mes 1		Mascarilla frontal inspeccion	5301021-E01	45.5
Mes 1	Falla 3	Barra inferior de suspension	2919020-D603U	130
Mes 1		Amortiguador delantero	2905010-D650B	55
Mes 1		Cremallera luna derecha	'6104020E109	35
Mes 1	Falla 4	Filtro hidraulico de alta	FH6991	21.5
Mes 1		Kit de pines bocinas (tren del)	44XL-Q402G	80
Mes 1		Zapata posterior ensamb (rh)	W3502370D01A	90
Mes 1		Arrancador motor	'612630030208	390
Mes 1	Falla 5	Deposito de refrigerante	1311010-Q204	44.5
Mes 1		Kit de pines bocinas (tren del)	44XL-Q402G	80
Mes 1		Zapata posterior ensamb (rh)	W3502370D01A	90
Mes 1		Faja de alternador (wp12)	612630060011	15
Mes 1		Freno de motor (wp12)	3523010-D815	130
Mes 1	Falla 6	Brazo puente tren delantero	3001034-D643	38.4
Mes 1		Electrovalvula aire freno motor	3754020-260/A	20
Mes 1		Soporte direccion rh	3001021-Q402	48.5
Mes 1		Valvula freno de motor	3523010-D815	130
Mes 1	Falla 7	Valvula neumatica pto	14750667H	60.5
Mes 1		Turbo compresor	'612600118921	560
Mes 1		Caja timon hidraulica	3411010-D598	750
Mes 1		Scanner computer (siste)	'612630080007	1250
Mes 1		Rele intermitente emergencia	3722016-D824N	45.5
Mes 1	Falla 8	Lainas corona	ZL300S1-2403005	16.6
Mes 1		Collarin de embrague	125481	60
Mes 1		Disco de embrague	128872	150
Mes 1		Reten posterior corona	W2402050F01C	50
Mes 1		Kit reten corona delantero	W2502163F01C/64	19.5
Mes 1	Falla 9	Perno delantero de rueda	3103050-Q402B	105
Mes 1		Templador faja alternador	612630060847	66.5
Mes 1	Falla 10	Engranaje selector baja (caja)	1010040	333.3
Mes 1		Kit de pines bocinas (tren del)	44XL-Q402G	80
Mes 1		Zapata posterior ensamb (rh)	W3502370D01A	90
Mes 2	Falla 1	Valvula levante hyba	14750667H	60.5
Mes 2		Turbo compresor	'612600118921	320
Mes 2		Kit anillos	'612600030051	140
Mes 2	Falla 2	Espejo retrovisor rh	'8202020-A17	70
Mes 2		Mascarilla frontal inspeccion	5301021-E01	45.5
Mes 2	Falla 3	Barra inferior de suspension	2919020-D603U	130
Mes 2		Amortiguador delantero	2905010-D650B	55
Mes 2		Cremallera luna derecha	'6104020E109	35
Mes 2	Falla 4	Filtro hidraulico de alta	FH6991	21.5

Mes 2		Arrancador motor	612630030208	390
Mes 2	Falla 5	Depósito de refrigerante	1311010-Q204	44.5
Mes 2		Faja de alternador (wp12)	612630060011	15
Mes 2		Freno de motor (wp12)	3523010-D815	130
Mes 2	Falla 6	Brazo puente tren delantero	3001034-D643	38.4
Mes 2		Electrovalvula aire freno motor	3754020-260/A	20
Mes 2		Soporte direccion rh	3001021-Q402	48.5
Mes 2		Valvula freno de motor	3523010-D815	130
Mes 2	Falla 7	Valvula neumatica pto	14750667H	60.5
Mes 2		Scanner computer (siste)	612630080007	1250
Mes 2		Rele intermitente emergencia	3722016-D824N	45.5
Mes 2	Falla 8	Lainas corona	ZL300S1-2403005	16.6
Mes 2		Collarin de embrague	125481	60
Mes 2		Disco de embrague	128872	150
Mes 2		Reten posterior corona	W2402050F01C	50
Mes 2		Kit reten corona delantero	W2502163F01C/64	19.5
Mes 2	Falla 9	Perno delantero de rueda	3103050-Q402B	105
Mes 2		Templador faja alternador	612630060847	66.5
Mes 2	Falla 10	Engranaje selector baja (caja)	1010040	333.3
Mes 2		Kit de pines bocinas (tren del)	44XL-Q402G	80
Mes 2		Zapata posterior ensamb (rh)	W3502370D01A	90
Mes 2	Falla 11	Zapatillas de freno delantero	3501391-Q402H	240
Mes 2		Palanca luces combinatoria	3735010-D160	75
Mes 2	Falla 12	Caja timon hidraulica	3411010-D598	750
Mes 2		Rodaje de cubo exterior	33022	60
Mes 2		Rodaje de cubo interior	30220	65
Mes 2	Falla 13	Faro delantero rh cabina	3711070-Q710	90
Mes 2		Pernos posterior de rueda	W3104051F01C	110
Mes 3	Falla 1	Reservorio liquido refrigerante	1311010-Q204	40
Mes 3		Reten de aceite rueda delantero	3001114-Q402	24
Mes 3		Reten de aceite rueda delantero	3103045-Q402	8.5
Mes 3		Reten de rueda delantero	3103045-Q402	7
Mes 3	Falla 2	Pin de barra templadora 85mm x190	2919010-Q304	45
Mes 3		Washer (ESTRILLADA) ENGRA. CAJA	1010039	45
Mes 3		Washer(SEGURO CUADRAD CONO)	1010055	45
Mes 3		Washer(SEGURO ARANDEL CONO)	1009542	12
Mes 3		Reservorio de refrigerante	1311010-Q204	40
Mes 3	Falla 3	Valvula neumatica pto	14750667H	60.5
Mes 3		Scanner computer (siste)	612630080007	1250
Mes 3		Rele intermitente emergencia	3722016-D824N	45.5
Mes 3	Falla 4	Lainas corona	ZL300S1-2403005	16.6
Mes 3		Collarin de embrague	125481	60
Mes 3		Disco de embrague	128872	150
Mes 3		Reten posterior corona	W2402050F01C	50
Mes 3		Kit reten corona delantero	W2502163F01C/64	19.5
Mes 3		Faro delantero derecho	3711070-Q710	140.00
Mes 3	Falla 5	Faro delantero izquierdo	3711065-Q710	140.00
Mes 3		Faro posterior derecho	3716020-362	30.00
Mes 3		Faro posterior izquierdo	3716015-362	30.00
Mes 3		Guardafango ruedas	5103370-Q367	35.00
Mes 3		Logo FAW	5301027-E01	32.50
Mes 3	Falla 6	Filtro hidraulico de alta	FH6991	21.5

Mes 3		Arrancador motor	'612630030208	390
Mes 3		Valvula levante hyba	14750667H	60.5
Mes 3	Falla 7	Turbo compresor	'612600118921	320
Mes 3		Kit anillos	'612600030051	140
Mes 3		Depósito de refrigerante	1311010-Q204	44.5
Mes 3	Falla 8	Faja de alternador (wp12)	612630060011	15
Mes 3		Freno de motor (wp12)	3523010-D815	130
Mes 3		Cilindro de pistón Wp12.375N	612630010055	70
Mes 3	Falla 9	Pin del piston motor Wd615.46	61560030013	12.5
Mes 3		Piston de motor Wd615.46	61260030011	62.5
Mes 3		Piston de motor Wp12.375N	612630020152	80.5
Mes 3		Bombin de embrague	1602110-367	25
Mes 3		Engranaje selector baja (caja)	1010040	333.3
Mes 3	Falla 10	Turbo compresor	'612600118921	320
Mes 3		Zapatas de freno delantero	3501391-Q402H	240
Mes 3		Servo de embrague	1602305A70A	120
Mes 3	Falla 11	Perno delantero de rueda	3103050-Q402B	105
Mes 3		Templador faja alternador	612630060847	66.5
Mes 3		Engranaje selector baja (caja)	1010040	333.3
Mes 3	Falla 12	Kit de pines bocinas (tren del)	44XL-Q402G	80
Mes 3		Zapata posterior ensamb (rh)	W3502370D01A	90
Mes 3	Falla 13	Zapatas de freno delantero	3501391-Q402H	240
Mes 3		Palanca luces combinatoria	3735010-D160	75
Mes 4		Sensor de temperatura	612630060035	25
Mes 4	Falla 1	Sensor Ind. de temperatura	'612600090107	20
Mes 4		Sensor de velocidad	'612630030007	20
Mes 4		Perno delantero de rueda	3103050-Q402B	105
Mes 4	Falla 2	Alternador generador wp12.375	612630060248	150
Mes 4		Pedal acelerador electronico	1108010-D001	80
Mes 4		Templador faja alternador	612630060847	66.5
Mes 4		Engranaje selector baja (caja)	1010040	333.3
Mes 4	Falla 3	Steering tie rod arm (left)	3001031-Q402	180
Mes 4		Steering tie rod arm (right)	3001032-Q402	250
Mes 4		Zapata posterior ensamb (rh)	W3502370D01A	90
Mes 4		Zapatas de freno delantero	3501391-Q402H	240
Mes 4		Freno de motor (wp12)	3523010-D815	130
Mes 4	Falla 4	Cilindro de pistón Wp12.375N	612630010055	150
Mes 4		Engranaje selector baja (caja)	1010040	333.3
Mes 4		Palanca luces combinatoria	3735010-D160	75
Mes 4		Caja timon hidraulica	3411010-D598	750
Mes 4	Falla 5	Rodaje de cubo exterior	33022	60
Mes 4		Rodaje de cubo interior	30220	65
Mes 4		Brazo de direccion 375 (larga izquierdo)	3001031-D643	45.5
Mes 4	Falla 6	Piston de levante de cabina faw 360	5001120-Q204	180
Mes 4		Collarin de embrague	C124C131	60
Mes 4	Falla 7	Disco de embrague	'128872	150
Mes 4		Sensor Dosificador combustible	612600081583	125
Mes 4		Zapatas de freno delantero	3501391-Q402H	240
Mes 4	Falla 8	Bomba de agua motor wd615.46	612600060338	120
Mes 4		Plato de embrague FAW	170002-31	210
Mes 4		Disco de embrague FAW	128872	150

Mes 4		Palanca luces combinatoria	3735010-D160	75
Mes 4	Falla 9	Caja timon hidraulica	3411010-D598	750
Mes 4		Rodaje de cubo exterior	33022	60
Mes 4		Rodaje de cubo interior	30220	65
Mes 4	Falla 10	Faro delantero rh cabina	3711070-Q710	90
Mes 4		Freno de motor ensamblado E2	3523010-Q206	120
Mes 4		Collarin de embrague E3	C124C131	60
Mes 4		Pernos posterior de rueda	W3104051F01C	110
Mes 5	Falla 1	Reservorio liquido refrigerante	1311010-Q204	40
Mes 5		Reten de aceite rueda delantero	3001114-Q402	24
Mes 5		Reten de aceite rueda delantero	3103045-Q402	8.5
Mes 5		Reten de rueda delantero	3103045-Q402	7
Mes 5	Falla 2	Pin de barra templadora 85mm x190	2919010-Q304	45
Mes 5		Washer (ESTRILLADA) ENGRA. CAJA	1010039	45
Mes 5		Washer(SEGURO CUADRAD CONO)	1010055	45
Mes 5		Washer(SEGURO ARANDEL CONO)	1009542	12
Mes 5		Reservorio de refrigerante	1311010-Q204	40
Mes 5	Falla 3	Valvula neumatica pto	14750667H	60.5
Mes 5		Scanner computer (siste)	'612630080007	1250
Mes 5		Rele intermitente emergencia	3722016-D824N	45.5
Mes 5	Falla 4	Lainas corona	ZL300S1-2403005	16.6
Mes 5		Collarin de embrague	125481	60
Mes 5		Disco de embrague	128872	150
Mes 5		Reten posterior corona	W2402050F01C	50
Mes 5		Kit reten corona delantero	W2502163F01C/64	19.5
Mes 5	Fall 5	Faro delantero derecho	3711070-Q710	140.00
Mes 5		Faro delantero izquierdo	3711065-Q710	140.00
Mes 5		Faro posterior derecho	3716020-362	30.00
Mes 5		Faro posterior izquierdo	3716015-362	30.00
Mes 5		Guardafango ruedas	5103370-Q367	35.00
Mes 5		Logo FAW	5301027-E01	32.50
Mes 5	Falla 6	Filtro hidraulico de alta	FH6991	21.5
Mes 5		Arrancador motor	'612630030208	390
Mes 5	Falla 7	Valvula levante hyba	14750667H	60.5
Mes 5		Turbo compresor	'612600118921	560
Mes 5		Caja timon hidraulica	3411010-D598	750
Mes 5		Kit anillos	'612600030051	270
Mes 5	Falla 8	Deposito de refrigerante	1311010-Q204	44.5
Mes 5		Faja de alternador (wp12)	612630060011	45
Mes 5		Freno de motor (wp12)	3523010-D815	130
Mes 5	Falla 9	Cilindro de pistón Wp12.375N	612630010055	150
Mes 5		Pin del piston motor Wd615.46	61560030013	12.5
Mes 5		Piston de motor Wd615.46	61260030011	62.5
Mes 5		Piston de motor Wp12.375N	612630020152	80.5
Mes 5	Falla 10	Bombin de embrague	1602110-367	125
Mes 5		Servo de embrague	1602305A70A	120
Mes 5	Falla 11	Perno delantero de rueda	3103050-Q402B	105
Mes 5		Templador faja alternador	612630060847	66.5
Mes 6	Falla 1	Engranaje selector baja (caja)	1010040	333.3
Mes 6		Kit de pines bocinas (tren del)	44XL-Q402G	80
Mes 6		Zapata posterior ensamb (rh)	W3502370D01A	90
Mes 6	Falla 2	Zapatas de freno delantero	3501391-Q402H	240

Mes 6		Palanca luces combinatoria	3735010-D160	75
Mes 6	Falla 3	Sensor de temperatura	612630060035	25
Mes 6		Sensor Ind. de temperatura	612600090107	20
Mes 6		Sensor de velocidad	612630030007	120
Mes 6		Servo direccion euro III	612630030005	350
Mes 6	Falla 4	Perno delantero de rueda	3103050-Q402B	105
Mes 6		Perno delantero de rueda	3103050-Q402B	105
Mes 6		Templador faja alternador	612630060847	66.5
Mes 6		Templador faja alternador	612630060847	66.5
Mes 6	Falla 5	Engranaje selector baja (caja)	1010040	333.3
Mes 6		Valvula neumatica pto	14750667H	60.5
Mes 6		Scanner computer (siste)	612630080007	1250
Mes 6		Rele intermitente emergencia	3722016-D824N	45.5
Mes 6		Zapata posterior ensamb (rh)	W3502370D01A	290
Mes 6	Falla 6	Zapatas de freno delantero	3501391-Q402H	240
Mes 6		Sensor Dosificador combustible	612600081583	125
Mes 6		Bomba de agua motor wd615.46	612600060338	120
Mes 6		Palanca luces combinatoria	3735010-D160	175
Mes 6	Falla 7	Kit de metal de bancada sup-inf	81500010046	110
Mes 6		Zapatas de freno delantero	3501391-Q402H	240
Mes 6		Anillos de piston (360HP)	612600030051	140
Mes 6	Falla 8	Brazo de direccion barra larga	3001031-D643	40
Mes 6		Steering tie rod arm (left)	3001031-Q402	180
Mes 6		Steering tie rod arm (right)	3001032-Q402	250
Mes 7	Falla 1	Cilindro de pistón Wp12.375N	612630010055	70
Mes 7		Pin del piston motor Wd615.46	61560030013	12.5
Mes 7		Piston de motor Wd615.46	61260030011	62.5
Mes 7		Piston de motor Wp12.375N	612630020152	80.5
Mes 7	Falla 2	Bombin de embrague	1602110-367	25
Mes 7		Piston de motor Wp12.375N	612630020152	80.5
Mes 7		Servo direccion euro III	612630030005	350
Mes 7		Servo de embrague	1602305A70A	120
Mes 7	Falla 3	Perno delantero de rueda	3103050-Q402B	105
Mes 7		Templador faja alternador	612630060847	66.5
Mes 7	Falla 4	Kit de pines bocinas (tren del)	44XL-Q402G	80
Mes 7		Zapatas de freno delantero	3501391-Q402H	240
Mes 7		Plato de embrague FAW	170002-31	210
Mes 7		Zapata posterior ensamb (rh)	W3502370D01A	90
Mes 7	Falla 5	Freno de motor ensamblado E3	3523010-D815	130
Mes 7		Collarin de embrague E3	C124C131	60
Mes 7		Palanca luces combinatoria	3735010-D160	75
Mes 7	Falla 6	Templador faja alternador	612630060847	66.5
Mes 7		Sensor Ind. de temperatura	612600090107	20
Mes 7		Sensor de velocidad	612630030007	20
Mes 7		Servo direccion euro III	612630030005	200
Mes 7	Falla 7	Perno delantero de rueda	3103050-Q402B	105
Mes 7		Freno de motor (wp12)	3523010-D815	130
Mes 7		Cilindro de pistón Wp12.375N	612630010055	150
Mes 7		Templador faja alternador	612630060847	66.5
Mes 7	Falla 8	Faro delantero derecho	3711070-Q710	140.00
Mes 7		Engranaje selector baja (caja)	1010040	333.3

Mes 7		Zapata posterior ensamb (rh)	W3502370D01A	90
Mes 7		Zapata posterior ensamb (rh)	W3502370D01A	90
Mes 7	Falla 9	Zapatas de freno delantero	3501391-Q402H	240
Mes 7		Palanca luces combinatoria	3735010-D160	75
Mes 8	Falla 1	Valvula levante hyba	14750667H	60.5
Mes 8		Kit anillos	'612600030051	140
Mes 8	Falla 2	Espejo retrovisor rh	'8202020-A17	70
Mes 8		Mascarilla frontal inspeccion	5301021-E01	45.5
Mes 8	Falla 3	Barra inferior de suspension	2919020-D603U	130
Mes 8		Amortiguador delantero	2905010-D650B	55
Mes 8		Turbo compresor	'612600118921	560
Mes 8	Falla 4	Filtro hidraulico de alta	FH6991	21.5
Mes 8	Falla 5	Deposito de refrigerante	1311010-Q204	44.5
Mes 8		Faja de alternador (wp12)	612630060011	15
Mes 8		Freno de motor (wp12)	3523010-D815	130
Mes 8	Falla 6	Brazo puente tren delantero	3001034-D643	38.4
Mes 8		Electrovalvula aire freno motor	3754020-260/A	20
Mes 8		Soporte direccion rh	3001021-Q402	48.5
Mes 8	Falla 7	Valvula neumatica pto	14750667H	60.5
Mes 8		Scanner computer (siste)	'612630080007	1250
Mes 8		Rele intermitente emergencia	3722016-D824N	45.5
Mes 8	Falla 8	Lainas corona	ZL300S1-2403005	16.6
Mes 8		Collarin de embrague	125481	60
Mes 8		Reten posterior corona	W2402050F01C	50
Mes 8		Kit reten corona delantero	W2502163F01C/64	19.5
Mes 9	Fall 1	Faro delantero derecho	3711070-Q710	140.00
Mes 9		Faro delantero izquierdo	3711065-Q710	140.00
Mes 9		Faro posterior derecho	3716020-362	30.00
Mes 9		Faro posterior izquierdo	3716015-362	30.00
Mes 9		Guardafango ruedas	5103370-Q367	35.00
Mes 9		Logo FAW	5301027-E01	32.50
Mes 9	Falla 2	Filtro hidraulico de alta	FH6991	21.5
Mes 9		Arrancador motor	'612630030208	390
Mes 9	Falla 3	Deposito de refrigerante	1311010-Q204	44.5
Mes 9		Faja de alternador (wp12)	612630060011	45
Mes 9		Freno de motor (wp12)	3523010-D815	130
Mes 9	Falla 4	Bombin de embrague	1602110-367	125
Mes 9		Servo de embrague	1602305A70A	120
Mes 9	Falla 6	Perno delantero de rueda	3103050-Q402B	105
Mes 9		Templador faja alternador	612630060847	66.5
Mes 9	Falla 7	Engranaje selector baja (caja)	1010040	333.3
Mes 9		Kit de pines bocinas (tren del)	44XL-Q402G	80
Mes 9		Zapata posterior ensamb (rh)	W3502370D01A	90
Mes 10	Falla 1	Zapatas de freno delantero	3501391-Q402H	240
Mes 10		Palanca luces combinatoria	3735010-D160	75
Mes 10	Falla 2	Valvula levante hyba	14750667H	60.5
Mes 10		Kit anillos	'612600030051	270
Mes 10	Falla 3	Cilindro de pistón Wp12.375N	612630010055	150
Mes 10		Pin del piston motor Wd615.46	61560030013	12.5
Mes 10		Piston de motor Wd615.46	61260030011	62.5
Mes 10		Piston de motor Wp12.375N	612630020152	80.5
Mes 10	Falla 4	Collarin de embrague	C124C131	60

Mes 10	Falla 5	Disco de embrague	'128872	150
Mes 10		Sensor Dosificador combustible	612600081583	125
Mes 10	Falla 6	Palanca luces combinatoria	3735010-D160	75
Mes 10	Falla 7	Rodaje de cubo exterior	33022	60
Mes 10	Falla 8	Barra superior suspension V	2919005-D603U	230
Mes 11	Falla 1	Volante motor	612630020051	195
Mes 11	Falla 2	Bombin de embrague	1602110-367	125
Mes 11		Servo de embrague	1602305A70A	120
Mes 11	Falla 3	Perno delantero de rueda	3103050-Q402B	105
Mes 11		Templador faja alternador	612630060847	66.5
Mes 11	Falla 4	Cilindro de pistón Wp12.375N	612630010055	70
Mes 11		Pin del piston motor Wd615.46	61560030013	12.5
Mes 11		Piston de motor Wd615.46	61260030011	62.5
Mes 11		Piston de motor Wp12.375N	612630020152	80.5
Mes 11	Falla 5	Pin de barra templadora 85mm x190	2919010-Q304	45
Mes 11		Washer (ESTRILLADA) ENGRA. CAJA	1010039	45
Mes 11		Washer(SEGURO CUADRAD CONO)	1010055	45
Mes 11		Washer(SEGURO ARANDEL CONO)	1009542	12
Mes 11		Reservorio de refrigerante	1311010-Q204	40
Mes 12	Falla 1	Kit de pines bocinas (tren del)	44XL-Q402G	80
Mes 12		Zapata posterior ensamb (rh)	W3502370D01A	90
Mes 12	Falla 2	Sensor de temperatura	612630060035	25
Mes 12		Sensor Ind. de temperatura	'612600090107	20
Mes 12	Falla 3	Perno delantero de rueda	3103050-Q402B	105
Mes 12		Templador faja alternador	612630060847	66.5
Mes 12	Falla 4	Zapatas de freno delantero	3501391-Q402H	120
Mes 12		Palanca luces combinatoria	3735010-D160	75

Anexo 3 Lista de fallas funcionales (Sistema eléctrico) Hoja de análisis modo de falla.

Nro de sistema : ELE-HOWO 371						Hoja numero 1 de 1			
Sistema Analizad Sitema Electrico						Fecha : Marzo ,2019			
Identificacion de nivel .						Preparado por : Martin Avalos			
Equipo :		Perifericos electricos				Revisado por :			
						Hoja de resumen de falla Equipo camion volquete			
Identificacion	Funciones	Modo de falla y causa	Daño ocasionado			Metodo de deteccion	Acciones correctivas	Clasificacion de gravedad	Observaciones
			Efectos locales	Proximo nivel	Efec. Final				
Item									
Arrancador	Dar arranque al equipo	Perdida de fuerza y presencia de ruidos y chasquidos fuera del funcionamiento normal	Bajo rendimiento demora en dar arranque y funcionamiento al equipo .	Funcionamiento defectuoso	Deteccion componente (funcionamiento lento y defectuoso)	Mediante la observacion y verificacion	y verificar sus dientes de arrastre	ocasional	en el piñon de arrastre el componete necesita reemplazo por uno nuevo
Alternador	Generar y abastecer de corriente para los diferentes sistemas del equipo	No carga las baterias de almacenaje de corriente	No puede dar soporte y abastecer de corriente al equipo	Funcionamiento defectuoso	Deteccion componente defectuoso	Mediante la observacion y verificacion con instrumento de medicion (multimetro)	Desmontar y verificar si genera voltaje	Marginal y ocasional	Se observa desgaste en los rodajes del piñon de transmision , se comunica al cliente para definir cambio parcial o total del componente
Sensores motor	Enviar señales y paramentros de lectura para observar su desempeño en los diferentes sistemas	No envia señal o se queda en señal abierto no cambia de parametro ni genera alguna lectura	No envia señal no envia lectura de parametros del buen funcionamiento ni desempeño del motor , tanto de los componentes internos como extenos y perifericos	Funcionamiento defectuoso	Deteccion componente defectuoso o parcialmente dañado	Mediante la observacion y medicion con instrumento electronico	Desmontar y verificar	Marginal y ocasional	

Fuente : Gestión del mantenimiento periodo 2014-3 UPN
Gestión moderna del mantenimiento Dr. Ing. Rodrigo Pascual

Anexo 4 Lista de fallas funcionales (Sistema Hidráulico) Hoja análisis modo de falla.

Nro de sistema : ELE-HOWO 371						Hoja numero 1 de 1			
Sistema Analizad Sitema Hidraulico						Fecha : Marzo ,2019			
Identificacion de nivel .						Preparado por : Martin Avalos			
Equipo :		Sitema Hyva				Revisado por :			
		Howo 371				Hoja de resumen de falla Equipo camion volquete			
Identificacion	Funciones	Modo de falla y causa	Daño ocasionado			Metodo de deteccion	Acciones correctivas	Clasificacion de gravedad	Observaciones
Item			Efectos locales	Proximo nivel	Efec. Final				
Bomba	Presion y caudal	Perdida de presion y	Vehiculo , pierde	Perdida total	Deteccion	Mediante la	Manten.	Ocasional	Si presenta desgaste
Implementos	Pistones hidraulicos	fuerza de sistema de	potencia trabajo	del componte	componente	observacion	Evaluar		barrido , porosidad es necesario
		levante y direccion	No acciona implement	Hidraulico	(funcionamiento	yverificacion	Operativa		cambio del componete
		del vehiculo			lento y	Preventivos			
					defectuoso)	Planificados			
Mangueras	Distribuir fluido	Fuga de aceite y fluido	Contaminacion por	Perdida total	Deteccion	Mediante la	Manten.	Marginal y	Si presenta corrosion en sus
Distribucion	Hidraulico por todo	en los diferentes	derrame de aceite	del accesorio	componente	observacion	Evaluar	Ocasional	Conectores , desgaste en su
	el sistema	sistemas	Hidraulico		defectuoso	yverificacion			recubrimiento y malla de
						check List			Proteccion , necesita cambio
						Pre-operación			
Filtros	Filtros los ppm	Perdida de presion y	Afecta al rendimiento	Perdida de los	Deteccion	Mediante la	Desmontar	Marginal y	Pasado las horas de operación
Acoples	impuresas para	rebose de fluidos por	afecta estado de los	Porta filtros y	componente	observacion	y verificar	Ocasional	según, la hora de manto
	evitar daño interna	los acoples de conexión	Accesorios y	Accesorios	defectuoso	preventivos			Es necesario el cambio
	de componentes		conexiones		o parcialmente	Cambio de			Usando los mismos numeros
	bomba hidraulico				dañado	Aceites según			De parte y/o marca según
						Frecuencia			El fabricante
						manto prevent			

Fuente : Gestión del mantenimiento periodo 2014-3 UPN
 Gestión moderna del mantenimiento Dr. Ing. Rodrigo Pascual

Anexo 5 Lista de fallas funcionales (Sistema Motor Periféricos) Hoja análisis modo de falla.

Nro de sistema : ELE-HOWO 371						Hoja numero 1 de 1			
Sistema Analizado : Motor ,perifericos						Fecha : Enero ,2018			
Identificación de nivel .						Preparado por : Martin Avalos			
Equipo :		Volquete Howo 371				Revisado por :			
						Hoja de resumen de falla Equipo camion volquete			
Identificación	Funciones	Modo de falla y causa	Daño ocasionado			Metodo de deteccion	Acciones correctivas	Clasificación de gravedad	Observaciones
Item			Efectos locales	Proximo nivel	Efec. Final				
Turbo	Admision aire	Perdida potencia	Bajo rendimiento	Rotura , fractura	Deteccion	Mediante la	y verificar	Ocasional	Se tiene como referencia
Bomba alta		Perdida potencia	Calentamiento zonal		componente	observacion	Fisico		Las horas de ooperacion
Combustible		de ruidos y chasquidos	Obstruccion combust		(funcionamiento	y verificacion	Preventivo		Del equipo , depreciacion
		fuera del funcionamiento			lento y		Programado		horas , según el fabricante.
		normal			defectuoso)				
Bomba agua	Enflamamiento motor	Perdida potencia	Calentamiento zonal	Rotura , fractura	Deteccion	Mediante la	Desmontar	Marginal y	Se tiene como referencia
Bomba aceite	Lubricacion	Perdida potencia	Calentamiento zonal	Rotura , fractura	componente	observacion	y verificar	Ocasional	Las horas de ooperacion
					defectuoso	y verificacion			
					con instrumento	Desmontar			
					de medicion	y verificar			
					(multimetro)				
Monoblock	Soporte de perif	Perdida de presión	Calentamiento zonal	Rotura , fractura	Deteccion	Mediante la	Desmontar	Marginal y	Se tiene como referencia
Cañerías fluidos	Transporte agua	Fuga de liquido agua	Perdida de presion	Rotura , fractura	componente	observacion	y verificar	Ocasional	El estado fisico y conservacion
	Transporte combust	Fuga de combustible			defectuoso	y medicion	Desmontar		Según los reportes y mantenim
					o parcialmente	con instrumento	y verificar		del equipo .
					dañado	electronico			
Coreas, fajas	Transmision	Perdida de fuerza	Perdida de fuerza	Rotura , fractura	Deteccion		Desmontar	Marginal y	Cabiar cuando presente desgast
Ventilador	Transmision	Perdida componentes fuerza	Perdida de fuerza	Rotura , fractura	componente		y verificar	Ocasional	Cabiar cuando presente desgast
Rodajes temple	Transmision	Perdida extenos fuerza	Perdida de fuerza	Rotura , fractura	o parcialmente		Desmontar		Cabiar cuando presente desgast
					dañado		Verificar		

Fuente : Gestión del mantenimiento periodo 2014-3 UPN
Gestión moderna del mantenimiento Dr. Ing. Rodrigo Pascual

**Anexo 6 Cartilla de mantenimiento preventivo, volquete Howo 371.
Horas de parada programada, costo de insumos consumibles y horas trabajo.**

HOWO_MODELO_ZZ4257_EURO_III_371HP									
ACTIVIDADES					TIPOS DE MANTENIMIENTO				
MANTENIMIENTO		EAM/VISUAL	Descripción	Cant.		A	B	C	D
I MOTOR					2,500	10,000	20,000	40,000	80,000
1	Filtro de aire primario / secundario	WG9725190103		1	L	L	C	C	C
2	Filtro aceite	VG1246070031		1	C	C	C	C	C
3	Aceite del motor (Gl)	MOBIL15W40	ND 15W 40	9	C	C	C	C	C
4	Filtro de combustible	VG1540080311		1	C	C	C	C	C
5	Filtro racord de combustible	PL420		1	C	C	C	C	C
6	Termostato	85grados		1					C
7	Refrigerante (Gl)	Fleguard	50/50	8					C
8	Cambio del filtro del refrigerante de motor		WF2071	1					C
9	Calibración válvulas de motor			1				A	A
10	Ajuste tapa de balancines						A	A	A
II TRANSMISIÓN									
1	Aceite de caja cambios (Gl)	Shell	GL-4 80W90	7	C			C	C
2	Aceite de corona (Gl)	Shell	GL-5 85W140	7	C			C	C
3	Líquido de embrague (Gl)	07052N00001	DOT-4	1	C				C
5	Grasa general (Kg)	07036N00027	Gadus S2 V220	2	E	E	E	E	E
6	Grasa de rodamientos (Kg)	03000N00033	Marfak HD-3	6	E			E	E
7	Ajuste de embrague				A	A	A	A	A
1	Cinturones de seguridad				I	I	I	I	I
2	Puertas					E	E	E	E
3	Apertura de puertas				I	I	I	I	I
4	Reajuste de pernos de chasis					A	A	A	A
5	Plumillas				I	I	I	I	I
6	Líquido limpiaparabrisas				C	C	C	C	C
7	Eyectores líquido limpiaparabrisas					A	A	A	A
8	Fecha extintores				I	I	I	I	I
MO MANT.					10	2	2	12	16
MO INSPEC.					2.5	4.5	4.5	4.5	4.5
MO TOTAL					\$375.00	\$195.00	\$195.00	\$495.00	\$615.00
REPUESTOS					\$712.19	\$304.45	\$365.54	\$719.80	\$1,093.92
INSUMOS					\$22.50	\$11.70	\$11.70	\$29.70	\$36.90
TOTAL (SIN I.G.V.)					\$1,109.69	\$511.15	\$572.24	\$1,244.50	\$1,745.82
					A	B	C	D	

PRECIOS EXPRESADOS EN DÓLARES AMERICANOS (USD), NO INCLUYEN I.G.V.

LAS FRECUENCIAS DE MANTENIMIENTOS SON REFERENCIALES DE ACUERDO AL USO DEL VEHÍCULO.

LOS PRECIOS PUEDEN VARIAR CON EL TIEMPO.

LAS INSPECCIONES Y OPERACIONES DE MANTENIMIENTO DIARIAS Y SEMANALES DEBEN SER REALIZADAS POR EL OPERADOR DEL VEHÍCULO.

PARA USO SEVERO DEL VEHÍCULO, LA CANTIDAD DE REPUESTOS, INSPECCIONES Y SERVICIOS PUEDEN VARIAR.

EL PRECIO DE MANO DE OBRA CORRESPONDE A TRABAJOS REALIZADOS EN TALLER. LA MANO DE OBRA EN CAMPO TIENE UN INCREMENTO DE 18% APROX SEGÚN DISTANCIA PROVINCIA

F/PLA-077

ELABORADO POR: CRISTHIAN FERNANDES | REVISADO POR: ELMER DAGA AGUILAR | APROBADO POR: SERGIO CAMACHO BURROWS

ACTUALIZADO AL 22/03/2019

PROPIEDAD DE DAGA MOTORS . CAMIONES CHINOS DERECHOS RESERVADOS 2016.

**Anexo 7 Participación proyecto (Flúor Barrick Dominicana 2009-2011)
Capacitación especialización operación y mantenimiento grupos electrógenos Cat 3456E (Lima -2006)**



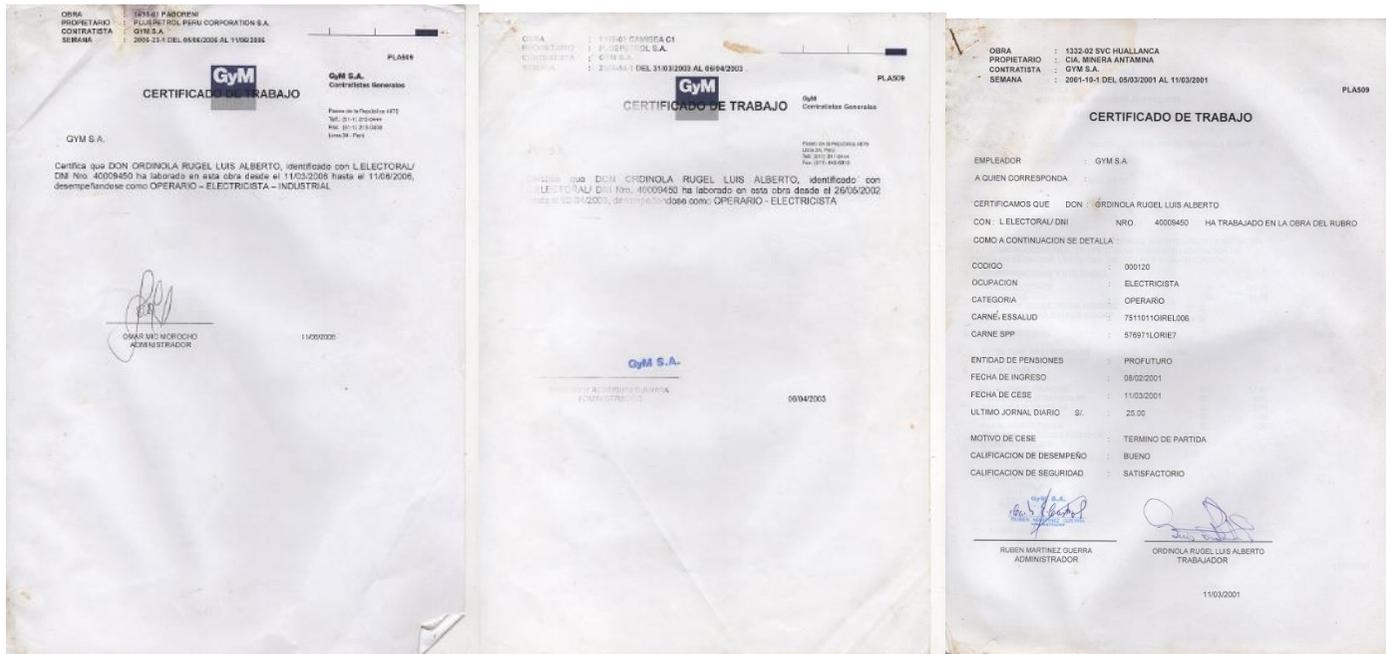
Anexo 8 Capacitación Tecsup electricidad y electrónica del vehículo (Lima – 2005)
Capacitación instalación, operación y mantenimiento de torre grúa China TC5013B-06 ZoomLion (Lima- 2013)



Anexo 9 Reconocimiento a la seguridad y medio ambiente, proyecto planta tostación y ácido Gym sa, Votorantim Metais (Cajamarquilla – 2009)
Escuela ENZO, Radio comunicaciones. (Callao – 1993, 1995)



**Anexo 11 Certificados Experiencia laboral nacional: Proyecto gas de Camisea , Graña y Montero - Pluspetrol (2002-2006)
Proyecto SVC Huallanca . Graña y Montero – Cia. Minera Antamina (2001)**



CERTIFICADO DE TRABAJO

OBRA : 1322-02 SVC HUALLANCA
PROPIETARIO : CIA. MINERA ANTAMINA
CONTRATISTA : GYM S.A.
SEMANA : 2001-10-1 DEL 05/03/2001 AL 11/03/2001

EMPLADOR : GYM S.A.
A QUIEN CORRESPONDA :
CERTIFICAMOS QUE DON ORDINOLA RUGEL LUIS ALBERTO
CON : L ELECTORAL/ DNI NRO 40009450 HA TRABAJADO EN LA OBRA DEL RUBRO
COMO A CONTINUACION SE DETALLA :

CODIGO : 000120
OCUPACION : ELECTRICISTA
CATEGORIA : OPERARIO
CARNÉ ESSALUD : 75110110REL008
CARNÉ SPP : 57697 LORIE7
ENTIDAD DE PENSIONES : PROFUTURO
FECHA DE INGRESO : 08/02/2001
FECHA DE CESE : 11/03/2001
ULTIMO JORNAL DIARIO SI : 25 00
MOTIVO DE CESE : TERMINO DE PARTIDA
CALIFICACION DE DESEMPEÑO : BUENO
CALIFICACION DE SEGURIDAD : SATISFACTORIO

RUBEN MARTINEZ GUERRA ADMINISTRADOR
ORDINOLA RUGEL LUIS ALBERTO TRABAJADOR
11/03/2001

Anexo 12 Certificado experiencia profesional Graña y Montero – Barrick Republica Dominicana (Santo Domingo 2009-2011)

 GyM S.A.
Calle Bolívar No. 8-2, Urb. Jardines Morales
Santo Domingo, Rep. Dominicana
Teléfono (809) 548-2042
RNC: 1-36-61389-1

Certificación de Trabajo

Por medio de la presente, certificamos que el señor **ORDINOLA RUGEL LUIS ALBERTO**, con Cédula No. **3715111**, trabajo en la empresa desde el 22 de febrero del 2010 hasta el 17 de septiembre del 2011, en la posición de **TECNICO ELECTRICISTA**.

El presente se expide a solicitud de la parte interesada.

Cotuí, 10 de septiembre del 2011.


Patricia Murayama
ADMINISTRADORA DE PROYECTO



