



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

**Diseño de plan de mantenimiento basado en el riesgo y
mantenimiento predictivo para mejorar los indicadores de
gestión de mantenimiento de una flota de transportes de Tumbes**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Laban Cruz, Almintor (ORCID: 0000-0001-9281-8141)

ASESOR:

Dr Anibal Jesus, Salazar Mendoza (ORCID: 0000-0003-4412-8789)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas y planes de mantenimiento

TRUJILLO – PERÚ

2021

DEDICATORIA

La presente investigación de tesis se la quiero dedicar primero a Dios, quien es misericordioso conmigo todos los días mi vida.

Dedico a mis padres, esposa e hijos, quienes son motivo propio de vida, que, a través de sus consejos acertados, me permiten seguir luchando por mis metas.

AGRADECIMIENTO

En este presente informe de tesis quisiera agradecer a la plana docente de la Universidad Cesar Vallejo, de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, quienes han contribuido beneficiosamente en mi formación profesional. Asimismo, quiero agradecer a mi asesor por su contribución a través de sus criterios acertados, permitiéndome elevar la calidad del informe de investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Resumen	vi
Abstract	vii
I. INTRODUCCIÓN	8
II. MARCO TEÓRICO	11
III. METODOLOGÍA	17
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	17
3.2. Variables y operacionalización.....	17
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	18
3.5. Procedimiento	18
3.6. Método de análisis de datos.....	19
IV. RESULTADOS.....	20
4.1. Evaluación inicial para determinar los indicadores de mantenimiento de cada unidad de la flota de transportes.	20
4.2. Plan De Mantenimiento Basado En El Riesgo Y Mantenimiento Predictivo....	41
4.3. Análisis de estimación estadístico para determinar el incremento de la disponibilidad, confiabilidad, y la reducción de la mantenibilidad.....	59
4.4. Análisis económico	67
V. DISCUSIÓN.....	69
VI. CONCLUSIONES.....	74
VII. RECOMENDACIONES	75
REFERENCIAS.....	76
ANEXOS	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Unidades de transporte de la empresa María Magdalena, año 2019.	20
Tabla 2: Número de averías y tiempo para reparar de las unidades de transporte de la empresa María Magdalena, año 2019.	20
Tabla 3: Indicadores de mantenimiento actual de los camiones de la empresa María Magdalena.	40
Tabla 4: Criticidad del Camión volvo: WB-7173.	42
Tabla 5: Criticidad del camión volvo: BM5-886.	42
Tabla 6: criticidad del camión volvo: WC-7014.	43
Tabla 7: Criticidad del camión volvo: W2G-940.	43
Tabla 8: Criticidad del camión Mitsubishi: B1R-949.	44
Tabla 4: Criticidad del camión Mitsubishi: WR1-870.	44
Tabla 10: Criticidad del camión Mitsubishi: QL-5663.	45
Tabla 11: Valores críticos y clasificación de la flota de transporte.	45
Tabla 12: Análisis de las fallas críticas de los camiones.	46
Tabla 13: Hoja de información de las fallas del camión VOLVO WB-7173.	47
Tabla 14: Hoja de información de las fallas del camión VOLVO BM5-886.	48
Tabla 15: Hoja de información de las fallas del camión VOLVO WC-7014.	49
Tabla 16: Hoja de información de las fallas del camión MITSUBISHI QL-5663.	50
Tabla 17: Hoja decisión para las actividades del MBR y MP.	52
Tabla 18: Análisis del Número de prioridad de riesgos.	56
Tabla 19: Interfaz de entrada de la simulación en software Excel.	59
Tabla 20: Interfase usuario – Parámetros de mantenimiento.	60
Tabla 21: Fluctuación de los parámetros de mantenimiento.	62
Tabla 22: Fluctuación de parámetros debido al NPR.	62
Tabla 23: Resultados del análisis de simulación estadística de los indicadores de mantenimiento.	63
Tabla 24: Resumen del análisis de simulación.	66

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: TBF – Camión Volvo: WB-7173, empresa María Magdalena – 2019...</i>	<i>21</i>
<i>Figura 2: TBF – Camión Volvo: BM5-886, empresa María Magdalena – 2019. ...</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3: TBF – Camión Volvo: WC-7014, empresa María Magdalena – 2019...</i>	<i>23</i>
<i>Figura 4: TBF – Camión Volvo: W2G-940, empresa María Magdalena – 2019. ...</i>	<i>24</i>
<i>Figura 5: TBF – Camión Mitsubishi: B1R-949, empresa María Magdalena – 2019.</i>	<i>25</i>
<i>Figura 6: TBF– Camión Mitsubishi: WR1-870, empresa María Magdalena – 2019.</i>	<i>26</i>
<i>Figura 7: TBF (Tiempo entre fallas) – Camión Mitsubishi: QL-5663, empresa María Magdalena – 2019.</i>	<i>27</i>
<i>Figura 8: TTR– Camión Volvo: WB-7173, empresa María Magdalena – 2019. ...</i>	<i>28</i>
<i>Figura 9: TTR – Camión Volvo: BM5-886, empresa María Magdalena – 2019...</i>	<i>29</i>
<i>Figura 10: TTR – Camión Volvo: WC-7014, empresa María Magdalena – 2019. ...</i>	<i>30</i>
<i>Figura 11: TTR – Camión Volvo: W2G-940, empresa María Magdalena – 2019. ...</i>	<i>31</i>
<i>Figura 12: TTR – Camión Mitsubishi: B1R-949, empresa María Magdalena – 2019.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 13: TTR – Camión Mitsubishi: WR1-870, empresa María Magdalena – 2019.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 14: TTR – Camión Mitsubishi: QL-5663, empresa María Magdalena – 2019.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 15: Costos en pérdidas de producción de los camiones de la empresa María Magdalena, 2019</i>	<i>35</i>
<i>Figura 16: Costos en repuestos de los camiones de la empresa María Magdalena, 2019.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 17: Costos externos de mantenimiento de los camiones de la empresa María Magdalena, 2019</i>	<i>37</i>
<i>Figura 18: Matriz de criticidad del camión volvo: WB-7173.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 19: Matriz de criticidad del camión volvo: BM5-886</i>	<i>42</i>
<i>Figura 20: Matriz de criticidad del camión volvo: WC-7014.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 21: Matriz de criticidad del camión volvo: W2G-940</i>	<i>43</i>
<i>Figura 22: Matriz de criticidad del camión Mitsubishi: B1R-949.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 23: Matriz de criticidad del camión Mitsubishi: WR1-870</i>	<i>44</i>
<i>Figura 24: Matriz de criticidad del camión Mitsubishi: QL-5663</i>	<i>45</i>
<i>Figura 25: Porcentajes del tipo de fallas de la flota de transportes.</i>	<i>58</i>

RESUMEN

La presente investigación se fundamenta en el diseño de un plan de mantenimiento basado en el riesgo y mantenimiento predictivo de la flota de transportes María Magdalena, para mejorar sus indicadores de mantenimiento. La evaluación inicial a los 7 camiones (4 Volvo y 3 Mitsubishi), determinó que la disponibilidad se encuentra entre 89.06 a 93.79%, la confiabilidad de 82.06 a 90.74% y la mantenibilidad de 9.60 a 15.37%. Estos valores deficientes se deben a un acumulado promedio de 94 fallas/año y 2138 horas pérdidas. El análisis de criticidad indicó que existen 4 camiones críticos (Volvo WB-7173, Volvo BM5-886, Volvo WC-7014 y Mitsubishi QL-5663). El análisis de modos de fallos describió que existen 50 fallas críticas que afectan la operatividad de los camiones, donde el índice de riesgo recalca que un 74% de las fallas son indeseables. Mediante un análisis de estimación estadístico para la aplicación de los nuevos planes de mantenimiento la disponibilidad incremento de 97.16 a 98.39%, confiabilidad 95.32% a 97.64%. El proyecto es viable económicamente con un beneficio de 142390.80 soles/año y un costo en mantenimiento de 110204.00 soles. Periodo de retorno de inversión 10 meses, tasa de rentabilidad de 127% y valor actual neto de 429569.16 soles.

Palabras claves: *mantenimiento basado en el riesgo, mantenimiento predictivo, indicadores de mantenimiento, flota de transportes.*

ABSTRACT

This research is based on the design of a maintenance plan based on risk and predictive maintenance of the María Magdalena transport fleet, to improve its maintenance indicators. The initial evaluation of the 7 trucks (4 Volvo and 3 Mitsubishi), determined that the availability is between 89.06 to 93.79%, the reliability of 82.06 to 90.74% and the maintainability of 9.60 to 15.37%. These deficient values are due to a cumulative average of 94 failures / year and 2,138 hours lost. Criticality analysis indicates that there are 4 critical trucks (Volvo WB-7173, Volvo BM5-886, Volvo WC-7014 and Mitsubishi QL-5663). The failure mode analysis described that there are 50 critical failures that estimate truck operability, where the risk index emphasizes that 74% of failures are undesirable. Through a statistical estimation analysis for the application of the new maintenance plans, availability increased from 97.16 to 98.39%, reliability from 95.32% to 97.64%. The project is economically viable with a benefit of 142,390.80 soles / year and a maintenance cost of 110,204.00 soles. Investment return period 10 months, profitability rate of 127% and net real value of 429 569.16 soles.

Keywords: *risk-based maintenance, predictive maintenance, maintenance indicators, transport fleet.*

I. INTRODUCCIÓN

El presente estudio sostiene la sucesiva **realidad problemática**, desde el enfoque científico internacional, nacional y regional, respecto al mantenimiento en unidades de transporte para optimizar activos físicos e indicadores de gestión.

Actualmente el mantenimiento en unidades de transporte está teniendo cada vez la importancia debida, porque un buen control y gestión de las fallas, recae en minimizar los costos de mantenimiento (Berh, 2018). El mantenimiento industrial aplicado en equipos o maquinaria crítica, permite a las empresas reducir los tiempos de reparación, alargando de esta manera el tiempo de operación de los activos físicos, lo cual contribuye a incrementar la disponibilidad y confiabilidad (Thomas, 2017). Los indicadores de mantenimiento son los parámetros que indican la condición de un equipo, por tal razón en todo plan de mantenimiento deben enfatizarse, pero es aquí donde radica el problema, debido a que la mayoría de empresas cuentan por lo general con un programa de mantenimiento, pero no cuentan con la ingeniería de mantenimiento que les permita controlar dichos indicadores, esto se debe al desconocimiento y la poca importancia que se le toma a este análisis, donde las empresas se sienten satisfechas con solo seguir las actividades correctivas, preventivas y predictivas nominales o del proveedor (Soto, 2017). El empleo del mantenimiento estipulado por proveedores con el tiempo ocasiona mayores tiempos muertos, elevada cantidad de frecuencia de fallas y excesos en la compra de repuestos debido a la limitada vida útil de los activos físicos, por lo cual todo plan de mantenimiento debe estar acompañado de un análisis de los indicadores de mantenimiento (Smith, 2017). Donde el empleo del mantenimiento basado en el riesgo y mantenimiento predictivo se enfocan en la reducción de las fallas catastróficas o críticas, logrando reducir drásticamente el tiempo para reparar, pero entendiéndose que ambos mantenimientos para su control requieren del seguimiento de los indicadores de mantenimiento (Jones, 2020).

A nivel nacional en el Perú, las buenas prácticas del mantenimiento industrial avanzan lentamente, donde los mantenimientos más aplicados son el correctivo y preventivo (Ponce, 2019). La mayoría de empresas en el Perú, no cuenta con una gestión óptima de mantenimiento, y esto se debe a la nula práctica de la ingeniería

de mantenimiento en el campo laboral, donde en promedio el 70% de las actividades de mantenimiento son correctivas y el 30% son preventivas (Campos, 2017). Donde el proceso productivo de una organización está por debajo del interés de las acciones de mantenimiento, es decir las empresas no llevan en paralelo la productividad con las actividades de mantenimiento en sus equipos para producir eficientemente (Reyes, 2020). Toda empresa que se exige en producir y no tiene un plan de mantenimiento eficaz, resultará con una reducción en su beneficio económico, debido a la alta frecuencia de fallas (Torres, 2018).

La empresa María Magdalena S.R.L, localizada en la ciudad de Tumbes, se dedica a la comercialización y transporte de productos hidrobiológicos, para lo cual cuenta actualmente con 7 camiones (Volvo WB-7173, Volvo BM5-886, Volvo WC-7014, Mitsubishi QL-5663, Volvo W2G-940, Mitsubishi B1R-949 y Mitsubishi WR1-870). Las unidades tienen una antigüedad en el intervalo de 15 a 28 años. Donde la problemática recae en el elevado tiempo para reparar y la alta frecuencia de averías. La empresa ha registrado en los años 2017, 2018 y 2018 un tiempo para reparar en incremento consecutivo con valores de 1231.14 horas, 1510.86 horas y 2138 horas pérdidas respectivamente, en el cual el tiempo para reparar está aumentando en promedio 20% adicional cada año (Anexo 6). Lo mismo sucede con los costos de mantenimiento los cuales en los años 2017, 2018 y 2019 fueron de S/. 180345.164, S/. 201234.560 y S/. 302624.00 respectivamente, incrementando adicionalmente un 7% por cada año (Anexo 7).

Esta problemática se debe a que la empresa emplea en un 80% acciones de mantenimiento correctivas y 20% preventivas, lo cual ocasiona una alta tasa de tiempos muertos, generando altos costos de mantenimiento para la empresa. Por lo cual se requiere la aplicación de eficaz del mantenimiento, como el mantenimiento basado en el riesgo y predictivo los cuales se centran en reducir la tasa de tiempos de reparación, mejorando de esta manera los indicadores de mantenimiento.

La **formulación del problema** en correspondencia a la problemática es: ¿En qué medida mejoraran los indicadores de gestión de mantenimiento de la flota de transportes de la empresa María Magdalena, mediante la aplicación de un diseño de mantenimiento basado en el riesgo y mantenimiento predictivo?

La **hipótesis** en respuesta a la pregunta es: La aplicación de un diseño de mantenimiento basado en el riesgo y mantenimiento predictivo, contribuirá a mejorar los indicadores de gestión de mantenimiento de la flota de transportes de la empresa María Magdalena.

La investigación se **justificó** desde el criterio económico porque permite a la empresa reducir los tiempos muertos de operación, logrando un beneficio en la reducción de repuestos y mano de obra. Desde el criterio tecnológico la aplicación del MBR y MP con la inclusión del análisis de los indicadores de mantenimiento, contribuye a solucionar un problema desde el carácter de la ingeniería de mantenimiento. Desde el criterio institucional el planteamiento de mantenimientos eficientes, contribuye una base científica para estudios futuros. Y desde el criterio ambiental, el aumento del ciclo de vida de los activos físicos de los camiones, reduce la compra prematura de repuestos, en otras palabras, se tiene menos hierro a la atmosfera.

Por lo consiguiente el **objetivo general** es: Diseñar un plan de mantenimiento basado en el riesgo y mantenimiento predictivo para mejorar los indicadores de gestión de mantenimiento de la flota de transportes de la empresa María Magdalena. Para conseguir el objetivo general, los **objetivos específicos** son: 1) Evaluar inicialmente las condiciones de mantenimiento de la flota de transportes de la empresa María Magdalena, para calcular los indicadores de mantenimiento. 2) Elaborar un plan basado en el riesgo y predictivo, en función de las metodologías: criticidad, modos de fallos e índice de riesgo. 3). Realizar una estimación de los indicadores de mantenimiento con la aplicación del mantenimiento basado en el riesgo y predictivo, mediante un análisis probabilístico estadístico. 4) Realizar un análisis de viabilidad económica y financiera para la implementación del mantenimiento basado en el riesgo y predictivo.

II. MARCO TEÓRICO

El marco teórico se sustenta en *antecedentes* de artículos indexados, revistas técnicas de mantenimiento, tesis de pregrado y libros de ingeniería industrial de mantenimiento, a nivel internacional, nacional y regional:

El investigador Acosta (2018), realizó un sistema de gestión de mantenimiento para aumentar la disponibilidad operacional en camiones. La metodología aplicada fue No experimental transversal. El autor utilizó como herramienta estadística el método LogNormal de la distribución de Weibull. El autor encontró 102 fallas críticas en 12 camiones con D(t) 80%, C(t) 85% y M(t) 54%, donde para solucionar dicha problemática aplicó un sistema de mantenimiento centrado en la fiabilidad, obteniendo un incremento en la D(t) 87%, C(t) 91% y M(t) 22.53%. Concluyendo que la aplicación del MCC tuvo una ganancia de 2979 horas del TTR, con un TIR de 88% y utilidad de 543897 soles/año.

De la misma manera Adarraga (2018) realizó una estratégica de mantenimiento predictivo para mejorar los indicadores de mantenimiento en camiones de transporte. La metodología utilizada es pre-experimental. Las herramientas que utilizó fue la distribución LogNormal, ACE, AMEF y NPR. El autor analizó 15 camiones, los cuales inicialmente tenían un TTR de 1633 horas, pero con la estrategia de mantenimiento predictiva, los indicadores de mantenimiento incrementaron porcentualmente respecto a su valor inicial en D(t) 5%, C(t) 4.2% y M(t) 6.4%. Concluyendo que la estrategia de mantenimiento permitió reducir el 53% de todas las fallas, con una utilidad de 30200 dólares, inversión 71000 y C/B de 3.4. También, Sembiring y Nasution (2018), realizaron un plan preventivo para optimizar la operatividad en unidades de transporte pesadas. La metodología utilizada fue Cuasi-Experimental. Los investigadores utilizaron las herramientas de la ingeniería del mantenimiento como: el método de distribución normal, ACE, AMEF, NPR y diagrama de Ishikawa. Los autores encontraron que los elementos críticos de las unidades de transporte pesadas son: turbocompresor, eje de levas, cigüeñal, bomba de transferencia y cilindro -pistón. Los cuales generan una D(t) 81% y M(t) 67% debido a 1846 horas pérdidas en plena producción. La aplicación del plan preventivo origino un incremento de la D(t) 90% y M(t) 21%.

Por otro lado, el autor Torres (2017) en su investigación: Mejoramiento de la disponibilidad en camiones de acarreo. La metodología de investigación fue No-

Experimental longitudinal. Utilizó las herramientas como el método de Weibull y el AMEF del RCM para analizar 15 camiones de acarreo. El autor encontró en condiciones iniciales una $D(t)$ 82%, logrando incrementarla a un valor de $D(t)$ 93% con la aplicación del MBR para solucionar 95 fallas críticas, de las cuales 32 fallas se consideran en la categoría de inaceptables y requieren de acciones inmediatas. Donde la inversión estimada es 83000 dólares, utilidad 166000 dólares/año y PRI de 6 meses

Asimismo, los autores Ayane y Gudadhe (2016), realizaron un diseño de MBR para maquinaria pesada. La metodología utilizada fue pre-experimental. Las Herramientas utilizadas fueron chi-cuadrado, FMEA, ACE e IR. El autor analizó 223 fallas correspondientes a 47 activos físicos críticos con una $D(t)$ 81%, donde el 64% de las OTM son preventivas y el 36 correctivas. La aplicación del FMEA e IR determinó que 124 fallas son no tolerables, para lo cual se establecieron actividades de mantenimiento, la solución a estas fallas condujo a incrementar la $D(t)$ al valor de 87%. El autor estimó una utilidad de 27394 soles/año y un costo para la aplicación del mantenimiento de 45080 soles/año.

El investigador Ávila (2015) realizó la mejora de la disponibilidad en camiones de transporte. La metodología utilizada fue pre-experimental. Las herramientas utilizadas fue Pareto, diagrama de Ishikawa, LogNormal y FMEA. El autor especificó que un sistema de gestión de mantenimiento preventivo y predictivo para mejorar la disponibilidad de 12 camiones de transporte, reduce 2300 horas del TTR, incrementando la $D(t)$ de 84% a 94% para lo cual se solucionaron el 62% de las fallas indeseables. El autor estimó una inversión de 73500 soles, utilidad económica de 121568 soles/año y PRI de 7 meses.

De la misma manera las **teorías relacionadas** al tema fueron extraídas de artículos indexados, revistas técnicas de mantenimiento, tesis de pregrado y libros de ingeniería industrial de mantenimiento:

El mantenimiento de riesgo, de siglas MBR, es un tipo de mantenimiento fundamentado en el análisis de las fallas o averías críticas presentes en un equipo (Brown, 2017), donde dichas fallas deben repercutir en la paralización total de un equipo, originando un elevado TTR y tasa de fallas (Evans, 2016). Este mantenimiento requiere de la utilización de la Herramienta FMEA para de esta manera determinar las fallas indeseables (fallas que originan paralización total de

un equipo). El MBR permite maximizar los indicadores de mantenimiento en especial la $D(t)$ y $C(t)$, generando ahorros significativos en periodos de retorno de inversión cortos (Gino, 2016).

Existe una controversia entre el RCM y el MBR, pero entre ambos sistemas de gestión existe una gran diferencia significativa. El RCM analiza todas las fallas críticas que puedan o no paralizar la productividad, mientras que el MBR solo analiza las fallas que producen la paralización total de la productividad, conociéndose a estas fallas como indeseables. Aunque cabe indicar que ambas utilizan las mismas herramientas como: ACE, FMEA y NPR (Abanto, 2016).

Como ya se mencionó el MBR también emplea las 7 preguntas del RCM, pero enfocándose a los activos físicos críticos, tenemos: ¿Cuál es la función del activo donde se produce la falla indeseable? ¿Qué ocurrió con el activo donde se produjo la falla indeseable? ¿Cuál fue el modo de la falla indeseable? ¿Cuál es la posible solución para la falla indeseable? ¿Cuáles son las consecuencias que trae la presencia de la falla indeseable en el activo? ¿Cómo evitar la falla indeseable? y ¿Qué decisión se puede considerar para controlar la falla indeseable? (Moubray, 2016).

El MBR para su gestión eficiente necesita de la integración de los mantenimientos generales: correctivo, preventivo y predictivo. El mantenimiento correctivo o reactivo, se basa en el conjunto de acciones que se pueden ejecutar una vez ocurrida la avería, en este tipo de mantenimiento no se considera la ingeniería del mantenimiento, lo cual encarece el proceso productivo de un equipo, conllevando a tener altas tasas de fallas y tiempo muertos en excesos (Salazar, 2017). Mientras el mantenimiento preventivo se basa en un conjunto de acciones o tareas de mantenimiento según los intervalos de mantenimiento indicados por el proveedor, su impacto respecto a la tasa de fallas y TTR es inferior al mantenimiento correctivo (Dounce, 2017). Pero el mantenimiento predictivo, es un mantenimiento tecnológico, el cual hace uso de las herramientas no destructivas, para estimar y predecir futuras averías, y de esta manera establecer intervalos de mantenimiento de acuerdo al ciclo de vida del equipo, su aplicación requiere de la ingeniería de mantenimiento, y sus beneficios se basan en reducir significativamente los costos de mantenimiento (operativos, repuestos y mano de obra) (Rider, 2019). También podemos indicar que el mantenimiento predictivo apoya eficazmente al

mantenimiento preventivo, contribuyendo con especificar los tiempos de intervalos correctos para reparaciones y cambios de repuestos. La tecnología utilizada en el mantenimiento predictivo incluye tintes penetrantes, ultrasonido, termografía, análisis vibracional, análisis de aceites, otros (Ávila, 2015). Donde el análisis de aceites es la tecnología predictiva más utilizada, debido a que impacta directamente sobre el ciclo de vida de un activo físico (Kececioglu, 2017).

El análisis de criticidad de equipos o máquinas, ACE, se fundamenta en determinar la jerarquía de un equipo en un proceso productivo. El análisis de criticidad permite tomar medidas oportunas sobre el equipo que puede afectar toda una línea productiva o todo el proceso. Por lo cual es relevante que toda organización o empresa que cuenta con equipos para producir, cuente con una ruta de criticidad, para de esta manera contar con activos en stock en almacén (Mora, 2017).

$$VC = C * FF \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\text{Consecuencia} = I.O * F.O * C.M * I.S.M.A \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde, *VC* es el valor de la criticidad, *FF* ponderado de frecuencia de averías, *IO* ponderado de impacto de operación, *FO* ponderado de flexibilidad de activos o de operación, *CM* ponderado de costos de mantenibilidad e *ISMA* ponderado en seguridad y entorno ambiental. Todas las ponderaciones para el cálculo por la frecuencia y consecuencia se encuentran en el anexo 11 y la matriz de criticidad para establecer la jerarquía, se muestra en el anexo 8.

El análisis de modos y efectos de fallos FMEA, busca describir las fallas críticas en un equipo, el FMEA mediante sus hojas de decisiones e información, no solo permite identificar las fallas, si no también permite brindar una solución específica para cada avería, es decir permite crear un plan de actividades o tareas para minimizar los efectos de dicha avería. Mientras que el número de prioridad de riesgos e índice de riesgo, permite clasificar todas las fallas del FMEA en tres grupos de fallas: indeseables, alterable y aceptables. Donde las fallas indeseables son el criterio o fundamento de análisis del MBR. Existen rangos estadísticos del valor del NPR para agrupar las fallas: $IR \leq 125$ (aceptable), $125 < IR \leq 200$ (alterable) y $IR > 200$ (indeseables) (Tabla2) (Améndola, 2016). Para determinar el valor cuantitativo del NPR o IR, se emplea la siguiente formulación:

$$IR = G (\text{gravedad}) * O(\text{ocurrencia}) * D(\text{detección}) \quad \text{Ecuación 3}$$

El árbol de decisiones de mantenimiento, es un arreglo gráfico de las hojas de información y decisiones. Es decir, en él se describen las 7 preguntas del MBR (Down, 2018). El árbol de decisiones se muestra en la figura 5. Donde en las hojas de mantenimiento de información, se formulan las 3 primeras interrogantes del MBR, asimismo, en ellas se describen las fallas que se producen en un activo físico (Gallejos, 2017). Y las hojas de mantenimiento de decisiones se formulan las 4 siguientes interrogantes del MBR, en este tipo de hojas o formatos se plantean actividades de mantenimiento como solución a la avería o falla crítica (Gaona, 2015). Los formatos de hojas de información y decisiones, se muestran en los anexos 13 y 14

El ciclo de vida de un equipo, está definido por la curva de Davis (Anexo 10), donde se establecen 3 etapas de funcionalidad durante toda la vida de un equipo, estas etapas son decrecientes, constante y creciente. La primera etapa decreciente indica la aparición de las primeras averías las cuales no conducen a paralizar el equipo, es decir puede funcionar libremente frente a la aparición de estas fallas. La segunda etapa constante, indica la aparición de fallas de manera constante donde el mantenimiento correctivo se hace más frecuente. Y la última etapa creciente, indica la aparición de fallas frecuentemente que conllevan a la paralización del equipo (Ramos, 2016).

El método LogNormal, es una simplificación estadística de la distribución de Weibull. Este método LogNormal es utilizado en máquinas que no tienen una operación constante (no trabajan las 24 horas/día). Asimismo, este método se utiliza entre equipos de iguales características de diseño. Donde el TTR es el factor a mejorar u optimizar (Tamborero, 2017).

Los indicadores de mantenimiento, son parámetros estadísticos que cuantifican el estado de un equipo o máquina, su aplicación contribuye a mejorar cíclicamente los planes de mantenimiento (Cantal, 2018).

La disponibilidad como indicador de gestión de mantenimiento es la probabilidad del tiempo de funcionamiento de una máquina, en la cual puede desempeñarse libremente del TTR (Tirado, 2018):

$$D(t) = \left(\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \right) * 100\% \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde, $D(t)$ indicador estadístico de disponibilidad (%), $MTTR$ tiempo promedio en reparaciones (hora/falla) y $MTFB$ tiempo promedio útil (entre fallas) (hora/falla).

El tiempo promedio útil (entre fallas), es el tiempo real donde el equipo trabaja libre de fallas, sin la presencia del TTR. Se determina como la división del tiempo útil entre la cantidad de intervenciones (Tirado, 2018).

$$MTBF = \frac{TBF}{n} \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde, $MTFB$ tiempo promedio útil (entre fallas) (hora/falla), TBF tiempo útil (horas/año), n cantidad de intervenciones.

El tiempo promedio en reparaciones, es el tiempo medio para reponer una falla ocurrida en plena operación o proceso productivo. Se determina como la división del TTR entre el número de intervención (Tirado, 2018):

$$MTTR = \frac{TTR}{n} \quad \text{Ecuación 6}$$

Dónde, $MTTR$ tiempo promedio en reparaciones (hora/falla), TTR tiempo para reparar (horas/año), n cantidad de intervenciones.

La confiabilidad como indicador de mantenimiento es la probabilidad de un determinado tiempo en el cual un equipo bajo ciertas condiciones de uso, puede cumplir o desempeñarse en una determinada tarea, sin la necesidad de recurrir a ninguna falla (Smith, 2016):

$$C(t) = \left[e^{-\frac{T}{100 \cdot MTBF}} \right] * 100\% \quad \text{Ecuación 7}$$

Dónde, $C(t)$ indicador de confiabilidad (%), T tiempo total ($TBF+TTR$) (h/año) y $MTBF$ es el tiempo promedio útil (entre fallas) (h/avería)

La mantenibilidad como indicador de gestión es la probabilidad de tiempo empleado para reparar una determina falla. El cual está ligado enteramente al tiempo para reparar, TTR (Smith, 2016):

$$M(t) = \left[1 - e^{-\frac{T}{100 \cdot MTTR}} \right] * 100\% \quad (8)$$

Dónde $M(t)$ Indicador de mantenibilidad (%), T tiempo total ($TBF+TTR$) (h/año) y $MTTR$ es el tiempo promedio para reponer una avería o falla (h/avería).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación es de tipo **aplicada**, donde se busca determinar una solución particular para una explícita problemática, pero bajo un sustento científico, regido por las leyes y teorías de la ciencia, para de esta manera crear nueva base científica para estudios próximos (Hernández et al., 2014). Asimismo, podemos decir que es aplicada porque se busca optimizar los indicadores de mantenimiento de la flota de María Magdalena, haciendo uso de la ingeniería de mantenimiento.

La investigación tiene diseño **pre-experimental** (M: O1XO2), donde se busca perturbar la variable independiente para que esta afecte positivamente o negativamente la variable dependiente, en otras palabras, busca describir la relación entre las variables (Hernández et al., 2014). Asimismo, el diseño es pre-experimental porque busca encontrar una relación entre las variables “plan de mantenimiento basado en el riesgo y predictivo” e “indicadores de gestión de mantenimiento”, para definir una determinada correspondencia.

3.2. Variables y operacionalización

Variables (El cuadro de operacionalización se detalla el anexo 2)

Variable independiente:

- Plan de mantenimiento basado en el riesgo y plan de mantenimiento predictivo

Variable dependiente:

- Indicadores de gestión de mantenimiento (Disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad)

3.3. Población y muestra

Población:

Camiones de transporte de carga de la región Tumbes.

Muestra:

Flota de camiones de la empresa María Magdalena S.R.L de la ciudad de Tumbes, constituida por 7 camiones (4 volvos y 3 Mitsubishi).

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Técnicas de recolección de datos:

- Observación
- Análisis documental.

Instrumentos de recolección de datos:

- Fichas de registro de observación
- Fichas de Registro de historiales de mantenimiento.

El cuadro de técnicas e instrumentos de recolección de datos, así también el uso de los mismos se encuentra en el **ANEXO 1**.

3.5. Procedimiento

- Se recolectó información en fichas de registro por cada camión de la empresa María Magdalena, datos como: tipo de unidad (modelo, serie y placa), descripción de averías, tiempos de mantenimiento (tiempo para reparaciones y tiempos útiles), tasa de frecuencia de averías, costos de producción, costos en repuestos y costos de mano externa para la ejecución del mantenimiento.
- La información recolectada, fue procesada y ordenada en tablas de frecuencia y gráficos estadísticos, para determinar tasas de mantenimiento (fallas y reparaciones), MTTR y MTBF.
- Los valores del MTTR, MTBF, frecuencia de fallas y tasas de mantenimiento, permitió determinar los indicadores de mantenimiento de cada camión en condiciones iniciales.
- Inmediatamente se efectuó un análisis de criticidad, para lo cual fue necesario conocer los costos de mantenimiento, disponibilidad de repuestos en almacén de la empresa, frecuencias de fallas y sobre todo conocer el comportamiento de la falla.
- Luego se realizó el AMEF y NPR, para determinar las fallas críticas y fallas indeseables que serán análisis del MBR y MPD.
- Seguidamente el AMEF mediante los formatos de mantenimiento de decisiones, se establecieron tareas o actividades para las fallas críticas, formulando el plan de MBR y MPD.

- Con los datos obtenidos, se realizó una simulación en el software Excel, para estimar los indicadores de mantenimiento con la aplicación del MBR y MPD. La simulación contemplo una interfaz donde el usuario puede registrar las fallas que se presentan durante el tiempo de funcionamiento de los camiones, en el cual puede visualizar mediante curvas o gráficas correlacionales, el comportamiento de los indicadores de mantenimiento.
- Finalmente, con el valor de ganancia del TTR, obtenido de la simulación estadística, se realizó un análisis económico (inversión, beneficio y PRI) y financiero (VAN y TIR) para definir la viabilidad del estudio.
El procedimiento de la investigación en un organigrama, se muestra en la figura 7 de anexos.

3.6. Método de análisis de datos

En el proceso de análisis de datos, se empleó el software Excel, 2021. Para realizar el análisis estadístico del método LogNormal que permite determinar los indicadores de mantenimiento. Asimismo, en el entorno del Excel, se graficaron tablas de frecuencia absoluta y relativa, como gráficos circulares, correlacionales y de barras, para una mejor interpretación de los resultados de los objetivos específicos. También el mismo software fue empleado para realizar la simulación estadística de los indicadores de gestión, AMEF, NPR y ACE.

3.7. Aspectos éticos

El autor, se compromete verazmente a respetar los aspectos éticos como la propiedad intelectual, no recurriendo en el plagio académico, presentando una información clara y autentica. Además, se compromete a respetar el principio de información brindado por la empresa María Magdalena, el cual solo tiene un uso único basado en esta investigación.

IV. RESULTADOS

4.1. Evaluación inicial para determinar los indicadores de mantenimiento de cada unidad de la flota de transportes.

En la tabla 1, se muestra los principales datos de las unidades de transporte de la empresa María Magdalena, considerando la categoría, marca, modelo y placa. Cabe indicar que la evaluación del mantenimiento se enfocará en el año 2019, ya que fue el último año libre de pandemia COVID-19. Porque los años 2020 y 2021 la empresa no ha trabajado constantemente.

Tabla 1: Unidades de transporte de la empresa María Magdalena, año 2019.

Categoría	Marca	Modelo	Placa
Camión	Volvo -1	FL7 6X2	WB-7173
Camión	Volvo - 2	FL7 6X2	BM5-886
Camión	Volvo - 3	FL7 6X2	WC-7014
Camión	Volvo - 4	FL7 6X2	W2G-940
Camión	Mitsubishi - 1	FUSO	B1R-949
Camión	Mitsubishi - 2	FUSO	WR1-870
Camión	Mitsubishi - 3	FUSO	QL-5663

Fuente: Empresa María Magdalena, 2019.

Asimismo, en la tabla 2, se muestran la cantidad de averías o fallas, tiempo entre fallas y el tiempo que se empleó para reparar la correspondiente avería, por cada unidad de transportes.

Tabla 2: Número de averías y tiempo para reparar de las unidades de transporte de la empresa María Magdalena, año 2019.

Unidad de transporte	Número de averías (n) (Fallas/año)	Tiempo útil (TBF) (horas útiles/año)	Tiempo de reparación (TTR) (horas reparación/año)
Volvo: WB-7173	16	3465	368
Volvo: BM5-886	9	3588	288
Volvo: WC-7014	18	3584	354
Volvo: W2G-940	13	3851	255
Mitsubishi: B1R-949	11	2862	267
Mitsubishi: WR1-870	13	3726	272
Mitsubishi: QL-5663	14	2720	334

Fuente: Empresa María Magdalena, 2019.

Desde las figuras 1 a 7, se muestran los distintos tipos de averías o fallas de las unidades ocurridas en el periodo 2019, respecto al tiempo entre fallas (tiempo útil). Es decir, se muestra el comportamiento de la falla respecto al tiempo en que ocurre la avería. Por ejemplo, en la figura 1 el camión volvo WB-7173, operaba correctamente hasta las 259 horas de empezado el año 2019, pero fue intervenido por una falla en el ventilador de refrigeración.

a) TBF (Tiempo entre fallas) – Camión Volvo: WB-7173

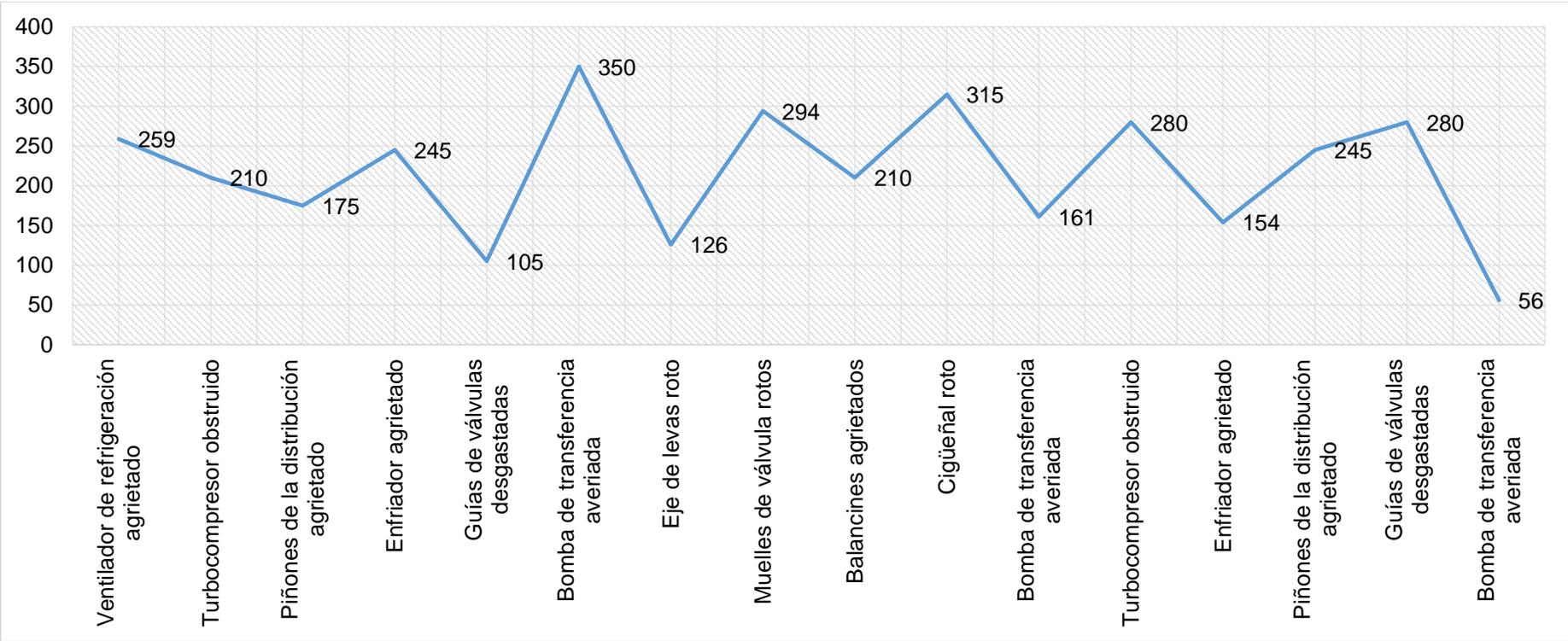


Figura 1: TBF – Camión Volvo: WB-7173, empresa María Magdalena – 2019.

b) TBF (Tiempo entre fallas) – Camión Volvo: BM5-886

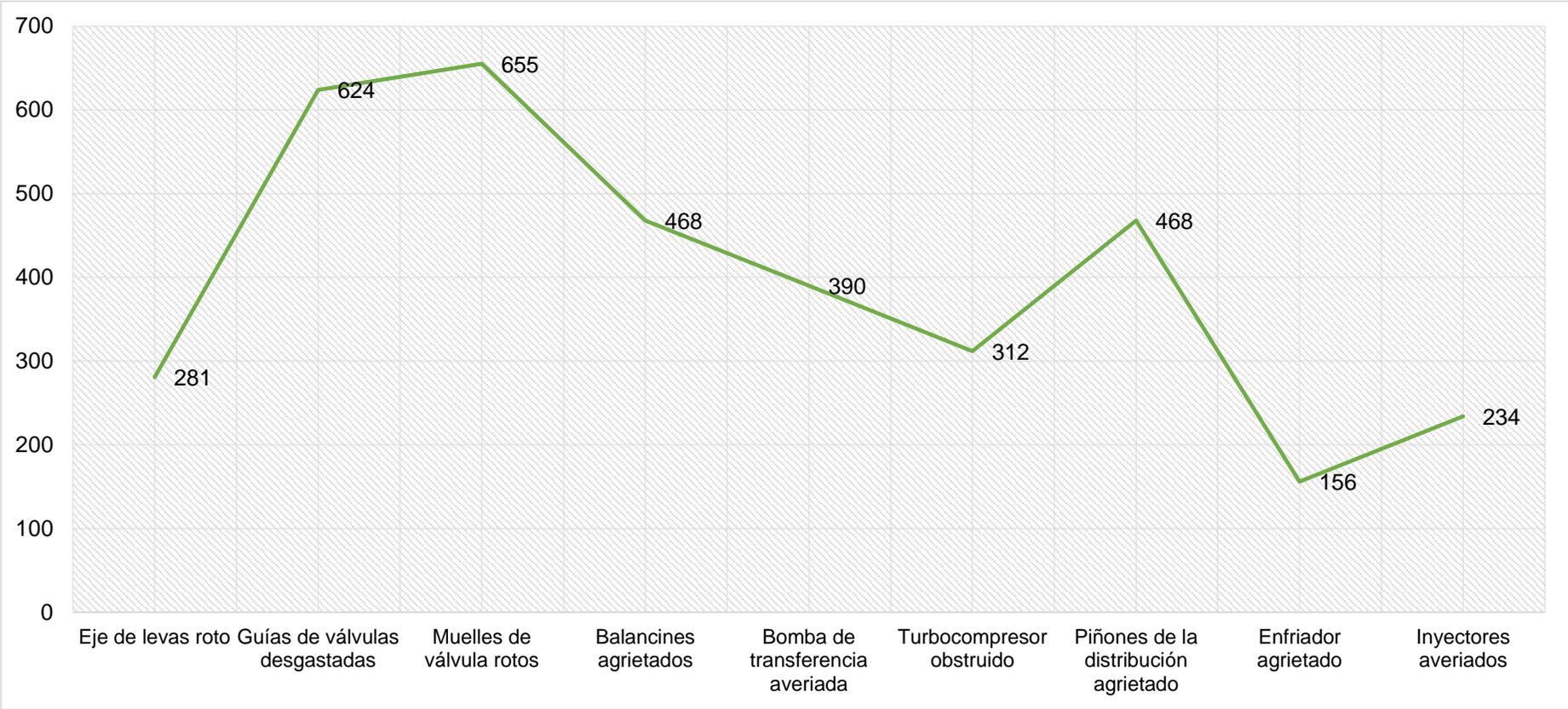


Figura 2: TBF – Camión Volvo: BM5-886, empresa María Magdalena – 2019.

c) TBF (Tiempo entre fallas) – Camión Volvo: WC-7014

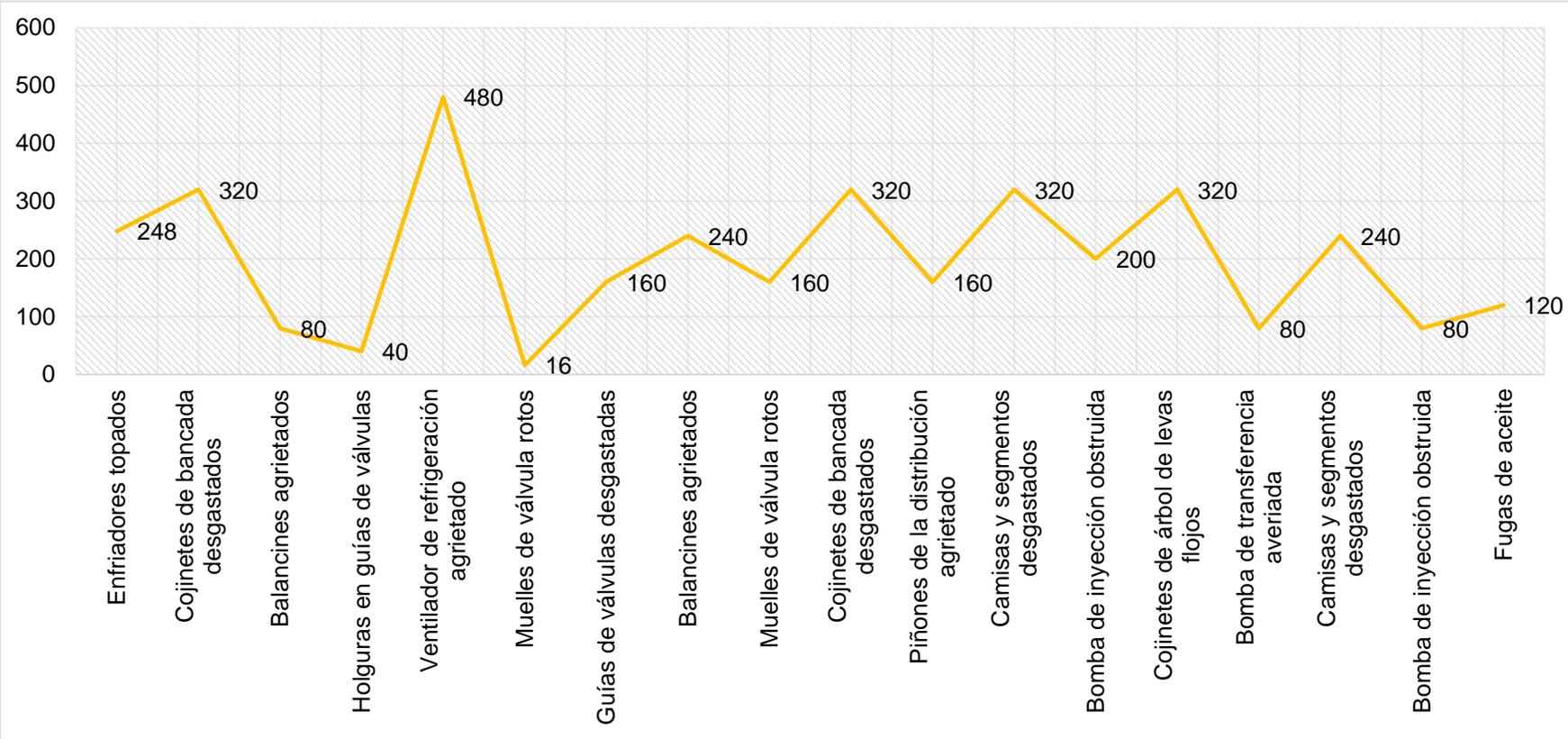


Figura 3: TBF – Camión Volvo: WC-7014, empresa María Magdalena – 2019.

d) TBF (Tiempo entre fallas) – Camión Volvo: W2G-940

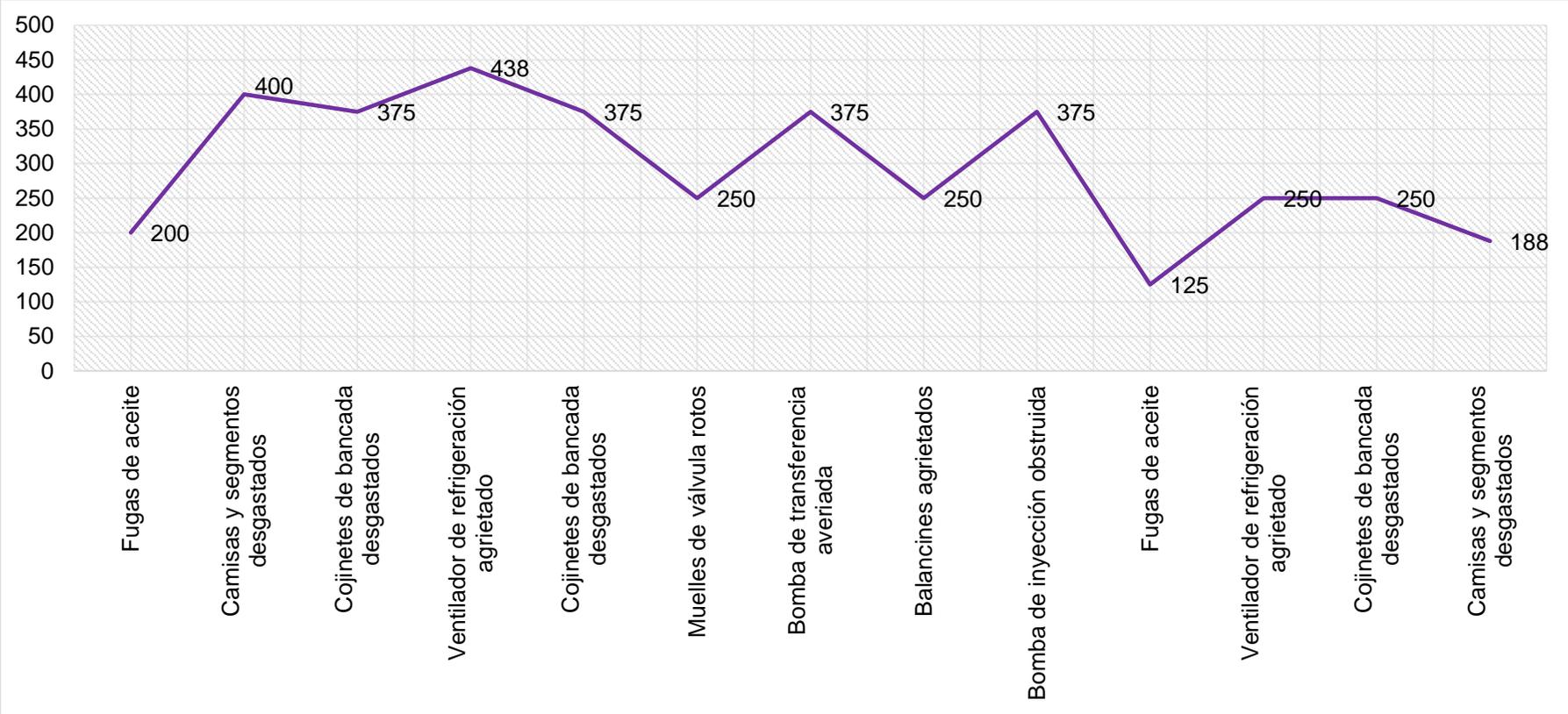


Figura 4: TBF – Camión Volvo: W2G-940, empresa María Magdalena – 2019.

e) TBF (Tiempo entre fallas) – Camión Mitsubishi: B1R-949

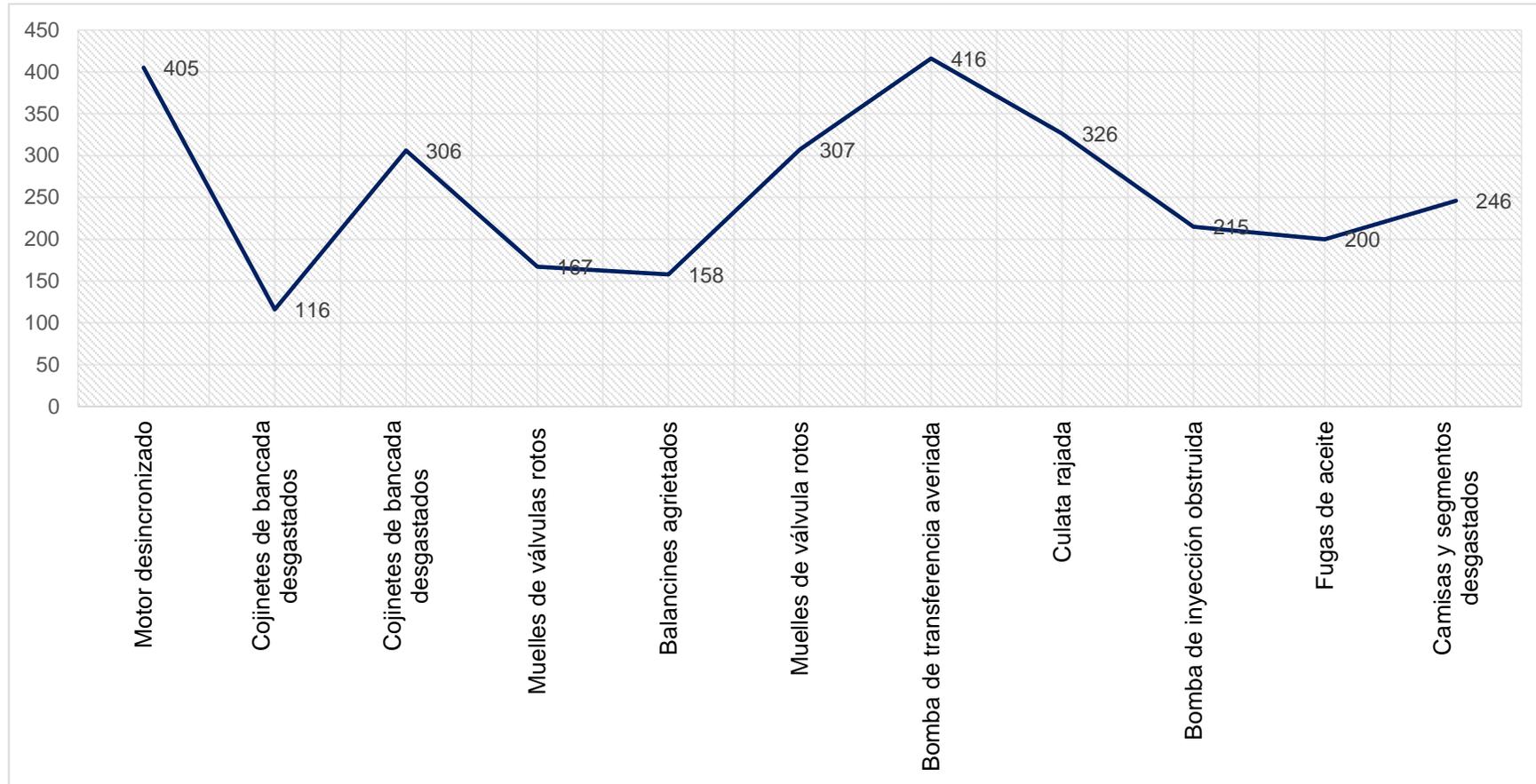


Figura 5: TBF – Camión Mitsubishi: B1R-949, empresa María Magdalena – 2019.

f) TBF (Tiempo entre fallas) – Camión Mitsubishi: WR1-870

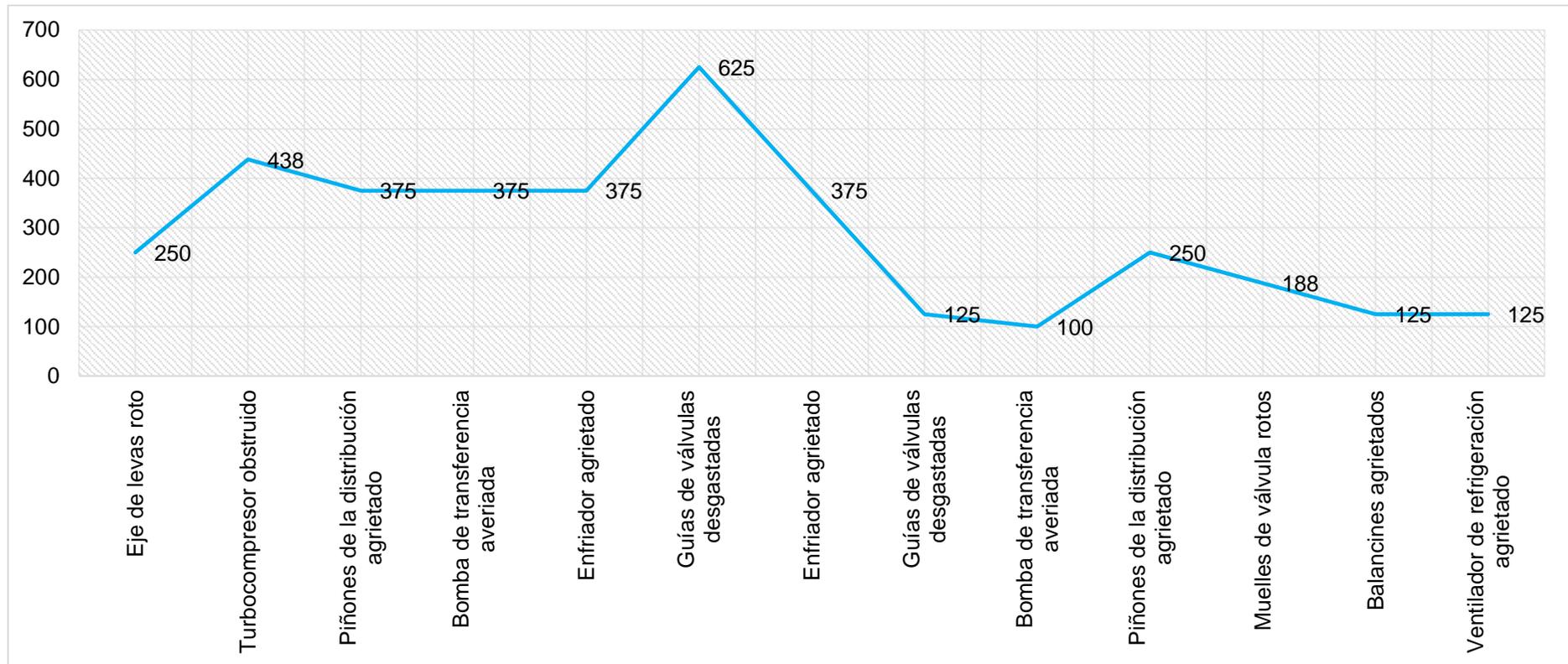


Figura 6: TBF– Camión Mitsubishi: WR1-870, empresa María Magdalena – 2019.

g) TBF (Tiempo entre fallas) – Camión Mitsubishi: QL-5663

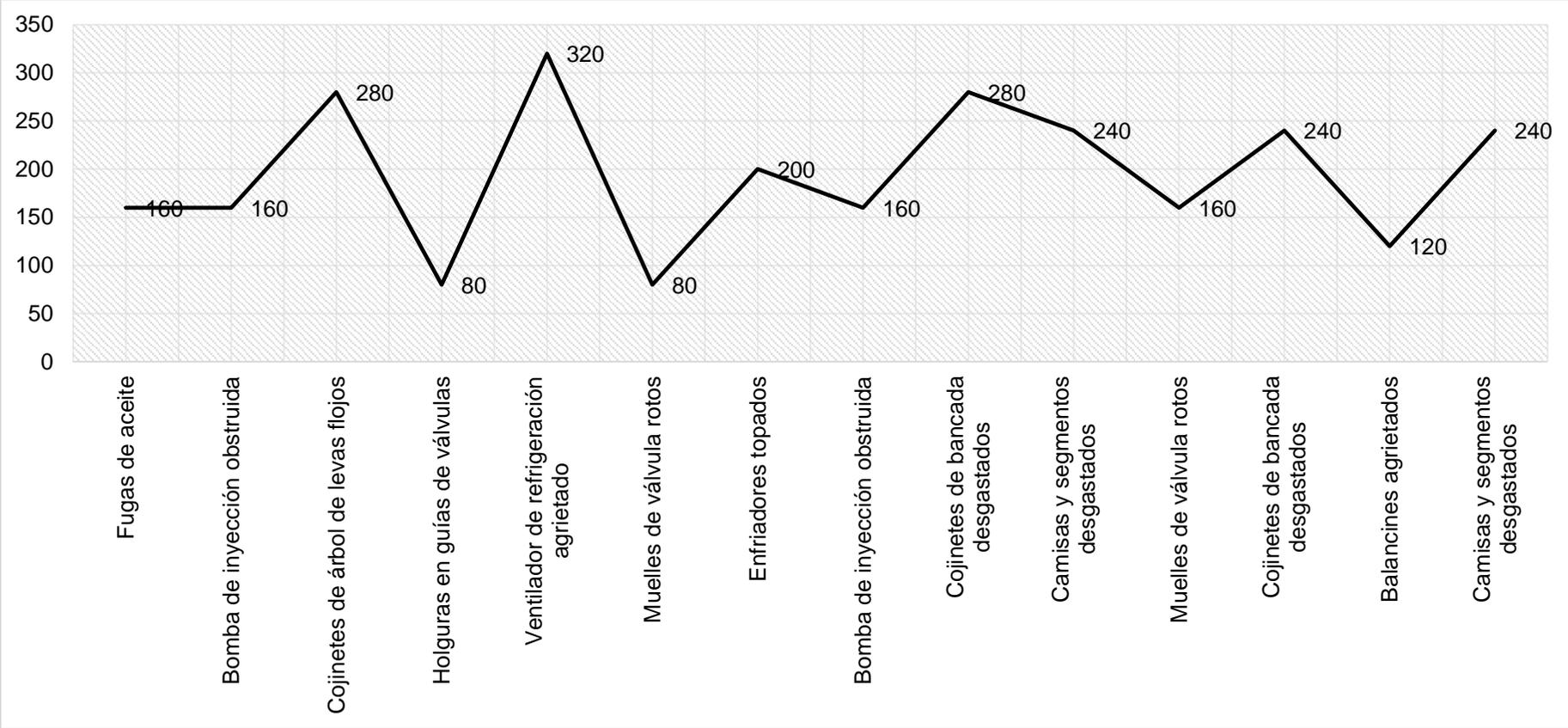


Figura 7: TBF (Tiempo entre fallas) – Camión Mitsubishi: QL-5663, empresa María Magdalena – 2019.

También, desde las figuras 8 a 14, se muestran los distintos tipos de averías o fallas de las unidades ocurridas en el periodo 2019, respecto al tiempo para reparar (tiempo empleado en reparar una determinada avería). Es decir, se muestra el comportamiento de las fallas respecto al tiempo de operación del camión. Por ejemplo, en la figura 8 el camión volvo WB-7173, presenta una falla en el ventilador de refrigeración para lo cual el personal de mantenimiento de la empresa empleo un tiempo de reparación de 26 horas.

a) TTR (Tiempo para reparar) – Camión Volvo: WB-7173

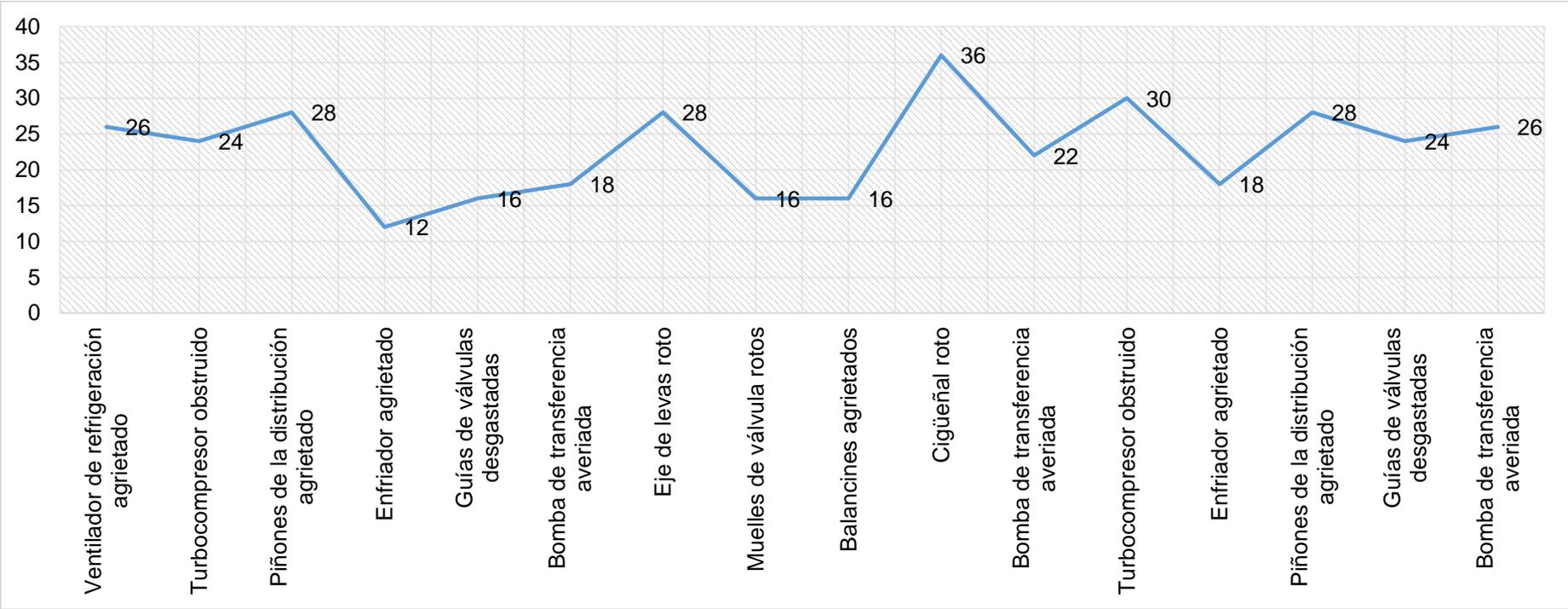


Figura 8: TTR– Camión Volvo: WB-7173, empresa María Magdalena – 2019.

b) TTR (Tiempo para reparar)– Camión Volvo: BM5-886

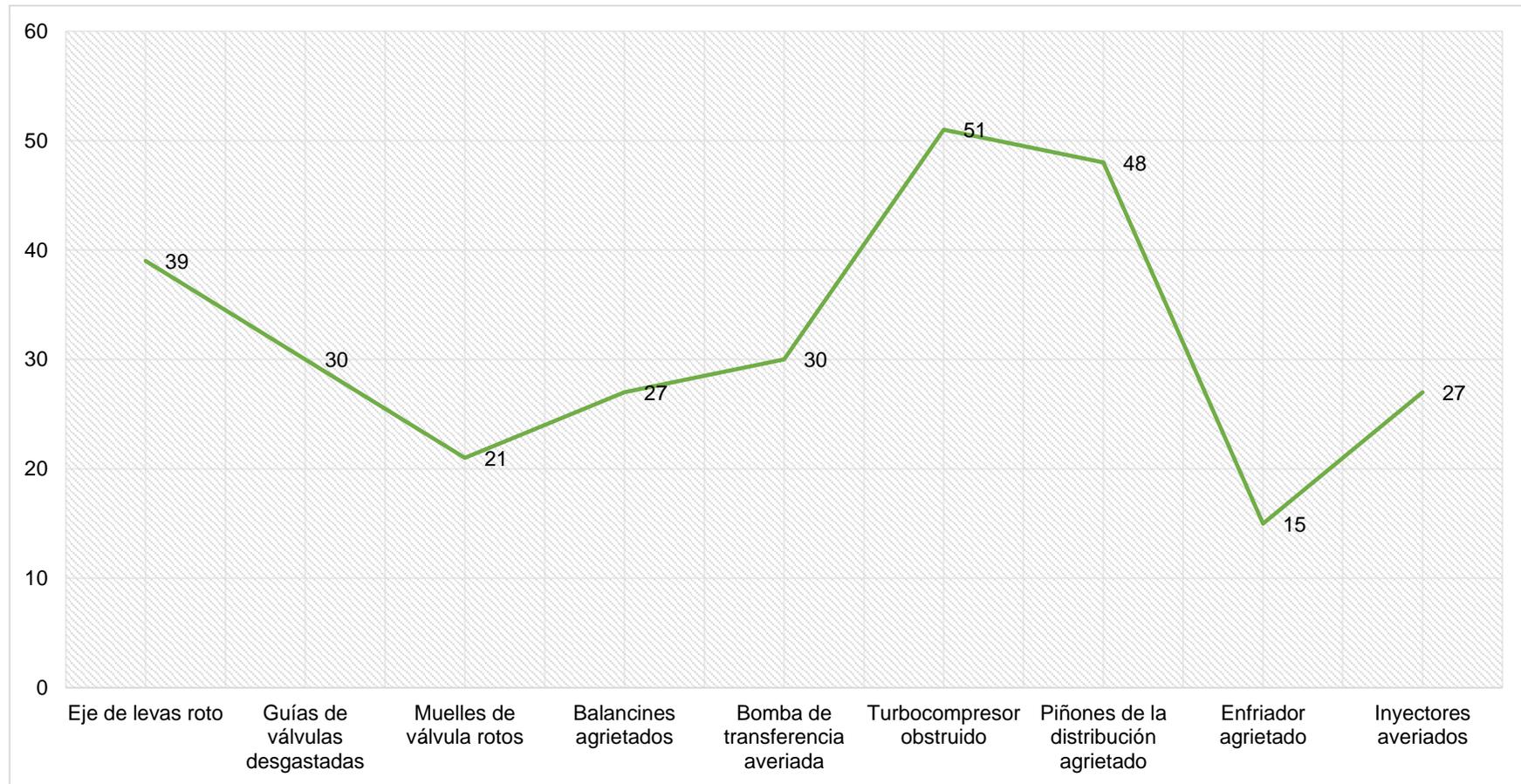


Figura 9: TTR – Camión Volvo: BM5-886, empresa María Magdalena – 2019.

c) TTR (Tiempo para reparar) – Camión Volvo: WC-7014

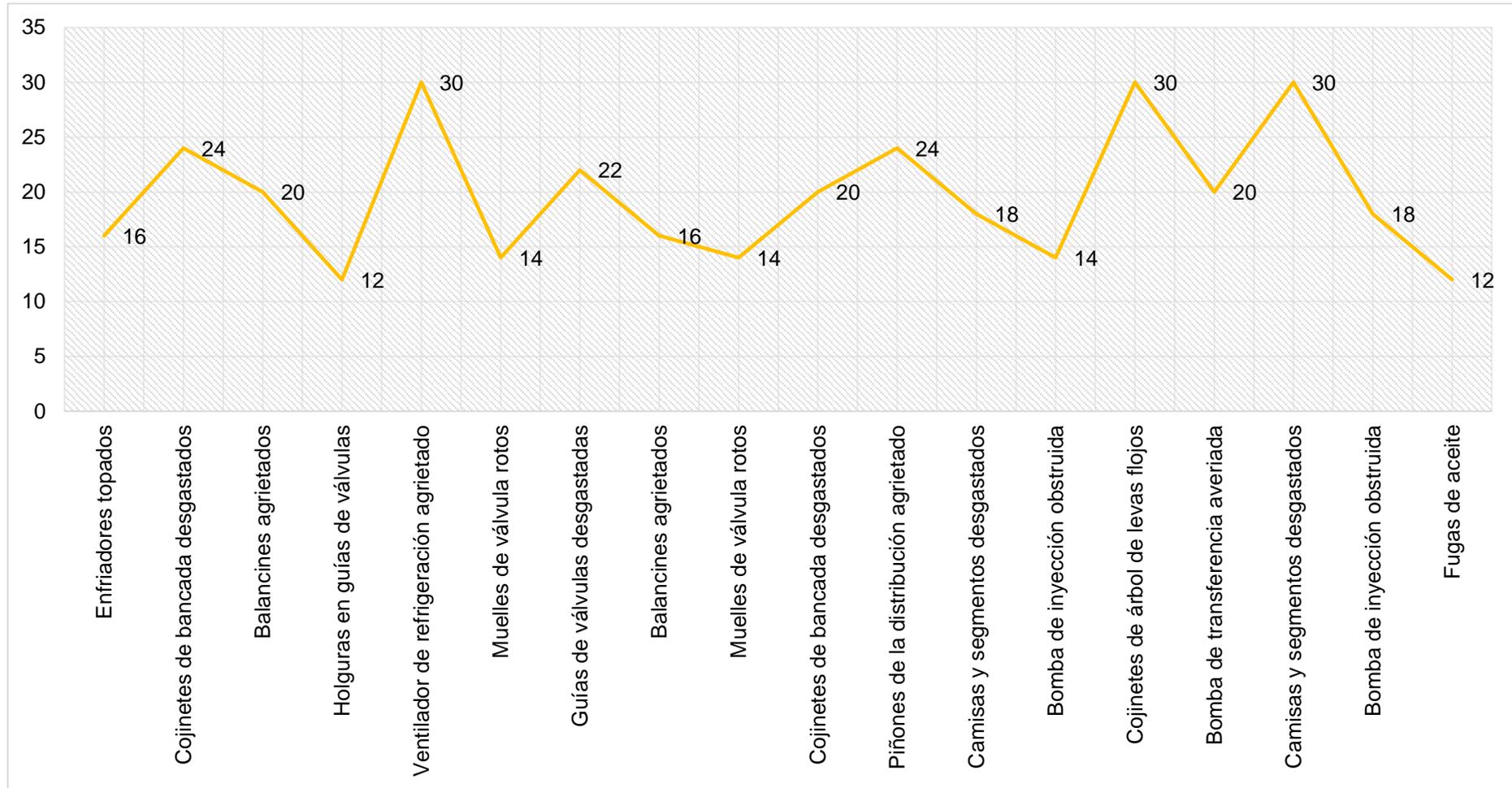


Figura 10: TTR – Camión Volvo: WC-7014, empresa María Magdalena – 2019.

d) TTR (Tiempo para reparar) – Camión Volvo: W2G-940

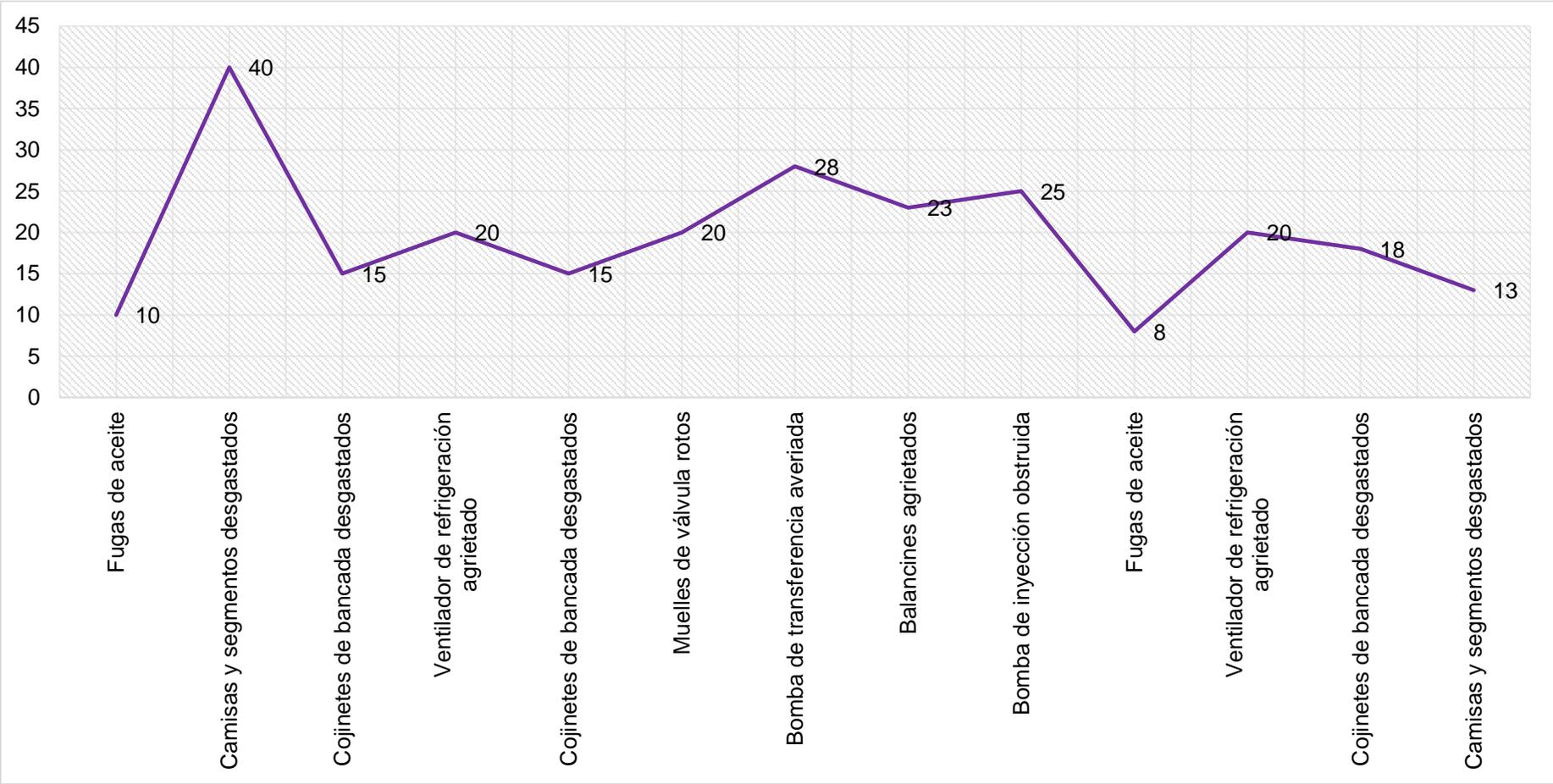


Figura 11: TTR – Camión Volvo: W2G-940, empresa María Magdalena – 2019.

e) TTR (Tiempo para reparar) – Camión Mitsubishi: B1R-949

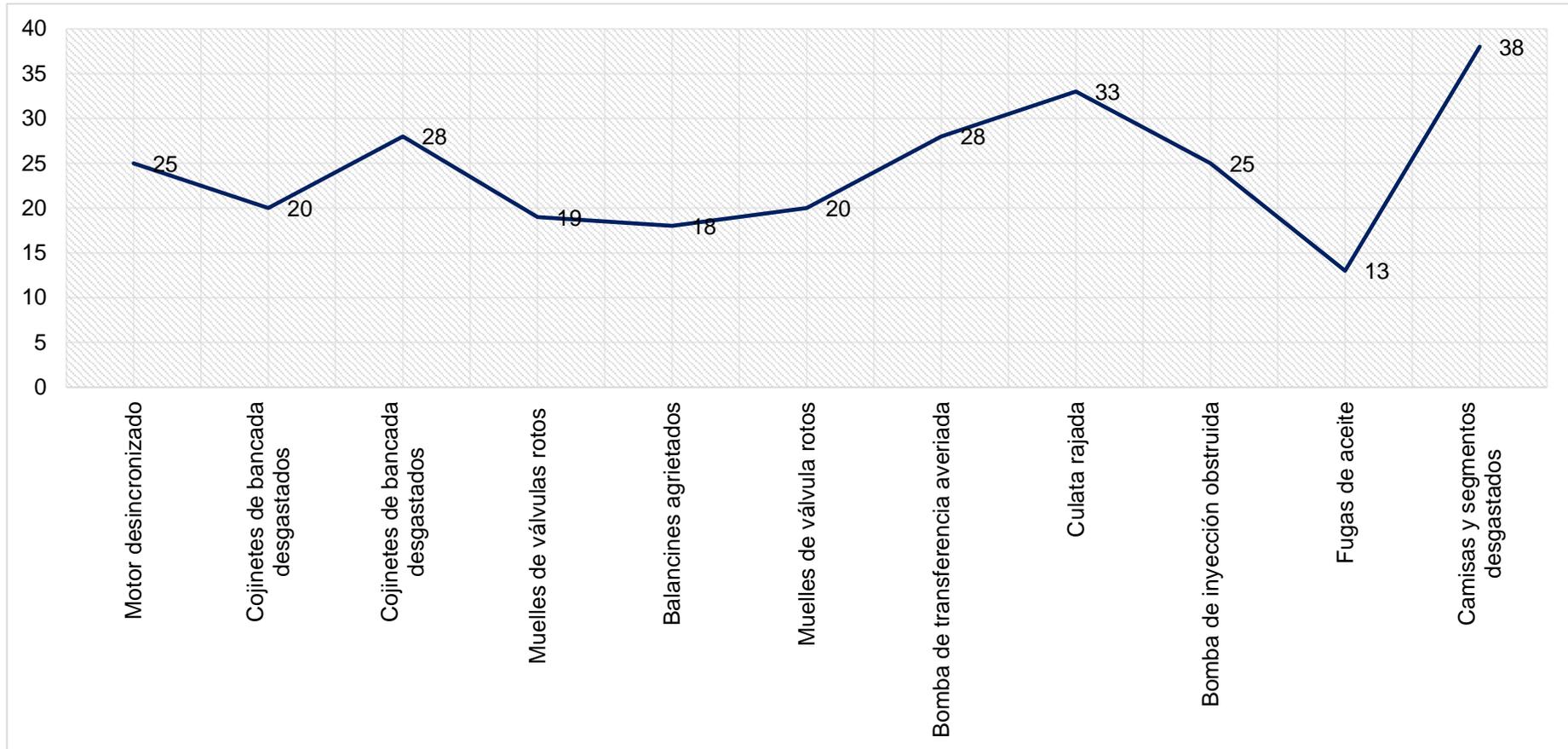


Figura 12: TTR – Camión Mitsubishi: B1R-949, empresa María Magdalena – 2019.

f) TTR (Tiempo para reparar) – Camión Mitsubishi: WR1-870

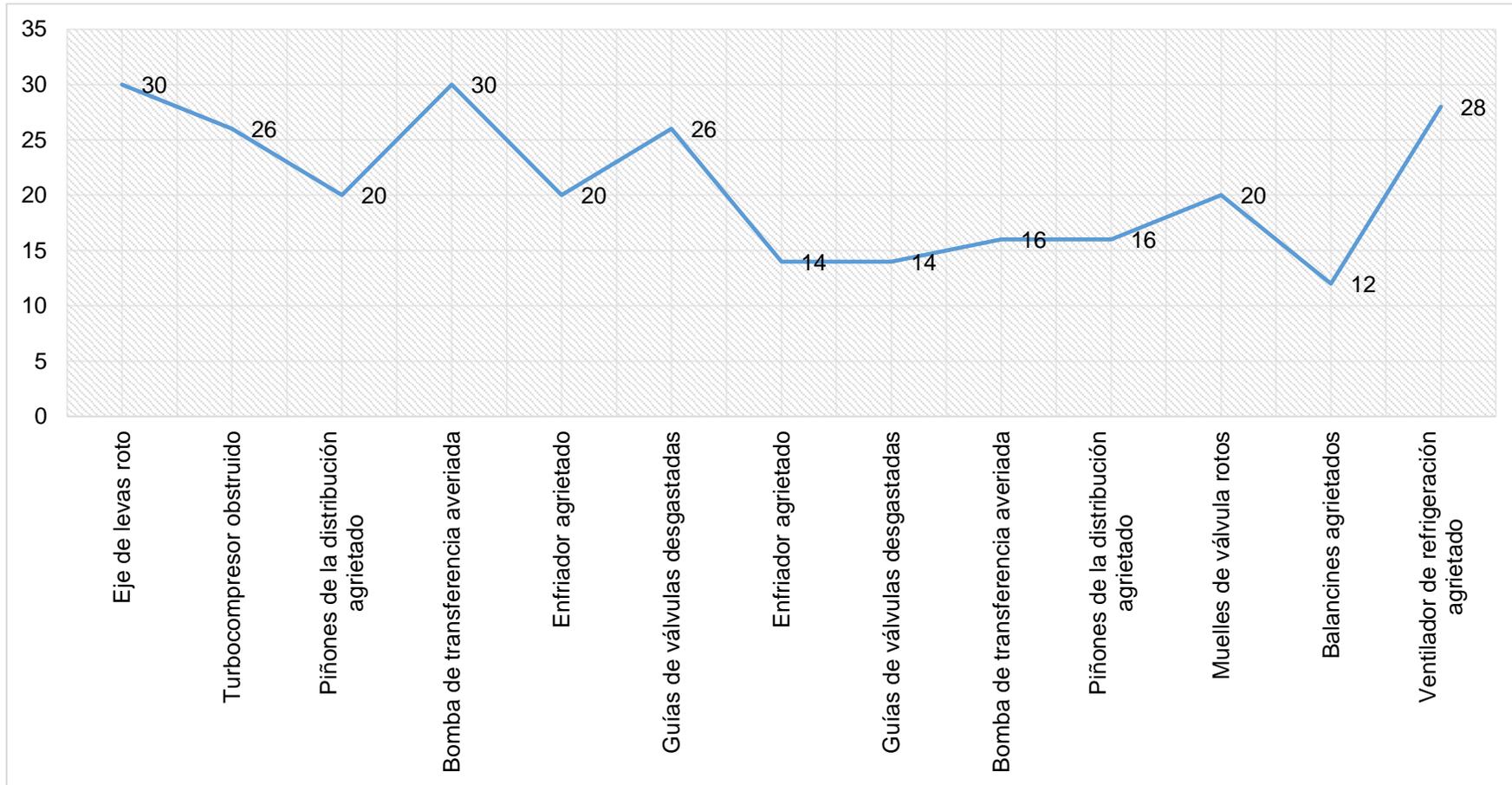


Figura 13: TTR – Camión Mitsubishi: WR1-870, empresa María Magdalena – 2019.

g) TTR (Tiempo para reparar) – Camión Mitsubishi: QL-5663

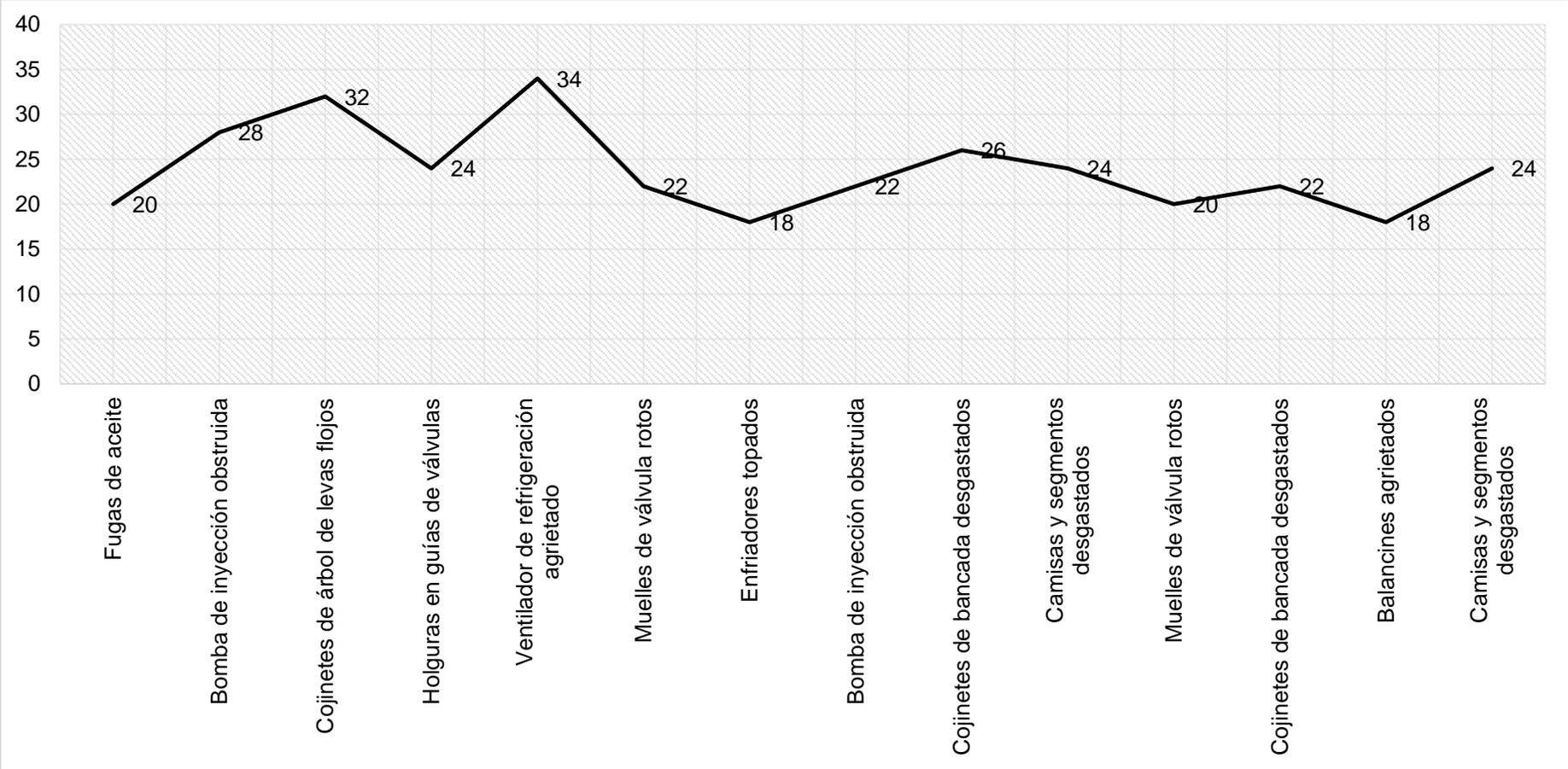


Figura 14: TTR – Camión Mitsubishi: QL-5663, empresa María Magdalena – 2019.

La empresa María Magdalena debido a las averías ocurridas por sus unidades de transporte, tiene una pérdida económica promedio de 90.00 soles por cada hora de reparación. Por ejemplo, el camión Volvo WB-7173, tiene un acumulado de tiempo de reparación de 368 horas pérdidas (Tabla 8), donde el costo en pérdidas para el año 2019, sería 33120.00 soles (90.00x368), tal como se muestra en la figura 15, para cada camión. Obteniendo un total en pérdidas de costos de producción de 192420.00 soles.

a) Costos de producción (pérdidas por acumulación del TTR en camiones)

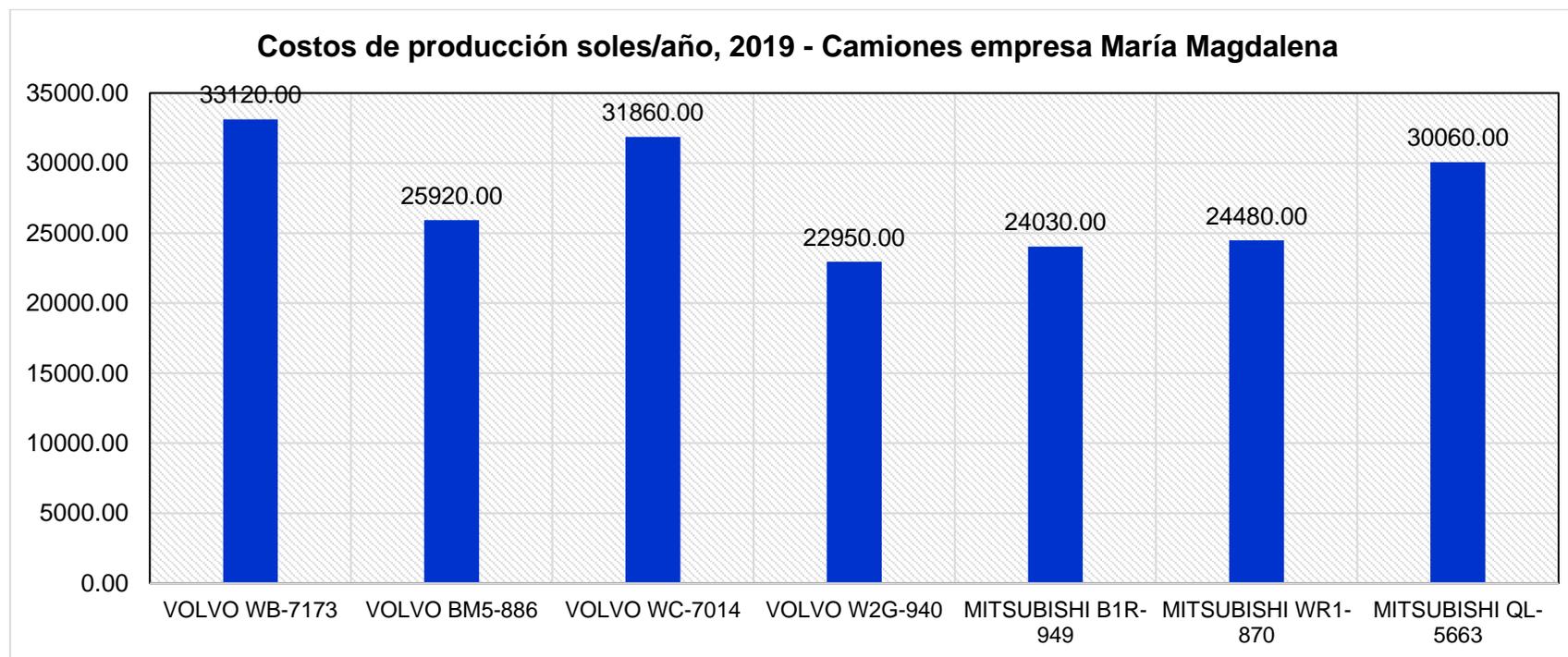


Figura 15: Costos en pérdidas de producción de los camiones de la empresa María Magdalena, 2019

b) Costos en repuestos de los camiones

La empresa María Magdalena, para dar solución a las diversas fallas producidas por sus 7 camiones en el año 2019, tuvo un gasto en repuestos de 94214.00 soles, tal como se detalla en la figura 16.

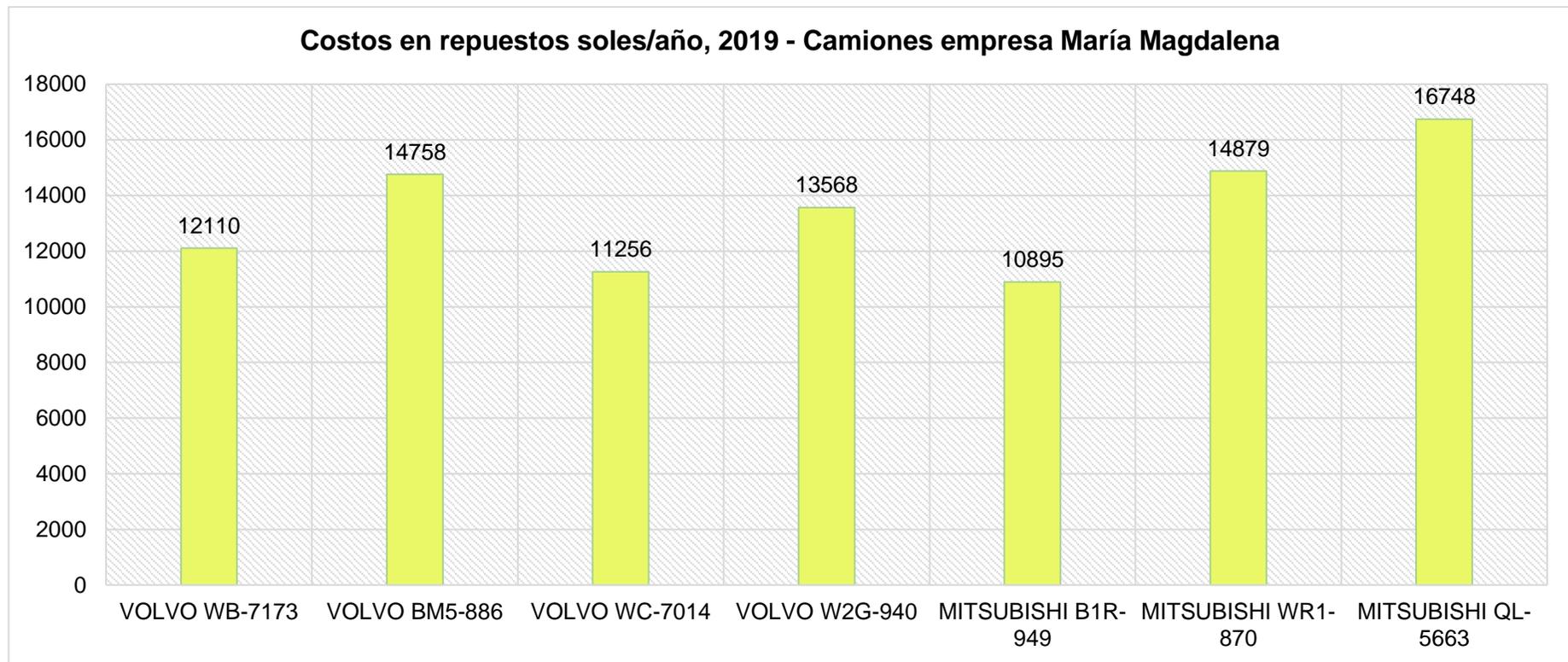


Figura 16: Costos en repuestos de los camiones de la empresa María Magdalena, 2019

c) Costos en mano de obra (Servicios externos):

La empresa María Magdalena, en el periodo 2019, para dar solución a un cierto porcentaje de falla, empleo servicios de mantenimiento externo, con un costo total de 15990.00 soles.

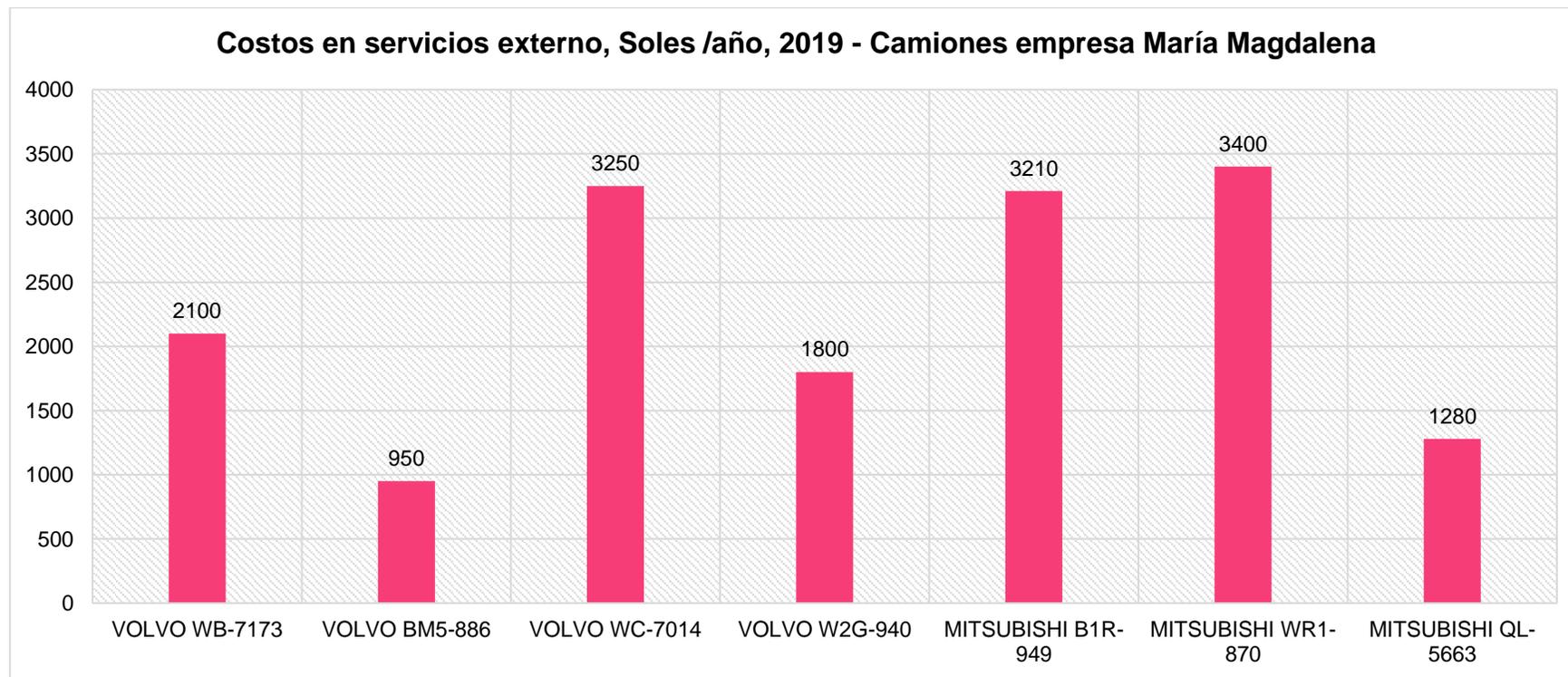


Figura 17: Costos externos de mantenimiento de los camiones de la empresa María Magdalena, 2019

Por lo consiguiente, podemos indicar que la empresa en el año 2019, tuvo pérdidas en producción de **192420.00 soles** (figura 15), en repuestos **94214.00 soles** (figura 16) y en servicios de mantenimiento externos **15990.00 soles** (figura 17), lo cual genera un costo de mantenimiento total de **302624.00 soles**.

4.1.1. Determinación de indicadores de gestión de mantenimiento de la empresa María Magdalena.

Para determinar los indicadores de gestión de mantenimiento por cada camión, se utilizará el método estadístico LogNormal, el cual se utiliza para equipos de operación no constante, es decir que no trabajan 24 horas/día. Donde los camiones trabajan entre 6 a 10 horas/día. Asimismo, este método estadístico es el más viable en cuanto a sus resultados.

a) determinación de los Indicadores de mantenimiento para el camión volvo WB-7173

- **Tiempo útil total para producir (tiempo entre fallas)**

En la tabla 2 y figura 1, se muestra el resultado del TBF, con un total de 3465 horas útiles.

$$TBF_{total} = TBF_1 + TBF_2 + TBF_3 \dots + TBF_n$$

$$TBF_{total} = (259 + 210 + 175 \dots + 56) \text{ Horas útil/año}$$

$$TBF_{total} = 3465 \text{ Horas útil/año}$$

- **Tiempo total empleado en reparaciones (tiempo de reparaciones)**

En la tabla 2 y figura 8, se muestra el resultado del TTR, con un total 368 horas de reparación.

$$TTR_{total} = TTR_1 + TTR_2 + TTR_2 + \dots + TTR_n$$

$$TTR_{total} = (26 + 24 + 28 + \dots + 28) \text{ Horas reparación/año}$$

$$TTR_{total} = 368 \text{ Horas reparación/año}$$

- **Frecuencia de intervenciones (cantidad de fallas):**

En la tabla 2 y figura 7, se muestra el resultado para la frecuencia de intervenciones, con un total de 16 fallas/año.

$$F_{total} = n_1 + n_2 + n_2 + \dots + n_n$$

$$F_{total} = (1 + 1 + 1 + \dots + 1) \text{ fallas/año}$$

$$F_{total} = 16 \text{ fallas/año}$$

- **Tiempo útil promedio para producir (Tiempo promedio entre fallas):**

$$MTBF = \frac{TBF_{total}}{n_{total}}$$

$$MTBF = \frac{3465 \text{ Horas útil/año}}{16 \text{ fallas/año}}$$

$$MTBF = 216.5625 \text{ Horas útil/falla}$$

Este valor indica que ocurre en promedio una falla cada 216.5625 horas.

- **Tiempo de reparación promedio (Tiempo promedio para reparar):**

$$MTTR = \frac{TTR_{total}}{n_{total}}$$

$$MTTR = \frac{368 \text{ Horas reparación/año}}{16 \text{ fallas/año}}$$

$$MTTR = 23 \text{ Horas reparación/falla}$$

Este valor indica que en promedio se emplean 23 horas para reparar una avería

- **Tasa de fallas:**

$$TF = \frac{1}{MTBF}$$

$$TF = \frac{1}{216.5625} = 0.0046176 \text{ Fallas/Horas útil}$$

- **Tasa de reparación:**

$$TR = \frac{1}{MTTR}$$

$$TR = \frac{1}{23} = 0.04348 \text{ Falla/Horas reparación}$$

- **Indicador de disponibilidad:**

$$D(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

$$D(t) = \frac{216.5625 \text{ Horas útil/falla}}{216.5625 \text{ Horas útil/falla} + 23 \text{ Horas reparación/falla}}$$

$$D(t) = 90.4 \%$$

- **Indicador de confiabilidad:**

$$R(t) = \left(e^{\frac{-TF \cdot T}{100}} \right) * 100\%$$

Donde T es el tiempo total de operación, decir es la suma del TBF y TTR, en la tabla 2, se muestra que el TBF tiene un valor de 3465 horas útiles y el TTR de 368 horas de reparación. Es decir, tendríamos un tiempo total de 3833 horas.

$$R(t) = \left(e^{\frac{-0.0046176 * 3833}{100}} \right) * 100\%$$

$$C(t) = 83.78 \%$$

- **Indicador de mantenibilidad:**

$$M(t) = \left(1 - e^{\frac{-TR * T}{100 * 12}} \right) * 100\%$$

$$M(t) = \left(1 - e^{\frac{-0.04348 * 3833}{100 * 12}} \right) * 100\%$$

$$M(t) = 13 \%$$

Empleando la misma metodología de cálculo, los resultados obtenidos, respecto a los indicadores de gestión de mantenimiento en estado actual de las unidades de transporte de la empresa María Magdalena, se resumen en la tabla 3.

Tabla 3: Indicadores de mantenimiento actual de los camiones de la empresa María Magdalena

FLOTA DE TRANSPORTE	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD	MANTENIBILIDAD
VOLVO WB-7173	90.40%	83.78%	13%
VOLVO BM5-886	92.57%	90.74%	9.60%
VOLVO WC-7014	91.01%	82.06%	15.37%
VOLVO W2G-940	93.79%	87.05%	16%
MITSUBISHI B1R-949	91.47%	88.67%	10.20%
MITSUBISHI WR1-870	93.20%	86.98%	14.72%
MITSUBISHI QL-5663	89.06%	85.45%	10.14%

4.2. Plan De Mantenimiento Basado En El Riesgo Y Mantenimiento Predictivo

4.2.1. análisis de criticidad de la flota de transporte - empresa María Magdalena

El análisis de criticidad se fundamentará en 5 criterios: Frecuencia de fallas, impacto operacional, flexibilidad operacional, costos de mantenimiento y seguridad y medio ambiente. Los cuales permiten clasificar las unidades de transporte según sus distintas averías o fallas en críticos, semicríticos y no crítico. Para su cálculo se empleó el anexo 11, Por ejemplo, el camión volvo WB-7173, tiene 16 fallas/año (Tabla 2) al cual le pertenece una ponderación de frecuencia de fallas de 4 (Anexo 11). Asimismo, las fallas ocurridas en este camión han conducido a su paralización parcial, perjudicando su operativa, por lo cual su ponderación en impacto operacional es 7 (Anexo 11). Las fallas ocurridas en mencionado camión, cuando se efectuaron de manera inesperada, no existían repuestos en almacén de la empresa, por lo cual su ponderación en flexibilidad operacional es 4. Con respecto a los costos de mantenibilidad el camión tiene un costo de mantenimiento total de 47330 soles/año, repartidos en costos de pérdidas de operación 33120.00 soles/año (Figura 15), costos de repuestos 12110.00 soles/año (Figura 16) y costos de mano de obra externa 2100.00 soles/año (Figura 24), por lo cual tiene una ponderación en costos de mantenimiento de 2 (Anexo 11). En lo que compete al medio ambiente y seguridad del operador del camión, las fallas o averías presentadas han reflejado cuasi accidentes, es decir daños menores como el derrame de lubricante, por lo cual le corresponde un ponderado en impacto de seguridad y medio ambiente de 3 (Anexo 11). Una vez obtenidos los criterios de ponderación, determinamos la consecuencia, de la siguiente manera:

$$C=IO*FO*CM*ISMA=7*4*2*3=168$$

Con la consecuencia calculada se determina el valor de criticidad:

$$VC=C*FF=168*4=672$$

Con los valores encontrados interceptamos en la matriz de criticidad las averías o fallas del camión con sus consecuencias, obteniendo que presenta un nivel de criticidad: CRITICO (Figura 18).

La misma metodología de cálculo se aplicó para todos los camiones, y se visualizan desde la tabla 4 a 10.

a) Análisis de criticidad del Camión volvo: WB-7173

Tabla 4: Criticidad del Camión volvo: WB-7173

CRITERIOS	Volvo: WB-7173
Frecuencia de fallas	4
Impacto operacional	7
Flexibilidad operacional	4
Costos de mantenimiento	2
Impacto de seguridad y medio ambiente	3
CONSECUENCIA	168
VALOR CRÍTICO	672
TIPO DE CRITICIDAD	CRITICO

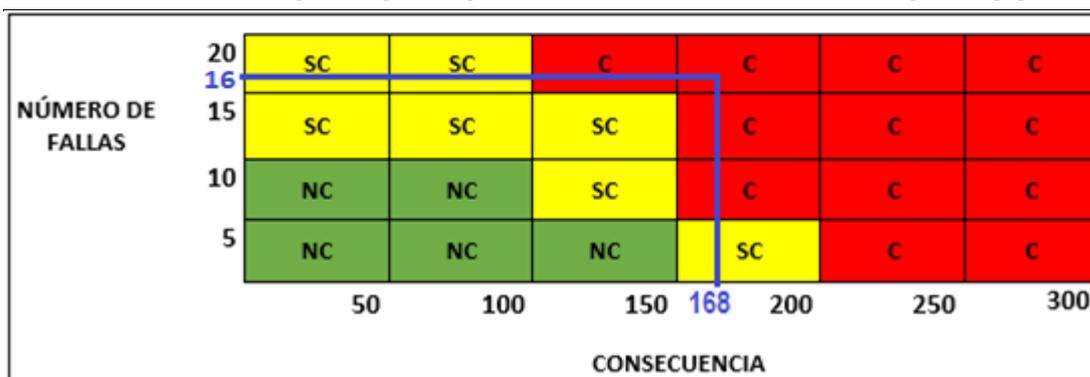


Figura 18: Matriz de criticidad del camión volvo: WB-7173

b) Análisis de criticidad del camión volvo: BM5-886

Tabla 5: Criticidad del camión volvo: BM5-886

CRITERIOS	Volvo: BM5-886
Frecuencia de fallas	4
Impacto operacional	10
Flexibilidad operacional	4
Costos de mantenimiento	2
Impacto de seguridad y medio ambiente	3
CONSECUENCIA	240
VALOR CRÍTICO	960
TIPO DE CRITICIDAD	CRITICO

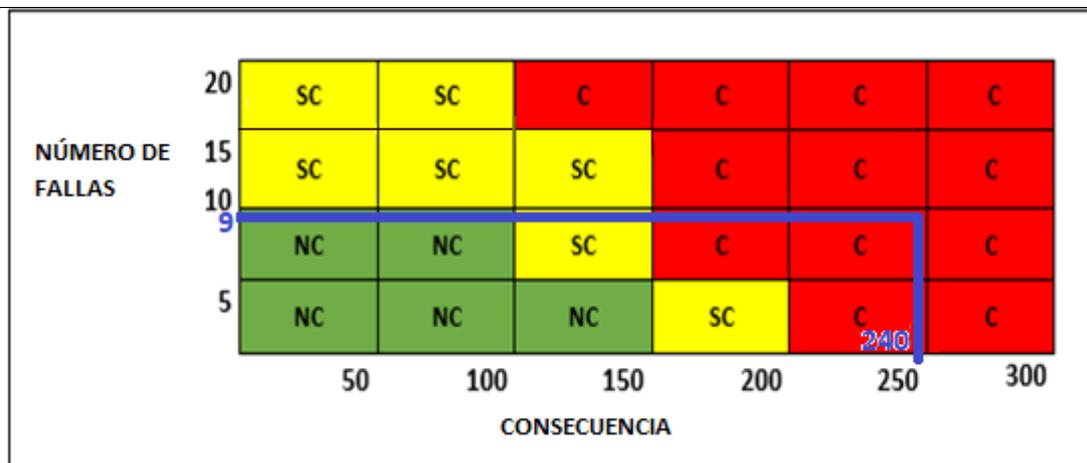


Figura 19: Matriz de criticidad del camión volvo: BM5-886

c) Análisis de criticidad del camión volvo: WC-7014

Tabla 6: criticidad del camión volvo: WC-7014

CRITERIOS	Volvo: WC-7014
Frecuencia de fallas	4
Impacto operacional	7
Flexibilidad operacional	4
Costos de mantenimiento	2
Impacto de seguridad y medio ambiente	3
CONSECUENCIA	168
VALOR CRÍTICO	672
TIPO DE CRITICIDAD	CRITICO

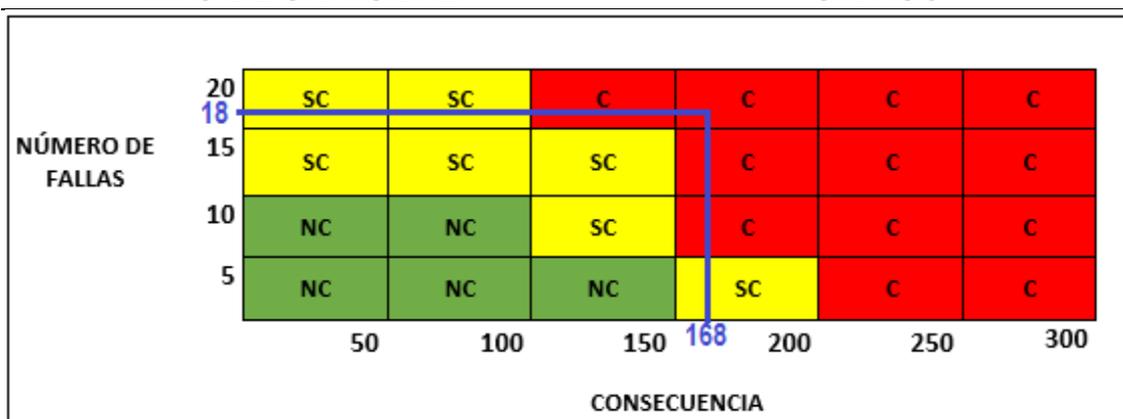


Figura 20: Matriz de criticidad del camión volvo: WC-7014

d) Análisis de criticidad del camión volvo: W2G-940

Tabla 7: Criticidad del camión volvo: W2G-940

CRITERIOS	Volvo: W2G-940
Frecuencia de fallas	4
Impacto operacional	7
Flexibilidad operacional	4
Costos de mantenimiento	1
Impacto de seguridad y medio ambiente	3
CONSECUENCIA	84
VALOR CRÍTICO	336
TIPO DE CRITICIDAD	SEMICRITICO

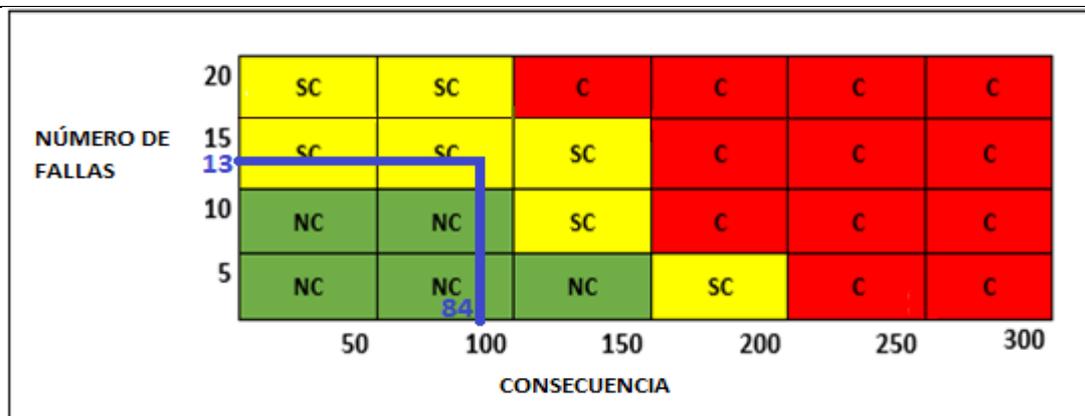


Figura 21: Matriz de criticidad del camión volvo: W2G-940

e) Análisis de criticidad del camión Mitsubishi: B1R-949

Tabla 8: Criticidad del camión Mitsubishi: B1R-949

CRITERIOS	Mitsubishi: B1R-949
Frecuencia de fallas	4
Impacto operacional	7
Flexibilidad operacional	2
Costos de mantenimiento	1
Impacto de seguridad y medio ambiente	3
CONSECUENCIA	42
VALOR CRÍTICO	168

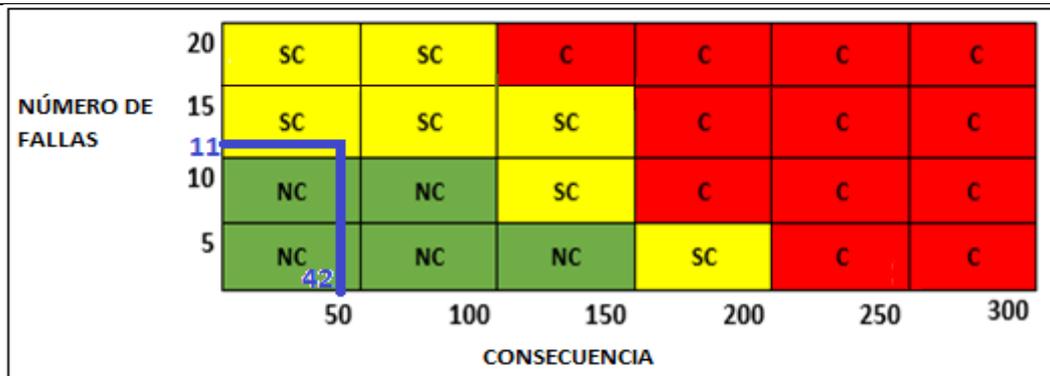


Figura 22: Matriz de criticidad del camión Mitsubishi: B1R-949

f) Análisis de criticidad del camión Mitsubishi: WR1-870

Tabla 9: Criticidad del camión Mitsubishi: WR1-870

CRITERIOS	Mitsubishi: WR1-870
Frecuencia de fallas	4
Impacto operacional	7
Flexibilidad operacional	2
Costos de mantenimiento	2
Impacto de seguridad y medio ambiente	3
CONSECUENCIA	84
VALOR CRÍTICO	336

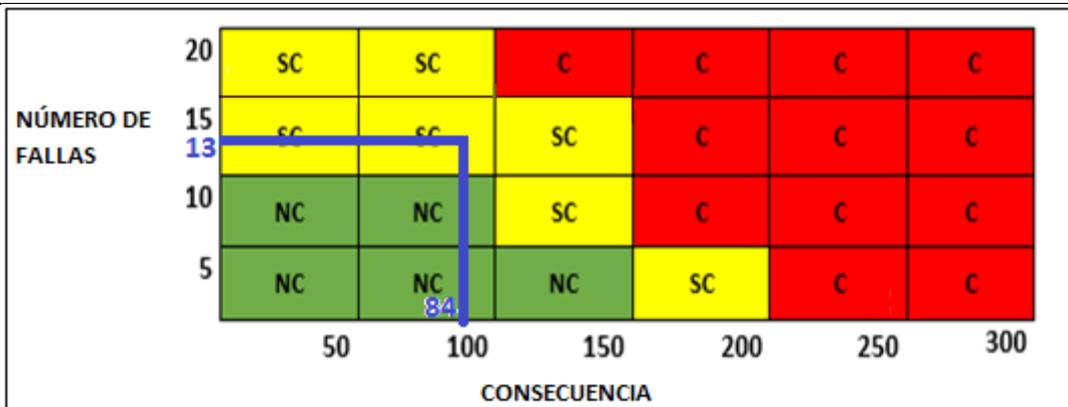


Figura 23: Matriz de criticidad del camión Mitsubishi: WR1-870

g) Análisis de criticidad del camión Mitsubishi: QL-5663

Tabla 10: Criticidad del camión Mitsubishi: QL-5663

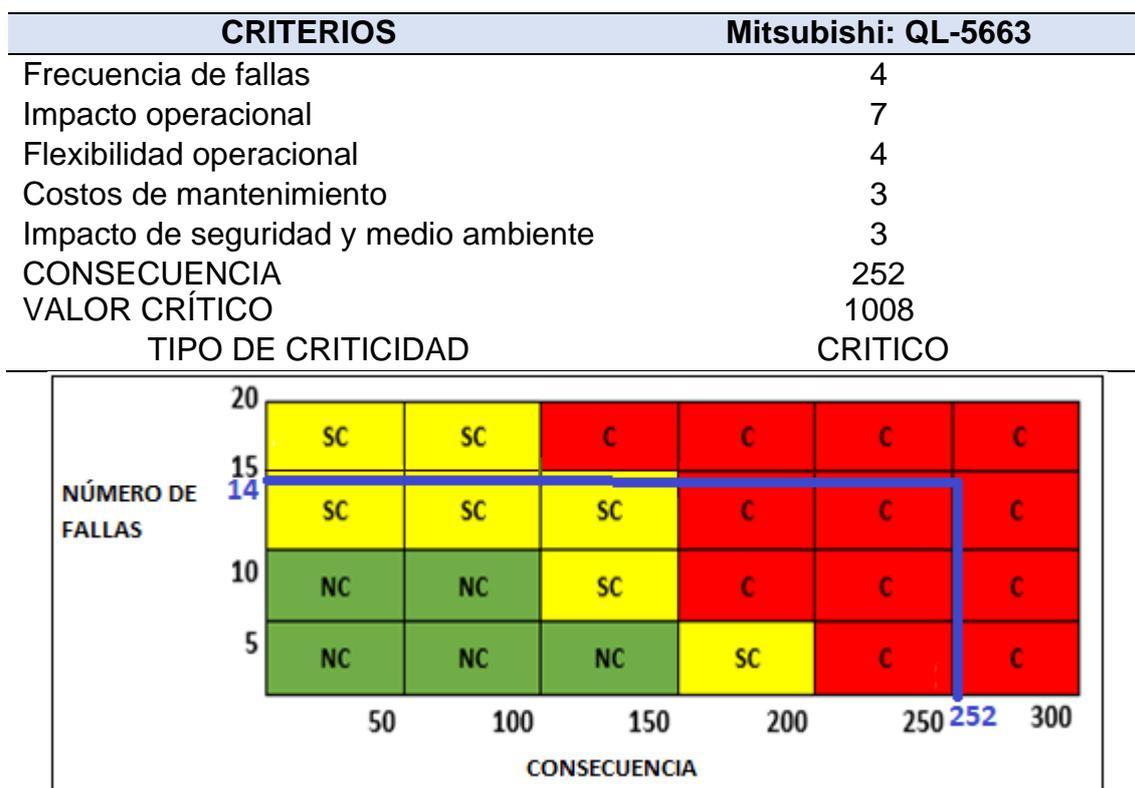


Figura 24: Matriz de criticidad del camión Mitsubishi: QL-5663

En la tabla 11, se visualiza el resumen del análisis de criticidad de la flota de transporte de la empresa María Magdalena.

Tabla 11: Valores críticos y clasificación de la flota de transporte

FLOTA DE TRANSPORTE	VALOR CRÍTICO	CLASIFICACIÓN
VOLVO WB-7173	672	CRÍTICO
VOLVO BM5-886	960	CRÍTICO
VOLVO WC-7014	672	CRÍTICO
VOLVO W2G-940	336	SEMICRÍTICO
MITSUBISHI B1R-949	168	SEMICRÍTICO
MITSUBISHI WR1-870	336	SEMICRÍTICO
MITSUBISHI QL-5663	1008	CRÍTICO

Como se muestra en la tabla 11, la empresa de transportes María Magdalena, cuenta con 4 camiones críticos y 3 semicríticos, donde la relevancia de esta investigación es analizar las fallas que conducen a que los camiones tengan clasificación crítica. Las fallas que originan que los camiones tengan clasificación crítica se muestran en la tabla 12.

Tabla 12: Análisis de las fallas críticas de los camiones

ÍTEM	DESCRIPCIÓN DE LAS FALLAS CRÍTICAS
F1	Fisuras en fajas de transmisión
F2	Fisuras en la cabeza de la válvula de admisión
F3	Desgaste de zapata en cara frontal
F4	Filtro del aceite en mal estado
F5	Delineamiento del cardan
F6	Filtro de combustible en mal estado
F7	Bomba de transferencia averiada
F8	Desgaste superficial del tapón neumático
F9	Fisuras por fatiga en cojinetes del árbol de levas
F10	Agrietamiento de la válvula de escape
F11	Filtro de aire en mal estado
F12	Desgaste en retenes
F13	Fisuras del filtro de aceite del diferencial
F14	Anillos del pistón agrietados
F15	Juntas y cardan desalineados
F16	Fisuras en reductores planetarios.
F17	Fisuras en correa de transmisión
F18	Fisuras por fatiga en terminales de la barra de dirección.
F19	Declinación (desalineamiento) en barra de ruedas delanteras.
F20	Rotura del filtro de combustible y filtro separador
F21	Exceso de vibración y armónicos en cojinetes de articulación.
F22	Fatiga de pernos laterales de desplazamiento.
F23	Cara transversal del embrague desgastada y fisurada.
F24	Grietas en barra de torsión
F25	Grietas del buje de goma de la barra central
F26	Grietas del brazo de la suspensión
F27	Fisura en válvula de aire de transmisión
F28	Rotura de las mangueras de caucho de las líneas hidráulicas
F29	Fisura en manguera de combustible
F30	Depresión en bomba de transferencia
F31	Fisura y rompimiento en cojinetes
F32	Fisura en tanque hidráulico y filtros
F33	Rotura de la faja trapezoidal del alternador
F34	Rotura del filtro de ventilación del tanque del combustible
F35	Cavitación de la bomba hidráulica
F36	Rotura del filtro de combustible
F37	Termostato de sistema de enfriamiento
F38	Rotura del cojinete de soporte del eje motriz
F39	Rotura de las juntas universales del eje motriz
F40	Fatiga en correa de transmisión
F41	Filtro hidráulico de aceite roto.
F42	Rotura del filtro primario de combustible
F43	Rotura de la válvula de alivio del tanque hidráulico
F44	Agrietamiento de las válvulas de escape del motor
F45	Rotura de las correas de transmisión del motor
F46	Rotura del acoplador rápido.
F47	Desgastes del acumulador de freno
F48	Golpe de ariete en bomba de transferencia
F49	Fisura en parte primaria del filtro de aire
F50	Fisura en cárter del respiradero.

4.2.2. Análisis de modos y efecto de fallas de la flota de transportes María Magdalena

El mantenimiento basado en el riesgo y predictivo tiene como relevancia analizar las fallas que conducen a que los camiones tengan clasificación crítica, para tal análisis se desarrolla el AMEF, desde la tabla 13 a 16.

Tabla 13: Hoja de información de las fallas del camión VOLVO WB-7173

HOJA DE INFORMACION MBR y MP	CAMIÓN: VOLVO WB-7173		Laban Cruz, Almitor	FECHA: 13-11-21	Hoja 1/1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA		
Proveer la fuente de energía para arrancar el motor y suplir los requerimientos eléctricos de éste.	Incapaz de suministrar energía.	Rotura de fajas de transmisión	Dependiendo del grado de fractura es posible que no alcancen a engranar correctamente los dientes y el volante no alcance la inercia necesaria para que parta el motor.		
Contener el aceite lubricante.	Incapaz de contener el aceite lubricante por fugas de este.	Fricción en brazos extensibles de la pluma	Pérdida de aceite proporcional al daño del cárter. Falta de lubricación debido a la disminución de aceite y a la baja de presión.		
Capacidad de fricción del sistema de transmisión	Pérdidas de fricción	Zapatas agrietadas	Rozamiento excesivo y elevada temperatura de los elementos de las zapatas		
Transferir el aceite lubricante desde el cárter hacia los filtros de aceite lubricante, enfriador de aceite lubricante y galería principal del aceite principal del aceite lubricante en el bloque de cilindros a una presión entre 52 y 70 psi.	Transfiere el aceite lubricante a una presión mayor a 52 psi.	Filtro del aceite en mal estado	Alto consumo de aceite lubricante. El aceite puede pasarse al interior de los cilindros produciéndose la quema de este. Presencia de humo negro		
Proveer la fuente de energía para arrancar el motor y suplir los requerimientos eléctricos de éste.	Proveer la fuente de energía para arrancar el motor y suplir los requerimientos eléctricos de éste.	Delineamiento del cardan	Motor de arranque no gira. Enviar arranque a reparación Instalar arranque de repuesto.		
Dosificar e inyectar la cantidad exacta de combustible dentro de la cámara de combustión	Incapaz de inyectar combustible, o lo hace de manera deficiente.	Filtro de combustible en mal estado	Pérdida de potencia, funcionamiento irregular.		

Tabla 14: Hoja de información de las fallas del camión VOLVO BM5-886

HOJA DE INFORMACION MBR y MP	CAMIÓN: VOLVO BM5-886		Laban Cruz, Almitor	FECHA: 13-11-21	Hoja 1/1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
Transferir el aceite lubricante desde el cárter hacia los filtros	Incapaz de transferir el aceite lubricante o lo hace a una presión inferior a 52 psi.	Bomba hidráulica por baja presión en descarga	Pobre circulación de aceite y presión baja de este. Reemplace o repare la bomba.		
Suministrar una masa de aire comprimida al interior de los cilindros.	Incapaz de suministrar la masa de aire, o inyecta menos de la debida.	Rotura del tapón neumático	Poca masa de aire al interior de los cilindros, muy poca potencia debido a mezcla muy pobre. Revisar y desarmar el soplador. Si se ha producido ralladura en los lóbulos, éstos deben ser reemplazados.		
Aumentar la eficiencia del motor.	Porción de masa de aire se desvía hacia el cárter.	Fatiga en rodamientos de las ruedas delanteras	Soplador funciona forzado y no proporciona la masa de aire debida. Pérdida de potencia		
Abrir y cerrar las canalizaciones (válvulas de escape) por donde escapan los gases quemados del interior de los cilindros.	Abre o cierra las válvulas de manera defectuosa.	Agrietamiento de la válvula de escape	Debido a que las válvulas no asientan bien se produce una pérdida de compresión. Esto lleva a una pérdida de potencia. Limpie las válvulas, guías e insertos con combustible.		
Suministrar una masa de aire comprimida al interior de los cilindros.	Porción de masa de aire se desvía hacia el cárter.	Filtro de aire en mal estado	Alta presión de cárter. Compresión baja. Pérdida de potencia. Aire pasa desde la cámara de combustión al cárter produciendo un aumento de presión en el mismo.		
Lubricar elementos del motor.	Incapaz de transferir lubricar o lo hace de manera defectuosa	Falla en retenes de brazos	Sobrecalentamiento del motor, ya que este no lubricara correctamente los componentes que tienen roce y se producirá un desgaste excesivo		
Bombear el líquido refrigerante por los enfriadores de aceite, el bloque de cilindros, las culatas y el intercambiador de calor.	Incapaz de bombear el líquido refrigerante o lo hace de manera defectuosa	Cavitación de la bomba hidráulica	Poca circulación de refrigerante por las partes del motor. Esto provocará un sobrecalentamiento del motor.		

Tabla 15: Hoja de información de las fallas del camión VOLVO WC-7014

HOJA DE INFORMACION MBR y MP	CAMIÓN: VOLVO WC-7014		Laban Cruz, Almitor	FECHA: 13-11-21	Hoja 1/1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
Transferir el aceite lubricante desde el cárter hacia los filtros de aceite lubricante, enfriador de aceite lubricante y galería principal del aceite principal del aceite lubricante en el bloque de cilindros a una presión entre 52 y 70 psi.	Transfiere el aceite lubricante a una presión mayor a 52 psi.	Fisuras del filtro de aceite del diferencial	Alto consumo de aceite lubricante. El aceite puede pasarse al interior de los cilindros produciéndose la quema de este. Presencia de humo negro. Retire el aceite excedente del cárter.		
Aumentar la eficiencia del motor.	Incapaz de aumentar la eficiencia del motor.	Desgastes de los bujes de oscilación del tandem	Pérdida de potencia del motor. Limpie el compresor y sus elementos		
Dirección asistida es un sistema mediante el cual se reduce la fuerza (par de giro	Perdida de presión del fluido	Desalineamiento de las juntas universales y cardanes	Pérdida considerable de potencia, ya que todas las válvulas asientan incorrectamente. Verifique y corrija si existe una sincronización incorrecta del tren de engranajes.		
elementos que son parte de los diferenciales y están alojados en la maza del diferencial	Rotura del piñón planetario	Rotura de los reductores planetarios	Perdida de Torque máximo en el eje del palier.		
consiste de un alternador, una batería, fusibles, circuitos electrónicos	La unidad del regulador del voltaje defectuoso o en mal ajustado	Rotura de la correa del alternador	La banda de transmisión del alternado/generador floja o rota, batería defectuosa		
Para limitar la corriente de armadura que fluye cuando el motor se conecta	No convierte energía electromagnética en energía eléctrica trifásica.	Rotura de los terminales de la barra de dirección	Elevado amperaje en Relé		
La función de los topes de volteo de la hoja es limitar la carrera del cilindro, evitando que sea excesiva.	Agrietamiento de la barra del brazo	Desalineamiento de la barra de inclinación de ruedas delanteras	Operador hace chocar la hoja contra las barras.		

Tabla 16: Hoja de información de las fallas del camión MITSUBISHI QL-5663

HOJA DE INFORMACION MBR y MP	CAMIÓN: MITSUBISHI QL-5663		Laban Cruz, Almitor	FECHA: 13-11-21	Hoja 1/2
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
Es un mecanismo que se utiliza en los cambios	No hay conexión entre la caja de cambios y el motor	Desgaste de la cara del embrague	Pérdida de fuerza centrífuga que actúa sobre un fluido (Aceite) situado en el interior del convertidor.		
Contener el aceite lubricante.	Incapaz de contener el aceite lubricante por fugas de este.	Grietas de buje de goma de la barra de torsión	Buje central del eje armónico se sale de su posición debido a esto baja la presión de aceite produciéndose un desgaste interno. Pérdida de potencia y torque.		
Incapaz de aumentar la eficiencia del motor.	Insuficiencia de Lubricación por: aceite fuera de la especificación u obstrucción en las tuberías o canales de lubricación de la carcasa central del turbo.	Grietas del buje de goma de la barra central	Se producen desgaste en elementos como: bujes radiales y de apoyo; cuello del eje, alojamientos de los bujes radiales en la carcasa central. Desgaste en las superficies del sello del plato del compresor y collarín. Se puede producir desbalanceo.		
La función de los topes de volteo es limitar la carrera del cilindro, evitando que sea excesiva.	Agrietamiento de la barra del brazo	Grietas del brazo de la suspensión	Perdida de Torque máximo en el eje del palier.		
Abrir y cerrar las canalizaciones por donde escapan los gases quemados del interior de los cilindros.	Abre o cierra las válvulas de manera defectuosa.	Rotura del caucho de la válvula de aire de la transmisión	Determine si existe contacto entre la cabeza de válvula y el pistón. Posibles daños en la guía e inserto de la válvula, la culata de cilindro o el pistón. Debido a que las válvulas no asientan bien se produce una pérdida de compresión. Esto conlleva a una pérdida de potencia.		
se utilizan para prevenir la perdida de lubricante	Fuga de lubricante	Rotura de las mangueras de caucho de las líneas hidráulicas	Desgaste de paquetes y elevada temperatura		

HOJA DE INFORMACION MBR y MP	CAMIÓN: MITSUBISHI QL-5663		Laban Cruz, Almitor	FECHA	Hoja 2/2
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
Suministrar una masa de aire comprimida al interior de los cilindros.	Incapaz de suministrar la masa de aire, o inyecta menos de la debida.	Rotura de los cojinetes de la articulación	Soplador funciona forzado y no proporciona la masa de aire debida. Pérdida de potencia		
Elevar la presión del fluido a los valores de trabajo del inyector	Perdida de presión en el fluido	Rotura del filtro de ventilación del tanque hidráulico	Perdida de velocidad del fluido		
Consiste de un alternador, una batería, fusibles, circuitos electrónicos	La unidad del regulador del voltaje defectuoso o en mal ajustado	Rotura de la faja trapezoidal del alternador	La banda de transmisión del alternado/generador floja o rota, batería defectuosa		
Transferir el combustible desde el estanque a los inyectores de combustible a una presión entre 60 y 80 psi y devolver el exceso al estanque.	Incapaz de transferir el combustible.	Rotura del filtro de ventilación del tanque del combustible	Circuito de combustible captara aire, por lo que el motor funcionara de forma errática y se apagara.		
Dosificar e inyectar la cantidad exacta de combustible dentro de la cámara de combustión, en el instante preciso, atomizado y a alta presión.	Incapaz de inyectar combustible, o lo hace de manera deficiente.	Rotura del filtro de combustible	Perdida de potencia, funcionamiento irregular.		

Las hojas de información, realizaron una descripción del modo y efecto de cada falla crítica, lo cual permite tomar decisiones o actividades para el mantenimiento basado en el riesgo (MBR) y mantenimiento predictivo (MP). Tal como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17: Hoja decisión para las actividades del MBR y MP

Fallas	Fallo	Tarea propuesta	Intervalos	Tarea
F1	Fisuras en fajas de transmisión	Inspeccionar velocidad de rotación, RPM	Cada turno	Operador
F2	Fisuras en la cabeza de la válvula de admisión	Inspeccionar y verificar estado de mangueras	Cada turno	Ingeniero Mecánico
F3	Desgaste de zapata en cara frontal	Verificar presencia de desgaste	Mensual	Operador
F4	Filtro del aceite en mal estado	Realizar análisis de aceite	125 horas	Ingeniero Mecánico
F5	Delineamiento del cardan	Verificar estado de vibración y temperatura	Mensual	Ingeniero Mecánico
F6	Filtro de combustible en mal estado	Haga la comprobación de caudal de combustible y, de ser necesario, reemplace los elementos del colador, filtro del combustible y líneas de combustible.	cada turno	Operador
F7	Bomba de transferencia averiada	Antes de cada turno revisar nivel de aceite lubricante de cada motor.	Semanal	Operador
F8	Desgaste superficial del tapón neumático	Realice los cambios de aceite y filtros	250 horas	Ingeniero Mecánico
F9	Fisuras por fatiga en cojinetes del árbol de levas	Verificar holgura de vibración y temperatura	Quincenal	Ingeniero Mecánico
F10	Agrietamiento de la válvula de escape	Revisar tubería de escape. Inspección visual.	Mensual	Técnico Mecánico
F11	Filtro de aire en mal estado	Verificar y cambiar filtro	250 horas	Operador
F12	Desgaste en retenes	Agregue aceite lubricante correcto SAE 15W-40, junto con el cambio de filtros correspondientes.	Cada turno	Operador

F13	Fisuras del filtro de aceite del diferencial	Antes de cada turno revisar nivel de aceite lubricante de cada motor y añadir hasta el nivel indicado en la varilla.	Cada turno	Operador
F14	Anillos del pistón agrietados	Verificar desgaste de holgura de bujes y toma de temperatura de operación	Mensual	Ingeniero Mecánico
F15	Juntas y cardan desalineados	Revisar estado de juntas y cardanes	100 horas	Ingeniero Mecánico
F16	Fisuras en reductores planetarios.	Limpie el sistema con un limpiador de sistemas de enfriamiento e inunde el sistema para remover los depósitos escamosos. Verificar desgaste de piñones	Mensual	Ingeniero Mecánico
F17	Fisuras en correa de transmisión	Revisar estado de cables y terminales eléctricos del motor. Esto incluye baterías, alternador y motor de arranque.	Cada turno	Operador
F18	Fisuras por fatiga en terminales de la barra de dirección.	Verificar estado de terminales	Semanal	Operador
F19	Declinación (desalineamiento) en barra de ruedas delanteras.	Revisar vibración excesiva de la barra de inclinación	Quincenal	Técnico Mecánico
F20	Rotura del filtro de combustible y filtro separador	Revise estado de filtros del lado aspiración. Apriete la abrazadera del filtro para que no tenga juego.	Semanal	Operador
F21	Exceso de vibración y armónicos en cojinetes de articulación.	Revisar vibración excesiva y temperatura de los cojinetes de articulación	Cada turno	Operador
F22	Fatiga de pernos laterales de desplazamiento.	Verificar desgaste de pernos	Cada turno	Operador
F23	Cara transversal del embrague desgastada y fisurada.	Verificar desgaste en lados de embrague	Mensual	Operador
F24	Grietas en barra de torsión	Verificar grietas de bujes de goma de torsión	Semanal	Técnico Mecánico
F25	Grietas del buje de goma de la barra central	Verificar grietas de bujes de goma de la barra	Semanal	Técnico Mecánico
F26	Grietas del brazo de la suspensión	Verificar la existencia de fisuras en brazos	Quincenal	Operador
F27	Fisura en válvula de aire de transmisión	Verifique que la admisión de aire esté limpia y con su rejilla en óptimas condiciones. Después de alguna mantención al sistema de admisión de aire procure no	Cada turno	Operador

		dejar piezas o partes sueltas que puedan ser aspirados por el soplador.		
F28	Rotura de las mangueras de caucho de las líneas hidráulicas	Verifique el nivel del refrigerante y llene hasta el cuello del llenador si el nivel de refrigerante está bajo. Inspeccione las mangueras para ver si están aplastadas o deterioradas. Reemplace las mangueras defectuosas.	Semanal	Operador
F29	Fisura en manguera de combustible	Revise conexiones de combustible, abrazaderas.	Semanal	Operador
F30	Depresión en bomba de transferencia	Revise los estados de presión de descarga y caudal	Semanal	Técnico Mecánico
F31	Fisura y rompimiento en cojinetes	Verificar la holgura de los rodamientos de articulación	Mensual	Técnico Mecánico
F32	Fisura en tanque hidráulico y filtros	Revisar y cambiar el filtro de ventilación	Quincenal	Técnico Mecánico
F33	Rotura de la faja trapezoidal del alternador	Verificar estado de faja trapezoidal	Cada turno	Operador
F34	Rotura del filtro de ventilación del tanque del combustible	Revise nivel de combustible, el tanque de combustible tiene que estar lleno por encima del nivel del tubo de aspiración del combustible.	Cada turno	Operador
F35	Cavitación de la bomba hidráulica	Revise condición bomba de aceite lubricante	Semanal	Operador
F36	Rotura del filtro de combustible	Haga los debidos cambios de filtro de combustible, primario y secundarios. Verifique calidad del combustible.	250 horas	Técnico Mecánico
F37	Termostato de sistema de enfriamiento	Verificar condiciones de termostato	Cada turno	Operador
F38	Rotura del cojinete de soporte del eje motriz	Verificar desgaste y temperatura de cojinetes del eje	Mensual	Técnico Mecánico
F39	Rotura de las juntas universales del eje motriz	Verificar desgaste y temperatura de juntas	Mensual	Técnico Mecánico
F40	Fatiga en corres de transmisión	Verificar desgaste de correas	Mensual	Técnico Mecánico
F41	Filtro hidráulico de aceite roto.	Revisar nivel de aceite	Cada turno	Operador

F42	Rotura del filtro primario de combustible	Haga los debidos cambios de filtro de combustible, primario y secundarios. Verifique calidad del combustible.	250 horas	Técnico Mecánico
F43	Rotura de la válvula de alivio del tanque hidráulico	Revisar el estado de fisuras de las válvulas de alivio	Mensual	Ingeniero Mecánico
F44	Agrietamiento de las válvulas de escape del motor	Revisión estado de válvulas de escape.	500 horas	Ingeniero Mecánico
F45	Rotura de las correas de transmisión del motor	Revisar el desgaste de las bandas de transmisión	Semanal	Operador
F46	Rotura del acoplador rápido.	Revisar el estado de fricción del acoplador	Semanal	Operador
F47	Desgastes del acumulador de freno	Revisar estado de cables y terminales eléctricos del motor. Esto incluye baterías, alternador y motor de arranque.	Cada turno	Operador
F48	Golpe de ariete en bomba de transferencia	Revisar los estados de presión de succión y descarga	Quincenal	Técnico Mecánico
F49	Fisura en parte primaria del filtro de aire	Limpie los turbos según pauta de mantención. Reemplace el aceite lubricante junto con los respectivos cambios de filtros.	250 horas	Técnico Mecánico
F50	Fisura en cárter del respiradero.	Revisar estado de respiradero y condiciones de flujo	Mensual	Técnico Mecánico

4.2.3. Análisis del número de prioridad de riesgo de las fallas de la flota de transportes María Magdalena

La flota de transportes está sometida a fallas críticas que limitan su operatividad, respecto a su disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad. Por lo cual es relevante clasificar estas fallas (indeseables, alterable y aceptables) para su prioridad al momento de realizar las actividades de mantenimiento (Tabla 17).

Por ejemplo, la Falla F1 “rotura de fajas de transmisión”, al momento de ocurrir tuvo una gravedad muy elevada relacionada con problemas de seguridad que obligaron a detener la unidad de transporte, por lo consiguiente se consideró un puntaje de 10 (Anexo 12). Asimismo, el nivel de ocurrencia de esta avería está en el rango de a 1 a 6 meses por año, por lo cual le corresponde un puntaje de 9 (Anexo 12) y su detección era frecuente por los técnicos de mantenimiento, por lo cual se consideró un puntaje de 6 (Anexo 12). Por lo tanto, el índice de riesgo o número de prioridad de riesgo tiene un valor de: (Ver ecuación 3)

$$NPR = G * O * D$$

$$NPR = 10 * 9 * 6 = 540$$

El valor de 630, indica que la falla es indeseable ($NPR > 200$) y debe ser tomada como prioritaria en las actividades del mantenimiento (Tabla 17). Se debe tener en cuenta que si la falla tiene un NPR menor a 125 la falla es aceptable, pero si la falla se encuentra entre 125 a 200 la falla es alterable. Mediante esta metodología se determinó el NPR por cada falla crítica, como se muestra en la tabla 18.

Tabla 18: Análisis del Número de prioridad de riesgos

ÍTEM	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA CRÍTICA	G	O	D	NPR	TIPO
F1	Fisuras en fajas de transmisión	10	9	6	540	Indeseable
F2	Fisuras en la cabeza de la válvula de admisión	7	9	6	378	Indeseable
F3	Desgaste de zapata en cara frontal	3	6	4	72	Aceptable
F4	Filtro del aceite en mal estado	6	7	5	210	Indeseable
F5	Delineamiento del cardan	10	8	3	240	Indeseable
F6	Filtro de combustible en mal estado	7	8	8	448	Indeseable
F7	Bomba de transferencia averiada	10	9	8	720	Indeseable
F8	Desgaste superficial del tapón neumático	4	5	6	120	Aceptable

F9	Fisuras por fatiga en cojinetes del árbol de levas	4	8	4	128	Alterable
F10	Agrietamiento de la válvula de escape	9	8	7	504	Indeseable
F11	Filtro de aire en mal estado	5	8	7	280	Indeseable
F12	Desgaste en retenes	6	8	8	384	Indeseable
F13	Fisuras del filtro de aceite del diferencial	6	7	8	336	Indeseable
F14	Anillos del pistón agrietados	4	9	8	288	Indeseable
F15	Juntas y cardan desalineados	6	8	5	240	Indeseable
F16	Fisuras en reductores planetarios.	6	9	8	432	Indeseable
F17	Fisuras en correa de transmisión	7	8	8	448	Indeseable
F18	Fisuras por fatiga en terminales de la barra de dirección.	4	8	9	288	Indeseable
F19	Declinación (desalineamiento) en barra de ruedas delanteras.	5	8	6	240	Indeseable
F20	Rotura del filtro de combustible y filtro separador	6	8	5	240	Indeseable
F21	Exceso de vibración y armónicos en cojinetes de articulación.	5	8	9	360	Indeseable
F22	Fatiga de pernos laterales de desplazamiento.	6	9	7	378	Indeseable
F23	Cara transversal del embrague desgastada y fisurada.	8	8	8	512	Indeseable
F24	Grietas en barra de torsión	5	8	2	80	Aceptable
F25	Grietas del buje de goma de la barra central	8	8	7	448	Indeseable
F26	Grietas del brazo de la suspensión	8	8	7	448	Indeseable
F27	Fisura en válvula de aire de transmisión	7	8	7	392	Indeseable
F28	Rotura de las mangueras de caucho de las líneas hidráulicas	7	9	5	315	Indeseable
F29	Fisura en manguera de combustible	6	9	8	432	Indeseable
F30	Depresión en bomba de transferencia	6	9	4	216	Indeseable
F31	Fisura y rompimiento en cojinetes	7	9	7	441	Indeseable
F32	Fisura en tanque hidráulico y filtros	4	8	5	160	Alterable
F33	Rotura de la faja trapezoidal del alternador	8	9	8	576	Indeseable
F34	Rotura del filtro de ventilación del tanque del combustible	7	8	3	168	Alterable
F35	Cavitación de la bomba hidráulica	4	9	3	108	Aceptable
F36	Rotura del filtro de combustible	8	8	9	576	Indeseable
F37	Termostato de sistema de enfriamiento	7	8	2	112	Alterable
F38	Rotura del cojinete de soporte del eje motriz	6	9	4	216	Indeseable
F39	Rotura de las juntas universales del eje motriz	9	8	9	648	Indeseable
F40	Fatiga en corres de transmisión	4	9	4	144	Alterable
F41	Filtro hidráulico de aceite roto.	7	8	9	504	Indeseable
F42	Rotura del filtro primario de combustible	6	8	3	144	Alterable
F43	Rotura de la válvula de alivio del tanque hidráulico	8	8	8	512	Indeseable
F44	Agrietamiento de las válvulas de escape del motor	7	8	3	168	Alterable

F45	Rotura de las correas de transmisión del motor	7	8	7	392	Indeseable
F46	Rotura del acoplador rápido.	8	8	10	640	Indeseable
F47	Desgastes del acumulador de freno	4	9	4	144	Alterable
F48	Golpe de ariete en bomba de transferencia	5	9	8	360	Indeseable
F49	Fisura en parte primaria del filtro de aire	6	8	4	192	Alterable
F50	Fisura en cárter del respiradero.	7	8	9	504	Indeseable

En La figura 25, se muestran los resultados del número de prioridad de riesgos de las fallas críticas de la flota de transportes de la empresa María Magdalena, donde el 74% (37) son fallas inaceptables a las cuales se les debe dar la prioridad en las actividades de mantenimiento a ejecutar.

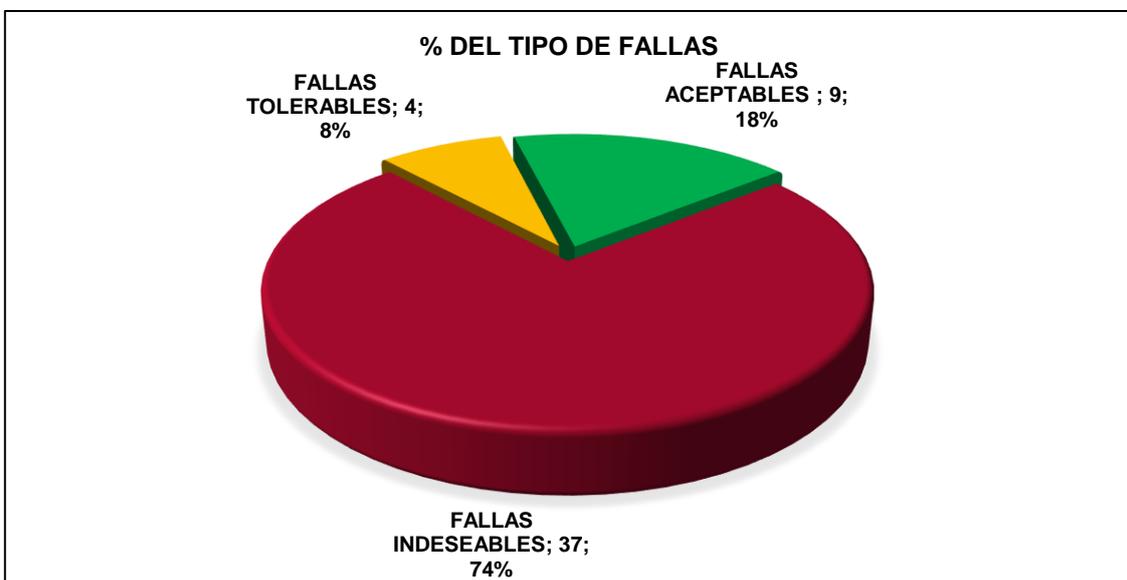


Figura 25: Porcentajes del tipo de fallas de la flota de transportes.

4.3. Análisis de estimación estadístico para determinar el incremento de la disponibilidad, confiabilidad, y la reducción de la mantenibilidad

Se realizó un análisis de estimación de los indicadores de mantenimiento (disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad), utilizando como herramienta informática el software Excel.

La estimación de los indicadores de mantenimiento en condiciones de mejora, se fundamentó en el análisis estadístico LogNormal. En la interfase del Excel se realizó un vaciado de todos los datos y parámetros de mantenimiento como: tiempo de reparación, tiempo útil de operación, frecuencia de averías, tipo de avería, tasa de fallas, tasa de reparaciones, tiempo medio de reposición y tiempo medio útil, de todas las unidades de la flota María Magdalena.

En la tabla 19, se muestra la interfase de los datos técnicos de las unidades de transporte con las que cuenta la empresa María Magdalena.

Tabla 19: Interfaz de entrada de la simulación en software Excel

SIMULACIÓN DE INDICADORES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO				
EMPRESA:		MARIA MAGDALENA S.R.L		
PLAN DE MANTENIMIENTO		PREDICTIVO Y BASADO EN EL RIEGO		
ACTIVOS FÍSICOS		FLOTA DE TRANSPORTE		
SISTEMAS DE LAS UNIDADES		LUBRICACIÓN-REFRIGERACIÓN-INYECCIÓN		
		ELÉCTRICO - ADMISIÓN		
N° UNIDADES		6 CAMIONES: VOLVO Y MITSUBISHI		
DESCRIPCIÓN DE UNIDADES		MARCA	MODELO	PLACA
ÍTEM	TIPO			
1	CAMIÓN	Volvo -1	FL7 6X2	WB-7173
2	CAMIÓN	Volvo -2	FL7 6X2	BM5-886
3	CAMIÓN	Volvo -3	FL7 6X2	WC-7014
4	CAMIÓN	Volvo -4	FL7 6X2	W2G-940
5	CAMIÓN	Mitsubishi -1	FUSO	B1R-949
6	CAMIÓN	Mitsubishi -2	FUSO	WR1-870
7	CAMIÓN	Mitsubishi -3	FUSO	QL-5663

Fuente: Software Excel, 2021

Mientras que en la tabla 20, se muestra la interfase usuario – Parámetros de mantenimiento de las unidades de transporte de la empresa María Magdalena. En esta interfaz el planner de mantenimiento ingresa las fallas o averías según vayan ocurriendo, en el tiempo de producción de cada unidad.

Tabla 20: Interfase usuario – Parámetros de mantenimiento

PARÁMETROS DE MANTENIMIENTO DE LA FLOTA			
TIPO DE FALLO	FRECUENCIA	TBF	TTR
VOLVO -1 FL7 6X2 WB-7173			
Ventilador mecánico agrietado	1	259	26
Obstrucción del Turbo	1	210	24
Piñones distribución fisurados	1	175	28
Enfriador agrietados	1	245	12
Guías válvulas desgastadas	1	105	16
Bomba transferencia averiada	1	350	18
Eje leva fisurado	1	126	28
Muelles de válvulas fisurados	1	294	16
Balancines agrietados	1	210	16
Cigüeñal averiado	1	315	36
Bomba transferencia averiada	1	161	22
Turbo averiado	1	280	30
Enfriador fisurado	1	154	18
Piñones transmisión desgastados	1	245	28
Guías en válvulas desgastadas	1	280	24
Bomba transferencia averiada	1	56	26
	16	3465	368

Fuente: Software Excel, 2021

VOLVO -2 FL7 6X2 BM5-886			
Eje leva fisurado	1	281	39
Guías válvulas desgastadas	1	624	30
Muelles de válvulas fisurados	1	655	21
Balancines agrietados	1	468	27
Bomba transferencia averiada	1	390	30
Turbo averiado	1	312	51
Piñones transmisión desgastados	1	468	48
Enfriador fisurado	1	156	15
Inyectores averiados	1	234	27
	9	3588	288

MITSUBISHI -1 FUSO B1R-949			
Motor en defecto sincronizado	1	405	25
Cojinetes bancada fisurados	1	116	20
Cojinetes bancada fisurados	1	306	28
Muelles de válvulas fisurados	1	167	19
Balancines fisurados	1	158	18
Muelles de válvulas fisurados	1	307	20
Bomba transferencia averiada	1	416	28
Culata con presencia de fisuras	1	326	33
Bomba inyección desgastada	1	215	25
Pérdidas de fluido de aceite	1	200	13
Segmentos fisurados	1	246	38
	11	2862	267

VOLVO -3 FL7 6X2 WC-7014			
Enfriador Obstruidos	1	248	16
Cojinetes desgastados	1	320	24
Balancines fisurados	1	80	20
Guias con holguras válvulas	1	40	12
Ventilador mecánico agrietado	1	480	30
Muelles de válvulas fisurados	1	16	14
Guías válvulas desgastadas	1	160	22
Balancines agrietados	1	240	16
Muelles de válvulas fisurados	1	160	14
Cojinetes bancada fisurados	1	320	20
Piñones transmisión desgastados	1	160	24
Segmentos fisurados	1	320	18
Bomba inyección desgastada	1	200	14
Cojinetes de levas flojo	1	320	30
Bomba transferencia averiada	1	80	20
Segmentos fisurados	1	240	30
Bomba inyección desgastada	1	80	18
Pérdidas de fluido de aceite	1	120	12
	18	3584	354

mitsubishi -2 FUSO WR1-870			
Eje de levas fracturado	1	250	30
Obstrucción del Turbo	1	438	26
Piñones transmisión desgastados	1	375	20
Bomba transferencia averiada	1	375	30
Enfriador Obstruidos	1	375	20
Guías válvulas desgastadas	1	625	26
Enfriador fisurado	1	375	14
Guías válvulas desgastadas	1	125	14
Bomba transferencia averiada	1	100	16
Piñones transmisión desgastados	1	250	16
Muelles de válvulas fisurados	1	188	20
Balancines agrietados	1	125	12
Ventilador mecánico agrietado	1	125	28
	13	3726	272

VOLVO -4 FL7 6X2 W2G-940			
Pérdidas de fluido de aceite	1	200	10
Segmentos fisurados	1	400	40
Cojinetes bancada fisurados	1	375	15
Ventilador mecánico agrietado	1	438	20
Cojinetes bancada fisurados	1	375	15
Muelles de válvulas fisurados	1	250	20
Bomba transferencia averiada	1	375	28
Balancines fisurados	1	250	23
Bomba inyección desgastada	1	375	25
Pérdidas de fluido de aceite	1	125	8
Ventilador mecánico agrietado	1	250	20
Cojinetes bancada fisurados	1	250	18
Segmentos fisurados	1	188	13
	13	3851	255

MITSUBISHI -3 FUSO QL-5663			
Pérdidas de fluido de aceite	1	160	20
Bomba inyección desgastada	1	160	28
Cojinetes de levas flojo	1	280	32
Guias con holguras válvulas	1	80	24
Ventilador mecánico agrietado	1	320	34
Muelles de válvulas fisurados	1	80	22
Enfriador Obstruidos	1	200	18
Bomba inyección desgastada	1	160	22
Cojinetes bancada fisurados	1	280	26
Segmentos fisurados	1	240	24
Muelles de válvulas fisurados	1	160	20
Cojinetes bancada fisurados	1	240	22
Balancines fisurados	1	120	18
Segmentos fisurados	1	240	24
	14	2720	334

En la tabla 21, se muestra el resumen de la fluctuación de los parámetros de mantenimiento, a los cuales está sometida toda la flota de transportes de la empresa María Magdalena.

Tabla 21: Fluctuación de los parámetros de mantenimiento

FLUCTUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MANTENIMIENTO						
TIPO	MARCA	MODELO	PLACA	FRECUENCIA	TBF	TTR
CAMIÓN	Volvo -1	FL7 6X2	WB-7173	16	3465	368
CAMIÓN	Volvo -2	FL7 6X2	BM5-886	9	3588	288
CAMIÓN	Volvo -3	FL7 6X2	WC-7014	18	3584	354
CAMIÓN	Volvo -4	FL7 6X2	W2G-940	13	3851	255
CAMIÓN	Mitsubishi -1	FUSO	B1R-949	11	2862	267
CAMIÓN	Mitsubishi -2	FUSO	WR1-870	13	3726	272
CAMIÓN	Mitsubishi -3	FUSO	QL-5663	14	2720	334
				94	3399	2138

Fuente: Software Excel, 2021

Y en la tabla 22, se muestra la fluctuación de los parámetros de mantenimiento con la intervención del número de prioridad de riesgo. La presente investigación busca la eliminación de las fallas indeseables las cuales representan el 74% del total de las fallas (ver figura 25). Por ejemplo, el TTR del camión WB-7173 inicialmente tiene un valor de 368 horas, donde el NPR indica que dicho valor puede reducirse hasta en un 74%, es decir que en condiciones de mejora el TTR tendría un valor 95.68 horas ($368 \cdot (1 - 0.74)$). Lo mismo sucede con la frecuencia, la cual se reduciría al valor de 4 ($16 \cdot (1 - 0.74)$). Pero en cambio debido a la reducción del TTR, el TBF incrementaría a un valor de 3737.32 horas ($3465 + (368 - 95.68)$).

Tabla 22: Fluctuación de parámetros debido al NPR

FLUCTUACIÓN DE PARÁMETROS DEBIDO AL NPR			NPR
FRECUENCIA	TBF	TTR	0.74
4	3737.32	95.68	
2	3801.12	74.88	
5	3845.96	92.04	
3	4039.70	66.30	
3	3059.58	69.42	
3	3927.28	70.72	
4	2967.16	86.84	
24		556	

Fuente: Software Excel, 2021

La fluctuación o variación de los parámetros de mantenimiento como la frecuencia (cantidad de averías), tiempo de reparación, tiempo útil y tiempo total o neto, permiten que los indicadores de mantenimiento como la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad varíen. En la tabla 23, se muestran los resultados del análisis de simulación.

Tabla 23: Resultados del análisis de simulación estadística de los indicadores de mantenimiento

VALORES REALES INICIALES DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO				
VOLVO -1 FL7 6X2 WB-7173		INICIAL	SIMULACIÓN (MEJORA)	GANANCIA
TTR (T. REPARACIÓN)	H. reparación/año	368.00	95.68	272.32
TBF (T. ENTRE FALLAS)	H. útil/año	3465.00	3737.32	272.32
FF (FALLAS)	Fallas/año	16.00	4	12
MTTR (T.MEDIO REPARACIÓN)	H. reparación/falla	23.00	23.00	0.00
MTBF (T.MEDIO FALLAS)	H. útil/falla	216.56	898.39	681.83
TF (TASA DE FALLAS)	Falla/H. útil	0.00462	0.00111	0.00350
TR (TASA DE REPARACIONES)	Falla/H. reparación	0.04348	0.04348	0.00000
TTO (T. TOTAL OPERACIÓN)	H. netas/año	3833.00	3833.00	0.00
D(t) (DISPONIBILIDAD)	Valor porcentual %	90.40%	97.50%	7.10%
C(t) (CONFIABILIDAD)	Valor porcentual %	83.78%	95.82%	12.04%
M (t) (MANTENIBILIDAD)	Valor porcentual %	12.97%	12.97%	0.00%
VOLVO -2 FL7 6X2 BM5-886		INICIAL	SIMULACIÓN (MEJORA)	GANANCIA
TTR (T. REPARACIÓN)	H. reparación/año	288.00	74.88	213.12
TBF (T. ENTRE FALLAS)	H. útil/año	3588.00	3801.12	213.12
FF (FALLAS)	Fallas/año	9.00	2	7
MTTR (T.MEDIO REPARACIÓN)	H. reparación/falla	32.00	32.00	0.00
MTBF (T.MEDIO FALLAS)	H. útil/falla	398.67	1624.41	1225.74
TF (TASA DE FALLAS)	Falla/H. útil	0.00251	0.00062	0.00189
TR (TASA DE REPARACIONES)	Falla/H. reparación	0.03125	0.03125	0.00000
TTO (T. TOTAL OPERACIÓN)	H. netas/año	3876.00	3876.00	0.00
D(t) (DISPONIBILIDAD)	Valor porcentual %	92.57%	98.07%	5.50%
C(t) (CONFIABILIDAD)	Valor porcentual %	90.74%	97.64%	6.91%
M (t) (MANTENIBILIDAD)	Valor porcentual %	9.60%	9.60%	0.00%

VOLVO -3 FL7 6X2 WC-7014		INICIAL	SIMULACIÓN (MEJORA)	GANANCIA
TTR (T. REPARACIÓN)	H. reparación/año	354.00	92.04	261.96
TBF (T. ENTRE FALLAS)	H. útil/año	3584.00	3845.96	261.96
FF (FALLAS)	Fallas/año	18.00	5	13
MTRR (T.MEDIO REPARACIÓN)	H. reparación/falla	19.67	19.67	0.00
MTBF (T.MEDIO FALLAS)	H. útil/falla	199.11	821.79	622.68
TF (TASA DE FALLAS)	Falla/H. útil	0.00502	0.00122	0.00381
TR (TASA DE REPARACIONES)	Falla/H. reparación	0.05085	0.05085	0.00000
TTO (T. TOTAL OPERACIÓN)	H. netas/año	3938.00	3938.00	0.00
D(t) (DISPONIBILIDAD)	Valor porcentual %	91.01%	97.66%	6.65%
C(t) (CONFIABILIDAD)	Valor porcentual %	82.06%	95.32%	13.27%
M (t) (MANTENIBILIDAD)	Valor porcentual %	15.37%	15.37%	0.00%
VOLVO -4 FL7 6X2 W2G-940		INICIAL	SIMULACIÓN (MEJORA)	GANANCIA
TTR (T. REPARACIÓN)	H. reparación/año	255.00	66.30	188.70
TBF (T. ENTRE FALLAS)	H. útil/año	3851.00	4039.70	188.70
FF (FALLAS)	Fallas/año	13.00	3	10
MTRR (T.MEDIO REPARACIÓN)	H. reparación/falla	19.62	19.62	0.00
MTBF (T.MEDIO FALLAS)	H. útil/falla	296.23	1195.18	898.95
TF (TASA DE FALLAS)	Falla/H. útil	0.00338	0.00084	0.00254
TR (TASA DE REPARACIONES)	Falla/H. reparación	0.05098	0.05098	0.00000
TTO (T. TOTAL OPERACIÓN)	H. netas/año	4106.00	4106.00	0.00
D(t) (DISPONIBILIDAD)	Valor porcentual %	93.79%	98.39%	4.60%
C(t) (CONFIABILIDAD)	Valor porcentual %	87.06%	96.62%	9.57%
M (t) (MANTENIBILIDAD)	Valor porcentual %	16.01%	16.01%	0.00%
MITSUBISHI -1 FUSO B1R-949		INICIAL	SIMULACIÓN (MEJORA)	GANANCIA
TTR (T. REPARACIÓN)	H. reparación/año	267.00	69.42	197.58
TBF (T. ENTRE FALLAS)	H. útil/año	2862.00	3059.58	197.58
FF (FALLAS)	Fallas/año	11.00	3	8
MTRR (T.MEDIO REPARACIÓN)	H. reparación/falla	24.27	24.27	0.00
MTBF (T.MEDIO FALLAS)	H. útil/falla	260.18	1069.78	809.60
TF (TASA DE FALLAS)	Falla/H. útil	0.00384	0.00093	0.00291
TR (TASA DE REPARACIONES)	Falla/H. reparación	0.04120	0.04120	0.00000
TTO (T. TOTAL OPERACIÓN)	H. netas/año	3129.00	3129.00	0.00
D(t) (DISPONIBILIDAD)	Valor porcentual %	91.47%	97.78%	6.31%
C(t) (CONFIABILIDAD)	Valor porcentual %	88.67%	97.12%	8.45%
M (t) (MANTENIBILIDAD)	Valor porcentual %	10.19%	10.19%	0.00%

MITSUBISHI -2 FUSO WR1-870		INICIAL	SIMULACIÓN (MEJORA)	GANANCIA
TTR (T. REPARACIÓN)	H. reparación/año	272.00	70.72	201.28
TBF (T. ENTRE FALLAS)	H. útil/año	3726.00	3927.28	201.28
FF (FALLAS)	Fallas/año	13.00	3	10
MTR (T.MEDIO REPARACIÓN)	H. reparación/falla	20.92	20.92	0.00
MTBF (T.MEDIO FALLAS)	H. útil/falla	286.62	1161.92	875.30
TF (TASA DE FALLAS)	Falla/H. útil	0.00349	0.00086	0.00263
TR (TASA DE REPARACIONES)	Falla/H. reparación	0.04779	0.04779	0.00000
TTO (T. TOTAL OPERACIÓN)	H. netas/año	3998.00	3998.00	0.00
D(t) (DISPONIBILIDAD)	Valor porcentual %	93.20%	98.23%	5.03%
C(t) (CONFIABILIDAD)	Valor porcentual %	86.98%	96.62%	9.64%
M (t) (MANTENIBILIDAD)	Valor porcentual %	14.72%	14.72%	0.00%
MITSUBISHI -3 FUSO QL-5663		INICIAL	SIMULACIÓN (MEJORA)	GANANCIA
TTR (T. REPARACIÓN)	H. reparación/año	334.00	86.84	247.16
TBF (T. ENTRE FALLAS)	H. útil/año	2720.00	2967.16	247.16
FF (FALLAS)	Fallas/año	14.00	4	10
MTR (T.MEDIO REPARACIÓN)	H. reparación/falla	23.86	23.86	0.00
MTBF (T.MEDIO FALLAS)	H. útil/falla	194.29	815.15	620.87
TF (TASA DE FALLAS)	Falla/H. útil	0.00515	0.00123	0.00392
TR (TASA DE REPARACIONES)	Falla/H. reparación	0.04192	0.04192	0.00000
TTO (T. TOTAL OPERACIÓN)	H. netas/año	3054.00	3054.00	0.00
D(t) (DISPONIBILIDAD)	Valor porcentual %	89.06%	97.16%	8.09%
C(t) (CONFIABILIDAD)	Valor porcentual %	85.45%	96.32%	10.87%
M (t) (MANTENIBILIDAD)	Valor porcentual %	10.12%	10.12%	0.00%

Fuente: Software Excel, 2021

Y en la tabla 24, se muestra un resumen del análisis de simulación, donde se observa que la D (t) y C(t) en condiciones de mejora tienen a incrementar con la actuación de los planes de mantenimiento basado en el riesgo y predictivo. Pero en cambio el indicador mantenibilidad se mantiene constante, debido a que la tasa de reparaciones tiene un insignificante crecimiento. Asimismo, tenemos que indicar que la mantenibilidad en condiciones iniciales, se encontraba en valores porcentuales aceptables, no pudiéndose reducirse aún más, ya que se encuentra en condiciones aceptables.

Tabla 24: Resumen del análisis de simulación

RESUMEN DE RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS INDICADORES DE MANTENIMIENTO										
FLOTA MARIA MAGDALENA				D(t) actual	D(t) mejora	C(t) actual	C(t) mejora	M(t) actual	M(t) mejora	TTR (Ganancia)
TIPO	MARCA	MODELO	PLACA							
CAMIÓN	Volvo -1	FL7 6X2	WB-7173	90.40%	97.50%	83.78%	95.82%	12.97%	12.97%	272.32
CAMIÓN	Volvo -2	FL7 6X2	BM5-886	92.57%	98.07%	90.74%	97.64%	9.60%	9.60%	213.12
CAMIÓN	Volvo -3	FL7 6X2	WC-7014	91.01%	97.66%	82.06%	95.32%	15.37%	15.37%	261.96
CAMIÓN	Volvo -4	FL7 6X2	W2G-940	93.79%	98.39%	87.06%	96.62%	16.01%	16.01%	188.70
CAMIÓN	Mitsubishi -1	FUSO	B1R-949	91.47%	97.78%	88.67%	97.12%	10.19%	10.19%	197.58
CAMIÓN	Mitsubishi -2	FUSO	WR1-870	93.20%	98.23%	86.98%	96.62%	14.72%	14.72%	201.28
CAMIÓN	Mitsubishi -3	FUSO	QL-5663	89.06%	97.16%	85.45%	96.32%	10.12%	10.12%	247.16

Fuente: Software Excel, 2021

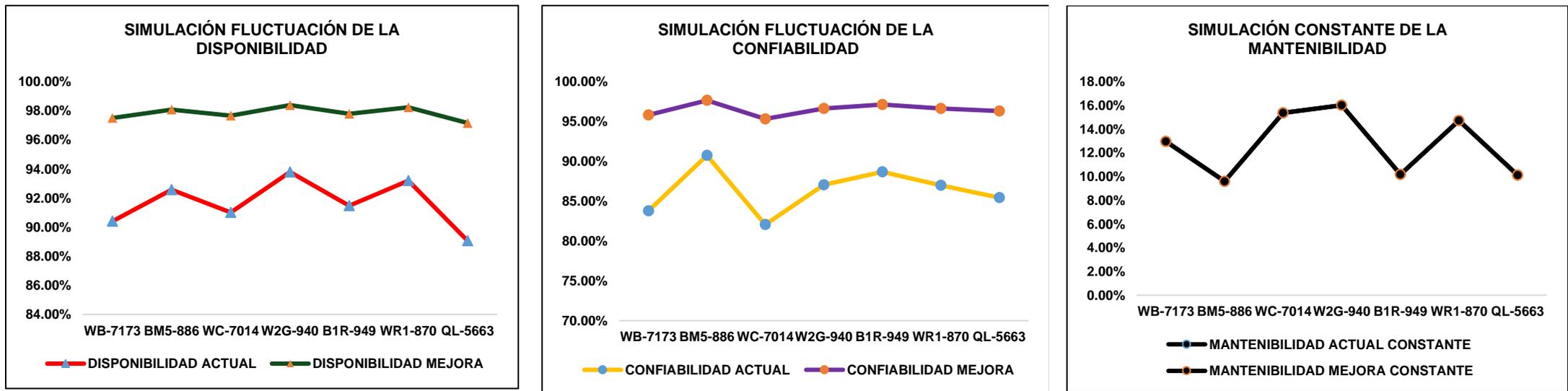


Figura 33: Simulación de indicadores de mantenimiento
Fuente: Software Excel, 2021

4.4. Análisis económico

4.4.1. Utilidad con la implementación del mantenimiento basado en el riesgo y predictivo:

Se mide a través de la ganancia del TTR, es decir con la implementación del MBR y MP, se tendría una ganancia en reducción del TTR de 1582.12 horas (272.32+213.12+...+247.16) (Ver tabla 23). Donde la empresa María Magdalena, pierde en promedio 90 soles/hora (Ver figura 15). Por lo consiguiente la utilidad o beneficio útil sería:

$$B = 1582.12 \frac{\text{horas}}{\text{año}} * 90 \frac{\text{soles}}{\text{hora}}$$
$$B = 142390.80 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

4.4.2. Costos del mantenimiento:

La empresa en la compra de repuestos para todas las unidades, tiene un valor promedio de 94214.00 soles (Ver figura 16) y en mano de obra 15990.00 soles/año (Ver figura 17), lo cual genera un costo para los planes de mantenimiento de 110204.00 soles.

$$C = 110204.00 \text{ soles}$$

4.4.3. Estimación del periodo de retorno de la inversión:

La empresa tendría un beneficio estimado de 142390.80 soles, con un costo de inversión en mantenimiento de 110204.00 soles. Entonces el periodo de retorno de la inversión sería:

$$PRI = \frac{C}{B} = \frac{110204.00 \text{ soles}}{142390.80 \frac{\text{soles}}{\text{año}}} = 0.8 \text{ años} = 10 \text{ meses}$$

4.4.4. Valor actual neto

Para el VAN, analizaremos la viabilidad del proyecto con una tasa del 10% y un periodo de financiamiento de 5 años (Valores promedios de la Superintendencia de Banca y Seguros del Perú, SBS, para medianas empresas).

$$VAN = \sum_{t=1}^k \frac{B}{(1+k)^t} - C$$

Dónde: B=142390.80 soles/año, k=10 %, t=5 años y C=110204.00 soles.

$$\text{VAN} = \left[\frac{142390.8}{(1 + 0.1)^1} + \frac{142390.8}{(1 + 0.1)^2} + \frac{142390.8}{(1 + 0.1)^3} + \frac{142390.8}{(1 + 0.1)^4} + \frac{142390.8}{(1 + 0.1)^5} \right] - 110204$$

$$\text{VAN} = 429569.16 \text{ soles}$$

4.4.5. Tasa interna de rentabilidad:

Para determinar el TIR, se proyecta el VAN al valor nulo de cero, para determinar su valor máximo porcentual de viabilidad del proyecto.

$$\sum_{t=1}^k \frac{B}{(1 + \text{TIR})^t} - C = 0$$

Dónde: B=142390.80 soles/año, t=5 años y C=110204.00 soles.

$$\left[\frac{142390.8}{(1 + \text{TIR})^1} + \frac{142390.8}{(1 + \text{TIR})^2} + \frac{142390.8}{(1 + \text{TIR})^3} + \frac{142390.8}{(1 + \text{TIR})^4} + \frac{142390.8}{(1 + \text{TIR})^5} \right] - 110204 = 0$$

$$\text{TIR} = 127\%$$

V. DISCUSIÓN

La evaluación inicial del mantenimiento de la flota de transportes de la empresa María Magdalena, se realizó porque es relevante determinar por cada camión, parámetros del mantenimiento como el número de averías, tiempo entre fallas y tiempo para reparar. Donde la frecuencia de fallas es la cantidad de veces que ocurre una determinada falla y el tiempo entre fallas es el tiempo útil en el cual los camiones han estado libre de fallas. Asimismo, el tiempo para reparar es el tiempo que el equipo paralizado, es decir sin generar ningún acto de producción para la empresa. La evaluación inicial fue significativa porque se llegó a conocer que en el periodo de evaluación de esta investigación siendo el año 2019, ocurrieron 94 fallas los cuales ocasionaron 2138 horas pérdidas. Donde los 7 camiones en promedio trabajan libres de fallas en promedio 3399 fallas/año.

También la evaluación inicial permitió conocer que todos los camiones están sometidos mayoritariamente a las mismas averías como: ventilador mecánico fisurado, obstrucción del turbocompresor, piñones de transmisión fatigados, enfriador agrietado, guías de válvulas de admisión y escape desgastadas, bomba de transferencia fisurada, eje de transmisión de leva roto, muelles de válvulas fisurados, balancines agrietados y cigüeñal roto. Donde los elementos mecánicos más afectados son el ventilador, turbocompresor, bomba de transferencia, eje de levas y válvulas. El conocer estas fallas permitió configurar los planes de mantenimiento basado en el riesgo y mantenimiento predictivo.

En similitud con la investigación de Acosta (2018), quién realizó un sistema de gestión de mantenimiento para aumentar la disponibilidad operacional en camiones. El autor utilizó como herramienta estadística el método LogNormal de la distribución de Weibull. El autor encontró 102 fallas críticas en 12 camiones con $D(t)$ 80%, $C(t)$ 85% y $M(t)$ 54%, donde para solucionar dicha problemática aplicó un sistema de mantenimiento centrado en la fiabilidad, obteniendo un incremento en la $D(t)$ 87%, $C(t)$ 91% y $M(t)$ 22.53%. Valores tienen concordancia con los encontrados, donde se han evaluado 7 camiones, encontrando 50 fallas críticas con una $D(t)$ 89.06 a 93.79%, $C(t)$ 82.06 a 90.74% y $M(t)$ 9.60 a 15.37%.

Pero con la implementación del MBR Y MPD incrementaron a los valores de $D(t)$ 97.16% a 98.39%, $C(t)$ 95.32% a 97.64% y $M(t)$ 9.60 a 15.37%.

De igual manera el diagnóstico inicial del mantenimiento ejecutado en la flota de transportes de la empresa María Magdalena, permitió conocer que el costo en pérdidas de producción de todas las unidades ascienden a un valor de 192420.00 soles, lo cual conduce a un costo en repuestos de 94214.00 soles y 15990.00 soles en mano de obra, generando una pérdida total de 302624.00 soles/año, por una ineficiente gestión de mantenimiento. La extracción de estos costos, permitió definir el parámetro de ponderación del análisis de criticidad, siendo más riguroso y exacto al momento de realizar este análisis de jerarquía.

En similitud a lo encontrado por el investigador Ávila (2015) quién realizó la mejora de la disponibilidad en camiones de transporte. El autor utilizó herramientas como: Pareto, diagrama de Ishikawa, LogNormal y FMEA. El autor especificó que un sistema de gestión de mantenimiento preventivo y predictivo para mejorar la disponibilidad en camiones de transporte, redujo 2300 horas del TTR, incrementando la $D(t)$ de 84% a 94% para lo cual se solucionaron el 62% de las fallas indeseables. El autor estimó una inversión de 73500 soles, utilidad económica de 121568 soles/año y PRI de 7 meses. Los valores encontrados tienen correspondencia con lo encontrado con la presente investigación, donde también se utilizó el método LogNormal y FMEA, donde se incrementó la $D(t)$ desde 89.06 - 93.79% a 97.16% - 98.39%, estimando la eliminación de 1582.12 horas de reparación. Logrando un beneficio de 142390.80 soles/año debido a la implementación del MBR y MPD. Donde los costos de inversión para la ejecución del mantenimiento estimados son de 110204.00 soles y el periodo de retorno de la inversión es de 10 meses.

Para el cálculo de los indicadores de mantenimiento se empleó la ecuación estadística LogNormal, que es una simplificación del método probabilístico de Weibull. Debido a que el método de cálculo LogNormal se aplica preferentemente en equipos con operaciones de funcionamiento no constante, es decir equipos que no trabajan consecutivamente las 24 horas/día. Adicionalmente este método es factible en equipos con alto TTR y frecuencias

de fallas, tal como se presenció en las unidades de transporte de la empresa María Magdalena.

En la aplicación del método LogNormal, existen dos tasas de mantenimiento: tasa de fallas y tasa de reparaciones. La tasa de fallas es la probabilidad que ocurra una falla durante el tiempo útil de trabajo de los camiones, pero la tasa de reparaciones es la cantidad de fallas probables que ocurrieron durante el tiempo de reparación. Es de suma relevancia conocer la operatividad de las tasas de mantenimiento, ya que de ello depende la variación porcentual de los indicadores de mantenimiento.

Los parámetros del mantenimiento de las unidades de transporte, como el tiempo de reparación, tiempo útil, tipo de averías y la frecuencia con la cual ocurren estas, fueron extraídas de los reportes de mantenimiento de la empresa por cada camión. Dichos reportes fueron ordenes de trabajo de mantenimiento OTM, el cual es el medio único de control de fallas con el que cuenta la empresa.

Para poder definir el plan de mantenimiento basado en el riesgo y mantenimiento predictivo, fue necesario aplicar 4 metodologías de la ingeniería de mantenimiento: Análisis de criticidad, modos de fallos e índice de riesgo. Estas metodologías permitieron seleccionar las fallas más críticas de los camiones, encontrando un total de 50 fallas críticas de las cuales el 74% son fallas indeseables, es decir fallas que requieren intervención inmediata. El análisis de criticidad se fundamentó en 5 criterios de ponderación relacionados a la frecuencia de averías (en correspondencia a la cantidad de fallas/año), impacto operacional (en correspondencia al daño que causa a la producción y operatividad de los camiones), flexibilidad operacional (en correspondencia a la existencia de activos físicos de repuestos disponibles en almacén), costos de mantenimiento (en correspondencia a los costos de producción, repuestos y mano de obra) e impacto de seguridad y medio ambiente (en correspondencia con la seguridad integral de los técnicos y operadores de la empresa, y en paralelo con las acciones de mantenimiento que puedan estar afectando al medio ambiente). Bajo estas ponderaciones se realizó el nivel de jerarquía de los camiones, encontrando en estado crítico a 4 camiones (WB-7173, BM5-886, WC-7014 y QL-5663) y 3 semicríticos (W2G-940, B1R-949, WR1-870). Donde

los camiones en estado crítico se caracterizaron por tener en conjunto una mayor cantidad de fallas y elevado tiempo de reparación.

La descripción de las fallas críticas, se realizaron en hojas de información, siendo necesario la colaboración del personal técnico y operativo de la empresa María Magdalena. Para lo cual se recolectó toda la información necesaria para conocer la causa raíz de cada avería y de esta manera generar su solución en hojas en decisiones del análisis de modos de fallos.

En la presente investigación solo, se le dio prioridad a las fallas inaceptables las cuales son el 74% del total de fallas (37 fallas). No considerando las fallas tolerables las cuales representan el 8% (4 fallas), ni tampoco las fallas aceptables con una representación del 18% (9 fallas). Es decir, el plan de mantenimiento basado en el riesgo y mantenimiento predictivo se realizó para dar solución al 74% de las averías, las cuales cuando ocurren paralizan el camión, limitando la producción de la empresa y aumentando los costos de mantenimiento.

El análisis de estimación estadístico, se realizó para predecir los indicadores de mantenimiento, con la implementación del mantenimiento basado en el riesgo. Utilizando el software Excel, ya es un programa con una interfase sencilla de manipular, y la más utilizada en la ejecución de planes de ingeniería de mantenimiento. Además, que permite ingresar con facilidad las ecuaciones del método LogNormal, entregando tablas de frecuencia y gráficos, que reflejan la variación de la mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad en cualquier instante de tiempo. En la interfaz del programa el operador o planner puede ir quitando o agregando fallas según vayan ocurriendo, y podrá darse cuenta de inmediato, si estos afectan, o no, a los indicadores de mantenimiento, tomando acciones del mantenimiento prematuras, con la finalidad que los camiones no paralicen y cumplan con su tiempo de operación en una determinada actividad.

El análisis de estimación estadístico, enfatizó que la disponibilidad tuvo un incremento promedio adicional al valor actual de 6% y la confiabilidad también con un 10.7% adicional. Pero la mantenibilidad se mantuvo constante, debido a que la tasa de reparaciones tiene un insignificante crecimiento. Asimismo,

tenemos que indicar que la mantenibilidad en condiciones iniciales, se encontraba en valores porcentuales aceptables, no pudiéndose reducirse aún más, ya que se encuentra en condiciones aceptables.

El análisis económico y financiero, para la implementación del mantenimiento basado en el riesgo y mantenimiento predictivo, se realizó con una tasa de interés del 10% y con un periodo de financiamiento de 5 años, debido a que estos valores se aplican a empresas medianas, tal como lo es la empresa María Magdalena. Valores promedios que se encuentran estipulados en la Superintendencia de Banca y Seguros del Perú, SBS.

VI. CONCLUSIONES

- 6.1. La evaluación inicial a los 7 camiones de la empresa María Magdalena (4 Volvo y 3 Mitsubishi), determinó que la disponibilidad se encuentra entre 89.06 a 93.79%, la confiabilidad de 82.06 a 90.74% y la mantenibilidad entre los valores de 9.60 a 15.37%. Estos valores deficientes para la empresa se deben a un acumulado promedio de 94 fallas/año y 2138 horas pérdidas en plena producción.
- 6.2. Se realizó el plan de mantenimiento basado en el riesgo y mantenimiento predictivo. Donde el análisis de criticidad determinó que existen 4 camiones críticos (Volvo WB-7173, Volvo BM5-886, Volvo WC-7014 y Mitsubishi QL-5663) y 3 camiones semicríticos (Volvo W2G-940, Mitsubishi B1R-949 y Mitsubishi WR1-870). El análisis de modos y efectos de fallos describió que existen 50 fallas críticas que afectan la operatividad de los camiones, donde el número de prioridad de riesgo determinó que el 8% de dichas fallas son tolerables, el 18% son aceptables y 74% son indeseables.
- 6.3. Se realizó un análisis de estimación estadístico, para proyectar los indicadores de mantenimiento con la implementación del mantenimiento basado en el riesgo y mantenimiento predictivo. Donde la disponibilidad incremento en rangos de 97.16% a 98.39%, igualmente la confiabilidad de 95.32% a 97.64%. Pero la mantenibilidad se mantuvo constante con los mismos valores iniciales de 9.60 a 15.37%, debido a que este indicador se encuentra en un rango de valores aceptables para unidades de transporte. Asimismo, la mantenibilidad se mantuvo constante, debido a que la tasa de reparaciones tiene un incremento insignificante. El incremento de la disponibilidad y confiabilidad permiten una reducción de 1582.12 horas del TTR.
- 6.4. El análisis económico, encontró un beneficio de 142390.80 soles/año debido a la implementación del mantenimiento basado en el riesgo y mantenimiento predictivo. Donde los costos de inversión para la ejecución del mantenimiento estimados son de 110204.00 soles. El periodo de retorno de la inversión es de 10 meses. El proyecto es viable con una tasa de rentabilidad de 127% y un valor actual neto de 429569.16 soles.

VII. RECOMENDACIONES

- 7.1. Se recomienda capacitar al personal de mantenimiento de la empresa María Magdalena (técnicos y operadores) respecto a las metodologías del mantenimiento como: análisis de criticidad, evaluación de modos y efecto de averías e índice de riesgo. Para poder entender la aplicación del mantenimiento basado en riesgo y mantenimiento predictivo.

- 7.2. Se recomienda capacitar al personal de mantenimiento respecto a la gestión de indicadores de mantenimiento, para que efectúen correctamente la simulación de la mantenibilidad, confiabilidad y mantenibilidad (simulación en software Excel), y puedan saber a través de estos indicadores el estado diario, semanal, mensual y anual de las unidades de transporte, con lo cual pueden tomar acciones prematuras para reducir el tiempo de reparación.

- 7.3. Se recomienda realizar un cronograma de ejecución de tareas de mantenimiento, según el plan de mantenimiento basado en el riesgo y mantenimiento predictivo, descrito en esta investigación.

- 7.4. Se recomienda formular nuevas órdenes de mantenimiento para las unidades de transporte, donde las ordenes de mantenimiento deben estar en función de contrarrestar las fallas críticas. Es decir, se deben crear nuevas OTM para el mantenimiento basado en el riesgo y mantenimiento predictivo.

REFERENCIAS

- ADAUTO, O. (2016). Preventive Maintenance. Spain: Continental Editorial Company.
- AMÉNDOLA, L. (2016). Mixed reliability models. Valencia: Datastream.
- ÁVILA, C. (2015). Improvement of the availability of the Scania model K-380 bus fleet of the transport company Bus Star SAC. Cajamarca: Cesar Vallejo University.
- AYANE, G. (2015). Reliability-based maintenance design for heavy civil construction machinery. India: Dalí University.
- BERH, M. (2016). Maintenance based on irrigation in industrial maintenance. Spain: PublishAmerica. P. 59-62.
- BROWN, D. (2017). Risk-based maintenance. Spain: Alcalá de Henares S.A.C, 2016. p. 44.
- CAMPOS, L. (2018). Management of physical assets. National Engineering University: Random House. P. 111-113.
- CANTAL, S. (2018). Total productive maintenance. United States: Lemoine Editores. P. 111.
- DOUNCE, E. (2017). Productivity in Industrial Maintenance. Mexico: Continental Editorial Company.
- BELOW, M. (2018). FMEA failure modes and effects analysis. Mexico: Editores Rango S.A.C.
- EVANS, L. (2019). Types of industrial maintenance. Catalonia: Catalonia International, 2017. p. 75.
- GALLEJOS, P. (2017). Maintenance plan indexes. Lima: International Editors of the National University of Engineering.
- GINO, B. (2016). Maintenance Indicators: Availability, Reliability and Maintainability. Spain: Detroit AIAG. p. 125.

- GAONA, T. (2015). Improvement of the reliability, availability and profitability of the John Deere construction equipment of Grupo Cajamarca Minería y Construcción SAC. Cajamarca: Cesar Vallejo University.
- GONZÁLES, D. (2015). Industrial Maintenance Parameters. Lima: Industrial Press.
- HERNÁNDEZ, FERNÁNDEZ, & BAPTISTA. (2014). Investigation methodology. Mexico: Mc Graw Hill.
- JONES, Z. (2020). Predictive equipment in industrialized maintenance decision making. United States: Independent Publishers Group, 2017. p. 80-83.
- KECECIOGLU, D. (2017). Reliability, maintainability and operational availability in earthmoving equipment. New Jersey: Prentice -Hall Professional Technical.
- KUMER y TORDOYA. (2017). Risk-based maintenance plan through root cause analysis in electric motors of the company Electrificaciones y construcciones S.A.C. Piura: National University of Piura.
- LEAN, L. (2016). Failure Modes and Effects Analysis. NPR. Madrid: Uniandes S.A.C.
- LEGRA, A. (2018). Methodology for Technological Scientific Research. Madrid: Díaz de Santos.
- MONTENEGRO y GARCÍA. (2017). Maintenance management system to improve the maintenance indicators of the heavy machinery of the SICMAH company. Lima: Pontifical Catholic University of Peru.
- MORA, A. (2017). Planning, Execution and control of maintenance. Bogotá: Alfa Omega Editores Internacional.
- MOUBRAY, J. (2016). Reliability-based maintenance. Argentina: Leicestershire Aladon Limited.
- PASCUAL, R. Modern Maintenance Management. Santiago: AMG Editores, 2016. p. 64.

- PONCE, D. World-class indicators of industrial maintenance. Peru: Alcalá de Henares S.A.C, 2016. p. 44.
- PREDRAG, MILUTIN y MARINA. (2015). Maintenance management system to optimize maintenance plans for heavy machinery of the Provincial Municipality of Caylloma, Arequipa. Arequipa: National University of Arequipa.
- REYES, T (2020). Reliability-based maintenance. National Engineering University: Lemoine Editores, 2015. p. 111.
- RIDER, M. (2019). Maintenance management focused on reliability. United States: Lemoine Editores. p. 123-125.
- SALAZAR, P. (2017) Planned corrective maintenance. Madrid: Alfa Omega Editores. p. 44-50.
- SEMBIRING y NASUTION. (2018). Preventive maintenance plan to improve the operation of crawler excavators. Spain: Complutense University of Madrid.
- SOTO, T. (2017). Reliability-focused maintenance. United States: Lemoine Editores. p. 111.
- SMITH, D. (2016). World-class indicators of industrial maintenance. Spain: Alcalá de Henares S.A.C.
- TAMBORERO, J. (2017). The Weibull Distribution. Catalonia: International of Catalonia.
- TIRADO, S. (2018). Analysis to the Weibull methodology. Planning and maintenance. Quito: Argosh Libero.
- TOMAS, P. (2017). Predictive Maintenance. Spain: International Auditorium. p. 55-56.
- TORRES, D. (2018). World Maintenance. Implementation and Management. Madrid: Alfa Omega Editores.
- TORRES, P. (2017). Evaluation and improvement of operational availability in heavy machinery. Brazil: Federal University of Rio de Janeiro.

ANEXOS

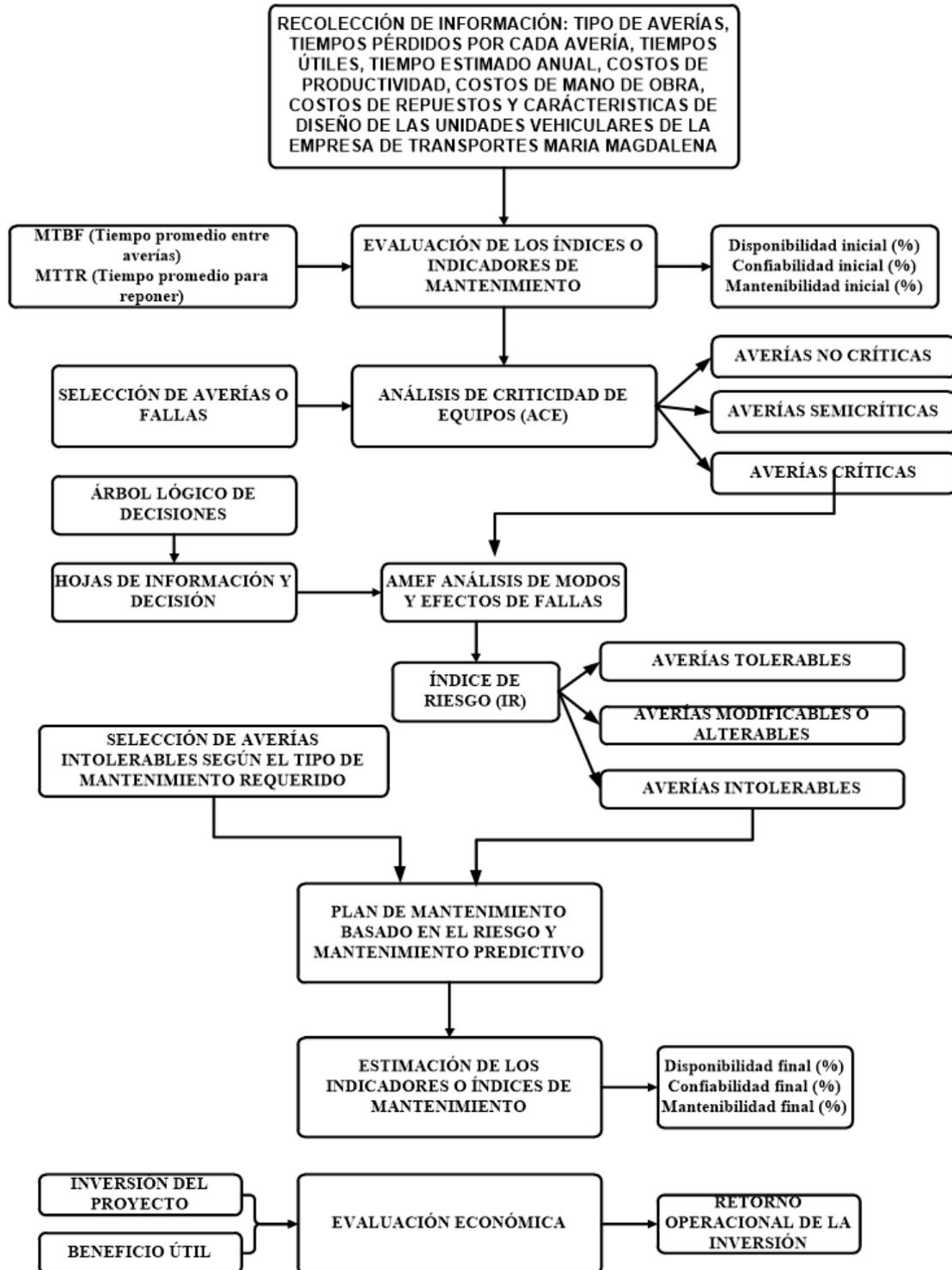
ANEXO 1 - Técnicas e instrumentos utilizadas en la investigación

Técnica	Instrumento	
Análisis documental	Fichas de Registro de historiales de mantenimiento.	El instrumento fichas de registro de historiales de mantenimiento, permite la recolección de la tasa de fallas, TBF, TTR, costos de operación, costos de repuestos, costos de mano de obra y descripción de las averías por cada camión.
Observación	Fichas de registro de observación	Las fichas de registro de observación, permite la recolección de los datos como: estado de operación referido a las fallas producidas en los camiones.

ANEXO 2 - Matriz de operacionalización de variables

Variable Independiente	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Escala
Mantenimiento basado en el riesgo (MBR) y mantenimiento predictivo (MPD)	<p>Mantenimiento basado en el riesgo: Es un tipo de mantenimiento fundamentado en el análisis de las fallas o averías críticas presentes en un equipo, donde dichas fallas deben repercutir en la paralización total de un equipo, originando un elevado TTR y tasa de fallas (Evans, 2016).</p>	<p>El plan de MBR depende del uso de herramientas metodológicas de gestión, como el FMEA y NPR, los cuales para su determinación requieren de la utilización de los instrumentos de fichas de registros de mantenimiento de los equipos</p>	<p>FMEA Formato de información y formato de decisiones.</p>		Ordinal
			<p>NPR Avería Tolerable Avería alterable Avería indeseable</p>	<p>$NPR \leq 125$ $125 < NPR \leq 200$ $NPR > 200$</p>	Nominal
	<p>Mantenimiento predictivo: Es un mantenimiento tecnológico, el cual hace uso de las herramientas no destructivas, para estimar y predecir futuras averías, y de esta manera establecer intervalos de mantenimiento de acuerdo al ciclo de vida del equipo (Rider, 2019).</p>	<p>El plan predictivo se fundamenta en la utilización de la metodología del ACE para evaluar que fallas críticas se deben a la ineficiencia de análisis predictivo. Asimismo, su análisis requiere de la ayuda de la ficha de registro de averías.</p>	<p>ACE Fallas críticas en relación al mantenimiento predictivo.</p>	<p>Fallas C Fallas SMC Fallas NC</p>	Razón
Variable dependiente	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Escala
Indicadores de gestión de mantenimiento	<p>Son parámetros estadísticos que cuantifican el estado de un equipo o máquina, su aplicación contribuye a mejorar cíclicamente los planes de mantenimiento (Cantal, 2018).</p>	<p>Los indicadores de gestión, dependen de la tasa de frecuencia de fallas y tiempos del mantenimiento.</p>	Tasa de frecuencia de fallas	Intervenciones (vez/año)	Razón
			Tiempos de mantenimiento	<p>TTR (h/año) TBF (h/año) T (h/año)</p>	Razón

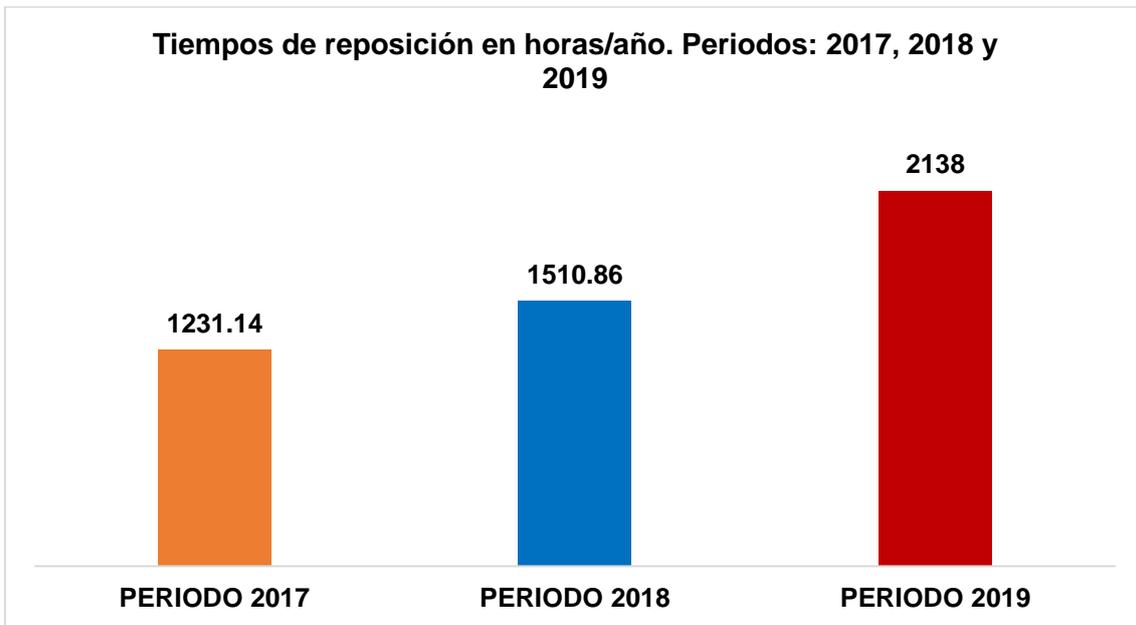
ANEXO 3 - Procedimiento de la investigación.



ANEXO 4 - Ficha de registro de tiempos y costos de mantenimiento

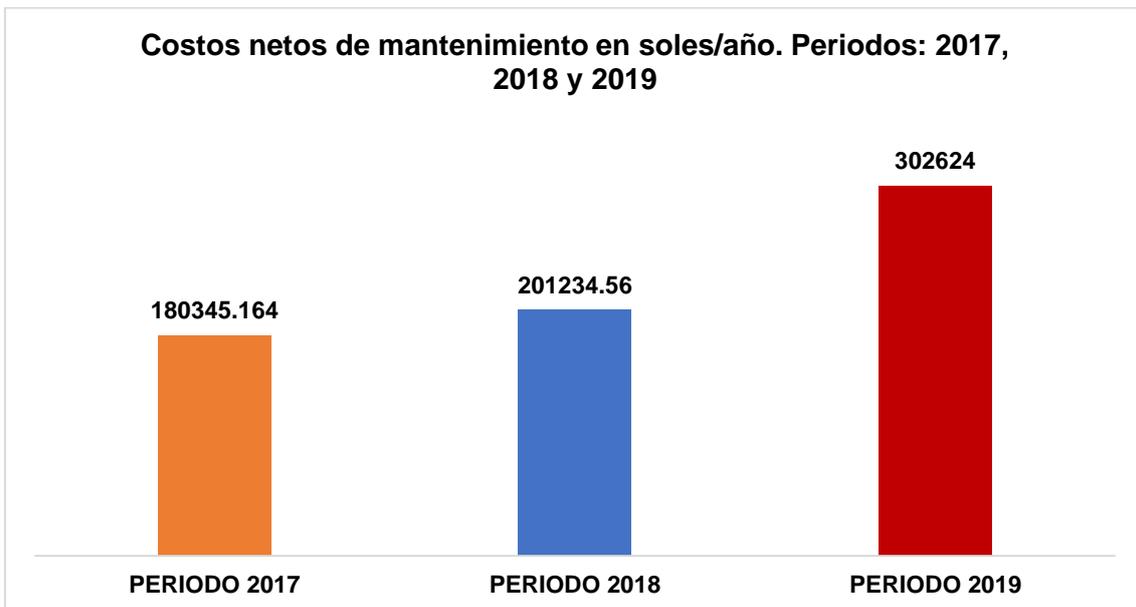
UNIDADES VEHICULARES DE LA FLOTA DE TRANSPORTES MARIA MAGDALENA		TIEMPO ESTIMADO ANUAL, hrs/año	TIEMPO PERDIDO hrs/año	PRECIO UNITARIO DE PRODUCCION S. /hora	COSTO TOTAL POR HORAS PERDIDAS S./ año	COSTO EN REPUESTOS S./ año	COSTOS EN MANO DE OBRA S./ año	COSTO TOTAL S./ año
UNIDAD VEHICULAR	AVERIA O FALLA							
Unidad vehicular N°1								
Unidad vehicular N°2								
Unidad vehicular N°...								
Total								

ANEXO 6 - Tiempos empleados para reponer los camiones



Fuente: Departamento de mantenimiento, María Magdalena, 2017, 2018 y 2019.

ANEXO 7 - Costos netos del mantenimiento de la flota María Magdalena



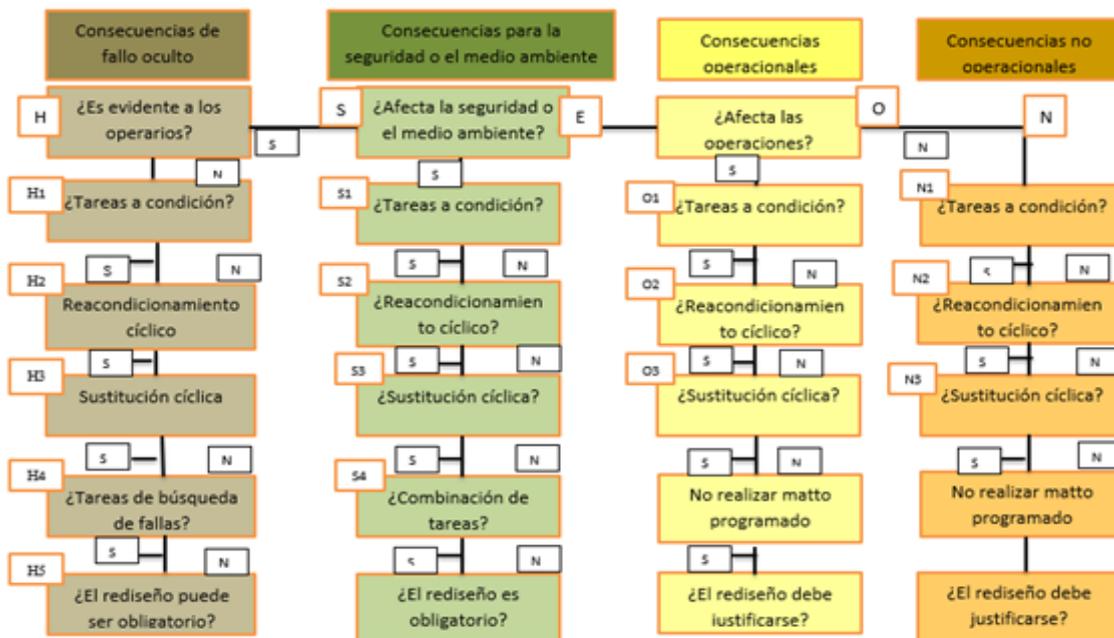
Fuente: Departamento de mantenimiento, María Magdalena, 2017, 2018 y 2019.

ANEXO 8 - Cuadro de matriz de jerarquía de criticidad.

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

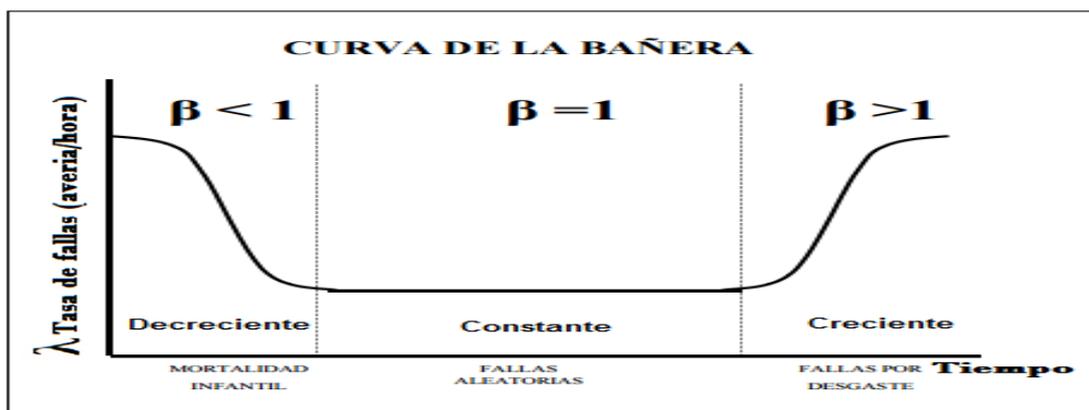
Fuente: Moubray, 2016.

ANEXO 9 - Árbol de decisiones del mantenimiento - Interrogantes del MBR



Fuente: Moubray, 2016.

ANEXO 10 - Curva del ciclo de vida de Davis.



Fuente: Gallejos, 2017

ANEXO 11 - Criterios ponderados del análisis de criticidad.

Frecuencia de fallas	
Elevado, mayor a 40 fallas/año	4
Promedio, entre 20 y 40 fallas/año	3
Buena, entre 10 y 20 fallas/año	2
Excelente, menor a 10 fallas/año	1
Impacto operacional	
Paralización total del equipo	10
Paralización parcial del equipo y repercute en la operatividad de otro equipo	7-9
Impacta a niveles de producción o calidad	5-6
Repercute en costos relacionados a la disponibilidad operacional	2-4
No genera ningún efecto significativo	1
Flexibilidad operacional	
No existe equipo similar de repuesto	4
El equipo puede seguir trabajando	2-3
Existe otro equipo igual o disponible en stand by	1
Costo de mantenimiento	
Mayor o igual a US\$ 500	2
Inferior a US\$ 500	1
Impacto de seguridad y medio ambiente	
Suceso catastrófico	8
Suceso mayor serio	6 - 7
Suceso menor o incidente	4 - 5
Cuasi accidente	2 - 3
Desvío	1
No provoca ningún tipo de riesgo	0

Fuente: Mora, 2017.

ANEXO 12 - Ponderados del número de prioridad de riesgos

Descripción de la falla	Puntaje del índice de Ocurrencia
1 falla en más de 2 años	1
1 falla cada 2 años	2 – 3
1 falla cada 1 año	4 – 5
1 falla entre 6 meses y 1 año	6 – 7
1 falla entre 1 a 6 meses	8 – 9
1 falla al mes	10

Descripción de la falla	Puntaje del índice de Gravedad
Ínfima e imperceptible	1
Escasa, falla menor	2 – 3
Baja, falla inminente	4 – 5
Media, falla pero no para el sistema	6 – 7
Elevada, falla crítica	8 – 9
Muy elevada, con problemas de seguridad.	10

Descripción de la falla	Puntaje del índice de Detección
Obvia	1
Escasa	2 – 3
Moderada	4 – 5
Frecuente	6 – 7
Elevada	8 – 9
Muy elevada	10

Fuente: Améndola, 2016.

ANEXO 13 - Formato de información del MBR

Función		Falla Funcional	Modo de Falla (¿Que causa la falla?)	Efecto de falla (¿Que ocurre cuando falla?)
1		A	1	

Equipo :	Realizado Por :	Fecha:	Hoja N°
Sistema :	Revisado Por :	Fecha:	De:

Número Correspondiente a la Función Letra correspondiente a la Falla Funcional Número Correspondiente al Modo de Falla

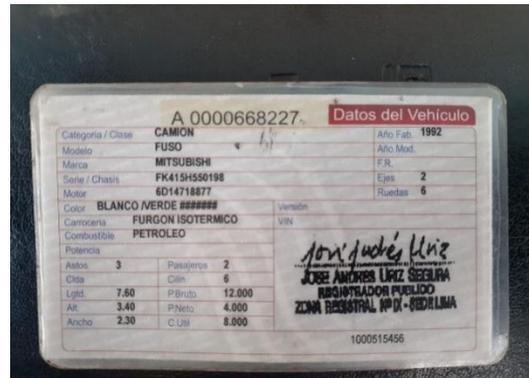
Fuente: Pascual, 2016.

ANEXO 14 - Formato de decisión para el MBR

HOJA DE DECISIONES				Sistema:					Facilitador:	Fecha:	Hoja N°				
				Subsistema:					Auditor:	Fecha:	de:				
REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCIÓN DE FALLA DE					
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4	TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL (a-año, m-mes, s=semana, d=día)	A REALIZARSE POR
							N1	N2	N3						

Fuente: Pascual, 2016.

ANEXO 15 – Vistas fotográficas de la flota de la empresa maría magdalena





Nº INTERNO		B 304432	
SUNARP ZONA REGISTRAL Nº VII (Puerto Pizarro - Tumbes)			
REPARTICIÓN	Sede PASCO		
PLACA	PASCO	EXFEDIT Nº	5295
	W2G-940	FECHA	24/11/2010
RAZÓN SOCIAL	MARIA MAGDALENA S.R.L.		
AP. PATERNO	*****		
AP. MATERNO	*****		
NOMBRES	TUMBES		
D/ CALLE LAS GARZAS 107, C.P. PUERTO PIZARRO			
FECHA DE PROPIEDAD 21/10/2008			
OBLIGACIONES DEL PROPIETARIO: 1.- Informar al Registro de Propiedad Vehicular los cambios efectuados al vehículo o domicilio del propietario. 2.- Esta tarjeta pierde su valor al presentar comandaduras u otros. 3.- Para ser presentado cuando las autoridades a cargo del control de tránsito lo soliciten.			
02/12/2010/ EEF30			

Nº INTERNO		B 304432	
DATOS DEL VEHICULO			
CLASE	CAMION	MARCA	VOLVO
AÑO FAB.	1992		
MODELO	FL7 8X2	COMBUSTIBLE	PETROLEO
CARROCERIA	FURGON ISOTERMICO		
EJES	4		
COLOR	ROJO BLANCO ANARANJADO		
AP. MOTOR	TD71FQ9294764		
AP. CHASIS	YV2F2CLA7MA364786		
AP. VIN	NW2F5A44GNAS77797		
POTENCIA	3	PASAJEROS	2
CILIN	6	P BRUTO	30.000
LGTD	10.54	P NETO	20.000
ALT	3.80	C UTIL	19.000
ANCHO	2.60		
OVINDO BLANCO ALDAS			
REGISTRADOR PUBLICO			
ZONA REGISTRAL Nº VII			



		Tarjeta de Identificación Vehicular	
ZONA REGISTRAL Nº IX / LIMA			
Placa Ante. XQ-2113			
Placa No.	B5M-886	Partida Registral	50892285
		Título	2010-887475
		Fecha	24/11/2010
Condición	REACONDICIONADO	Tipo de Prop.	PERSONA JURIDICA
Denominación	MARIA MAGDALENA S.R.L.		
A. Paterno	*****		
A. Materno	*****		
Nombres	*****		
Fecha Adq.	21/10/2008	Exp. Taj.	30/11/2010
		Vig. Temp.	
Domicilio	LAS GARZAS Nº 107 C.P. PUERTO PIZARRO Tumbes (TACNA)		
SAY	30/11/2010(REEMP)		1000296270

A 000418585		Datos del Vehículo	
Categoría / Clase	CAMION	Año Fab.	1991
Modelo	FL-7	Año Mod.	
Marca	VOLVO	FR	
Serie / Chasis	YV2F2CLA7MA364786	Ejes	4
Motor	TD71FQ9294764	Ruedas	12
Color	ROJO BLANCO ANARANJADO	Versión	
Carrocería	FURGON ISOTERMICO	VIN	
Combustible	PETROLEO		
Potencia			
Astos.	3	Pasajeros	2
Cilda		Cilin	6
Lgtd.	10.70	P Bruto	30.000
Alt.	3.80	P Neto	11.000
Ancho	2.60	C Util	19.000
DIANA ROSA PICCONE TALAVERA			
REGISTRADOR PUBLICO			
Zona Registral Nº IX - Sede Lima			
1000296270			



Nº INTERNO	E0219749	
SUNARP SERVICIO NACIONAL DE REGISTRO DE LA PROPIEDAD VEHICULAR (Plac. Ant.: WB-7173)		
REPARTICIÓN:	Sede PIURA	
PLACA:	PIURA	EXPED. Nº: 84184
	PIP-930	INSC.: 30/11/2010
RAZÓN SOCIAL:	MARIA MAGDALENA SRL	
AP. PATERNO:	#####	
AP. MATERNO:	#####	
NOMBRES:	#####	
DOMICILIO:	TUMBES	
FECHA DE PROPIEDAD:	11/10/2008	
OBLIGACIONES DEL PROPIETARIO: 1.- Informar al Registro de Propiedad Vehicular los cambios efectuados al vehículo o domicilio del propietario. 2.- Esta tarjeta pierde su valor al presentar arrendaduras u otras. 3.- Para ser presentado cuando las autoridades a cargo del control de tránsito lo soliciten.		
LRR	06/12/2010 (REEMP)	

Nº INTERNO	E0219749	
DATOS DEL VEHICULO		
CLASE:	MARCA:	AÑO FAB.
N3-CAMION	VOLVO	1992
MODELO:	COMBUSTIBLE:	
FL7 6X2	PETROLEO	
CARROCERIA:	EJES:	
FURGON ISOTERMICO	4	
COLORES:	CILINDROS:	
BLANCO ROJO NARANJA	6	
TD71FS9237625	RUELAS:	
12	12	
Nº SERIE:	PESO BRUTO:	
YB2FOA4C6NA304318	30.000	
TRABAJADORES:	PESO SECO:	PESO BRUTO:
2	12.200	30.000
LONGITUD:	ALTURA:	ANCHO:
10.60	3.75	2.60
		CARGA UTIL:
		17.800
<i>Rosa Elena Loza Ruiz</i> Rosa Elena Loza Ruiz REGISTRADOR PÚBLICO ZONA INTERNACIONAL PIURA		







UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, SALAZAR MENDOZA ANIBAL JESUS, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN EL RIESGO Y MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA MEJORAR LOS INDICADORES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE UNA FLOTA DE TRANSPORTES DE TUMBES.", cuyo autor es LABÁN CRUZ ALMINTOR, constato que la investigación tiene un índice de similitud de %, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 17 de Diciembre del 2021

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
SALAZAR MENDOZA ANIBAL JESUS DNI: 16720249 ORCID: 0000000344128789	Firmado electrónicamente por: AJSALAZARM el 18- 12-2021 21:03:49

Código documento Trilce: TRI - 0231651