



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

“Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para
aumentar la disponibilidad de los activos físicos de los camiones cisterna del
Consortio JRamírez E.I.R.L.”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO**

AUTOR

Guarniz León Lener Serginho

ASESOR

Ing. Martín Teófilo Sifuentes Inostroza

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Sistemas y Planes de Mantenimiento

TRUJILLO – PERÚ

2018

PÁGINA DEL JURADO

“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA
CONFIABILIDAD PARA AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS ACTIVOS
FÍSICOS DE LOS CAMIONES CISTERNA DEL CONSORCIO JRAMÍREZ E.I.R.L.”

Guarniz León Lener Serginho

Autor

Presentada a la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad César Vallejo de Trujillo
para obtener el título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Luis Alberto Julca Verástegui

Presidente

Ing. Alex Tejeda Ponce

Secretario

Ing. Martín Teófilo Sifuentes Inostroza

Vocal

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi Dios quien me guía por el correcto camino de la vida, por darme fortaleza para continuar adelante y no desalentar en las dificultades que se presentan.

Les dedico a mis padres Sergio Guarniz Muñoz y Martha León Palacios, a mi esposa Carito Castro Dahua y a mi hijo Kamil Guarniz Castro, por su apoyo, consejos, comprensión, amor y ayuda en los momentos difíciles.

A mis amigos que acompañaron en transcurso de mis estudios y me apoyaron de diferentes formas a lograr mis metas, en especial a Rogelio Chávez Sánchez.

AGRADECIMIENTO

La vigente investigación, inicialmente me gustaría agradecer a mi Dios por sus bendiciones y por estar presente en el cada día a día de mi vida, y por hacer realidad este ensueño esperado.

Mi gratitud a mi profesor metodológico, Ing. Luis Alberto Julca Verástegui, por su guía y conocimientos con respecto a mi tema de tesis, por su paciencia y motivación.

También agradecer a mi profesor especialista Ing. Martín Teófilo Sifuentes Inostroza, por su enfoque crítico, con la finalidad de mejorar la presente investigación de tesis.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo: Guarniz León Lener Serginho, con DNI N°46215307, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Ingeniería Mecánica, declaro bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

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 de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, julio del 2018.

Guarniz León Lener Serginho

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado, presento ante ustedes la tesis titulada “*Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los activos físicos de los camiones cisterna del Consorcio JRamírez E.I.R.L.*”, con la finalidad de minimizar las horas perdidas por fallas de los activos físicos de los camiones cisterna. En cumplimiento con el reglamento de grados y títulos de la Universidad César Vallejo, con el propósito de cumplir con los requisitos para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico.

Por tanto, considero que el esfuerzo en el desarrollo del presente trabajo cumpla y satisfaga sus expectativas. Pongo a su consideración, este documento para su respectiva evaluación y de esta manera poder obtener su aprobación.

El Autor.

ÍNDICE

PÁGINA DEL JURADO	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	iv
PRESENTACIÓN	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Realidad Problemática	2
1.2 Trabajos previos	3
1.3 Teorías relacionadas al tema	6
1.4 Formulación del problema	12
1.5 Justificación del estudio	12
1.6 Hipótesis	13
1.7 Objetivos	13
II. MÉTODO	14
2.1 Diseño de investigación	15
2.2 Variables, operacionalización	16
2.3 Población y muestra	17
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	18
2.5 Métodos de análisis de datos	18
2.6 Aspectos éticos	18
III. RESULTADOS	19
IV. DISCUSIÓN	90
V. CONCLUSIÓN	96
VI. RECOMENDACIONES	99
VII. REFERENCIAS	101
ANEXOS	104

RESUMEN

La presente investigación se fundamenta en el diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los activos físicos de los camiones cisterna del Consorcio JRamírez E.I.R.L. La evaluación inicial a los 5 camiones cisterna (GLP T7X 800 Isuzu, GLP LM3 426 Isuzu, ALY 732 Internacional, PAX 633 Internacional y WPL 480 Internacional) del Consorcio JRamírez, determino que el periodo 2017 se perdió un total de 2230 horas por fallas en plena operación, con un total de 67 fallas las cuales originaron un costo total del mantenimiento de S/. 408956.50. El análisis de los indicadores de mantenimiento iniciales de los camiones cisterna, determinó que la disponibilidad se encuentra en el rango de 84.07% - 90.44%, la confiabilidad entre 81.35% - 90.26% y la mantenibilidad entre 52.38% - 75.55%. El análisis de criticidad se aplicó a 21 activos físicos relacionados con las 67 fallas de los camiones cisterna, de los cuales se encontraron 10 activos físicos críticos, 6 semicríticos y 5 no críticos. Se realizó un análisis de modos y efectos de fallas AMEF a los 10 activos físicos de nivel de clasificación crítico, con sus respectivas fallas, los cuales son causantes del 69.24% del total de las horas pérdidas (1544 horas) y del 71.64% de las fallas (48 fallas) encontrando un total de 70 modos de fallas distintos, de los cuales 2 modos de fallas son aceptables, 12 modos son fallas reducibles a deseables y 56 modos son fallas indeseables, determinando que con la aplicación de un MCC se puede llegar a reducir el 80% de las fallas que ocasionan pérdidas económicas. Se plantearon 43 tareas para el mantenimiento de acuerdo a las hojas de información y decisiones. Asimismo con la aplicación del MCC la disponibilidad aumenta en un rango de 7.6% - 12.7%, la confiabilidad 7.9% - 15% y la mantenibilidad se mantuvo constante. El diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, permitió al consorcio JRamírez E.I.R.L obtener un beneficio de 190927.90 S/. /año, con una inversión en equipos de S/. 235993.15 con un retorno operacional de la inversión de 15 meses.

Palabras claves: *Diseño de mantenimiento, activos físicos, disponibilidad operacional, camiones cisterna, mantenimiento centrado en la confiabilidad.*

ABSTRACT

The present investigation is based on the design of a maintenance plan focused on the reliability to increase the availability of the physical assets of the tanker trucks of the JRamírez E.I.R.L Consortium. The initial evaluation of the 5 tanker trucks (GLP T7X 800 Isuzu, GLP LM3 426 Isuzu, ALY 732 International, PAX 633 International and WPL 480 International) of the JRamírez Consortium, determined that the 2017 period was lost a total of 2230 hours due to failures in full operation, with a total of 67 failures which originated a total maintenance cost of S /. 408956.50. The analysis of the initial maintenance indicators of the tanker trucks, determined that the availability is in the range of 84.07% - 90.44%, the reliability between 81.35% - 90.26% and maintainability between 52.38% - 75.55%. The criticality analysis was applied to 21 physical assets related to the 67 faults of the tanker trucks, of which 10 critical physical assets were found, 6 semi-critical assets and 5 non-critical assets. An analysis of the modes and effects of AMEF faults was carried out on the 10 physical assets at the critical classification level, with their respective faults, which are responsible for 69.24% of the total hours lost (1544 hours) and 71.64% of the faults (48 faults) finding a total of 70 different failure modes, of which 2 failure modes are acceptable, 12 modes are reducible to desirable faults and 56 modes are undesirable faults, determining that with the application of an MCC you can reach to reduce 80% of the failures that cause economic losses. 43 tasks were proposed for maintenance according to the information and decision sheets. Likewise, with the application of MCC, availability increases in a range of 7.6% - 12.7%, reliability 7.9% - 15% and maintainability remained constant. The design of a maintenance plan focused on reliability, allowed the JRamírez E.I.R.L consortium to obtain a profit of 190927.90 S /. / Year, with an investment in equipment of S /. 235993.15 with an operational return on investment of 15 months.

Key Word: *Maintenance design, physical assets, operational availability, tank trucks, maintenance focused on reliability.*

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática:

Los estudios a nivel global referentes a sistemas de gestión de mantenimiento, se fundamentan en teorías científicas matemáticas, estadísticas y probabilísticas que posee el mantenimiento para su análisis, para evaluar de forma certera las fallas y causas más relevantes de un equipo, teniendo como principal objetivo mantener la funcionalidad de los activos físicos, contribuyendo a la operación continua de los equipos a través del tiempo, trayendo consigo el incrementando la disponibilidad y confiabilidad y reduciendo la mantenibilidad a través del tiempo perdido para reparar, que es el primer parámetro que repercute directamente sobre los costos del mantenimiento, (Mora, 2009).

El Consorcio JRamírez E.I.R.L, es una organización de estación de servicios que se dedica a la distribución y comercialización de combustibles gaseosos y líquidos, para lo cual cuenta en la actualidad con 5 camiones cisterna (2 cisterna a gas licuado de petróleo y 3 cisterna a gasolina y petróleo), los cuales tienen un tiempo de trabajo de 12 a 16 años, debido a que los camiones tienen años de fabricación que varían desde 2002 a 2006, (Departamento de mantenimiento JRamírez E.I.R.L, 2018).

El Consorcio JRamírez E.I.R.L, dispone de sus camiones cisterna con operación continúa trabajando cada camión con un tiempo promedio de 18 horas/día, por lo cual se exige una mayor disponibilidad que permita una mayor confiabilidad y una disminución en la mantenibilidad. Pero actualmente la disponibilidad ha decaído drásticamente con una cantidad de 67 correcciones correctivas en el periodo 2017, trayendo consigo un total de 2230 horas perdidas (Anexo A.1), (Departamento de mantenimiento JRamírez E.I.R.L, 2018).

Asimismo, las órdenes de trabajo por mantenimiento correctivo en el periodo 2017 se han incrementado con un total de 320 OTM, debido a las diversas fallas en los camiones cisterna, donde la mayoría de las fallas son localizadas en el motor, caja de transmisión, frenos, chasis, suspensión de ruedas y dirección, tanque de combustible, sistema de abastecimiento de combustible y accesorios (Anexo A.2), (Departamento de mantenimiento JRamírez E.I.R.L, 2018).

Esto se debe a que en la actualidad el Consorcio JRamírez E.I.R.L, solo cuenta con planes de mantenimiento correctivo no planificado en cuanto a cambios y reparaciones de repuestos y mantenimiento preventivo respecto a cambios de aceite, reparando los activos físicos de los camiones después de ocasionada la avería o falla, por lo consiguiente se propone la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento para aumentar la disponibilidad de los camiones cisterna, logrando reducir los tiempos perdidos para reparar y las pérdidas económicas, (Departamento de mantenimiento JRamírez E.I.R.L, 2018).

1.2 Trabajos previos

Mejía (2017), en su tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Industrial. Realizada en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo (Lima - Perú), titulada: “Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), para mejorar la productividad de la Empresa Ersá Transportes y Servicios S.R.L.”. Plantea un diseño de mantenimiento centrado en la confiabilidad a equipos como motores eléctricos, bombas hidráulicas, motores de combustión, calderas e intercambiadores de calor, para lo cual hace uso de uso del diseño de investigación pre-experimental, usando las herramientas de la metodología RCM como: el AMEF y NPR. Inicialmente se determinaron los indicadores actuales de mantenimiento indicando de manera global que todos los equipos tienen una disponibilidad de 81%, el análisis AMEF se aplicó a 47 activos físicos, obteniendo 115 fallas con 223 modos de fallas, que mediante el número de prioridad de riesgo se obtuvieron 124 fallas indeseables, 66 fallas deseables y 33 fallas aceptables. Concluyendo que el plan de mantenimiento RCM propuso 64 tareas preventivas y predictivas para mejorar el mantenimiento en un 72% al mantenimiento actual, con lo cual la disponibilidad de todos los equipos aumento a un 97%, obteniendo una utilidad de 27 394.46 nuevos soles/mes con una inversión de 45080.00 nuevos soles/año.

Casachagua (2017), en su tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico. Realizada en la Universidad Nacional Del Centro Del Perú (Huancayo - Perú), titulada: “Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM para mejorar la disponibilidad mecánica de la excavadora CAT 336 de la empresa Ecosem Smelter S.A” expone un plan de mantenimiento preventivo mediante un diseño de investigación cuasi-

experimental, aplicando las herramientas del RCM como el análisis de criticidad de equipos y AMEF. El análisis de criticidad se aplicó en 5 ponderaciones: frecuencia de fallas, costos de mantenimiento, impacto operacional, flexibilidad operacional y seguridad y medio ambiente determinando que los componentes más críticos de las excavadoras son 7 (Turbocompresor, bomba de combustible, cilindro-pistón, árbol de levas, cigüeñal, transmisión, válvulas de escape) los cuales originan una disponibilidad de 81%. Mientras el AMEF encontró 65 modos de falla potenciales que originan una pérdida de 1846 horas/año con un costo de producción de 67453.00 nuevos soles/año. Concluyendo que con la aplicación del plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM la disponibilidad mejora en un 90%.

Martínez (2009), en su investigación titulada para obtener el grado de Ingeniero Mecánico. Realizada en la Universidad de Oriente (Barcelona– Venezuela), titulada: “Propuesta para el incremento de la confiabilidad de los equipos críticos, basado en un análisis causa raíz”. Se realizó un estudio pre-experimental usando los métodos ACR, AMEF y NPR, para analizar la causa raíz de las fallas de los motores eléctricos para el accionamiento de bombas hidráulicas, donde inicialmente se determinaron los indicadores de mantenimiento a través del método logarítmico debido a que es el método más ajustado a los valores reales, obteniendo una disponibilidad de 82%, confiabilidad 85% y mantenibilidad 55% que originan una pérdida de 1400 horas/año. El análisis de criticidad se fundamentó en la frecuencia de fallas y 4 consecuencias: costos de mantenimiento, impacto operacional, flexibilidad operacional y seguridad y medio ambiente, donde se determinó que 5 equipos eran críticos (rotor, estator, ventilador, eje de transmisión y rodamientos), realizando una hoja de decisión del AMEF para cada elemento crítico, donde se encontraron 44 modos de fallas que mediante el NPR el 67% fallas fueron indeseables, 26% fallas reducibles a deseables y 7% fallas aceptables. Concluyendo que con la propuesta del plan de mantenimiento basado en el análisis causa raíz los indicadores de mantenimiento como la disponibilidad aumentó en 95%, la confiabilidad en 93% y la mantenibilidad se mantuvo constante con el mismo valor de 55%.

Suniaga (2010), en su investigación para obtener el grado de Ingeniero Mecánico. Realizado en la Universidad Nacional Experimental De Guayana (Guayana – Guayana), titulada: "Diseño del programa de mantenimiento preventivo a la maquinaria pesada perteneciente a la empresa Venezuelan Heavy Industries S.A. (Vhicoa)". Utilizo el método de investigación experimental, haciendo uso del método AMEF, donde se evaluó los indicadores actuales de la maquinaria pesada tales como: cargadores frontales, excavadoras, retroexcavadoras, motoniveladoras y camiones de acarreo, obteniendo una disponibilidad en el rango de 75% - 82%, confiabilidad de 78% - 83%, debido a un aumento de 423 OTM (ordenes de trabajo de mantenimiento) correctivas y preventivas que originaron una pérdida de 2667 horas por mantenimiento no programado, debido a esta problemática se implementó el mantenimiento preventivo pero fundamentado en el análisis de modos y efectos de fallos AMEF, incrementando la confiabilidad en un rango de 88- 95%, la confiabilidad en 88- 94%. Concluyendo que con la ejecución del mantenimiento preventivo se redujo los costos de mantenimiento hasta en un 71.50%.

Lavalle (2012), en su trabajo de investigación para obtener el grado de Ingeniero Mecánico. Llevado a cabo en la Universidad Cesar Vallejo (Trujillo – Perú), titulada: "Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para motores a gas de dos tiempos utilizados en pozos petroleros, con vista al aumento de su fiabilidad operacional". Utilizo el diseño de investigación pre-experimental, utilizando el método AMEF y NPR, para estudiar el comportamiento de 120 motores a gas natural, con una confiabilidad inicial de 84.50% el cual es un valor crítico para la empresa en condiciones actuales es muy crítica con un valor porcentual de 84.50%, pero mediante la implementación del RCM a través del AMEF que se basa en hojas de información y decisiones, se aumentó la confiabilidad a un valor de 98%. Concluyendo, que la implementación del RCM requiere de una inversión de S/.160800.00 con un beneficio de 3089052.00 S/. /año y un periodo de retorno de la inversión de 19 días.

Gómez (2012), en su tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico, realizada en la Universidad Cesar Vallejo (Trujillo - Perú) realizó el "Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para el taller mecánico de la Empresa Transpesa S.A.C", utilizó el método de investigación pre-experimental para estudiar 54 fallas críticas encontradas en la maquinaria de maestría con una disponibilidad mínima de 75%, para su solución empleo el AMEF encontrando 112 modos de fallos lo que permitió plantear 50 tareas de

mantenimiento preventivas para aumentar la disponibilidad a un máximo porcentual de 10.1%. Concluyendo que el sistema de gestión de mantenimiento reducirá las horas perdidas de 2560 horas a 384 horas, obteniendo un beneficio de 150897.89 S/. /año, con una inversión de 67890.00 nuevos soles lo que permite un retorno operacional de la inversión de 6 meses.

1.3 Teorías relacionadas al tema

- Mantenimiento centrado en la confiabilidad:

El fundamento principal del mantenimiento centrado en la confiabilidad MCC o RCM, es incrementar la disponibilidad de los activos físicos de una maquina u/o equipo, aumentando proporcionalmente la confiabilidad y reduciéndose la mantenibilidad, permitiendo minimizar las horas perdidas no programadas que impiden cumplir con los tiempos de producción que elevan los costos de mantenimiento, (Moubray, 2004).

Asimismo, podemos indicar que el mantenimiento centrado en la confiabilidad es una herramienta de un sistema de gestión de mantenimiento, que permite optimizar los indicadores de mantenimiento, mediante la identificación de los modos, efectos y causas de las fallas que provocan los tiempos perdidos, logrando tomar medidas correctivas, preventivas o predictivas para evitar dichas fallas, para lo cual se formulan 7 preguntas: ¿Cuáles son las funciones del activo físico?, ¿Cómo falla el activo físico?, ¿Cuál es la causa de cada falla?, ¿Qué parámetros monitorizan o alertan la falla?, ¿Qué consecuencias tiene cada falla?, ¿Cómo puede evitarse cada falla? y ¿Qué debe hacerse si no es posible evitar la falla?, (Moubray, 2004).

- Mantenimiento Correctivo:

Es el tipo de mantenimiento inicial o básico, se le conoce también como reactivo, y se aplica o se ejecuta después de haberse producido una avería o falla en un activo físico de una determina equipo o máquina, cuando se ejecutan este tipo de mantenimientos los procesos se detienen originando pérdidas de producción debido al aumento de las horas perdidas TTR (tiempo para reparar), y la reparación de una determina falla depende de la existencia de repuestos disponibles, si la empresa cuenta con un stock de repuestos se le denomina mantenimiento correctivo programado. Este tipo de mantenimiento eleva los costos de producción y reduce la vida útil de los activos físicos, (Moubray, 2004).

- Mantenimiento Preventivo:

El mantenimiento de prevención nace con la necesidad de reducir el TTR (tiempo para reparar) del mantenimiento correctivo, a través de intervenciones periódicas y el cambio de elementos según el tiempo de vida. Este mantenimiento busca la programación en intervalos de tiempos, con la finalidad de examinar, reponer, proteger y remplazar los activos físicos de un equipo, dichas intervenciones se pueden llevar a cabo mientras el equipo siga en funcionamiento u operatividad, aumentando de esta manera el TBF (tiempo entre fallas, o tiempo útil), (Moubray, 2004).

- Mantenimiento Predictivo:

Este mantenimiento nace con la finalidad de reforzar el mantenimiento preventivo, cuantificando de una manera correcta los tiempos o periodos de intervención según el tipo de activo físico, este tipo de mantenimiento trabaja por lo general con las variables más importantes de funcionamiento de una máquina como: temperatura, humedad, contenido de ppm en una sustancia (caso de aceite), vibración, otros, cuya diferenciación de estos parámetros en una máquina ocasionan fallas en los elementos de máquinas. Para aplicar este tipo de mantenimiento es necesario la utilización de equipos como: Cámaras termográficas, banco de aceites, vibrometros, tintes penetrantes, etc. La gran ventaja de este mantenimiento es que se puede realizar cuando el equipo está en funcionamiento, (Moubray, 2004).

- Indicadores del mantenimiento:

Los indicadores generales del mantenimiento son: la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad, los cuales son los fundamentos de guía de un equipo, para evaluar si el equipo está en buen estado o no de operatividad, el objetivo es aumentar la disponibilidad y la confiabilidad, pero reducir o mantener constante la mantenibilidad. Existen diferentes métodos para evaluar los indicadores de mantenimiento, pero el más acertado a los valores reales es el método exponencial cuando se tienen los tiempos perdidos por cada falla y el tiempo entre fallas, (Benjamín, 2016).

a). Evaluación de los tiempos de ejecución del mantenimiento:

Tiempo medio entre fallas (MTBF): Es el periodo promedio útil de funcionamiento de un activo físico u equipo.

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n TBF}{F} \dots \dots \dots (01)$$

Dónde:

- ✓ TMEF: Tiempo promedio entre fallas (horas útiles promedio/falla).
- ✓ TBF: Tiempo entre fallas (horas útil/año).
- ✓ F: número de averías o fallas (veces/año), se contabilizan también las fallas repetitivas.

Tiempo medio para reparar (MTTR): Es el tiempo promedio para reparar un activo físico, tiempo que origina la paralización del equipo.

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n MTTR}{F} \dots \dots \dots (02)$$

Dónde:

- ✓ MTTR: Tiempo promedio para reparar (horas de reparación/falla).
- ✓ TTR: Tiempo para reparar (horas de reparación/año).
- ✓ F: número de averías o fallas (veces/año).

b). Disponibilidad: Es el porcentaje de tiempo para que un activo físico u equipo pueda trabajar sin presentar una avería o falla, se determina:

$$A(t) = \left(\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \right) * 100\% \dots \dots \dots (03)$$

Dónde:

- ✓ A(t): Disponibilidad operacional (%).
- ✓ TMEF: Tiempo promedio entre fallas (horas útiles promedio/falla).
- ✓ MTTR: Tiempo promedio para reparar (horas de reparación/falla).

c). Confiabilidad: Es la fracción de tiempo para que un determinado activo físico trabaje en un intervalo de tiempo propuesto y bajo condiciones específicas.

$$R(t) = \left(e^{\frac{-FR * TTO}{100}} \right) * 100\% \quad \dots \dots \dots (04)$$

Dónde:

- ✓ R(t): Confiabilidad operacional (%)
- ✓ TTO: Tiempo total de operación (horas totales/año).
- ✓ FR: mantenimiento de tasa de fallas $\left(\frac{\text{Fallas}}{\text{horas útil}} \right)$.

Y se expresa:

$$FR = \frac{1}{MTBF} \quad \dots \dots \dots (05)$$

d). Mantenibilidad: Es la probabilidad de reponer un activo físico que ha sufrido una avería o falla en una determinada fracción de tiempo.

$$M(t) = \left(1 - e^{\frac{-RR * TTO}{100}} \right) * 100\% \quad \dots \dots \dots (06)$$

Dónde:

- ✓ M(t): Mantenibilidad mecánica (%)
- ✓ TTO: Tiempo total de estudio o programado (horas totales/año).
- ✓ RR: mantenimiento de tasa de reparaciones $\left(\frac{\text{fallas}}{\text{horas de reparación}} \right)$.

Y se expresa:

$$RR = \frac{1}{MTTR} \quad \dots \dots \dots (07)$$

- Análisis de Criticidad:

Análisis que determina los niveles de criticidad de las fallas de un activo físico, permitiendo clasificarlo en críticos, semi críticos y no críticos. Para determinar la criticidad de un activo físico se utiliza una matriz de frecuencia de fallas por consecuencia (Amendola, 2010). En el anexo A3, se muestra la matriz de criticidad con sus respectivos criterios en cada eje.

La criticidad se determina:

$$\text{Criticidad} = \text{PFF} * \text{CO} \quad \dots \dots \dots (08)$$

Donde:

- PFF: Ponderación de frecuencia de falla
- CO: Consecuencia

Asimismo, la consecuencia se determina:

$$\text{CO} = (\text{PIO} * \text{PFO}) + \text{PCM} + \text{PISMA} \quad \dots \dots \dots (09)$$

Donde:

- PIO: Ponderación Impacto operacional.
- PFO: Ponderación Flexibilidad operacional.
- PCM: Ponderación Costo de mantenimiento.
- PISMA: Ponderación Impacto de seguridad y medio ambiente.

Para determinar o dar un valor a la frecuencia de fallas y consecuencia, se tiene las tablas de ponderaciones en función de ciertos criterios de evaluación, en el anexo A4, se puede observar las tablas de ponderaciones.

- Análisis de modos y efectos de fallas:

Es una herramienta del mantenimiento centrado en la confiabilidad permiten aseverar que los modos de fallas y sus posibles efectos puedan ser entendidos, identificar los principales problemas en el diseño y generar alternativas en el diseño, es decir nos permite identificar el tipo de fallas a través de sus modos y efectos de fallas mediante las hojas de información del

anexo A.5 y sus soluciones a través de tareas preventivas y predictivas en hojas de decisiones y árbol de decisiones de los anexo A.6 y anexo A.7 respectivamente, (Mora, 2009).

- Numero de prioridad de riesgo:

Es una herramienta fundamental del mantenimiento centrado en la confiabilidad, permite evaluar o estimar en que porcentaje se reduce el TTR (tiempo para reparar) de los activos físicos de un equipos. Para ello es necesario evaluar los modos de fallas de cada falla critica, determinando que porcentaje de fallas son indeseables, reducibles y aceptables, esto se logra a través de la ponderación persuasiva de los índices del número de prioridad de riesgo como: la gravedad, ocurrencia y detección que se pueden ver en el anexo A.8, (Lean, 2016).

$$NPR = G * O * D \quad \dots \dots \dots (10)$$

Dónde:

- ✓ Gravedad (G): Es la probabilidad de fallos, está basada únicamente en el modo de fallo.
- ✓ Ocurrencia (O): Es la frecuencia de intervenciones del modo de fallo de una determinada falla crítica.
- ✓ Detección (D): Es la posibilidad de que el modo de fallo pueda ser detectado a tiempo.

Las características de análisis del NPR (Número de Prioridad de Riesgo):

$NPR > 200$ Fallas Intolerables (I).

$125 < NPR \leq 200$ Fallas reducibles deseables (R).

$NPR \leq 125$ Fallas Aceptables (A).

- Periodo de retorno de la inversión:

Es una herramienta del análisis económico, que evalúa dos características la inversión inicial en activos y el beneficio logrado con la implementación del plan de mantenimiento, (Sowell, 2013).

$$PRI = \frac{\text{Inversión inicial en activos}}{\text{Beneficio del plan de mantenimiento}} \quad \dots \dots \dots (11)$$

Dónde: la inversión inicial está en S. / y el beneficio en S. /año.

1.4 Formulación del problema

¿En qué medida el diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad aumentará la disponibilidad de los activos físicos de los camiones cisterna del Consorcio JRamírez E.I.R.L.?

1.5 justificación del estudio

Relevancia económica: La elaboración de este proyecto busca la optimización en el control de fallas dando como resultado reducción de costos por mantenimiento, dando así alta disponibilidad de los camiones cisterna.

Relevancia social: Usando las técnicas de un plan de mantenimiento preventivo, se busca la reducción de costos, reducción de fallas, la mejor productividad y el bienestar para los clientes que se abastecen de este servicio. Y por otro lado se mejorará las condiciones de trabajo de los operarios. Es por todo lo mencionado anteriormente que este proyecto se justifica, ya que para poder aprovechar todas las oportunidades que se están por presentar y las que ya existen hoy en día, las pequeñas y medianas empresas, especialmente la empresa JRamírez E.I.R.L, deben también tener una buena organización en el área de mantenimiento para brindar un servicio confiable y que se encuentre a la altura de las grandes empresas de venta de combustibles.

Relevancia Institucional: La creación del proyecto permitirá aplicar los conocimientos recibidos como profesionales de ingeniería mecánica de la Universidad Cesar Vallejo; los cuales serán los sustentos para la elaboración de este mismo.

Relevancia Tecnológica: El modelo de gestión de mantenimiento, le da un nuevo enfoque al Mantenimiento como una parte necesaria y vital dentro de la industria y la producción. Ya que se hace a un lado el concepto de que el Mantenimiento es exclusivamente correctivo y rompe esquemas integrando nuevas tecnologías para hacer más efectivo a sus resultados.

1.6 Hipótesis

El diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad si aumentará la disponibilidad de los activos físicos de los camiones cisterna del Consorcio JRamírez E.I.R.L.

1.7 Objetivos.

1.7.1 General:

Diseñar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los activos físicos de los camiones cisterna del Consorcio JRamírez E.I.R.L.

1.7.2 Objetivos específicos:

1. Realizar una evaluación inicial a los camiones cisterna del Consorcio JRamírez E.I.R.L
2. Evaluar los indicadores de mantenimiento en condiciones iniciales de los camiones cisterna.
3. Priorizar las fallas de los activos físicos de los camiones cisterna, mediante un evaluación de criticidad de activos físicos.
4. Realizar el AMEF (Análisis de modos y efectos de fallos y NPR (número de prioridad de riesgos) para las fallas críticas.
5. Elaborar un diseño de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad de los activos físicos, estimando la proyección de los indicadores de mantenimiento.
6. Realizar un análisis de costos debido a la influencia del mantenimiento centrado en la confiabilidad propuesto.

II. MÉTODO

2.1 Diseño de investigación: Pre-experimental, debido a que la variable independiente puede sufrir cambios o alteraciones, para mejorarla y proyectarla o estimarla al futuro.

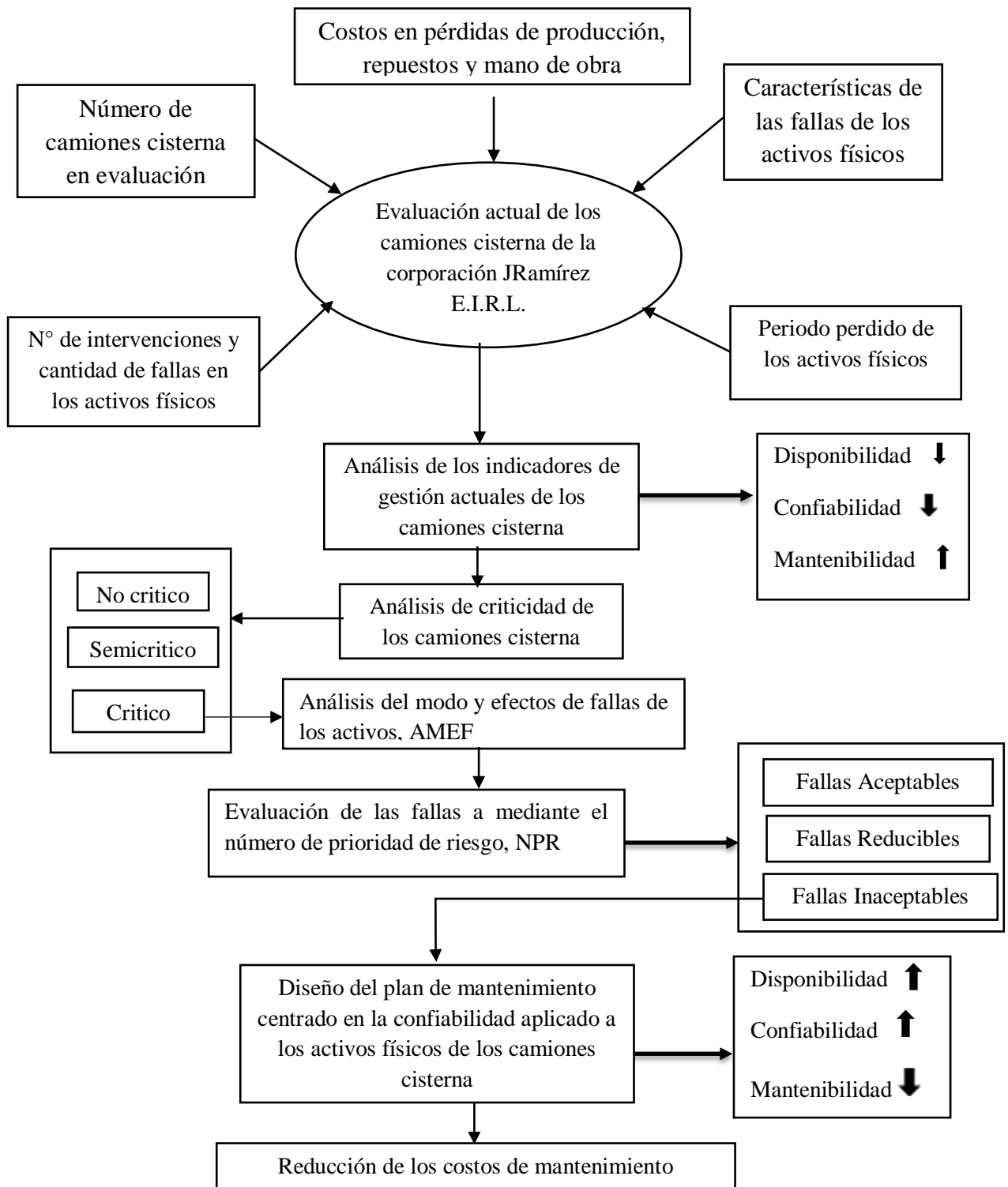


Figura 01. Diagrama de flujo del diseño de estudio

2.2. Variables, operacionalización

Variables Independientes:

- **Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad**
 - ✓ AMEF (Análisis de modos y efectos de fallas)
 - ✓ NPR (Número de prioridad de riesgo)

Variables Dependientes:

- **Disponibilidad de los camiones cisterna**
 - ✓ Incremento de la confiabilidad (%)
 - ✓ Reducción de la mantenibilidad (%)
 - ✓ Costo/Beneficio

Operacionalización de variables:

Tabla 01: Operacionalización de variables independientes y dependientes

Variable	Indicador	Definición de Conceptual	Definición operacional	Escala de medición
Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad	AMEF (Análisis de modos y efectos de fallas)	Analiza las fallas críticas, mediante la formulación de 7 preguntas, para evaluar los modos, efectos y consecuencias de fallas en los activos físicos, con el propósito de minimizar los tiempos perdidos.	Hojas de decisiones y hojas de información	Cualitativa
	NPR (Número de prioridad de riesgo)	Evalúa las fallas más relevantes en los activos físicos, permitiendo clasificarlas en fallas aceptables, reducibles a deseables e inaceptables, siendo estos últimos análisis del diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad.	NPR ≤ 125 Aceptables 125 < NPR ≤ 200 Reducibles NPR > 200 Intolerables	Cuantitativa
Disponibilidad de los camiones cisterna	Confiabilidad	Indicador de mantenimiento basado en la probabilidad de que una máquina u/o equipo efectúe un determinado trabajo bajo situaciones establecidas en un tiempo establecido.	$\left(e^{\frac{-FR*TTO}{100}} \right) * 100\%$	Cuantitativa (%)
	Mantenibilidad	Indicador de mantenimiento basado en la probabilidad de que un activo físico que presenta una falla o avería sea restaurado en un periodo establecido.	$\left(1 - e^{\frac{-RR*TTO}{100}} \right) * 100\%$	Cuantitativa (%)
	Disponibilidad	Indicador de mantenimiento basado en la probabilidad de que un activo físico esté utilizable para desempeñar la función para la cual fue consignado.	$\frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$	Cuantitativa (%)
	Costo/ beneficio	Es la razón de los costos que implican el diseño de un plan de MCC y el beneficio logrado debido al aumento de la disponibilidad, referente a la reducción de las horas pérdidas.	$\frac{C}{B}$	Cuantitativa (años)

2.3 Población y muestra

2.3.1. Población:

Camiones cisterna de transporte de combustible

2.3.2. Muestra:

Camiones cisterna de transporte de combustibles: GLP y líquidos del Consorcio JRamírez E.I.R.L.

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Tabla 02: Técnicas e instrumentos del proyecto

Técnica	Instrumento
Análisis documental	Ficha de registro

2.5 Métodos de análisis de datos

Para el análisis de datos que se manejará para procesar la investigación de las fichas de registro, será mediante el programa Microsoft Excel a través de gráficos de barras y círculos, que nos permitirá obtener valores promedios en función de los tiempos para reparar, tiempos entre fallas, tiempos medios entre fallas, tiempos medios para reparar, frecuencia de fallas, costos de pérdidas de producción, costos en repuestos y costos en mano de obra, que seguido a un cálculo analítico permitirá evaluar técnicamente el estado actual de los camiones cisterna mediante los indicadores de mantenimiento como la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad. Asimismo a través del programa Microsoft Excel se realizará el diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

2.6 Aspectos éticos

El autor de la presente investigación se compromete a salvaguardar la propiedad intelectual, legitimidad de los resultados obtenidos en su estudio, así como la confiabilidad de los datos privados ofrecidos por la empresa JRamírez EIRL y a no exhibir la identidad de las individuos que sean partícipes de esta investigación.

III. RESULTADOS

3.1. EVALUACIÓN INICIAL A LOS CAMIONES CISTERNA DEL CONSORCIO JRAMÍREZ E.I.R.L

El diagnóstico inicial, se fundamenta en las fallas de los activos físicos de los camiones cisterna del Consorcio JRamírez, contempladas en las OTM (Ordenes de Trabajo de Mantenimiento) desde el 01/01/2017 hasta 31/12/2017.

3.1.1) Comportamiento del TBF de las principales fallas de los Camiones cisterna

a) Camión cisterna a GLP T7X 800 Isuzu:

$$\sum \text{TBF} = 220 + 180 + 152 + 235 + 90 + 300 + 125 + 230 + 215 + 250 + 145 + 245 + 123 + 264 + 214 + 36 = 3024 \text{ Horas útil}$$

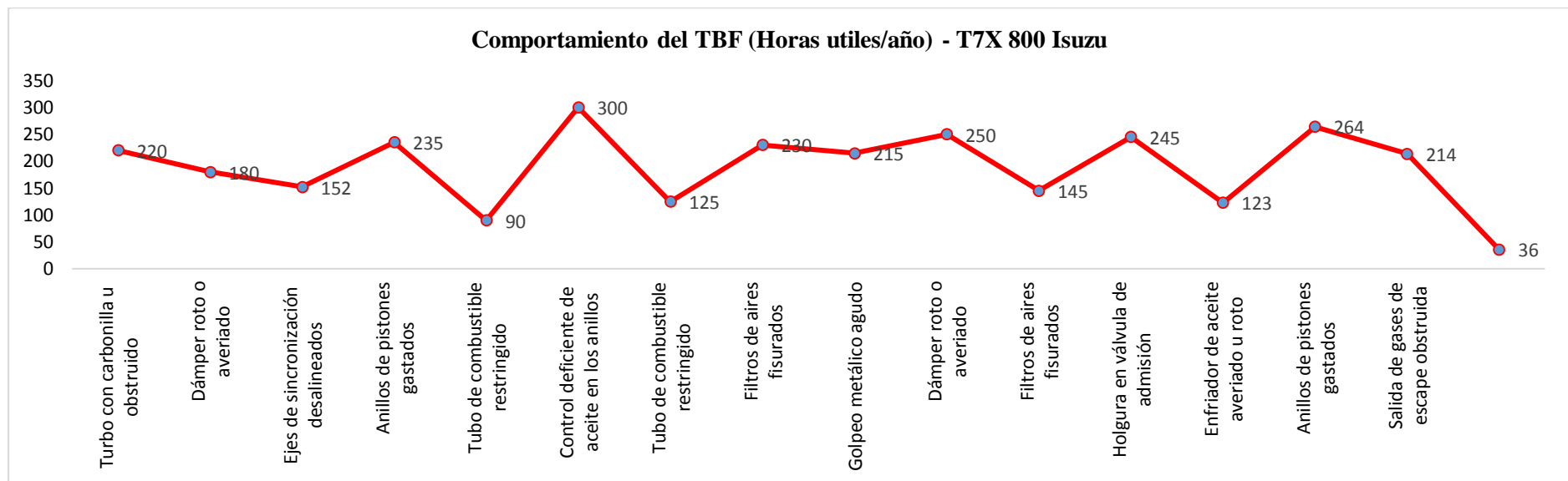


Figura 02: TBF del camión cisterna a GLP T7X 800 Isuzu

b) Camión cisterna a GLP LM3 426 Isuzu:

$$\sum \text{TBF} = 233 + 257 + 305 + 367 + 390 + 312 + 245 + 156 + 570 = 2835 \text{ Horas útil}$$

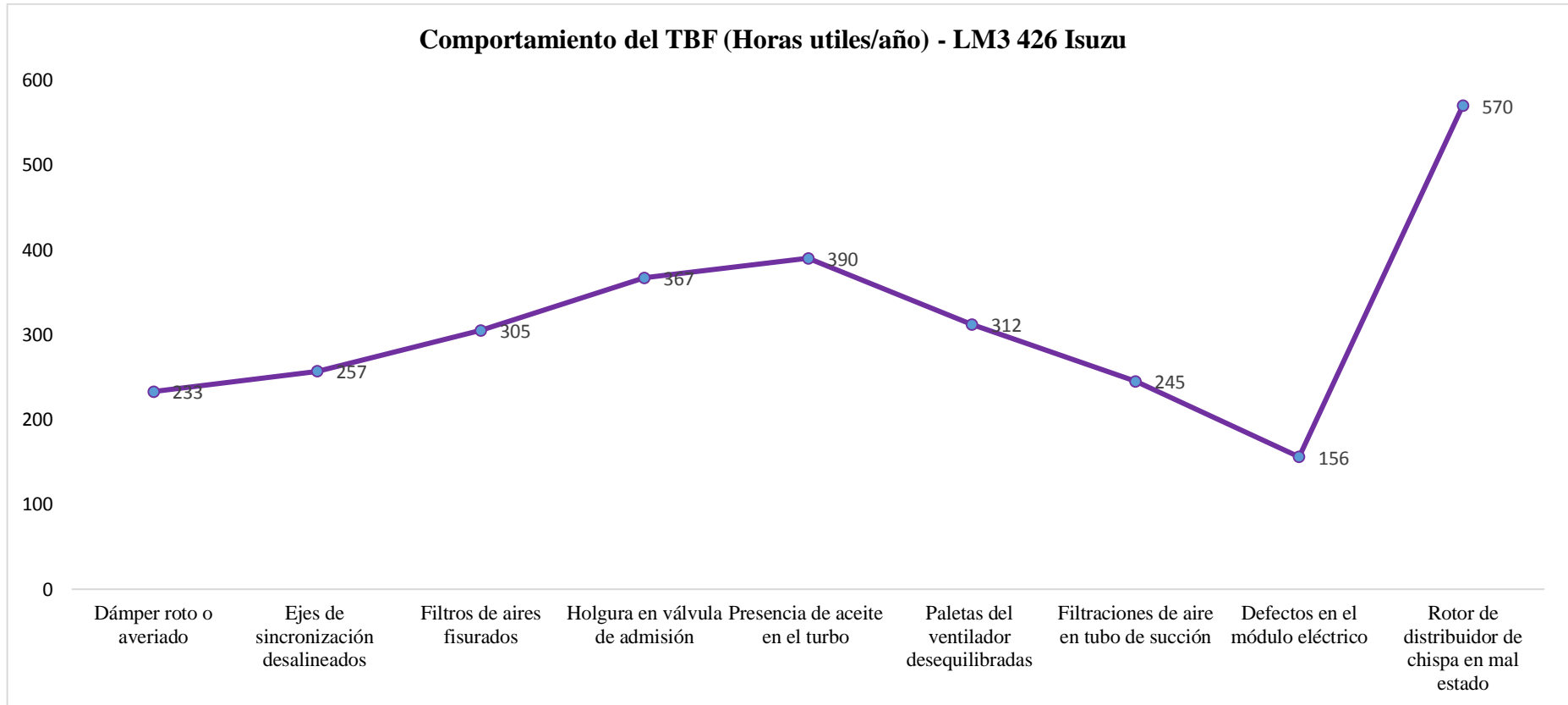


Figura 03: TBF del camión cisterna a GLP LM3 426 Isuzu

c) Camión cisterna de líquidos ALY 732 Internacional:

$$\sum \text{TBF} = 145 + 510 + 100 + 70 + 340 + 20 + 160 + 250 + 130 + 60 + 200 + 170 + 340 + 50 + 120 + 200 + 90 + 140 = 3095 \text{ Horas útil}$$

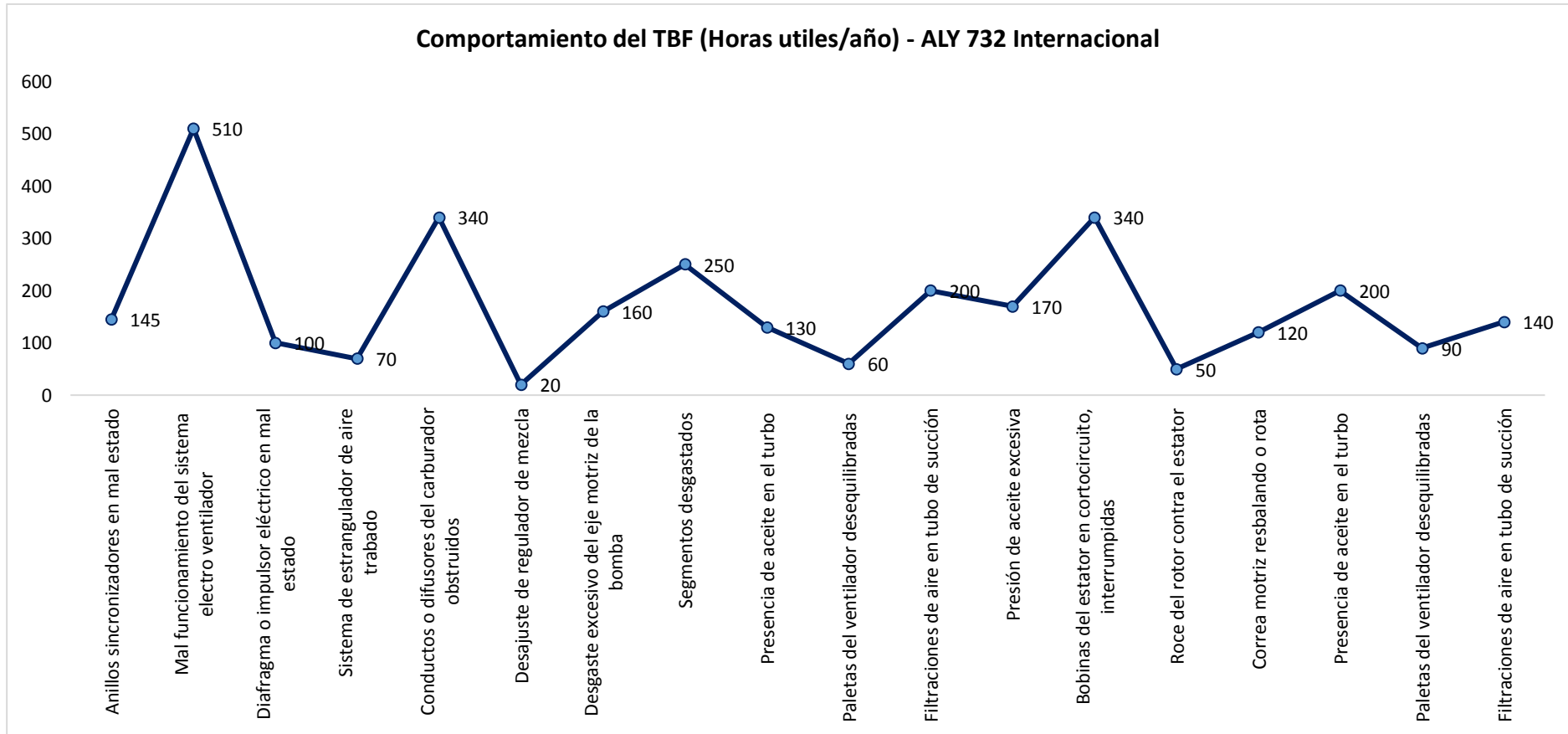


Figura 04: TBF del camión cisterna de líquidos ALY 732 Internacional

d) Camión cisterna de líquidos PAX 633 Internacional:

$$\sum \text{TBF} = 185 + 348 + 375 + 438 + 375 + 250 + 375 + 250 + 375 + 125 + 250 + 220 + 180 = 3746 \text{ Horas útil}$$

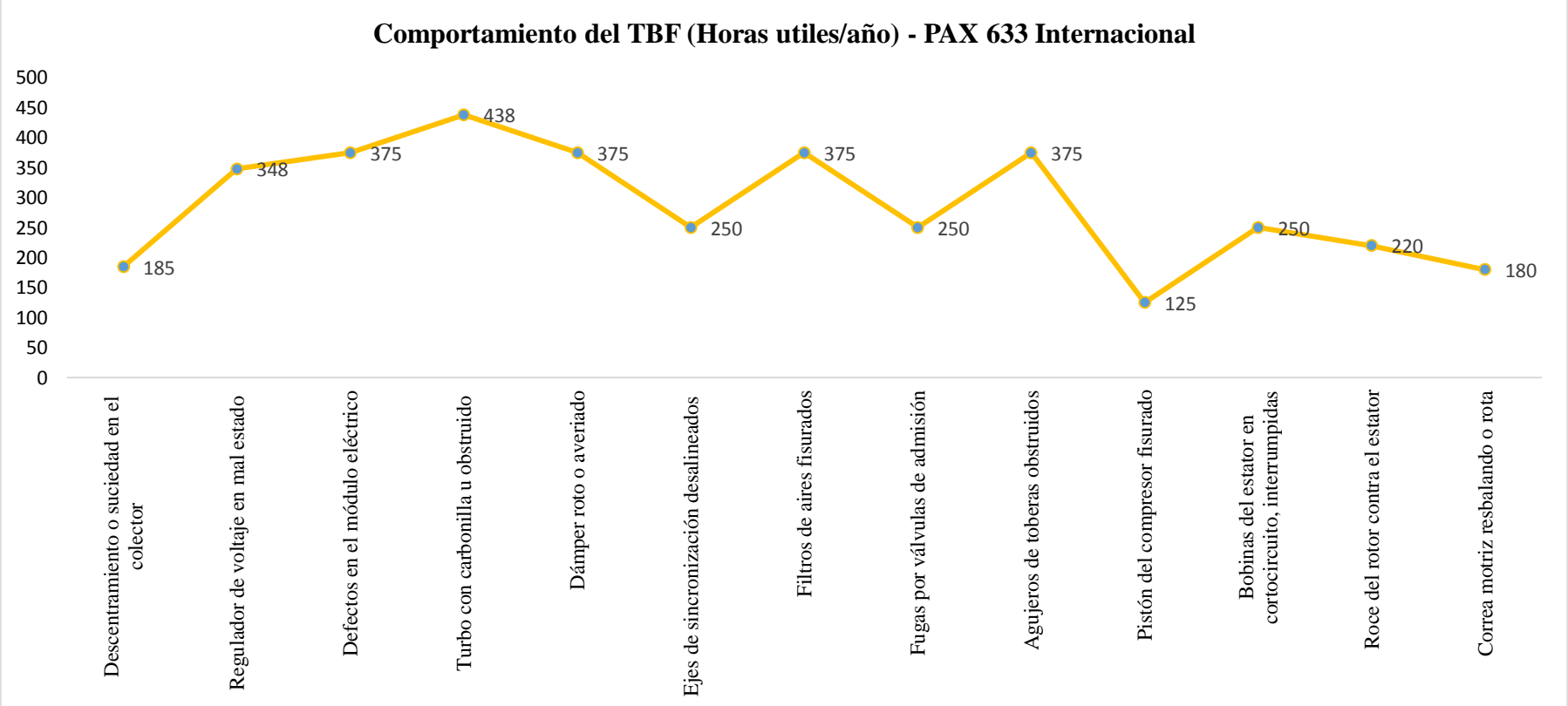


Figura 05: TBF de camión cisterna de líquidos PAX 633 Internacional

e) Camión cisterna de líquidos WPL 480 Internacional:

$$\sum \text{TBF} = 335 + 110 + 306 + 167 + 158 + 307 + 416 + 326 + 215 + 210 + 190 = 2740 \text{ Horas útil}$$

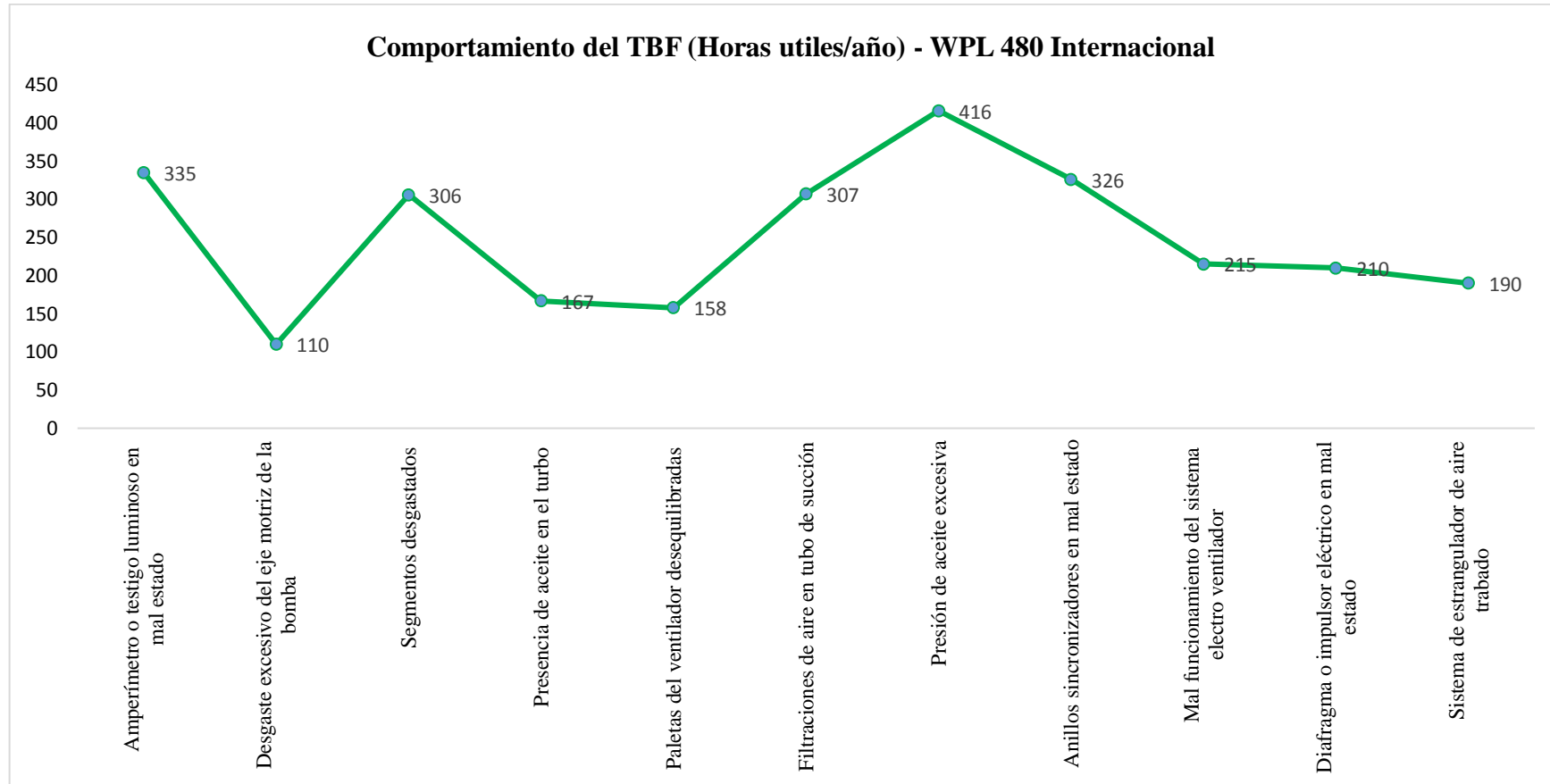


Figura 06: TBF del camión cisterna de líquidos WPL 480 Internacional

3.1.2. Tiempo perdido TTR, en plena producción de los Camiones cisterna del Consorcio JRamírez E.I.R.L.

a) Camión cisterna a GLP T7X 800 Isuzu

$$\sum \text{TTR} = 33 + 36 + 42 + 18 + 24 + 27 + 51 + 24 + 24 + 54 + 33 + 45 + 27 + 55 + 39 + 41 = 573 \text{ Horas pérdidas}$$

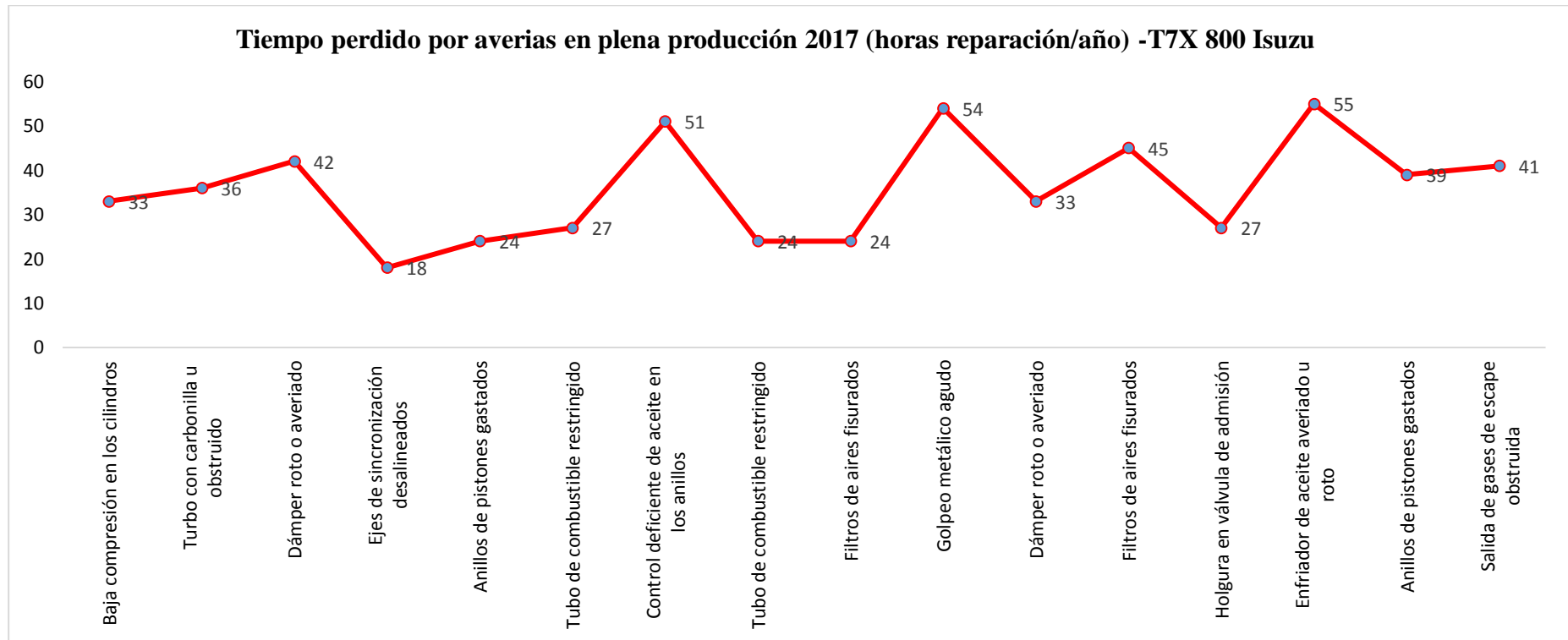


Figura 07: TTR del camión cisterna a GLP T7X 800 Isuzu

b) Camión cisterna a GLP LM3 426 Isuzu:

$$\sum \text{TTR} = 52 + 40 + 28 + 36 + 40 + 68 + 64 + 20 + 43 = 391 \text{ Horas pérdidas}$$

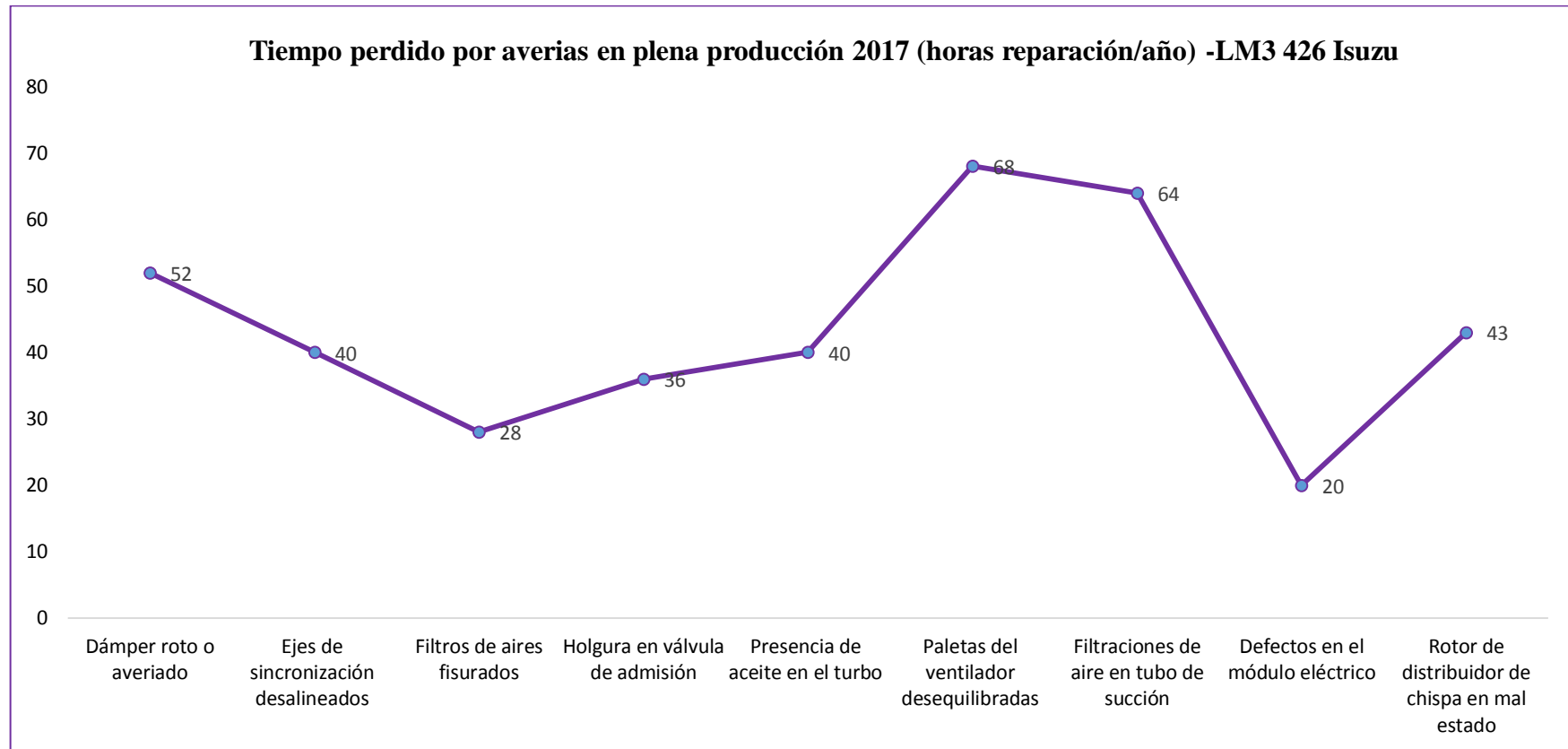


Figura 08: TTR del camión cisterna a GLP LM3 426 Isuzu

c) Camión cisterna de líquidos ALY 732 Internacional:

$$\sum TTR = 21 + 28 + 25 + 15 + 37 + 17 + 26 + 22 + 19 + 29 + 27 + 29 + 22 + 41 + 22 + 33 + 23 + 17 = 453 \text{ Horas pérdidas}$$

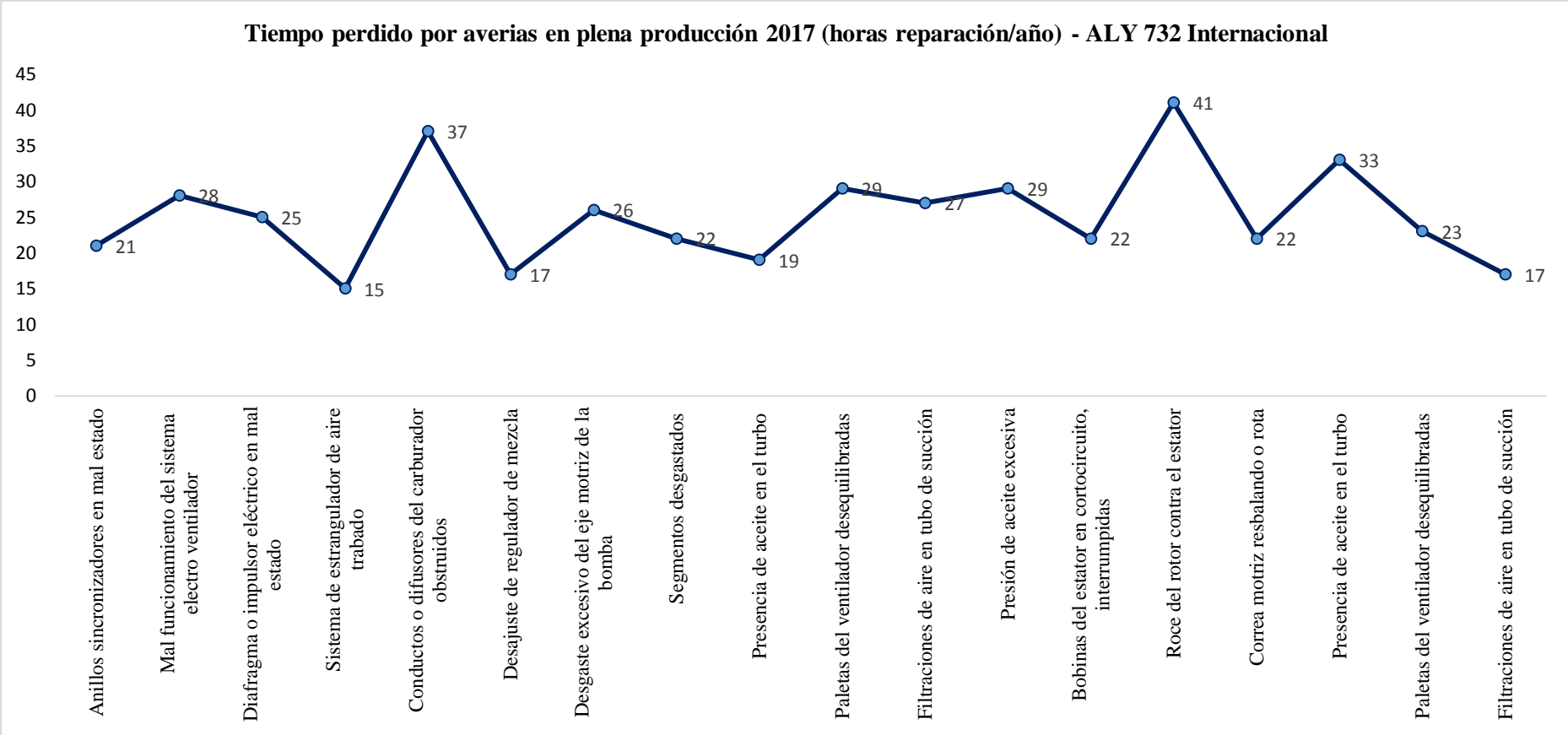


Figura 09: TTR del camión cisterna de líquidos ALY 732 Internacional:

d) Camión cisterna de líquidos PAX 633 Internacional:

$$\sum \text{TTR} = 20 + 45 + 32 + 25 + 28 + 23 + 33 + 36 + 41 + 16 + 40 + 21 + 36 = 396 \text{ Horas pérdidas}$$

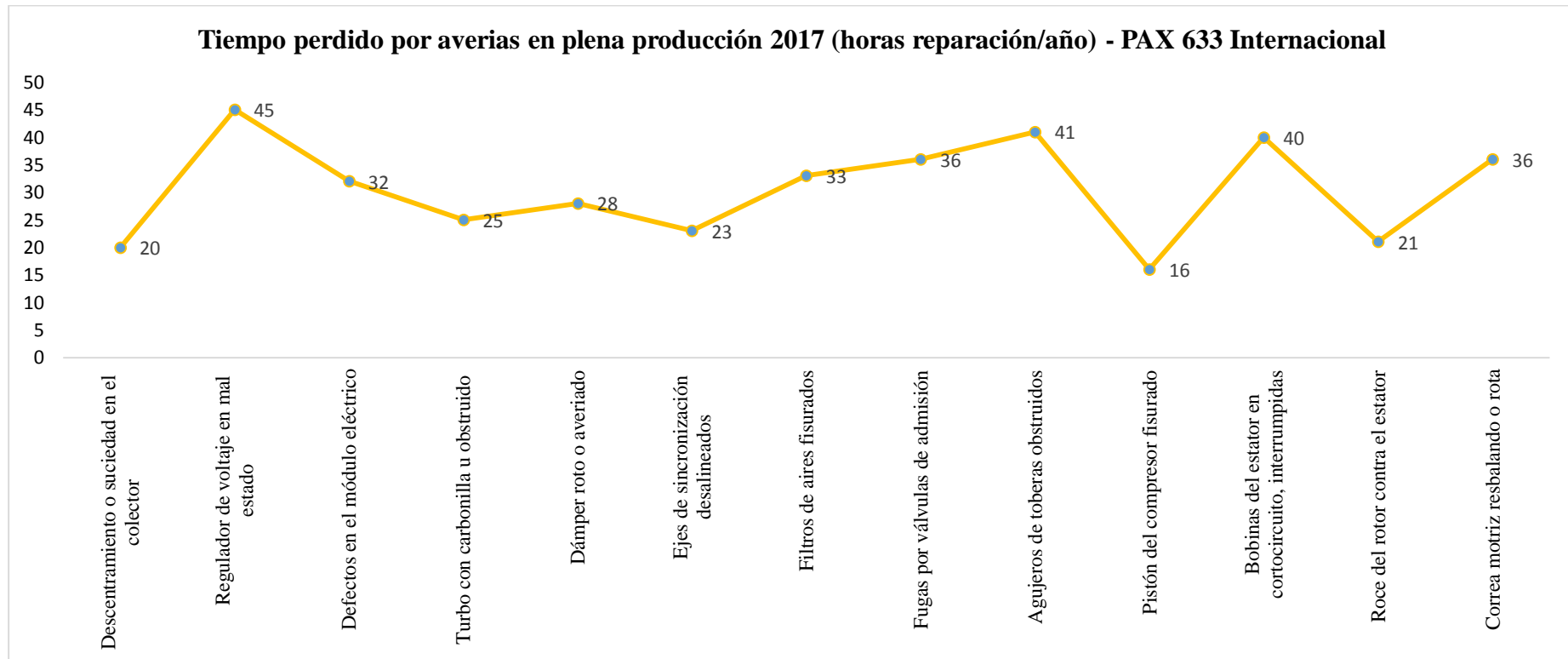


Figura 10: TTR del camión cisterna de líquidos PAX 633 Internacional

e) Camión cisterna de líquidos WPL 480 Internacional:

$$\sum TTR = 51 + 32 + 42 + 25 + 36 + 37 + 47 + 54 + 25 + 41 + 27 = 417 \text{ Horas pérdidas}$$

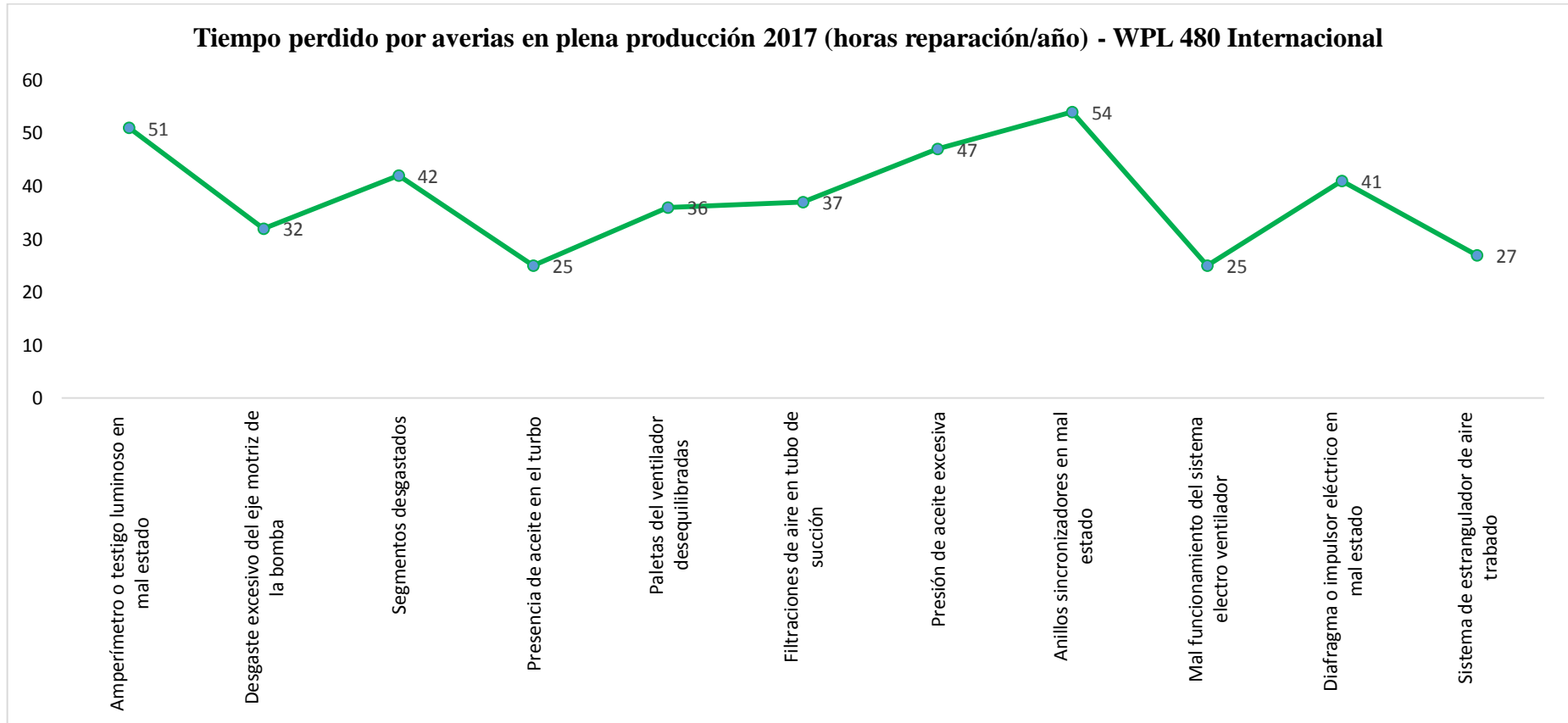


Figura 11: TTR del camión cisterna de líquidos WPL 480 Internacional

3.1.3. Costos en pérdidas de producción por horas perdidas de los Camiones cisterna:

El consorcio JRamírez, pierde la suma de 120.00 nuevos soles/hora de reparación de sus camiones producto de las fallas no previstas en plena operación. Por ejemplo el tiempo perdido del camión T7X 800 es 573 horas/año, su costo en pérdidas de producción sería: (573 horas/año)*(120.00 nuevos soles/hora)=68760.00 nuevos soles/año. Por lo consiguiente el costo total en pérdidas de producción en el periodo 2017 es 267600.00

$$CPP = 68760.00 + 46920.00 + 54360.00 + 47520.00 + 50040.00 = 267600.00$$

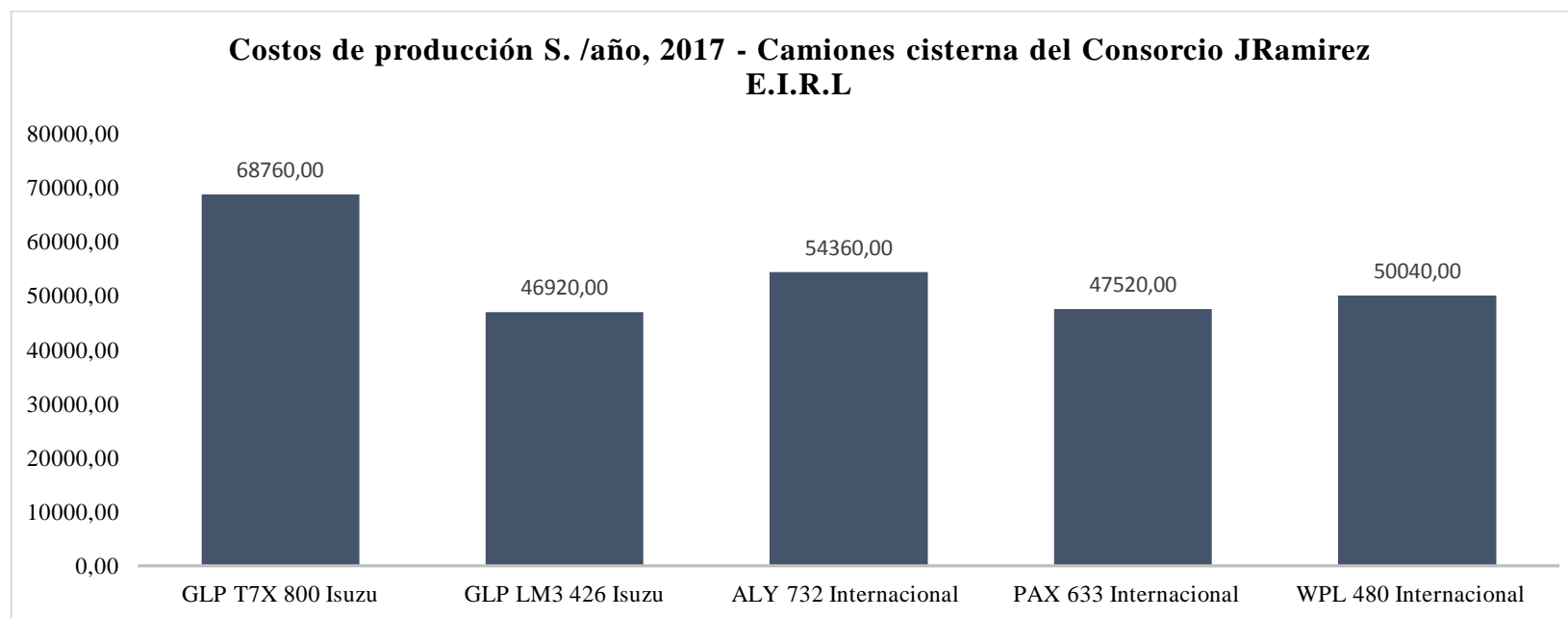


Figura 12: Costos en pérdidas de producción de los camiones cisterna

3.1.4. Costos en repuestos de los Camiones Cisterna del Consorcio JRamírez E.I.R.L.

El consorcio JRamírez, debido a las diversas fallas en sus activos físicos de sus camiones cisterna, genero el año 2017 un costo total en repuestos de 105748.50 nuevos soles/año.

$$CR = 20075.25 + 22888.25 + 17400.00 + 25810.00 + 19575.00 = 105748.50 \text{ nuevos soles/año}$$

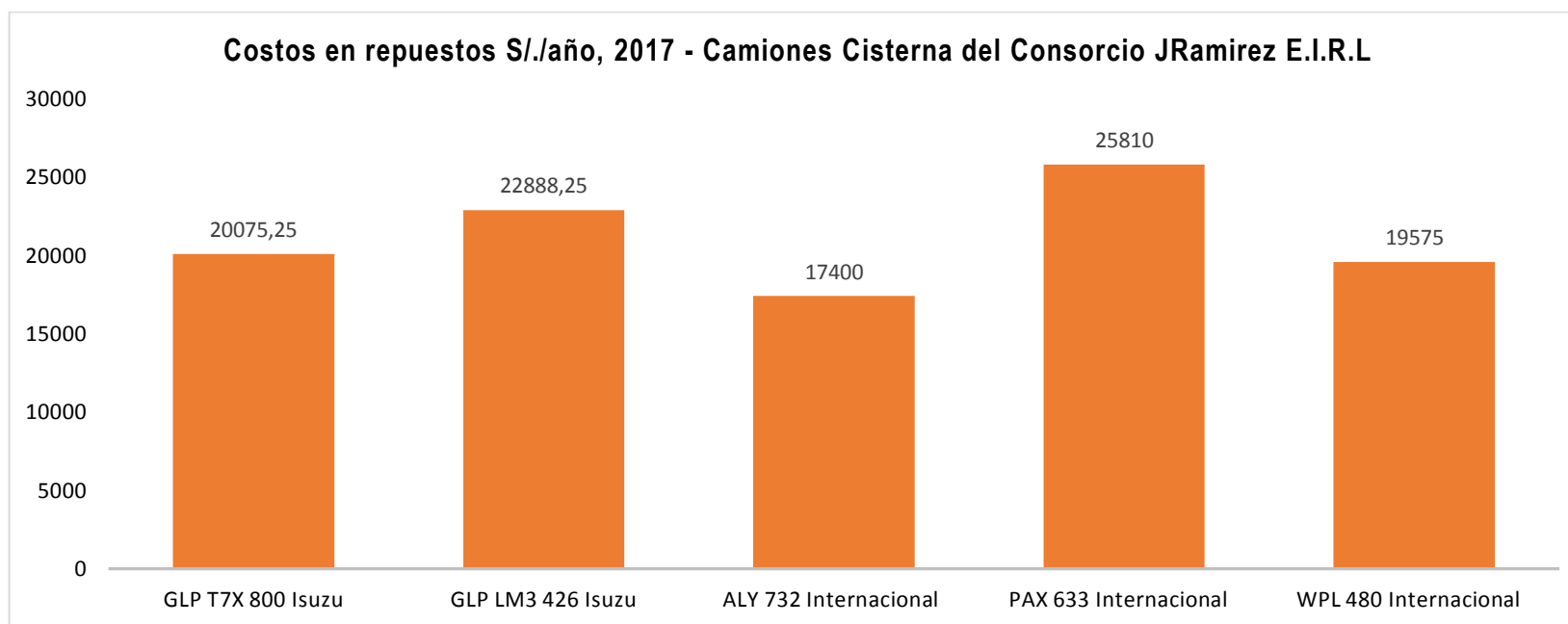


Figura 13: Costos en repuestos de los camiones cisterna

3.1.5. Costos en mano de obra - Talleres externos de los Camiones cisterna del Consorcio JRamírez E.I.R.L.

El consorcio JRamírez, en el periodo 2017 tuvo un costo de mano de obra en talleres externos de 35608.00 nuevos soles/año, para reparar sus camiones cisterna.

$$\text{CMOE} = 4100.00 + 9300.00 + 6370.00 + 7505.00 + 8333.00 = 35608.00 \text{ nuevos soles/año}$$

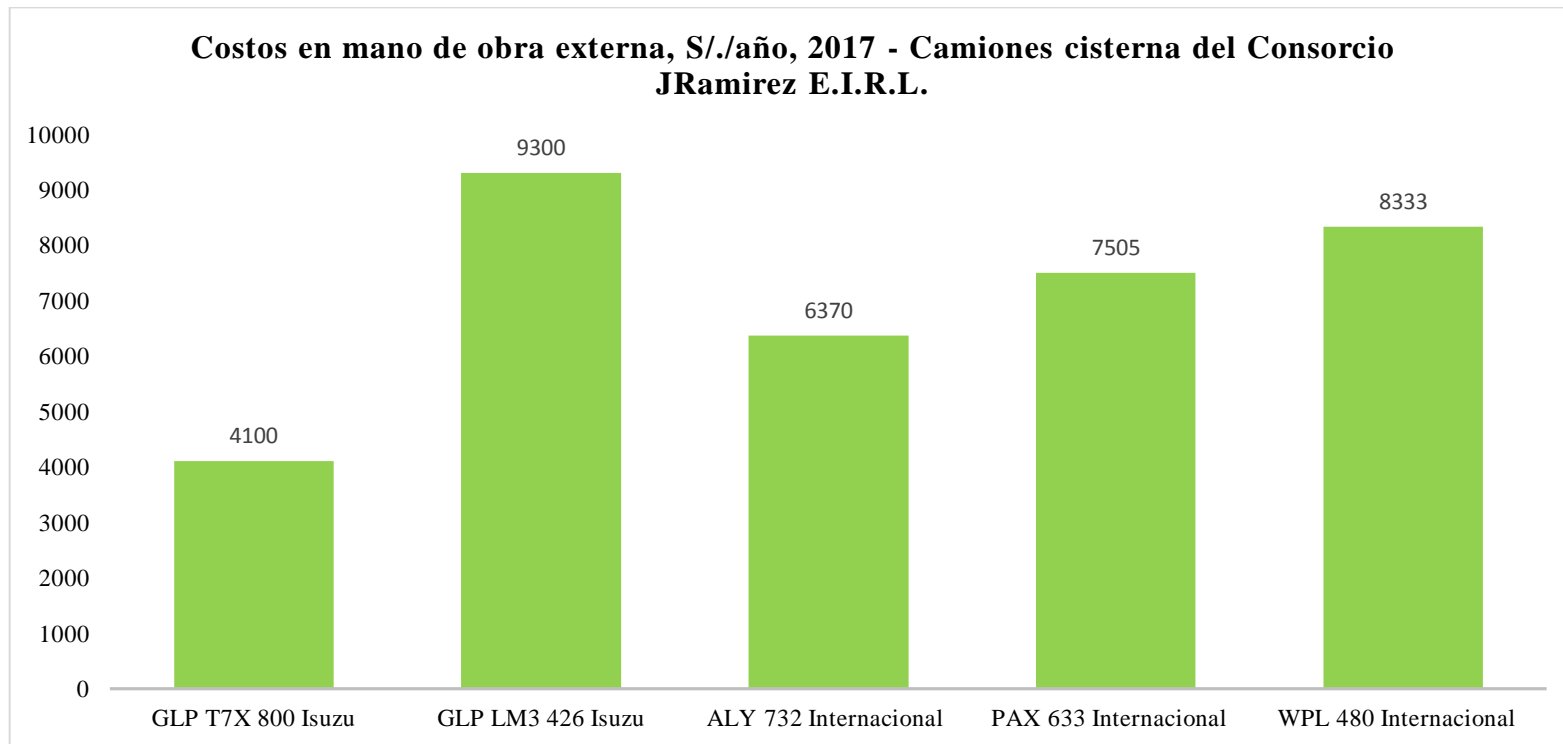


Figura 14: Costos mano de obra externa de los camiones cisterna

3.1.6. Total de costo de mantenimiento por cada camión cisterna del Consorcio JRamírez E.I.R.L.

Para obtener el costo de mantenimiento por cada camión, por ejemplo para el camión cisterna T7X 800 Isuzu, se procedió:

Costo mantenimiento camión cisterna (CMCC) T7X 800 Isuzu = Costo pérdidas de producción + Costo de repuestos + Costo mano de obra

Costo mantenimiento camión cisterna T7X 800 Isuzu = 68760.00 + 20075.25 + 4100.00 = 92935.25 nuevos soles/año

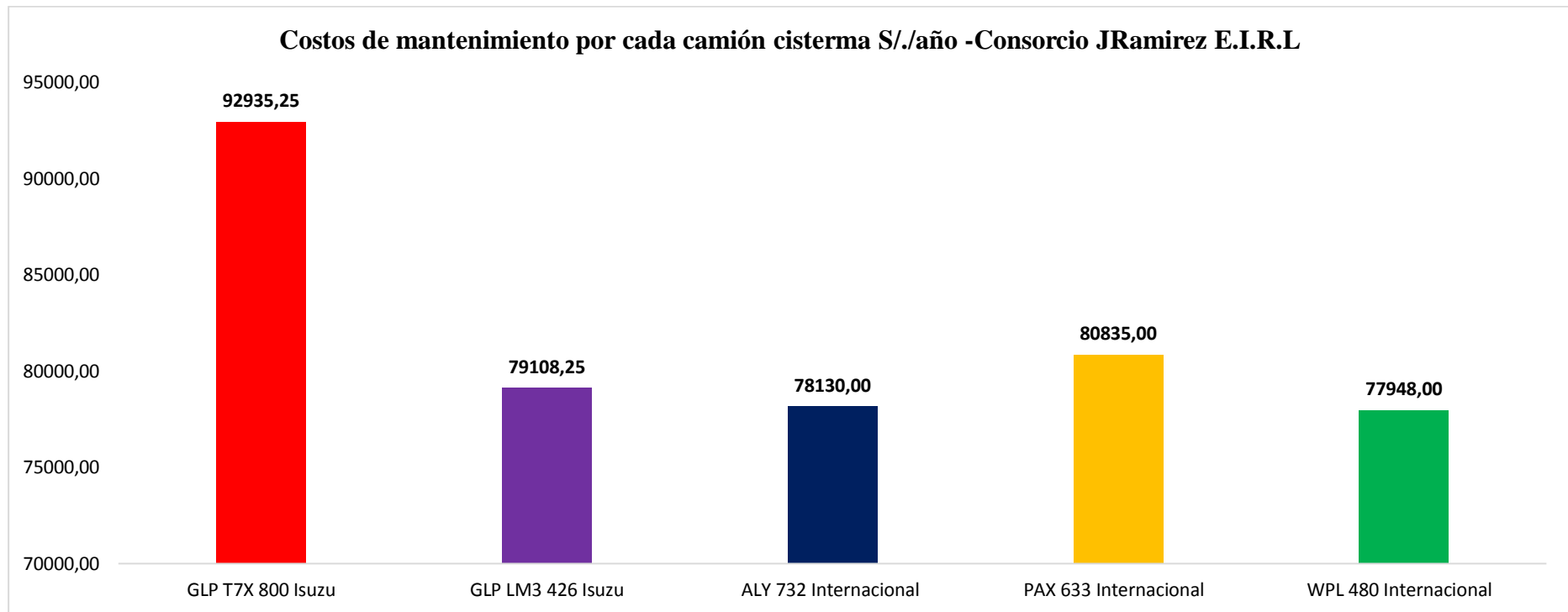


Figura 15: Costos del mantenimiento por cada camiones cisterna

3.1.7. Total por cada costo de mantenimiento de los Camiones cisterna del Consorcio JRamírez E.I.R.L.

El consorcio JRamírez en el año 2017, tuvo una pérdida total de 408956.50 nuevos/año, a causa del tiempo perdido en plena producción por fallas en los activos físicos de los camiones cisterna, trayendo consigo el aumento en los costos de repuestos y mano de obra externa.

$$CTM = CPP + CR + CMOE$$

$$CTM = 267600.00 + 105748.50 + 35608.00 = 408956.50 \text{ nuevos soles/año}$$

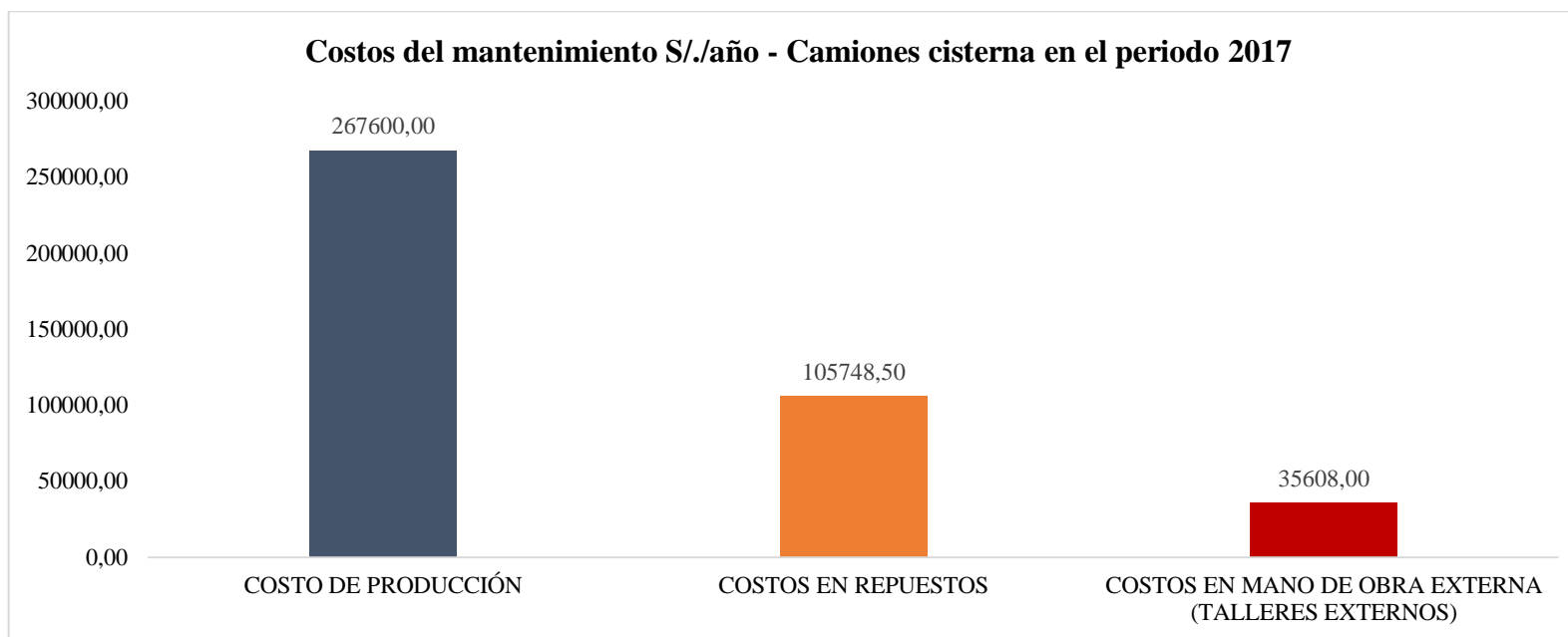


Figura 16: Totales por cada costo del mantenimiento de los camiones cisterna

En la tabla 03, se muestran los resultados de la evaluación inicial a los camiones cisterna del Consorcio JRamírez E.I.R.L, con un tiempo útil para los 5 camiones cisterna en el periodo 2017 de 15440 horas, con un tiempo perdido por fallas en los activos físicos de 2230 horas correspondientes a 67 fallas, ocasionando una pérdida anual de 408956.50 nuevos soles/año.

Tabla 03: Resultados de la evaluación inicial a los camiones cisterna del Consorcio JRamírez E.I.R.L

Camión Cisterna	Tiempo entre fallas, TBF (Horas útil)	Tiempo para reparar, TTR (Horas pérdidas)	Número de fallas F_t	Tiempo total de operación, TTO (Horas totales)	Costos en pérdidas de producción, CPP (S./año)	Costos de repuestos, CR (S./año)	Costos en mano de obra externa, CMOE (S./año)	Costo total mantenimiento por camión, CMCC (S./año)
GLP T7X 800 Isuzu	3024	573	16	3597	68760.00	20075.25	4100.00	92935.25
GLP LM3 426 Isuzu	2835	391	9	3226	46920.00	22888.25	9300.00	79108.25
ALY 732 Internacional	3095	453	18	3548	54360.00	17400.00	6370.00	78130.00
PAX 633 Internacional	3746	396	13	4142	47520.00	25810.00	7505.00	80835.00
WPL 480 Internacional	2740	417	11	3157	50040.00	19575.00	8333.00	77948.00
Total	15440	2230	67	17670	267600.00	105748.50	35608.00	408956.50

3.2. INDICADORES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO ACTUALES DE LOS CAMIONES CISTERNA DEL CONSORCIO JRAMÍREZ E.I.R.L.

a) Indicadores de mantenimiento del camión cisterna a GLP T7X 800 Isuzu:

- Tiempo entre fallas (Time Between Failures):

$$TBF_t = TBF_1 + TBF_2 + \dots + TBF_{16}$$

$$TBF_t = 3024 \text{ Hrs}$$

- Tiempo para reparar (Time To Repair):

$$TTR_t = TTR_1 + TTR_2 + \dots + TTR_{16}$$

$$TTR_t = 573 \text{ Hrs}$$

- Cantidad de Fallas:

$$F_t = n_1 + n_2 + \dots + n_{16}$$

$$F_t = 16$$

- Tiempo medio entre fallas (Medium Time Between Failures):

$$MTBF_t = \frac{TBF_t}{F_t}$$

$$MTBF_t = \frac{3024}{16}$$

$$MTBF_t = 189 \text{ Hrs}$$

- Medium Time To Repair (Tiempo medio para reparar):

$$MTTR_t = \frac{TTR_t}{F_t}$$

$$MTTR_t = \frac{573}{16}$$

$$MTTR_t = 35.8125 \text{ Hrs}$$

- **Tasa de fallas (Failure rate):**

$$FR = \frac{1}{MTBF_t}$$
$$FR = \frac{1}{189} = 5.291 * 10^{-3} \frac{\text{Fallas}}{\text{Hrs operacion}}$$

- **Tasa de reparaciones (Rate repairs):**

$$RR = \frac{1}{MTTR_t}$$
$$RR = \frac{1}{35.8125} = 0.028 \frac{\text{falla}}{\text{Hrs reparacion}}$$

❖ **Disponibilidad (Availability):**

$$A(t) = \frac{MTBF_t}{MTBF_t + MTTR_t}$$
$$A(t) = \frac{189 \text{ Hrs}}{189 \text{ Hrs} + 35.8125 \text{ Hrs}}$$

$$A(t) = 84.07 \%$$

❖ **Confiabilidad (Reliability):**

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

Donde el TTO (Tiempo total de operación), sería la suma del TTR+TBF: 573+3024=3597 Horas totales/año

$$R(t) = \left(e^{\frac{-5.291 * 10^{-3} * 3597}{100}} \right) * 100\%$$

$$C(t) = 82.67 \%$$

❖ **Mantenibilidad (Maintainability) :**

$$M(t) = \left(1 - e^{\frac{-RR \cdot TFO}{100}}\right) * 100\%$$

$$M(t) = \left(1 - e^{\frac{-0.028 * 3597}{100}}\right) * 100\%$$

$$M(t) = 63.47 \%$$

b) Indicadores de mantenimiento del camión cisterna a GLP LM3 426 Isuzu:

- Tiempo entre fallas (Time Between Failures):

$$TBF_t = TBF_1 + TBF_2 + \dots + TBF_9$$

$$TBF_t = 2835 \text{ Hrs}$$

- Tiempo para reparar (Time To Repair):

$$TTR_t = TTR_1 + TTR_2 + \dots + TTR_9$$

$$TTR_t = 391 \text{ Hrs}$$

- Cantidad de Fallas:

$$F_t = n_1 + n_2 + \dots + n_9$$

$$F_t = 9$$

- Tiempo medio entre fallas (Medium Time Between Failures):

$$MTBF_t = \frac{TBF_t}{F_t}$$

$$MTBF_t = \frac{2835}{9}$$

$$MTBF_t = 315 \text{ Hrs}$$

- **Tiempo medio para reparar (Medium Time To Repair):**

$$MTTR_t = \frac{TTR_t}{F_t}$$

$$MTTR_t = \frac{391}{9}$$

$$MTTR_t = 43.444 \text{ Hrs}$$

- **Tasa de fallas (Failure rate):**

$$FR = \frac{1}{MTBF_t}$$

$$FR = \frac{1}{315} = 3.175 * 10^{-3} \frac{\text{Fallas}}{\text{Hrs operacion}}$$

- **Tasa de reparaciones (Rate repairs):**

$$RR = \frac{1}{MTTR_t}$$

$$RR = \frac{1}{43.444} = 0.023 \frac{\text{falla}}{\text{Hrs reparacion}}$$

❖ **Disponibilidad (Availability):**

$$A(t) = \frac{MTBF_t}{MTBF_t + MTTR_t}$$

$$A(t) = \frac{315 \text{ Hrs}}{315 \text{ Hrs} + 43.444 \text{ Hrs}}$$

$$A(t) = 87.88 \%$$

❖ **Confiabilidad (Reliability):**

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

Donde el TTO (Tiempo total de operación), sería la suma del TTR+TBF= 391+2835=3226 Horas totales/año

$$R(t) = \left(e^{\frac{-3.175 \cdot 10^{-3} \cdot 3226}{100}} \right) * 100\%$$

$$C(t) = 90.26\%$$

❖ **Mantenibilidad (Maintainability):**

$$M(t) = \left(1 - e^{\frac{-RR \cdot TTO}{100}} \right) * 100\%$$

$$M(t) = \left(1 - e^{\frac{-0.023 \cdot 3226}{100}} \right) * 100\%$$

$$M(t) = 52.38\%$$

c) Indicadores de mantenimiento del camión cisterna de líquidos ALY 732 Internacional:

- Tiempo entre fallas (Time Between Failures):

$$TBF_t = TBF_1 + TBF_2 + \dots + TBF_{18}$$

$$TBF_t = 3095 \text{Hrs}$$

- Tiempo para reparar (Time To Repair):

$$TTR_t = TTR_1 + TTR_2 + \dots + TTR_{18}$$

$$TTR_t = 453 \text{Hrs}$$

- Cantidad de Fallas:

$$F_t = n_1 + n_2 + \dots + n_{18}$$

$$F_t = 18$$

- **Tiempo medio entre fallas (Medium Time Between Failures):**

$$MTBF_t = \frac{TBF_t}{F_t}$$

$$MTBF_t = \frac{3095}{18}$$

$$MTBF_t = 171.94 \text{ Hrs}$$

- **Tiempo medio para reparar (Medium Time To Repair):**

$$MTTR_t = \frac{TTR_t}{F_t}$$

$$MTTR_t = \frac{453}{18}$$

$$MTTR_t = 25.167 \text{ Hrs}$$

- **Tasa de fallas (Failure rate):**

$$FR = \frac{1}{MTBF_t}$$

$$FR = \frac{1}{171.94} = 5.816 * 10^{-3} \frac{\text{Fallas}}{\text{Hrs operacion}}$$

- **Tasa de reparaciones (Rate repairs):**

$$RR = \frac{1}{MTTR_t}$$

$$RR = \frac{1}{25.167} = 0.0397 \frac{\text{falla}}{\text{Hrs reparacion}}$$

❖ **Disponibilidad (Availability):**

$$A(t) = \frac{MTBF_t}{MTBF_t + MTTR_t}$$

$$A(t) = \frac{171.94 \text{ Hrs}}{171.94 \text{ Hrs} + 25.167 \text{ Hrs}}$$

$$A(t) = 87.23 \%$$

❖ **Confiabilidad (Reliability):**

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

Donde el TTO (Tiempo total de operación), sería la suma del TTR+TBF=3095+453=3548 Horas totales/año

$$R(t) = \left(e^{\frac{-5.816 \cdot 10^{-3} \cdot 3548}{100}} \right) * 100\%$$

$$R(t) = 81.35\%$$

❖ **Mantenibilidad (Maintainability):**

$$M(t) = \left(1 - e^{\frac{-RR \cdot TTO}{100}} \right) * 100\%$$

$$M(t) = \left(1 - e^{\frac{-0.0397 \cdot 3548}{100}} \right) * 100\%$$

$$M(t) = 75.55 \%$$

d) Indicadores de mantenimiento del camión cisterna de líquidos PAX 633 Internacional:

- Tiempo entre fallas (Time Between Failures):

$$TBF_t = TBF_1 + TBF_2 + \dots + TBF_{13}$$

$$TBF_t = 3746 \text{ Hrs}$$

- Tiempo para reparar (Time To Repair):

$$TTR_t = TTR_1 + TTR_2 + \dots + TTR_{13}$$

$$TTR_t = 396 \text{ Hrs}$$

- Cantidad de Fallas:

$$F_t = n_1 + n_2 + \dots + n_{13}$$

$$F_t = 13$$

- Tiempo medio entre fallas (Medium Time Between Failures):

$$MTBF_t = \frac{TBF_t}{F_t}$$

$$MTBF_t = \frac{3746}{13}$$

$$MTBF_t = 288.15 \text{ Hrs}$$

- Tiempo medio para reparar (Medium Time To Repair):

$$MTTR_t = \frac{TTR_t}{F_t}$$

$$MTTR_t = \frac{396}{13}$$

$$MTTR_t = 30.46 \text{ Hrs}$$

- Tasa de fallas (Failure rate):

$$FR = \frac{1}{MTBF_t}$$

$$FR = \frac{1}{288.15} = 3.4704 * 10^{-3} \frac{\text{Fallas}}{\text{Hrs operacion}}$$

- Tasa de reparaciones (Rate repairs):

$$RR = \frac{1}{MTTR_t}$$

$$RR = \frac{1}{30.46} = 0.0328 \frac{\text{falla}}{\text{Hrs reparacion}}$$

❖ **Disponibilidad (Availability):**

$$A(t) = \frac{MTBF_t}{MTBF_t + MTTR_t}$$

$$A(t) = \frac{288.15 \text{ Hrs}}{288.15 \text{ Hrs} + 30.46 \text{ Hrs}}$$

$$A(t) = 90.44 \%$$

❖ **Confiabilidad (Reliability):**

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

Donde el TTO (Tiempo total de operación), sería la suma del TTR+TBF=396+3746=4142 Horas totales/año

$$R(t) = \left(e^{\frac{-3.4704 * 10^{-3} * 4142}{100}} \right) * 100\%$$

$$R(t) = 86.61\%$$

❖ **Mantenibilidad (Maintainability):**

$$M(t) = \left(1 - e^{\frac{-RR \cdot TTO}{100}} \right) * 100\%$$

$$M(t) = \left(1 - e^{\frac{-0.0328 * 4142}{100}} \right) * 100\%$$

$$M(t) = 74.30 \%$$

e) Indicadores de mantenimiento del camión cisterna de líquidos WPL 480 Internacional:

- Tiempo entre fallas (Time Between Failures):

$$TBF_t = TBF_1 + TBF_2 + \dots + TBF_{11}$$

$$TBF_t = 2740 \text{ Hrs}$$

- Tiempo para reparar (Time To Repair):

$$TTR_t = TTR_1 + TTR_2 + \dots + TTR_{11}$$

$$TTR_t = 417 \text{ Hrs}$$

- Cantidad de Fallas:

$$F_t = n_1 + n_2 + \dots + n_{11}$$

$$F_t = 11$$

- Tiempo medio entre fallas (Medium Time Between Failures):

$$MTBF_t = \frac{TBF_t}{F_t}$$

$$MTBF_t = \frac{2740}{11}$$

$$MTBF_t = 249.10 \text{ Hrs}$$

- Tiempo medio para reparar (Medium Time To Repair):

$$MTTR_t = \frac{TTR_t}{F_t}$$

$$MTTR_t = \frac{417}{11}$$

$$MTTR_t = 37.91 \text{ Hrs}$$

- Tasa de fallas (Failure rate):

$$FR = \frac{1}{MTBF_t}$$

$$FR = \frac{1}{249.10} = 4.014 * 10^{-3} \frac{\text{Fallas}}{\text{Hrs operacion}}$$

- Tasa de reparaciones (Rate repairs):

$$RR = \frac{1}{MTTR_t}$$

$$RR = \frac{1}{37.91} = 0.0264 \frac{\text{falla}}{\text{Hrs reparacion}}$$

❖ Disponibilidad (Availability):

$$A(t) = \frac{MTBF_t}{MTBF_t + MTTR_t}$$

$$A(t) = \frac{249.10 \text{ Hrs}}{249.10 \text{ Hrs} + 37.91 \text{ Hrs}}$$

$$A(t) = 86.79\%$$

❖ Confiabilidad (Reliability):

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

Donde el TTO (Tiempo total de operación), sería la suma del TTR+TBF=417+2740=3157 Horas totales/año

$$R(t) = \left(e^{-\frac{4.014 * 10^{-3} * 3157}{100}} \right) * 100\%$$

$$C(t) = 88.10 \%$$

❖ Mantenibilidad (Maintainability):

$$M(t) = \left(1 - e^{-\frac{RR * TTO}{100}} \right) * 100\%$$

$$M(t) = \left(1 - e^{-\frac{0.0264 * 3129}{100}} \right) * 100\%$$

$$M(t) = 56.22 \%$$

En la siguiente tabla 04, se muestran los resultados porcentuales de la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad actual de los camiones cisterna del Consorcio JRamírez E.I.R.L.

Tabla 04: Indicadores de gestión de mantenimiento actuales de los camiones cisterna del Consorcio JRamírez E.I.R.L

Camiones cisterna del Consorcio JRamírez E.I.R.L	Disponibilidad (%)	Confiabilidad (%)	Mantenibilidad (%)
Camión cisterna a GLP T7X 800 Isuzu	84.07	82.67	63.47
Camión cisterna a GLP LM3 426 Isuzu	87.88	90.26	52.38
Camión cisterna de líquidos ALY 732 Internacional	87.23	81.35	75.55
Camión cisterna de líquidos PAX 633 Internacional	90.44	86.61	74.30
Camión cisterna de líquidos WPL 480 Internacional	86.79	88.10	56.22

3.3. ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LOS SISTEMAS DE LOS ACTIVOS FÍSICOS DE LOS CAMIONES CISTERNA DEL CONSORCIO JRAMÍREZ E.I.R.L

Para el análisis de criticidad, se reunirán todas las 67 fallas de los 5 camiones cisterna, ubicándolas según su activo físico. Por ejemplo la falla turbo con carbonilla u obstruido, pertenece al activo físico Turbocompresor.

Tabla 05: Fallas con sus respectivos activos físicos de los camiones cisterna

ÍTEM	DETALLE DE LA FALLA	ACTIVO FÍSICO	TTR (Horas/año)
CAMIÓN CISTERNA A GLP T7X 800 ISUZU			
1	Baja compresión en los cilindros	Cilindro	33
2	Turbo con carbonilla u obstruido	Turbocompresor	36
3	Dámper roto o averiado	Cigüeñal	42
4	Ejes de sincronización desalineados	Árbol de levas	18
5	Anillos de pistones gastados	Pistón	24
6	Tubo de combustible restringido	Bomba de combustible	27
7	Control deficiente de aceite en los anillos	Pistón	51
8	Tubo de combustible restringido	Bomba de combustible	24
9	Filtros de aires fisurados	Filtros de aire	24
10	Golpeo metálico agudo	Frenos	54
11	Dámper roto o averiado	Cigüeñal	33
12	Filtros de aires fisurados	Filtros de aire	45
13	Holgura en válvula de admisión	Válvula admisión	27
14	Enfriador de aceite averiado u roto	Enfriador de aceite	55
15	Anillos de pistones gastados	Pistón	39
16	Salida de gases de escape obstruida	válvula escape	41
CAMIÓN CISTERNA A GLP LM3 426 ISUZU			
1	Dámper roto o averiado	Cigüeñal	52
2	Ejes de sincronización desalineados	Árbol de levas	40
3	Filtros de aires fisurados	Filtros de aire	28
4	Holgura en válvula de admisión	Válvula admisión	36
5	Presencia de aceite en el turbo	Turbocompresor	40
6	Paletas del ventilador desequilibradas	Ventilador	68
7	Filtraciones de aire en tubo de succión	Cilindro	64
8	Defectos en el módulo eléctrico	Alternador	20
9	Rotor de distribuidor de chispa en mal estado	Distribuidor	43
CAMIÓN CISTERNA DE LÍQUIDOS ALY 732 INTERNACIONAL			
1	Anillos sincronizadores en mal estado	Anillos sincronizadores	21
2	Mal funcionamiento del sistema electro ventilador	Ventilador	28
3	Diafragma o impulsor eléctrico en mal estado	Impulsor eléctrico	25
4	Sistema de estrangulador de aire trabado	Turbocompresor	15
5	Conductos o difusores del carburador obstruidos	Carburador	37
6	Desajuste de regulador de mezcla	Carburador	17
7	Desgaste excesivo del eje motriz de la bomba	Bomba de combustible	26
8	Segmentos desgastados	Pistón	22

9	Presencia de aceite en el turbo	Turbocompresor	19
10	Paletas del ventilador desequilibradas	Ventilador	29
11	Filtraciones de aire en tubo de succión	Cilindro	27
12	Presión de aceite excesiva	Bomba de aceite	29
13	Bobinas del estator en cortocircuito, interrumpidas	Alternador	22
14	Roce del rotor contra el estator	Alternador	41
15	Correa motriz resbalando o rota	Correa de distribución	22
16	Presencia de aceite en el turbo	Turbocompresor	33
17	Paletas del ventilador desequilibradas	Ventilador	23
18	Filtraciones de aire en tubo de succión	Cilindro	17
CAMIÓN CISTERNA DE LÍQUIDOS PAX 633 INTERNACIONAL			
1	Descentramiento o suciedad en el colector	Alternador	20
2	Regulador de voltaje en mal estado	Conductores eléctricos	45
3	Defectos en el módulo eléctrico	Alternador	32
4	Turbo con carbonilla u obstruido	Turbocompresor	25
5	Dámper roto o averiado	Cigüeñal	28
6	Ejes de sincronización desalineados	Árbol de levas	23
7	Filtros de aires fisurados	Filtros de aire	33
8	Fugas por válvulas de admisión	Válvula admisión	36
9	Agujeros de toberas obstruidos	Toberas	41
10	Pistón del compresor fisurado	Turbocompresor	16
11	Bobinas del estator en cortocircuito, interrumpidas	Alternador	40
12	Roce del rotor contra el estator	Alternador	21
13	Correa motriz resbalando o rota	Correa de distribución	36
CAMIÓN CISTERNA DE LÍQUIDOS WLP 480 INTERNACIONAL			
1	Amperímetro o testigo luminoso en mal estado	Alternador	51
2	Desgaste excesivo del eje motriz de la bomba	Bomba de combustible	32
3	Segmentos desgastados	Pistón	42
4	Presencia de aceite en el turbo	Turbocompresor	25
5	Paletas del ventilador desequilibradas	Ventilador	36
6	Filtraciones de aire en tubo de succión	Cilindro	37
7	Presión de aceite excesiva	Bomba de aceite	47
8	Anillos sincronizadores en mal estado	Anillos sincronizadores	54
9	Mal funcionamiento del sistema electro ventilador	Ventilador	25
10	Diafragma o impulsor eléctrico en mal estado	Impulsor eléctrico	41
11	Sistema de estrangulador de aire trabado	Turbocompresor	27
			2230

Mientras que en la tabla 06, se agrupan las fallas repetidas, obteniendo de un total de 67 fallas: 35 fallas distintas y 32 fallas repetitivas. Por ejemplo la falla turbo con carbonilla u obstruido que pertenece al activo físico Turbocompresor, ocurrió 2 veces (en los camiones cisterna PAX 633 y T7X 800) con una suma total de sus TTR de 61 horas/año.

Tabla 06: Agrupación de las fallas con sus respectivos activos físicos

FALLA	DETALLE DE LA FALLA	ACTIVO FÍSICO	TTR (Horas/año)	FRECUENCIA (veces/año)
F1	Baja compresión en los cilindros	Cilindro	33	1
F2	Turbo con carbonilla u obstruido	Turbocompresor	61	2
F3	Dámper roto o averiado	Cigüeñal	155	4
F4	Ejes de sincronización desalineados	Árbol de levas	81	3
F5	Anillos de pistones gastados	Pistón	63	2
F6	Tubo de combustible restringido	Bomba de combustible	51	2
F7	Control deficiente de aceite en los anillos	Pistón	51	1
F8	Filtros de aires fisurados	Filtros de aire	130	4
F9	Golpeo metálico agudo	Frenos	54	1
F10	Holgura en válvula de admisión	Válvula admisión	63	2
F11	Enfriador de aceite averiado u roto	Enfriador de aceite	55	1
F12	Salida de gases de escape obstruida	válvula escape	41	1
F13	Presencia de aceite en el turbo	Turbocompresor	117	4
F14	Paletas del ventilador desequilibradas	Ventilador	156	4
F15	Filtraciones de aire en tubo de succión	Cilindro	145	4
F16	Defectos en el módulo eléctrico	Alternador	52	2
F17	Rotor de distribuidor de chispa en mal estado	Distribuidor	43	1
F18	Anillos sincronizadores en mal estado	Anillos sincronizadores	75	2
F19	Mal funcionamiento del sistema electro ventilador	Ventilador	53	2
F20	Diafragma o impulsor eléctrico en mal estado	Impulsor eléctrico	66	2
F21	Sistema de estrangulador de aire trabado	Turbocompresor	42	2
F22	Conductos o difusores del carburador obstruidos	Carburador	37	1
F23	Desajuste de regulador de mezcla	Carburador	17	1
F24	Desgaste excesivo del eje motriz de la bomba	Bomba de combustible	58	2
F25	Segmentos desgastados	Pistón	64	2
F26	Presión de aceite excesiva	Bomba de aceite	76	2
F27	Bobinas del estator en cortocircuito, interrumpidas	Alternador	62	2
F28	Roce del rotor contra el estator	Alternador	62	2
F29	Correa motriz resbalando o rota	Correa de distribución	58	2
F30	Descentramiento o suciedad en el colector	Alternador	20	1
F31	Regulador de voltaje en mal estado	Conductores eléctricos	45	1
F32	Fugas por válvulas de admisión	Válvula admisión	36	1
F33	Agujeros de toberas obstruidos	Toberas	41	1
F34	Pistón del compresor fisurado	Turbocompresor	16	1

F35	Amperímetro o testigo luminoso en mal estado	Alternador	51	1
			2230	67

Asimismo en la tabla 07, se agrupan las fallas que provengan del mismo activo fijo. Por ejemplo las fallas F2, F13, F21 y F34, pertenecen a un mismo activo físico en este caso al Turbocompresor y con un TTR de 236 y una frecuencia de intervención de 9 veces/año.

Tabla 07: Agrupación de fallas a un mismo activo físico

FALLA	DETALLE DE LA FALLA	ACTIVO FÍSICO	TTR (Horas/año)	Frecuencia (Veces/año)
F1	Baja compresión en los cilindros	Cilindro	178	5
F15	Filtraciones de aire en tubo de succión			
F2	Turbo con carbonilla u obstruido	Turbocompresor	236	9
F13	Presencia de aceite en el turbo			
F21	Sistema de estrangulador de aire trabado			
F34	Pistón del compresor fisurado			
F3	Dámper roto o averiado	Cigüeñal	155	4
F4	Ejes de sincronización desalineados	Árbol de levas	81	3
F5	Anillos de pistones gastados	Pistón	178	5
F7	Control deficiente de aceite en los anillos			
F25	Segmentos desgastados			
F6	Tubo de combustible restringido	Bomba de combustible	109	4
F24	Desgaste excesivo del eje motriz de la bomba			
F8	Filtros de aires fisurados	Filtros de aire	130	4
F9	Golpeo metálico agudo	Frenos	54	1
F10	Holgura en válvula de admisión	Válvula admisión	99	3
F32	Fugas por válvulas de admisión			
F11	Enfriador de aceite averiado u roto	Enfriador de aceite	55	1
F12	Salida de gases de escape obstruida	válvula escape	41	1
F14	Paletas del ventilador desequilibradas	Ventilador	209	6
F19	Mal funcionamiento del sistema electro ventilador			
F20	Diafragma o impulsor eléctrico en mal estado	Impulsor eléctrico	66	2
F22	Conductos o difusores del carburador obstruidos	Carburador	54	2
F23	Desajuste de regulador de mezcla			
F17	Rotor de distribuidor de chispa en mal estado	Distribuidor	43	1
F18	Anillos sincronizadores en mal estado	Anillos sincronizadores	75	2
F26	Presión de aceite excesiva	Bomba de aceite	76	2
F16	Defectos en el módulo eléctrico	Alternador	247	8

F27	Bobinas del estator en cortocircuito, interrumpidas			
F28	Roce del rotor contra el estator			
F30	Descentramiento o suciedad en el colector			
F35	Amperímetro o testigo luminoso en mal estado			
F29	Correa motriz resbalando o rota	Correa de distribución	58	2
F31	Regulador de voltaje en mal estado	Conductores eléctricos	45	1
F33	Agujeros de toberas obstruidos	Toberas	41	1
			2230	67

3.3.1. Ponderación de la frecuencia de fallas en los activos físicos

Para dar ponderación a cada uno de los activos fijos respecto a la frecuencia de fallas, se debe determinar la frecuencia de fallas real, a partir de los rangos de frecuencia de fallas teórico (Amendola, 2010). Donde el objetivo es determinar el valor de “X”, para lo cual se procede de la siguiente manera:

Equivalencia de la frecuencia de fallas teórico máxima = Frecuencia de fallas máximo de los activos físicos

$$4X = 9 \rightarrow X = 2.25 \approx 2$$

Una vez obtenido el valor de “X”, reemplazamos en la columna de equivalencia de la frecuencia de fallas teórico para calcular la frecuencia de fallas real, tal como se muestra en la tabla 08.

Tabla 08: Rangos de frecuencia de fallas real

PONDERACIÓN	FRECUENCIA DE FALLAS TEÓRICO (Veces/año) (Amendola, 2010)	EQUIVALENCIA DE LA FRECUENCIA DE FALLAS TEÓRICO	FRECUENCIA DE FALLAS REAL (veces/año)
4	Mayor a 40 veces/año	Superior a 4X	Mayor a 8 fallas/año
3	20 - 40 veces/año	De 2X a 4X	4 - 8 Fallas/año
2	10 - 20 veces/año	De X a 2X	2 - 4 fallas/año

1	Inferior de 10 veces/año	Inferior de X	Inferior de 2 fallas/año
---	--------------------------	---------------	--------------------------

En la tabla 09, se muestran los valores de ponderación de frecuencia de fallas por cada activo físico de los camiones cisterna.

Tabla 09: Ponderación de frecuencia de fallas para cada activo físico

ACTIVO FÍSICO	FRECUENCIA DE FALLAS (Veces/año)	PONDERACIÓN DE FRECUENCIA DE FALLAS, PFF
Cilindro	5	3
Turbocompresor	9	4
Cigüeñal	4	3
Árbol de levas	3	2
Pistón	5	3
Bomba de combustible	4	3
Filtros de aire	4	3
Frenos	1	1
Válvula admisión	3	2
Enfriador de aceite	1	1
válvula escape	1	1
Ventilador	6	3
Impulsor eléctrico	2	2
Carburador	2	2
Distribuidor	1	1
Anillos sincronizadores	2	2
Bomba de aceite	2	2
Alternador	8	4
Correa de distribución	2	2
Conductores eléctricos	1	1
Toberas	1	1

3.3.2. Ponderación de los costos de mantenimiento en los activos físicos

Para evaluar la ponderación de los costos de mantenimiento en los activos físicos, se procede a determinar el costo total por cada hora pérdida (CTHP), es decir:

$$CTHP = \text{Costo total de mantenimiento} / \text{número de horas pérdidas}$$

$$CTHP = 408956.50 / 2230 = 183.388 \text{ nuevos soles/ hora pérdida}$$

Una vez obtenido el costo total por cada hora pérdida, se procede a determinar los costos en pérdidas de mantenimiento ocasionados por cada activo físico. Por ejemplo en el activo

físico cilindro se tiene un costo en mantenimiento de 32643.06 nuevos soles/año (178 horas pérdidas/año*183.388 nuevos soles/ hora pérdida), tal como se detalla en la tabla 10, para todos los activos físicos.

Tabla 10: Costos en pérdidas de mantenimiento de activos físicos

N°	ACTIVO FÍSICO	TTR (Horas/año)	COSTOS EN PÉRDIDAS DE MANTENIMIENTO (S./año)
1	Cilindro	178	32643.06
2	Turbocompresor	236	43279.57
3	Cigüeñal	155	28425.14
4	Árbol de levas	81	14854.43
5	Pistón	178	32643.06
6	Bomba de combustible	109	19989.29
7	Filtros de aire	130	23840.44
8	Frenos	54	9902.95
9	Válvula admisión	99	18155.41
10	Enfriador de aceite	55	10086.34
11	válvula escape	41	7518.91
12	Ventilador	209	38328.09
13	Impulsor eléctrico	66	12103.61
14	Carburador	54	9902.95
15	Distribuidor	43	7885.68
16	Anillos sincronizadores	75	13754.10
17	Bomba de aceite	76	13937.49
18	Alternador	247	45296.84
19	Correa de distribución	58	10636.50
20	Conductores eléctricos	45	8252.46
21	Toberas	41	7518.91

A continuación se procede determinar los rangos de los costos de mantenimiento real, a partir del costo de mantenimiento teórico, (Amendola, 2010). Según la siguiente formulación:

$$\text{Equivalencia de los costó de Mantenimiento (ECM)} = \frac{\text{Costo total de mantenimiento}}{\text{número de activos físicos}}$$

$$\text{ECM} = 408956.50/21 = 19474.12 \text{ nuevos soles/año}$$

Tabla 11: Rangos de costos de mantenimiento real

PONDERACIÓN	EQUIVALENCIA DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO (ECM)	RANGO DE COSTOS DE MANTENIMIENTO REAL
2	Mayor igual a ECM	Mayor igual a 19474.12
1	Menor o inferior a ECM	Menor o inferior a 19474.12

Tabla 12: Ponderación de los costos de mantenimiento para cada activo físico

ACTIVO FÍSICO	COSTOS EN PÉRDIDAS DE MANTENIMIENTO (S./año)	PONDERACIÓN DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO, PCM
Cilindro	32643.06	2
Turbocompresor	43279.57	2
Cigüeñal	28425.14	2
Árbol de levas	14854.43	1
Pistón	32643.06	2
Bomba de combustible	19989.29	2
Filtros de aire	23840.44	2
Frenos	9902.95	1
Válvula admisión	18155.41	1
Enfriador de aceite	10086.34	1
válvula escape	7518.91	1
Ventilador	38328.09	2
Impulsor eléctrico	12103.61	1
Carburador	9902.95	1
Distribuidor	7885.68	1
Anillos sincronizadores	13754.10	1
Bomba de aceite	13937.49	1
Alternador	45296.84	2
Correa de distribución	10636.50	1
Conductores eléctricos	8252.46	1
Toberas	7518.91	1

3.3.3. Ponderación en impacto operacional, flexibilidad operacional e impacto en seguridad y medio ambiente

Para la ponderación del impacto operacional, flexibilidad operacional e impacto en seguridad y medio ambiente se hace uso directo de los criterios descritos en el anexo A.4 (Amendola, 2010).

Por ejemplo para el activo físico cilindro que consta de 2 fallas (baja compresión y filtraciones de aire) desde el punto de vista del impacto operacional al ocurrir estas fallas el

equipo estará expuesto a una parada parcial por lo que la ponderación correspondiente sería 9, con respecto a la flexibilidad operacional la empresa no cuenta con un stock de repuestos es decir cilindros y tubos de succión para solucionar dichas fallas por lo que la ponderación sería 4 y finalmente con relación al impacto operacional dichas fallas originarían un accidente menor e incidente menor por lo cual su ponderación es 5.

Tabla 13: Ponderaciones en impacto operacional, flexibilidad operacional y seguridad y medio ambiente

ACTIVO FÍSICO	PONDERACIÓN EN IMPACTO OPERACIONAL, PIO	PONDERACIÓN EN FLEXIBILIDAD OPERACIONAL, PFO	PONDERACIÓN EN IMPACTO DE SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE, PISMA
Cilindro	9	4	5
Turbocompresor	10	4	7
Cigüeñal	9	4	3
Árbol de levas	9	4	3
Pistón	10	4	5
Bomba de combustible	10	4	7
Filtros de aire	7	2	2
Frenos	7	2	2
Válvula admisión	7	2	1
Enfriador de aceite	7	2	1
válvula escape	7	2	1
Ventilador	9	4	2
Impulsor eléctrico	7	2	2
Carburador	7	2	2
Distribuidor	7	2	2
Anillos sincronizadores	7	4	2
Bomba de aceite	7	4	3
Alternador	10	4	7
Correa de distribución	7	2	2
Conductores eléctricos	7	2	4
Toberas	7	4	1

En la siguiente tabla 14, se muestran el cálculo de los valores de la consecuencia y criticidad por cada activo físico. Por ejemplo para el activo físico cilindro se procedió de la siguiente manera:

$$\text{Consecuencia} = \text{PIO} * \text{PFO} + \text{PCM} + \text{PISMA}$$

$$\text{Consecuencia} = 9*4 + 2 + 5 = 43$$

$$\text{Criticidad} = \text{Consecuencia} * \text{PFF}$$

$$\text{Criticidad} = 43 * 3 = 129$$

Tabla 14: Valores de consecuencia y criticidad por cada activo físico

ACTIVO FÍSICO	PFF	PCM	PIO	PFO	PISMA	CONSECUENCIA	CRITICIDAD
Cilindro	3	2	9	4	5	43	129
Turbocompresor	4	2	10	4	7	49	196
Cigüeñal	3	2	9	4	3	41	123
Árbol de levas	2	1	9	4	3	40	80
Pistón	3	2	10	4	5	47	141
Bomba de combustible	3	2	10	4	7	49	147
Filtros de aire	3	2	7	2	2	18	54
Frenos	1	1	7	2	2	17	17
Válvula admisión	2	1	7	2	1	16	32
Enfriador de aceite	1	1	7	2	1	16	16
válvula escape	1	1	7	2	1	16	16
Ventilador	3	2	9	4	2	40	120
Impulsor eléctrico	2	1	7	2	2	17	34
Carburador	2	1	7	2	2	17	34
Distribuidor	1	1	7	2	2	17	17
Anillos sincronizadores	2	1	7	4	2	31	62
Bomba de aceite	2	1	7	4	3	32	64
Alternador	4	2	10	4	7	49	196
Correa de distribución	2	1	7	2	2	17	34
Conductores eléctricos	1	1	7	2	4	19	19
Toberas	1	1	7	4	1	30	30

En la figura 17, se muestran la matriz de criticidad de acuerdo a los valores de la consecuencia y ponderación de frecuencias de fallas, para poder clasificar los activos físicos, según su nivel de criticidad.

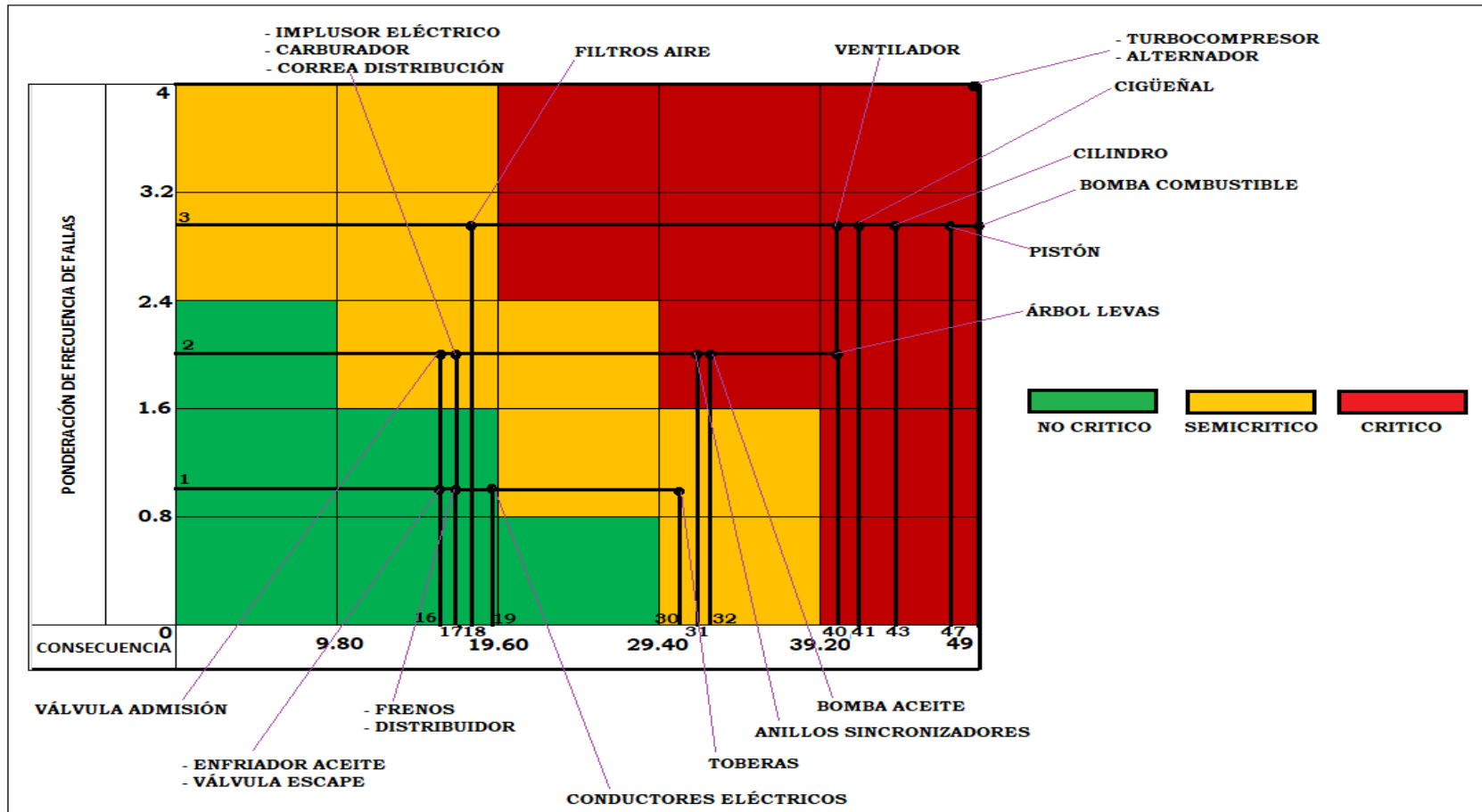


Figura 17: Matriz de criticidad de los activos fijos

En la tabla 15, se detallan los resultados del nivel de criticidad por cada activo físico de los camiones cisterna del Consorcio JRamírez E.I.R.L, donde se tienen 10 activos físicos críticos, 6 semicríticos y 5 no críticos.

Tabla 15: Resultados del análisis de criticidad

ACTIVO FÍSICO	NIVEL DE CRITICIDAD	CRITICIDAD
Cilindro	CRÍTICO	129
Turbocompresor	CRÍTICO	196
Cigüeñal	CRÍTICO	123
Árbol de levas	CRÍTICO	80
Pistón	CRÍTICO	141
Bomba de combustible	CRÍTICO	147
Filtros de aire	SEMICRÍTICO	54
Frenos	NO CRÍTICO	17
Válvula admisión	SEMICRÍTICO	32
Enfriador de aceite	NO CRÍTICO	16
válvula escape	NO CRÍTICO	16
Ventilador	CRÍTICO	120
Impulsor eléctrico	SEMICRÍTICO	34
Carburador	SEMICRÍTICO	34
Distribuidor	NO CRÍTICO	17
Anillos sincronizadores	CRÍTICO	62
Bomba de aceite	CRÍTICO	64
Alternador	CRÍTICO	196
Correa de distribución	SEMICRÍTICO	34
Conductores eléctricos	NO CRÍTICO	19
Toberas	SEMICRÍTICO	30

3.4. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLOS Y NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGOS PARA LAS FALLAS CRÍTICAS

3.4.1. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLOS (AMEF):

Este análisis se realizará a los 10 activos físicos de nivel de clasificación crítico, con sus respectivas fallas los cuales son causantes del 69.24% del total de las horas pérdidas (1544 horas) y del 71.64% de las fallas (48 fallas), tal como se detalla en la tabla 16.

Tabla 16: Fallas de los activos físicos críticos

FALLA	DETALLE DE LA FALLA	ACTIVO FÍSICO	TTR (Horas/año)	Frecuencia (Veces/año)
F1	Baja compresión en los cilindros	Cilindro	178	5
F15	Filtraciones de aire en tubo de succión			
F2	Turbo con carbonilla u obstruido	Turbocompresor	236	9
F13	Presencia de aceite en el turbo			
F21	Sistema de estrangulador de aire trabado			
F34	Pistón del compresor fisurado			
F3	Dámper roto o averiado	Cigüeñal	155	4
F4	Ejes de sincronización desalineados	Árbol de levas	81	3
F5	Anillos de pistones gastados	Pistón	178	5
F7	Control deficiente de aceite en los anillos			
F25	Segmentos desgastados			
F6	Tubo de combustible restringido	Bomba de combustible	109	4
F24	Desgaste excesivo del eje motriz de la bomba			
F14	Paletas del ventilador desequilibradas	Ventilador	209	6
F19	Mal funcionamiento del sistema electro ventilador			
F18	Anillos sincronizadores en mal estado	Anillos sincronizadores	75	2
F26	Presión de aceite excesiva	Bomba de aceite	76	2
F16	Defectos en el módulo eléctrico	Alternador	247	8
F27	Bobinas del estator en cortocircuito, interrumpidas			
F28	Roce del rotor contra el estator			
F30	Descentramiento o suciedad en el colector			
F35	Amperímetro o testigo luminoso en mal estado			
			1544	48

3.4.1.1. Hojas de información de los activos críticos

Tabla 17: Hoja de información del activo físico cilindro

Hoja de información de activos físicos		Equipo:	Realizado Por:		Fecha:	Hoja N°
		Camiones cisterna	Guarniz León Lener Serginho		01- 06 - 2018	1
		Activo físico:	Revisado Por:		Fecha:	De:
		Cilindro	Ing. Martín Teófilo Sifuentes Inostroza			1
Función (F)		Falla Funcional (FF)	Modo de Falla (MF)		Efecto de Falla (EF)	
1. Es el elemento móvil que se basa en transformar la energía liberada de la mezcla aire – combustible en energía mecánica	A	Filtraciones de aire en tubo de succión	1	Presión inadecuada de la bomba de aceite	1	Pérdida de potencia
			2	Anillos obstruidos	2	Excesivo desgaste
	B	Baja compresión en los cilindros	1	Carbonilla acumulada en los anillos y en las paredes de la cámara de combustión	1	Pérdida de potencia
			2	Calibración incorrecta de las válvulas	2	Exceso de consumo de combustible

Tabla 18: Hoja de información del activo físico Turbocompresor.

Hoja de información de activos físicos	Equipo:		Realizado Por:		Fecha:	Hoja N°
	Camiones cisterna		Guarniz León Lener Serginho		01- 06 - 2018	1
	Activo físico:		Revisado Por:		Fecha:	De:
	Turbocompresor		Ing. Martín Teófilo Sifuentes Inostroza			1
Función (F)	Falla Funcional (FF)		Modo de Falla (MF)		Efecto de Falla (EF)	
2. Es el sistema que se encarga de elevar la temperatura y la presión debidamente regulado del aire que ingresa al motor	A	Turbo con carbonilla u obstruido	1	Exceso de hollín	1	Pérdida de potencia
			2	Filtro de partículas de hollín de los gases de combustión roto	2	Rotura de álabes del turbo
			3	Operación del motor a bajas revoluciones	3	Pérdida de potencia
			4	Presencia de hollín en el medio de operación (aire contaminado)	4	Rotura de álabes del compresor
			5	Relación de compresión no adecuado	5	Excesivo consumo de combustible o viceversa
			6	Mezcla de aire y aceite en la admisión	6	Combustión pobre
	B	Presencia de aceite en el turbo	1	Exceso de hollín	1	Pérdida de potencia
			2	Válvula de regulación de presión averiado	2	Rotura de álabes del turbo
	C	Sistema de estrangulador de aire trabado	1	Vibración elevada	1	Rotura de piezas
			2	Piezas deterioradas	2	Mezcla pobre
			3	Mal ajuste de piezas	3	Excesiva vibración
			4	Piezas no adecuadas	4	Mezcla no adecuada
	D	Pistón del compresor fisurado	1	Eje averiado por fricción	1	Turbocompresor trabado
			2	Aros de estanqueidad averiados	2	Ingreso de aceite en la admisión del motor
			3	Fuga en el conducto de aceite de la carcasa del turbo	3	Contaminación total interna
			4	Fuga en el sistema de cojinetes (radial y sistema de empuje)	4	Ingreso de aceite en la admisión del motor

Tabla 19: Hoja de información del activo físico cigüeñal

Hoja de información de activos físicos	Equipo:		Realizado Por:		Fecha:		Hoja N°	
	Camiones cisterna		Guarniz León Lener Serginho		01- 06 - 2018		1	
	Activo físico:		Revisado Por:		Fecha:		De:	
	Cigüeñal		Ing. Martín Teófilo Sifuentes Inostroza				1	
Función (F)	Falla Funcional (FF)		Modo de Falla (MF)		Efecto de Falla (EF)			
3. Es un eje que consta de varios codos a lo largo de su longitud, ajustando cada codo a una biela para dar movimiento a los pistones.	A	Dámper roto o averiado	1	Corrosión a causa de agua	1	Cortocircuito		
			2	Excesiva contaminación	2	Cortocircuito		
			3	Mano de obra no capacitado	3	Deterioro excesivo de la escobilla		
			4	Aislador no adecuado	4	Deterioro excesivo de la escobilla		

Tabla 20: Hoja de información del activo físico Árbol de levas

Hoja de información de activos físicos	Equipo:		Realizado Por:		Fecha:		Hoja N°		
	Camiones cisterna		Guarniz León Lener Serginho		01- 06 - 2018		1		
	Activo físico:		Revisado Por:		Fecha:		De:		
	Árbol de levas		Ing. Martín Teófilo Sifuentes Inostroza				1		
Función (F)		Falla Funcional (FF)		Modo de Falla (MF)		Efecto de Falla (EF)			
4. Elemento físico que sirve para distribuir movimientos a las levas las cuales deben estar sincronizadas.	A	Ejes de sincronización desalineados	1	Golpeteo del motor		1	Excesivo entrehierro		
			2	No hay chispa		2	Desgaste		
			3	Oscilaciones		3	Excesivo entrehierro		
			4	Disminución de rpm		4	Contaminación con grasa		

Tabla 21: Hoja de información del activo físico Pistón

Hoja de información de activos físicos	Equipo:		Realizado Por:		Fecha:		Hoja N°	
	Camiones cisterna		Guarniz León Lener Serginho		01- 06 - 2018		1	
	Activo físico:		Revisado Por:		Fecha:		De:	
	Pistón		Ing. Martín Teófilo Sifuentes Inostroza				1	
Función (F)	Falla Funcional (FF)		Modo de Falla (MF)		Efecto de Falla (EF)			
5. Es el elemento móvil que se basa en transformar la energía liberada de la mezcla aire – combustible en energía mecánica	A	Anillos de pistones gastados	1	Presión inadecuada de la bomba de aceite	1	Pérdida de potencia		
			2	Anillos obstruidos	2	Excesivo desgaste		
	B	Control deficiente de aceite en los anillos	1	Carbonilla acumulada en los anillos y en las paredes de la cámara de combustión	1	Pérdida de potencia		
			2	Calibración incorrecta de las válvulas	2	Exceso de consumo de combustible		
	C	Segmentos desgastados	1	Error en el diseño		Sobrecalentamiento		
			2	Dilatación del material por exceso de temperatura		Roturas		

Tabla 22: Hoja de información del activo físico Bomba de combustible.

Hoja de información de activos físicos	Equipo:		Realizado Por:		Fecha:		Hoja N°	
	Camiones cisterna		Guarniz León Lener Serginho		01- 06 - 2018		1	
	Activo físico:		Revisado Por:		Fecha:		De:	
	Bomba de combustible		Ing. Martín Teófilo Sifuentes Inostroza				1	
Función (F)	Falla Funcional (FF)		Modo de Falla (MF)		Efecto de Falla (EF)			
6. Es el sistema que se basa de impulsar a presión el combustible para los sistemas de inyección en las	A	Tubo de combustible restringido	1	fuga de combustible	1	válvula rota		
			2	Restricción de gas	2	tubería taponeada		
	B	Desgaste excesivo del eje motriz de la bomba	1	combustible húmedo	1	falla en la purga		
			2	Vibraciones en el eje	2	Eje fisurado		

Tabla 23: Hoja de información del activo físico Ventilador

Hoja de información de activos físicos	Equipo:		Realizado Por:		Fecha:	Hoja N°
	Camiones cisterna		Guarniz León Lener Serginho		01- 06 - 2018	1
	Activo físico:		Revisado Por:		Fecha:	De:
Ventilador		Ing. Martín Teófilo Sifuentes Inostroza			1	
Función (F)	Falla Funcional (FF)		Modo de Falla (MF)		Efecto de Falla (EF)	
7. Es el elemento giratorio que tiene como función principal es enfriar mediante la extracción de aire caliente al motor	A	Paletas del ventilador desequilibradas	1	El bulbo no cierra el circuito	1	Calentamiento del conductor
			2	Circuito interno del bulbo siempre serrado	2	Sobrecalentamiento del conductor
			3	Corto circuito en el sistema	1	Recalentamiento del motor
	C	Mal funcionamiento del sistema electro ventilador	1	Centro de gravedad no coincide con el centro de rotación	1	Excesiva vibración
			2	Rotura de una parte de las paletas	2	Enfriamiento pobre
			3	Fisura en el tubo de succión	1	Enfriamiento pobre

Tabla 24: Hoja de información del activo físico Anillos sincronizadores

Hoja de información de activos físicos	Equipo:		Realizado Por:		Fecha:		Hoja N°	
	Camiones cisterna		Guarniz León Lener Serginho		01- 06 - 2018		1	
	Activo físico:		Revisado Por:		Fecha:		De:	
	Anillos sincronizadores		Ing. Martín Teófilo Sifuentes Inostroza				1	
Función (F)	Falla Funcional (FF)		Modo de Falla (MF)		Efecto de Falla (EF)			
8. Efectúan la sincronización del sistema de engranajes respecto al conductor que cambia de marcha.	A	Anillos sincronizadores en mal estado	1	Motor no comprime	1	desgaste de anillos		
			2	Humo azul	2	Desgaste		
			3	Circuito abierto	3	Contaminación con grasa		
			4	Baja compresión	4	cable corroído/sulfatado		

Tabla 25: Hoja de información del activo físico Bomba de aceite

Hoja de información de activos físicos	Equipo:		Realizado Por:		Fecha:	Hoja N°
	Camiones cisterna		Guarniz León Lener Serginho		01- 06 - 2018	1
	Activo físico:		Revisado Por:		Fecha:	De:
	Bomba de aceite		Ing. Martín Teófilo Sifuentes Inostroza			1
Función (F)	Falla Funcional (FF)		Modo de Falla (MF)		Efecto de Falla (EF)	
9. Es el sistema que se basa de impulsar a presión el aceite para lubricar los elementos internos rotativos y estáticos del motor	A	Enfriador de aceite averiado	1	Corrosión a causa del agua	1	Fisuras en el conducto
			2	Conducto obstruido	2	Sobrecalentamiento
	B	Diafragma o impulsor eléctrico en mal estado	1	Cortocircuito en el impulsor	1	Sistema eléctrico no responde
			2	Impulsor contaminado	2	Fallas cíclicas
	C	Desgaste excesivo del eje motriz de la bomba	1	Lubricación pobre	1	Sobrecalentamiento
			2	Aceite de lubricación contaminado	2	Rotura

Tabla 26: Hoja de información del activo físico Alternador

Hoja de información de activos físicos	Equipo:		Realizado Por:		Fecha:	Hoja N°
	Camiones cisterna		Guarniz León Lener Serginho		01- 06 - 2018	1
	Activo físico:		Revisado Por:		Fecha:	De:
	Bomba de aceite		Ing. Martín Teófilo Sifuentes Inostroza			1
Función (F)	Falla Funcional (FF)		Modo de Falla (MF)		Efecto de Falla (EF)	
10. Es el elemento fijo conformado por polos norte y sur, el cual provee campo magnético constante que permite la rotación del rotor.	A	Defectos en el módulo eléctrico	1	Empaquetaduras desgastadas	1	Corrosión interna
			2	Deformación en borde de tapa	2	Contaminación interna
			3	Pernos de ajuste desgastados u oxidados	3	Excesiva vibración
			4	Rodamientos de eje desgastados	4	Pérdida de corriente de alimentación del motor
	B	Bobinas del estator en cortocircuito, interrumpidas	1	Corto circuito en el devanado secundario	1	Pérdida de corriente de alimentación
			2	Esmalte de aislamiento del hilo deteriorado	2	Flujo pobre de corriente
			3	Motor contaminado internamente	3	Paradas imprevistas del motor
			4	Rotura del devanado	4	Parada del motor
	C	Roce del rotor contra el estator	1	Banco de condensadores averiado	1	Corriente variable
			2	Exceso de temperatura	2	Sobrecalentamiento
			3	Descargas atmosféricas	3	Corto circuito del sistema
			4	Convertidor de frecuencia averiado	4	Datos erróneos en el tablero
	D	Descentramiento o suciedad en el colector	1	Motor contaminado internamente	1	Pérdida de corriente de alimentación del motor
			2	Esmalte de aislamiento del hilo deteriorado	2	Flujo pobre de corriente
			3	Barniz de impregnación deteriorado	3	Corto circuito del sistema
	E	Amperímetro o testigo luminoso en mal estado	1	Oscilaciones rápidas de tensión de alimentación	4	Sobrecalentamiento

3.4.1.2. Hojas de decisiones de los activos críticos

Las hojas de decisiones nos permiten establecer tareas de mantenimiento para cada modo de falla o efecto de falla, para ello es necesario evaluar los resultados obtenidos de las hojas de información, basado en la formulación de las 3 primeras preguntas del MCC: ¿Cuál es la función del activo “F”?, ¿Cuál es la falla funcional del activo “FF”? y ¿Cuál es el modo de falla del activo “MF”?, una vez obtenido los resultados de las hojas de decisiones se procede a resolver las 4 últimas preguntas del RCM las cuales están contenidas en la hoja de decisiones (¿Es evidente a los operarios el modo de falla del activo físico “H”?, ¿Afecta a la seguridad el modo de falla del activo físico “S”?, ¿Afecta el medio ambiente el modo de falla del activo físico “E”? y ¿Afecta las operaciones el modo de falla del activo físico “O”?), pero tales 4 preguntas, involucran la aparición de otras sub preguntas las cuales están descritas en el árbol lógico de decisiones del mantenimiento centrado en la confiabilidad, las cuales se responden con la letra “S” si la respuesta es SI y “N” si la respuesta es NO.

EJEMPLO: 1A1

El activo físico *cilindro* cuya función “F” es transformación de energía liberada de la mezcla aire/combustible en energía mecánica “I”, tiene una falla funcional “FF” filtraciones de aire en el tubo de succión “A” debido al modo de falla “MF” presión inadecuada de la bomba de aceite “1”. Para lo cual se plantean las siguientes interrogantes para la solución de la avería, con la ayuda del árbol lógico de decisiones del mantenimiento (Anexo A.7):

- ⇒ **H** ¿Es evidente a los operarios el modo de falla del activo físico?: Si es evidente a los operarios debido a que existen medidores de presión como manómetros en las líneas de descarga del aceite de la bomba, por lo que la respuesta es “S”.
- ⇒ **S** ¿Afecta a la seguridad el modo de falla del activo físico?: La presión inadecuada o desequilibrada en la bomba de aceite no causaría ningún daño a la seguridad al operador de la máquina, por lo cual la respuesta sería “N”.
- ⇒ **E** ¿Afecta el medio ambiente el modo de falla del activo físico?: Un desbalance en la presión de la bomba de aceite, no tiene nada en fundamento a la contaminación ambiental, por lo cual la respuesta sería “N”.
- ⇒ **O** ¿Afecta las operaciones el modo de falla del activo físico?: La deficiencia para alcanzar la presión del sistema de la bomba de aceite, ocasionan que los elementos de fricción

rocen, provocando fisuras, ocasionando problemas en las operaciones de funcionamiento de la máquina, por lo que la respuesta es “S”.

- ⇒ **H1, S1, O1, N1:** ¿Existen tareas a condición?, con respecto a los operarios “H1” no existen tareas en su rutina de mantenimiento respecto a la verificación o tiempos de intervalo para evaluar o inspeccionar la presión de la bomba de aceite, por lo cual la respuesta sería “N”. Con respecto a la seguridad y medio ambiente “S1” no se especifica en ningún planeamiento actual de los camiones, por lo cual la respuesta sería “N”, con respecto a las operaciones “O1” no hay tareas de mantenimiento, por lo cual la respuesta es “N” y con respecto a consecuencias no operacionales “N2” (efectos externos) no existen, por lo cual la respuesta sería “N”. Por lo consiguiente tenemos 4 respuestas negativas lo que hace un resultado único de “N”
- ⇒ **H2, S2, O2, N2:** ¿Existe reacondicionamiento cíclico?, con respecto a los operarios “H2” la presión de aceite en la bomba no aplica reacondicionamiento cíclico, es decir no es un elemento de cambio cíclico, por lo cual la respuesta es “N”. Con respecto a la seguridad y medio ambiente “S2” no aplica un sistema cíclico, por lo cual la respuesta sería “N”, con respecto a las operaciones “O2” el termómetro de medición de presión no es un elemento de cambio periódico, por lo cual la respuesta es “N” y con respecto a consecuencias no operacionales (efectos externos) “N2” no existen, por lo cual la respuesta sería “N”. Por lo consiguiente tenemos 4 respuestas negativas lo que hace un resultado único de “N”
- ⇒ **H3, S3, O3, N3:** ¿Sustitución cíclica?, con respecto a los operarios “H3” este modo de fallo si corresponde como solución una sustitución cíclica, con respecto al cambio o verificación del desgaste del pistón, por lo cual la respuesta es “S”. Con respecto a la seguridad y medio ambiente “S3” con lleva a evacuar una cantidad excesiva de gases de CO2 (dióxido de carbono) y SO2 (dióxido de azufre) al medio ambiente, por lo cual la respuesta sería “S”, con respecto a las operaciones “O3” para eliminar la insuficiencia de la caída de presión en la bomba de aceite es necesario medir los caudales de flujo de aceite en las líneas de abastecimiento, por lo cual la respuesta es “S” y con respecto a consecuencias no operacionales (efectos externos) “N3” no existen, por lo cual la respuesta sería “N”. Por lo consiguiente tenemos 3 respuestas positivas y 1 respuesta negativa, lo que hace un resultado de “S”.

⇒ **H4, H5, S4** ¿Existe tareas a búsqueda de fallas? ¿Existe posibilidad de rediseño?
¿Combinación de tareas?: El actual mantenimiento no contempla tareas preventivas respecto a la verificación o inspección de la presión de la bomba de aceite, ya que dicha falla es solución del mantenimiento preventivo + predictivo, mas no requiere de un rediseño (la bomba de aceite no requiere ningún tipo de rediseño para su buen funcionamiento, para que el problema es de mantenimiento), asimismo no existen tareas de combinación, ya que solo la falla se debe a un carácter de mantenimiento (Nota: existiría una combinación por tareas cuando el problema se deba a un mal diseño mecánico y a un mal mantenimiento), por lo consiguiente la respuesta global, seria “N”

Tabla 27: Hoja decisiones de los activos físicos críticos

DECISIONES			SISTEMAS: ACTIVOS FÍSICOS											Auditor: Ing. Martín Teófilo Sifuentes Inostroza		Hoja:	1 De 3
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de				Tarea Propuesta		Intervalo inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4					
CILINDRO																	
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar desgaste del pistón		1 M	MEC	
1	A	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar desgaste de anillos de compresión		1 M	MEC	
1	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
1	B	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
TURBO																	
2	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar fugas de aceite en la caja lubricadora		1 M	MEC	
2	A	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de válvula check de la caja lubricadora		1 M	MEC	
2	A	3	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de filtro de caja lubricadora		1 M	MEC	
2	A	4	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar estado de bombin, cambiar de ser necesario		1 M	MEC	
2	A	5	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de válvula check del cilindro (caja lubricadora)		1 M	MEC	
2	A	6	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar fugas de aceite en sello de eje		1 M	MEC	
2	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar fugas de aceite en reten de la caja		2 M	MEC	
2	B	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de cables y contactos del magneto		2 M	MEC	
2	C	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar estado de magneto		2 M	MEC	
2	C	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de rodamientos de ventilador		2 M	MEC	
2	C	3	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de aspas de ventilador		2 M	MEC	
2	C	4	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar fugas de aceite en la caja lubricadora		1 S	MEC	
2	D	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar fugas de aceite en sello de eje		1 S	MEC	
2	D	2	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Inspeccionar fuga de aceite en el cárter		1 S	MEC	
2	D	3	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar perdida de presión en el motor		2 S	MEC	
2	D	4	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Ajustar pernos de polea del ventilador		1 M	MEC	

CIGÜEÑAL															
3	A	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Inspeccionar fuga de aceite en el cárter	1 S	MEC
3	A	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar pérdida de presión de aceite	1 S	MEC
3	A	3	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar desgaste de los anillos de lubricación	1 M	MEC
3	A	4	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		
ÁRBOL LEVAS															
4	A	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Inspeccionar fuga de aceite en el cárter	1 S	MEC
4	A	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar pérdida de presión de aceite	1 S	MEC
4	A	3	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar desgaste de los anillos de lubricación	1 M	MEC
4	A	4	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		
PISTÓN															
5	A	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar desgaste del pistón	1 M	MEC
5	A	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar desgaste de anillos de compresión	1 M	MEC
5	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		
5	B	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		
5	C	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar estado de magneto	2 M	MEC
5	C	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de rodamientos de ventilador	2 M	MEC
BOMBA COMBUST.															
6	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar pérdida de presión de aceite	1 S	MEC
6	A	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Realizar análisis predictivo de aceite	1 M	MEC
6	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Capacitar al personal en el correcto montaje del nivel	1 S	MEC
6	B	2	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar el estado del nivel de aceite	1 S	MEC
VENTILADOR															
7	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar sistema	2 M	MEC
7	A	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de cables y contactos del magneto	2 M	MEC
7	A	3	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar estado de magneto	2 M	MEC
7	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de rodamientos de ventilador	2 M	MEC
7	B	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de aspas de ventilador	2 M	MEC
7	B	3	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		
ANILLOS S.															
8	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar estado de buja, cambiar de ser necesario	1 M	MEC
8	A	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de cables eléctricos	1 M	MEC
8	A	3	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		
8	A	4	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		
B. ACEITE															
9	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar pérdida de presión de aceite	1 S	MEC
9	A	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Realizar análisis predictivo de aceite	1 M	MEC
9	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Capacitar al personal en el correcto montaje del nivel	1 S	MEC
9	B	2	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar el estado del nivel de aceite	1 S	MEC
9	C	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		
9	C	2	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		

ALTERNADOR																
10	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de hilos de bobina	2 M	MEC	
10	A	2	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar espiras	1 M	MEC	
10	A	3	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar rotación del rotor	1 S	MEC	
10	A	4	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente			
10	B	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de cables y contactos de bobina	2 S	MEC	
10	B	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de bobina	2 S	MEC	
10	B	3	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar estado de cable de bujía	2 S	MEC	
10	B	4	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente			
10	C	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar bobinado de impedancia	1 S	MEC	
10	C	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar temperatura en bobinado impedancia	1 S	MEC	
10	C	3	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Inspeccionar hilos en bobinado de impedancia	1 S	MEC	
10	C	4	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Limpieza de partículas en bobinado de impedancia	1 M	MEC	
10	D	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de cables del electrodo	1 M	MEC	
10	D	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado hilos de electrodos	1 M	MEC	
10	D	3	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar temperatura en cables de electrodos	1 M	MEC	
10	E	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar estado físico de bornes	1 M	MEC	

3.4.2. Número de prioridad de riesgos (NPR)

El análisis de modos y efectos de fallas AMEF determinó de las 48 fallas de los activos físicos críticos, 70 modos de falla, los cuales serán evaluados mediante el número de prioridad de riesgo para determinar el grado del modo de falla y evaluar en que porcentaje mejorará el mantenimiento de los camiones cisterna. Por ejemplo en el activo físico cilindro el modo de falla *Presión inadecuada de la bomba de aceite* (1A1), su tipo de gravedad es elevada obteniendo un puntaje de 8, su ocurrencia es alrededor de 1 a 6 meses por lo cual su puntaje seria 8 y el nivel de detección es frecuente con un puntaje de 7 (Ver Anexo A.8). Por lo cual su NPR se calcula:

$$NPR = G * O * D$$

$$NPR = 8 * 8 * 7 = 448$$

Ahora el grado del modo de falla se mide según el siguiente criterio, (Mora, 2009):

$I(R) \leq 125$	Falla Aceptable.
$125 < I(R) \leq 200$	Falla reducible a deseable.
$I(R) > 200$	Falla Indeseable.

Por lo cual podemos concluir que el modo de falla 1A1 es de grado INDESEABLE.

Tabla 28: Evaluación del grado de los modos de falla

ACTIVOS FÍSICOS			INDICES DE RIESGO			NUMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO NPR = G*O*D	GRADO DE MODO DE FALLA
			GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN		
CILINDRO							
1	A	1	8	8	7	448	INDESEABLE
1	A	2	7	9	5	315	INDESEABLE
1	B	1	4	6	7	168	REDUCIBLE A DESEABLE
1	B	2	8	8	9	576	INDESEABLE

TURBOCOMPRESOR							
2	A	1	9	8	8	576	INDESEABLE
2	A	2	7	7	6	294	INDESEABLE
2	A	3	7	9	8	504	INDESEABLE
2	A	4	5	5	9	225	INDESEABLE
2	A	5	7	8	9	504	INDESEABLE
2	A	6	8	8	7	448	INDESEABLE
2	B	1	7	9	5	315	INDESEABLE
2	B	2	7	5	8	280	INDESEABLE
2	C	1	8	8	8	512	INDESEABLE
2	C	2	8	9	4	288	INDESEABLE
2	C	3	5	5	6	150	REDUCIBLE A DESEABLE
2	C	4	5	6	6	180	REDUCIBLE A DESEABLE
2	D	1	4	4	8	128	REDUCIBLE A DESEABLE
2	D	2	7	4	5	140	REDUCIBLE A DESEABLE
2	D	3	6	8	4	192	REDUCIBLE A DESEABLE
2	D	4	4	6	7	168	REDUCIBLE A DESEABLE
CIGÜEÑAL							
3	A	1	8	9	8	576	INDESEABLE
3	A	2	7	6	7	294	INDESEABLE
3	A	3	5	7	7	245	INDESEABLE
3	A	3	8	8	9	576	INDESEABLE
ÁRBOL DE LEVAS							
4	A	1	7	7	8	392	INDESEABLE
4	A	2	9	8	7	504	INDESEABLE
4	A	3	8	8	7	448	INDESEABLE
4	A	4	7	9	9	567	INDESEABLE
PISTÓN							
5	A	1	8	8	9	576	INDESEABLE
5	A	2	7	9	6	378	INDESEABLE
5	B	1	4	5	4	80	ACEPTABLE
5	B	2	6	5	4	120	ACEPTABLE
5	C	1	8	8	6	384	INDESEABLE
5	C	2	9	9	9	729	INDESEABLE
BOMBA DE COMBUST.							
6	A	1	7	7	7	343	INDESEABLE
6	A	2	8	8	9	576	INDESEABLE
6	B	1	9	7	6	378	INDESEABLE
6	B	2	5	5	6	150	REDUCIBLE A DESEABLE

VENTILADOR							
7	A	1	6	8	8	384	INDESEABLE
7	A	2	8	8	8	512	INDESEABLE
7	B	1	8	8	4	256	INDESEABLE
7	C	1	8	8	7	448	INDESEABLE
7	C	2	7	7	5	245	INDESEABLE
7	D	1	5	6	5	150	REDUCIBLE A DESEABLE
ANILLOS SINCRON.							
8	A	1	8	9	6	432	INDESEABLE
8	A	2	8	6	9	432	INDESEABLE
8	A	3	5	8	5	200	INDESEABLE
8	A	4	6	8	7	336	INDESEABLE
BOMBA ACEITE							
9	A	1	9	8	7	504	INDESEABLE
9	A	2	6	9	6	324	INDESEABLE
9	B	1	9	6	6	324	INDESEABLE
9	B	2	9	8	7	504	INDESEABLE
9	C	1	6	9	8	432	INDESEABLE
9	C	2	6	5	6	180	REDUCIBLE A DESEABLE
ALTERNADOR							
10	A	1	8	8	6	384	INDESEABLE
10	A	2	9	9	9	729	INDESEABLE
10	A	3	8	7	7	392	INDESEABLE
10	A	4	7	6	8	336	INDESEABLE
10	B	1	5	6	7	210	INDESEABLE
10	B	2	9	8	7	504	INDESEABLE
10	B	3	7	8	8	448	INDESEABLE
10	B	4	8	7	8	448	INDESEABLE
10	C	1	8	8	7	448	INDESEABLE
10	C	2	9	7	8	504	INDESEABLE
10	C	3	6	6	5	180	REDUCIBLE A DESEABLE
10	C	4	5	5	7	175	REDUCIBLE A DESEABLE
10	D	1	8	8	8	512	INDESEABLE
10	D	2	8	9	8	576	INDESEABLE
10	D	3	7	7	9	441	INDESEABLE
10	E	1	6	6	7	252	INDESEABLE

Tabla 29: Resultados del análisis del NPR

GRADO DE MODO DE FALLA	CANTIDAD DE MODOS DE FALLAS	FRECUENCIA
FALLAS ACEPTABLES	2	3 %
FALLAS REDUCIBLES A DESEABLES	12	17 %
FALLAS INDESEABLES	56	80 %
TOTAL	70	100%

En la tabla 29, los resultados del análisis NPR, el cual arrojó 70 modos de fallas distintos que son los causantes de las fallas en los activos físicos de los camiones cisterna. Determinando que con la aplicación de un mantenimiento centrado en la confiabilidad MCC, se puede llegar a reducir el 80% de las fallas que ocasionan pérdidas económicas a la empresa JRamírez E.I.R.L.



Figura 18: Porcentaje de los grados de modo de fallas

3.5. ELABORAR UN DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD DE LOS ACTIVOS FÍSICOS, ESTIMANDO LA PROYECCIÓN DE LOS INDICADORES DE MANTENIMIENTO.

El diseño del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad, se fundamentó en los activos físicos críticos con sus correspondientes modos de fallas indeseables, con un total de 56 fallas indeseables. Para lo cual se hizo uso de los conocimientos de la ingeniería de mantenimiento, del supervisor y técnicos de mantenimiento de la empresa JRamírez E.I.R.L, planteando 43 tareas de mantenimiento de acuerdo a las hojas de información y decisiones.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD		
	<p>P Mantenimiento preventivo R Mantenimiento realizado A Mantenimiento reprogramado C Mantenimiento correctivo</p>	
Fecha :	1/06/2018	CAMIONES CISTERNA 5
N°	FRE CUENCIAS	ACTIVOS FIJOS DE LOS CAMIONES CISTERNA DEL CONSORCIO JRAMIREZ EIRL
TAREAS DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD		
1	2 M	Verificar fugas de aceite en reten de la caja
2	2 M	Verificar estado de cables y contactos del magneto
3	2 M	Verificar estado de magneto
4	2 M	Verificar estado de rodamientos de ventilador
5	2 M	Verificar estado de aspas de ventilador
6	2 M	Verificar estado de hilos de bobina
7	1 M	Verificar fugas de aceite en la caja lubricadora
8	1 M	Verificar estado de filtro de caja lubricadora
9	1 M	Verificar estado de bombín, cambiar de ser necesario
10	1 M	Verificar estado de válvula check del cilindro (caja
11	1 M	Verificar fugas de aceite en sello de eje
12	1 M	Verificar desgaste de los anillos de lubricación
13	1 M	Verificar desgaste del pistón
14	1 M	Verificar desgaste de anillos de compresión
15	1 M	Verificar estado de bujía, cambiar de ser necesario
16	1 M	Verificar estado de cables eléctricos
17	1 M	Verificar pérdida de presión en el motor
18	1 M	Ajustar pernos de polea del ventilador
19	1 M	Verificar espiras
20	2 S	Verificar estado de cables y contactos de bobina
21	2 S	Verificar estado de bobina
22	2 S	Verificar estado de cable de bujía
23	1 S	Inspeccionar fuga de aceite en el cárter
24	1 S	Verificar pérdida de presión de aceite
25	1 S	Verificar el estado del nivel de aceite
26	1 S	Verificar rotación del rotor

27	1 M	Verificar estado de cables del electrodo
28	1 M	Verificar estado hilos de electrodos
29	1 M	Verificar temperatura en cables de electrodos
30	1 M	Ajustar pernos de polea del ventilador
31	1 M	Limpieza de partículas en bobinado de impedancia
32	1 M	Ajustar hilos de bobinado de impedancia
33	1 M	Verificar estado físico de bornes
34	1 S	Verificar estado de bobinado primario
35	1 S	Verificar estado de hilos del bobinado
36	1 S	Verificar bobinado de impedancia
37	1 S	Inspeccionar hilos en bobinado de impedancia
38	1 S	Realizar limpieza en bornes
39	1 S	Verificar corriente en barras primaria
40	1 S	Limpieza de polvo o partículas
41	1 S	Verificar temperatura en bobinado impedancia
42	1 S	Inspeccionar barras de tensión secundaria
43	1 S	Verificar corriente en barras primaria

3.5.1. ESTIMACIÓN DE LOS INDICADORES DE MANTENIMIENTO CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL MCC

Para estimar los nuevos indicadores con el diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, se deben determinar los nuevos parámetros con MCC:

- Tiempo para reparar con MCC:

$$TTR_{(MCC)} = TTR_{(inicial)} * (1 - 0.80) = 573 * 0.2 = 114.6 \text{ horas pérdidas/año}$$

- Tiempo entre fallas con MCC:

$$TBF_{(MCC)} = TBF_{(inicial)} + (TTR_{(inicial)} - TTR_{(MCC)}) = 3024 + (573 - 114.6) = 3482.4 \text{ horas útil}$$

- Número de fallas con MCC:

$$F_{(MCC)} = F_{(inicial)} * (1 - 0.80) = 16 * 0.2 = 3.2 = 3$$

- Tiempo total de operación con MCC:

$$TTO_{(MCC)} = TTR_{(MCC)} + TBF_{(MCC)} = 114.6 + 3482.4 = 3597 \text{ horas totales/año}$$

Tabla 30: Comparativo de los parámetros de mantenimiento iniciales y finales con MCC

Camión Cisterna	MANTENIMIENTO ACTUAL				MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD				VARIACIÓN DEL TTR	VARIACIÓN DEL TBF
	TBF	TTR	F	TTO	TBF(MCC)	TTR(MCC)	F(MCC)	TTO(MCC)	ΔTTR	ΔTBF
GLP T7X 800 Isuzu	3024	573	16	3597	3482.4	114.6	3	3597	458.4	458.4
GLP LM3 426 Isuzu	2835	391	9	3226	3147.8	78.2	2	3226	312.8	312.8
ALY 732 Internacional	3095	453	18	3548	3457.4	90.6	4	3548	362.4	362.4
PAX 633 Internacional	3746	396	13	4142	4062.8	79.2	3	4142	316.8	316.8
WPL 480 Internacional	2740	417	11	3157	3073.6	83.4	2	3157	333.6	333.6
Total	15440	2230	67	17670	17224	446	13	17670	1784	1784

Una vez obtenido los nuevos parámetros con el mantenimiento centrado en la confiabilidad, se procede a determinar nuevos indicadores del mantenimiento y compararlos con los indicadores iniciales. Para el cálculo de los nuevos indicadores de mantenimiento se hace uso de la misma metodología tal como se realizaron los cálculos de los indicadores iniciales de los camiones cisterna.

Tabla 31: Indicadores de mantenimiento con MCC

CAMIÓN CISTERNA	MTBF	MTTR	TASA FALLAS	TASA REPARACIÓN	INDICADORES ESTIMADOS		
					A(t)%	R(t)%	M(t)%
GLP T7X 800 Isuzu	1088.25	35.81	0.00092	0.0279	96.81	96.75	63.37
GLP LM3 426 Isuzu	1748.78	43.44	0.00057	0.0230	97.58	98.17	52.41
ALY 732 Internacional	960.39	25.17	0.00104	0.0397	97.45	96.37	75.58
PAX 633 Internacional	1562.62	30.46	0.00064	0.0328	98.09	97.38	74.33
WPL 480 Internacional	1397.09	37.91	0.00072	0.0264	97.36	97.77	56.52

En la tabla 32, se hace un análisis comparativo para determinar el porcentaje de aumento de la disponibilidad y confiabilidad y la reducción de la mantenibilidad

Tabla 32: Análisis comparativos de los indicadores de mantenimiento

CAMIÓN CISTERNA	INDICADORES INICIALES			INDICADORES ESTIMADOS			VARIACIÓN DE LOS INDICADORES DE MANTENIMIENTO (%)		
	A(t) %	R(t) %	M(t) %	A(t) %	R(t) %	M(t) %	A(t) %	R(t) %	M(t) %
GLP T7X 800 Isuzu	84.07	82.67	63.47	96.81	96.75	63.37	12.7	14.1	CONST
GLP LM3 426 Isuzu	87.88	90.26	52.38	97.58	98.17	52.41	9.7	7.9	CONST
ALY 732 Internacional	87.23	81.35	75.55	97.45	96.37	75.58	10.2	15.0	CONST
PAX 633 Internacional	90.44	86.61	74.3	98.09	97.38	74.33	7.6	10.8	CONST
WPL 480 Internacional	86.79	88.1	56.22	97.36	97.77	56.52	10.6	9.7	CONST

Tabla 33: Comparativos de los tiempos medios entre fallas y para reparar

CAMIÓN CISTERNA	MTBF (Inicial)	MTBF (MCC)	MTTR (inicial)	MTTR (MCC)	ΔMTBF	ΔMTTR
GLP T7X 800 Isuzu	189.00	1088.25	35.81	35.8125	899.25	CONST.
GLP LM3 426 Isuzu	315.00	1748.78	43.44	43.444	1433.78	CONST.
ALY 732 Internacional	171.94	960.39	25.17	25.176	788.45	CONST.
PAX 633 Internacional	288.15	1562.62	30.46	30.46	1274.47	CONST.
WPL 480 Internacional	249.10	1397.09	37.91	37.91	1147.99	CONST.

3.6. ANÁLISIS DE COSTOS DEBIDO A LA INFLUENCIA DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PROPUESTO.

3.6.1. ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO:

El análisis de los costos de mantenimiento se fundamenta en los costos de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo.

Tabla 34: Costos de mantenimiento correctivo de los camiones cisterna

Costo de Mantenimiento Correctivo	Cantidad	Unidad	Costos Unitario (S./año)	Costo total (S./año)
Cilindro de aceite Avenoil Premiun 90	20	gal	54.97	1099.40
Cilindro de aceite 15W-40	25	gal	40.37	1009.25
Aceite Straton	15	gal	43.12	646.80
Tanque de aceite Rando HD 100	23	gal	25.76	592.48
Grasa multis EP2C	200	lbm	7.50	1500.00
PA 1908 Filtro de aire	4	Unid.	40.00	160.00
PA 1899 Filtro de aire	4	Unid.	53.40	213.60
RS 3507 Filtro de aire	6	Unid.	82.80	496.80
RS 3509 Filtro de aire	4	Unid.	28.20	112.80
RS 3937 Filtro de aire	2	Unid.	85.40	170.80
PA 3817 Filtro de aire Donaldson Estandar	2	Unid.	36.08	72.16
D 31917 Filtro de aire Donaldson Estandar	1	Unid.	32.60	32.60
D 2450 Filtro de aire Donaldson Estandar	5	Unid.	27.70	138.50
D 1689-FN Filtro de aire Donaldson Estandar	4	Unid.	52.30	209.22
D 1894 Filtro de aire Donaldson Estandar	3	Unid.	41.81	125.42
RS 200 Filtro de aire Pulsar	1	Unid.	60.70	60.70
RS 3799 Filtro de aire Pulsar	5	Unid.	60.94	304.68
NAPA 800 Filtro de aire	3	Unid.	45.04	135.12
NAPA 2252 Filtro de aire	3	Unid.	61.00	183.00
BF 790 Filtro de combustible	4	Unid.	15.26	61.04
BF 486 Filtro de combustible	3	Unid.	15.70	47.10
BF 876 Filtro de combustible	5	Unid.	34.16	170.80
BF 970 Filtro de combustible	5	Unid.	42.56	212.80
BF 76634-E Filtro de combustible	3	Unid.	29.38	88.14
BF 879/4423 Filtro de combustible	1	Unid.	38.98	38.98

BF 900 Filtro de combustible	1	Unid.	62.72	62.72
BF 6220 Filtro de combustible	1	Unid.	55.16	55.16
LEF 5585 Filtro de combustible	3	Unid.	37.35	112.06
BF 4423 Filtro de combustible	3	Unid.	59.36	178.08
BF 1455 Filtro de combustible	3	Unid.	51.80	155.40
BF 910 Filtro de combustible	4	Unid.	40.60	162.40
BF 910/900 Filtro de combustible	4	Unid.	93.80	375.20
FFWS 2040T Filtro separador de agua	4	Unid.	34.30	137.20
6000/BFT 8866-D Filtro separador de agua	5	Unid.	24.14	120.68
FFWS FD Filtro separador de agua	6	Unid.	34.23	205.38
2040T Filtro separador de agua Racor	6	Unid.	21.12	126.72
BD 4578 Filtro de aceite	5	Unid.	57.53	287.65
BD 6000 Filtro de aceite	9	Unid.	63.12	568.08
BD 2418 Filtro de aceite	7	Unid.	68.10	476.70
BT 300 Filtro de aceite	7	Unid.	36.43	255.02
HF 90 Filtro de aceite Hidráulico	3	Unid.	68.10	204.30
BT 9000 Filtro de aceite Hidráulico	3	Unid.	45.27	135.82
DP 2065 Filtro de aceite Transmisión	5	Unid.	47.01	235.04
HHT 9 Filtro de aceite Transmisión	7	Unid.	45.90	321.30
				12057.1

Tabla 35: Costos por mantenimiento preventivo de los camiones cisterna

Elementos preventivos	Cantidad	Unidad	Costos Unitario (S./año)	Costo total (S./año)
Aceite	100	Gal	40.00	4000.00
Grasa	50	Libra	8.00	400.00
Agua	100	Gal	5.00	500.00
Empaquetaduras	20	Jgo	15.00	300.00
Sello de aceite	10	Unid.	20.00	200.00
Bujía	15	Unid.	33.00	495.00
Filtros	10	Unid.	30.00	300.00
Pernos	25	Unid.	2.00	50.00
				6245.00

Tabla 36: Costos por mantenimiento predictivo de los camiones cisterna

Análisis predictivo	Intervenciones	Costos Unitario (S./año)	Costo total (S./año)
Rodamientos del eje de levas	15 veces/año	50.00	750
Rodamientos del sistema de transmisión	15 veces/año	50.00	750
Rodamientos del cigüeñal	15 veces/año	50.00	750
Análisis de aceite	20 veces/año	100.00	2000
Análisis termo graficó	60 veces/año	10.00	600
			4850

En la tabla 37, se muestran los resultados de los costos de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo, con un total de 23152.10 nuevos soles/año para el mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Tabla 37: Resultados del análisis de costos de mantenimientos

Tipos de mantenimiento	Costos totales de los mantenimientos (C_{MCC})
Mantenimiento Correctivo	12057.1
Mantenimiento Preventivo	6245.00
Mantenimiento Predictivo	4850.00
	23152.1

3.6.2. ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN PARA EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

Tabla 38: Inversión del diseño del MCC

Ítem	Equipos predictivos	Cantidad	Costos Unitario (U\$)	Costo total (U\$)
1	VIBROMETRO PCEVT, A= 1.....210 m/s ² , D=0.0001....1 mm, V= 0.1.....700 mms-1	1	9354.15	9354.15
2	CÁMARA TERMOGRÁFICA, T= 5°C a 300 °C, Sensibilidad =-0.5 °C a 6 °C, Precisión= El valor mayor de ±0.5 °C o ±1%.	1	6444.10	6444.10
3	PODS LASER PARTICLE COUNTER, Viscosidad= 1 a 800 CTS, limpieza de la clasificación= ISO 4406-2008, concentración límite: 500.000 partículas/ml.	1	53650.88	53650.88
4	Instrucción al personal de mantenimiento	5	500.00	2500.00
TOTAL (U\$)				71949.13
TOTAL (S./) (1U\$=3.28 S./)				235993.15

3.6.3. BENEFICIO ÚTIL CON EL DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

Con la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, el tiempo para reparar de los camiones se reduciría a 446 horas de un total de 2230 horas, obteniendo una eliminación de 1784 horas perdidas.

El beneficio del proyecto, sería:

$$B_{\text{útil}} = \Delta TTR * C_{\text{unitario}} - C_{\text{MCC}}$$
$$B_{\text{útil}} = (1784 * 120.00 - 23152.10) \text{ S./año}$$
$$B_{\text{útil}} = 190927.90 \text{ S./año}$$

3.6.4. RETORNO OPERACIONAL DE LA INVERSIÓN:

El diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, permite al consorcio JRamírez E.I.R.L obtener un beneficio de 190927.90 S/. /año, con una inversión en equipos de S/. 127395.00. Por lo consiguiente el retorno operacional de la inversión, sería:

$$PRI = \frac{\text{Inversión inicial en activos}}{\text{Beneficio del plan de mantenimiento}}$$
$$PRI = \frac{235993.15 \text{ S/.}}{190927.90 \text{ S./año}}$$
$$PRI = 1.24 \text{ años} = 15 \text{ meses}$$

IV. DISCUSIÓN

En el estudio de Mejía (2017): “Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), para mejorar la productividad de la Empresa Ersa Transportes y Servicios S.R.L.”. Plantea un diseño de mantenimiento centrado en la confiabilidad a equipos como motores eléctricos, bombas hidráulicas, motores de combustión, calderas e intercambiadores de calor, para lo cual hace uso de uso del diseño de investigación pre-experimental, usando las herramientas de la metodología RCM como: el AMEF y NPR. Inicialmente se determinaron los indicadores actuales de mantenimiento indicando de manera global que todos los equipos tienen una disponibilidad de 81%, el análisis AMEF se aplicó a 47 activos físicos, obteniendo 115 fallas con 223 modos de fallas, que mediante el número de prioridad de riesgo se obtuvieron 124 fallas indeseables, 66 fallas deseables y 33 fallas aceptables. Concluyendo que el plan de mantenimiento RCM propuso 64 tareas preventivas y predictivas para mejorar el mantenimiento en un 72% al mantenimiento actual, con lo cual la disponibilidad de todos los equipos aumento a un 97%, obteniendo una utilidad de 27 394.46 nuevos soles/mes con una inversión de 45080.00 nuevos soles/año. En comparación a la presente tesis, se hizo un estudio pre-experimental, basándonos en 3 metodologías del mantenimiento centrado en la confiabilidad: AC, RCM y NPR, donde se evaluaron 67 fallas de 21 activos físicos de los 5 camiones cisterna de la empresa JRamirez. Donde inicialmente se realizó un análisis de criticidad AC, donde se encontraron 10 activos físicos críticos: cilindro, turbocompresor, cigüeñal, árbol de levas, pistón, bomba de combustible, ventilador, Anillos sincronizadores, bomba de aceite y alternador, 6 semicríticos: filtro de aire, válvula de admisión, impulsor eléctrico, carburador, Correa de distribución y toberas y 5 no críticos: frenos, enfriador de aceite, válvula de escape, distribuidor y conductores eléctricos, encontrando una disponibilidad en el rango de 84.07% - 90.44%. El análisis AMEF se aplicó solo a los 10 activos físicos críticos, los cuales son causantes del 69.24% del total de las horas pérdidas (1544 horas) y del 71.64% de las fallas (48 fallas) encontrando un total de 70 modos de fallas distintos que son los causantes de las fallas en los activos físicos de los camiones cisterna, de los cuales 2 modos de fallas son aceptables, 12 modos son fallas reducibles a deseables y 56 modos son fallas indeseables. Concluyendo que con la aplicación de un mantenimiento centrado en la confiabilidad, se puede llegar a reducir el 80% de las fallas que ocasionan pérdidas económicas, aumentando la disponibilidad en un incremento de 7.6% - 12.7%, obteniendo un beneficio de 190927.90 S/. /año, con una inversión en equipos de S/. 235993.15.

También en el estudio de Casachagua (2017): “Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM para mejorar la disponibilidad mecánica de la excavadora CAT 336 de la empresa Ecosem Smelter S.A” expone un plan de mantenimiento preventivo mediante un diseño de investigación cuasi-experimental, aplicando las herramientas del RCM como el análisis de criticidad de equipos y AMEF. El análisis de criticidad se aplicó en 5 ponderaciones: frecuencia de fallas, costos de mantenimiento, impacto operacional, flexibilidad operacional y seguridad y medio ambiente determinando que los componentes más críticos de las excavadoras son 7 (Turbocompresor, bomba de combustible, cilindro-pistón, árbol de levas, cigüeñal, transmisión, válvulas de escape) los cuales originan una disponibilidad de 81%. Mientras el AMEF encontró 65 modos de falla potenciales que originan una pérdida de 1846 horas/año con un costo de producción de 67453.00 nuevos soles/año. Concluyendo que con la aplicación del plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM la disponibilidad mejora en un 90%. En similitud a la presente estudio se aplicó los tres mantenimiento fundamentales correctivo programado, preventivo y predictivo basándonos en el fundamento del mantenimiento centrado en la confiabilidad, aplicando un estudio pre-experimental, donde se encontró inicialmente la disponibilidad mínima de los camiones cisterna 84.07% con una pérdida de 2230 horas/año, también se aplicó la misma metodología del análisis de criticidad con sus respectivas ponderaciones donde se obtuvieron 10 activos físicos críticos (cilindro, turbocompresor, cigüeñal, árbol de levas, pistón, bomba de combustible, ventilador, Anillos sincronizadores, bomba de aceite y alternador), el análisis AMEF permitió encontrar 70 modos de fallas con los cuales se diseñó el plan MCC para aumentar la disponibilidad en un valor porcentual máximo de 12.70%.

Asimismo, en el trabajo de Martínez (2009): “Propuesta para el incremento de la confiabilidad de los equipos críticos, basado en un análisis causa raíz”. Se realizó un estudio pre-experimental usando los métodos ACR, AMEF y NPR, para analizar la causa raíz de las fallas de los motores eléctricos para el accionamiento de bombas hidráulicas, donde inicialmente se determinaron los indicadores de mantenimiento a través del método logarítmico debido a que es el método más ajustado a los valores reales, obteniendo una disponibilidad de 82%, confiabilidad 85% y mantenibilidad 55% que originan una pérdida de 1400 horas/año. El análisis de criticidad se fundamentó en la frecuencia de fallas y 4 consecuencias: costos de mantenimiento, impacto operacional, flexibilidad operacional y seguridad y medio ambiente, donde se determinó que 5 equipos eran críticos (rotor, estator,

ventilador, eje de transmisión y rodamientos), realizando una hoja de decisión del AMEF para cada elemento crítico, donde se encontraron 44 modos de fallas que mediante el NPR el 67% fallas fueron indeseables, 26% fallas reducibles a deseables y 7% fallas aceptables. Concluyendo que con la propuesta del plan de mantenimiento basado en el análisis causa raíz los indicadores de mantenimiento como la disponibilidad aumentó en 95%, la confiabilidad en 93% y la mantenibilidad se mantuvo constante con el mismo valor de 55%. En igualación al presente informe también se utilizó el método de estudio pre-experimental, pero utilizando las metodologías AC, AMEF y NPR. Donde el análisis de criticidad utilizó 5 ponderaciones para determinar que 10 activos físicos de los camiones cisterna son de clasificación crítica, tales como: cilindro, turbocompresor, cigüeñal, árbol de levas, pistón, bomba de combustible, ventilador, Anillos sincronizadores, bomba de aceite y alternador, donde el turbocompresor y alternador obtuvieron el más alto valor de criticidad, para evaluar los indicadores de mantenimiento también se realizó a través del método logarítmico donde los valores mínimos encontrados fueron: disponibilidad 84.07%, mantenibilidad 81.35% y confiabilidad 52.38% que originan que se pierdan 2230 horas/año, la herramienta AMEF mediante hojas de información y decisiones encontró 70 modos de fallas, que mediante el NPR el 3% eran aceptables, el 17% reducibles a deseables y el 80 indeseables, Concluyendo que con el diseño de un plan de MCC los indicadores aumentan en incrementos porcentuales máximos de 12.70% para la disponibilidad y 15% en confiabilidad, mientras que la mantenibilidad se muestra constante a lo largo del tiempo.

Del mismo modo Suniaga (2010): Diseño del programa de mantenimiento preventivo a la maquinaria pesada perteneciente a la empresa Venezuelan Heavy Industries S.A. (Vhicoa)”. Utilizo el método de investigación experimental, haciendo uso del método AMEF, donde se evaluó los indicadores actuales de la maquinaria pesada tales como: cargadores frontales, excavadoras, retroexcavadoras, motoniveladoras y camiones de acarreo, obteniendo una disponibilidad en el rango de 75% - 82%, confiabilidad de 78% - 83%, debido aumento de 423 OTM (ordenes de trabajo de mantenimiento) correctivas y preventivas que originaron una pérdida de 2667 horas por mantenimiento no programado, debido a esta problemática se implementó el mantenimiento preventivo pero fundamentado en el análisis de modos y efectos de fallos AMEF, incrementando la confiabilidad en un rango de 88- 95%, la confiabilidad en 88- 94%. Concluyendo que con la ejecución del mantenimiento preventivo se redujo los costos de mantenimiento hasta en un 71.50%. En comparación a la presente

investigación, se utilizó el diseño de investigación pre-experimental, donde se estimaron los indicadores de mantenimiento con la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad haciendo uso de 3 herramientas o metodologías el AC, AMEF y NPR, donde se analizaron los activos físicos de 5 camiones cisterna de GLP y líquidos, encontrando inicialmente una disponibilidad en el rango de 84.07% - 90.44%, la confiabilidad entre 81.35% - 90.26% y la mantenibilidad entre 52.38% - 75.55% con una acumulación de 320 OTM en las cuales se contabilizaron 2230 horas pérdidas, la herramienta AMEF permitió el estudio de casa falla para su evaluación y posterior tarea de mantenimiento para su eliminación o reducción, logrando un incremento de la disponibilidad y confiabilidad en un rango de 7.6% - 12.7% y 7.9% - 15% respectivamente, mientras que la mantenibilidad se mantuvo constante. Concluyendo que con el diseño del mantenimiento centrado en la confiabilidad se reducen los costos de mantenimiento en un máximo porcentual del 80%.

Según Lavalle (2012), en su investigación: “Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para motores a gas de dos tiempos utilizados en pozos petroleros, con vista al aumento de su fiabilidad operacional”. Utilizo el diseño de investigación pre-experimental, utilizando el método AMEF y NPR, para estudiar el comportamiento de 120 motores a gas natural, con una confiabilidad inicial de 84.50% el cual es un valor crítico para la empresa en condiciones actuales es muy crítica con un valor porcentual de 84.50%, pero mediante la implementación del RCM a través del AMEF que se basa en hojas de información y decisiones, se aumentó la confiabilidad a un valor de 98%. Concluyendo, que la implementación del RCM requiere de una inversión de S/.160800.00 con un beneficio de 3089052.00 S/. /año y un periodo de retorno de la inversión de 19 días. En semejanza al presente estudio se empleó el diseño de investigación pre-experimental, utilizando los métodos del mantenimiento centrado en la confiabilidad AC, AMEF y NPR, para evaluar el comportamiento de 5 camiones cisterna (2 GLP y 3 Líquidos) encontrando una confiabilidad entre 81.35% - 90.26%, pero con el diseño del MCC se logró aumentar la confiabilidad en un rango porcentual de 7.9% - 15%. Concluyendo que se puede obtener un beneficio de 190927.90 S/. /año, con una inversión en equipos de S/. 235993.15 y un retorno operacional de la inversión de 15 meses.

Finalmente Gómez (2012), en su estudio: “Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para el taller mecánico de la Empresa Transpesa S.A.C”, utilizó el método de investigación pre-experimental para estudiar 54 fallas críticas encontradas en la maquinaria de maestranza con una disponibilidad mínima de 75%, para su solución empleo el AMEF encontrando 112 modos de fallos lo que permitió plantear 50 tareas de mantenimiento preventivas para aumentar la disponibilidad a un máximo porcentual de 10.1%. Concluyendo que el sistema de gestión de mantenimiento reducirá las horas perdidas de 2560 horas a 384 horas, obteniendo un beneficio de 150897.89 S/. /año, con una inversión de 67890.00 nuevos soles lo que permite un retorno operacional de la inversión de 6 meses. En comparación a la presente tesis también se hizo uso del diseño de investigación pre-experimental para estudiar 67 fallas de los activos físicos de 5 camiones cisterna con una disponibilidad mínima de 84.07%, donde el análisis de modos y efectos de fallos encontró 70 modos de fallas, lo que permitió plantear 43 tareas de mantenimiento preventivas y predictivas, incrementando la disponibilidad porcentual en 12.70%. Concluyendo que el diseño del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad reducirá las horas perdidas de 2230 horas a 446 horas, obteniendo un beneficio de 190927.90 S/. /año, con una inversión de S/. 235993.15 con un retorno operacional de la inversión de 15 meses.

V. CONCLUSIÓN

- 5.1. La evaluación inicial a los 5 camiones cisterna (GLP T7X 800 Isuzu, GLP LM3 426 Isuzu, ALY 732 Internacional, PAX 633 Internacional y WPL 480 Internacional) del Consorcio JRamírez, determino que el periodo 2017 se perdió un total de 2230 horas por fallas en plena operación, con un total de 67 fallas las cuales ocasionaron un costo en producción de S/. 267600.00, en costos de repuestos S/. 105748.50 y en costos de mano de obra S/. 35608.00 que originaron un costo total del mantenimiento de S/. 408956.50.
- 5.2. El análisis de los indicadores de mantenimiento iniciales de los camiones cisterna, determinó que la disponibilidad se encuentra en el rango de 84.07% - 90.44%, la confiabilidad entre 81.35% - 90.26% y la mantenibilidad entre 52.38% - 75.55%.
- 5.3. El análisis de criticidad se aplicó a 21 activos físicos relacionados con las 67 fallas de los camiones cisterna, de los cuales se encontraron 10 activos físicos críticos: cilindro, turbocompresor, cigüeñal, árbol de levas, pistón, bomba de combustible, ventilador, Anillos sincronizadores, bomba de aceite y alternador, 6 semicriticos: filtro de aire, válvula de admisión, impulsor eléctrico, carburador, Correa de distribución y toberas y 5 no críticos: frenos, enfriador de aceite, válvula de escape, distribuidor y conductores eléctricos.
- 5.4. Se realizó un análisis de modos y efectos de fallas AMEF a los 10 activos físicos de nivel de clasificación crítico, con sus respectivas fallas, los cuales son causantes del 69.24% del total de las horas pérdidas (1544 horas) y del 71.64% de las fallas (48 fallas) encontrando un total de 70 modos de fallas distintos que son los causantes de las fallas en los activos físicos de los camiones cisterna, de los cuales 2 modos de fallas son aceptables, 12 modos son fallas reducibles a deseables y 56 modos son fallas indeseables. Determinando que con la aplicación de un mantenimiento centrado en la confiabilidad MCC, se puede llegar a reducir el 80% de las fallas que ocasionan pérdidas económicas a la empresa JRamírez E.I.R.L.
- 5.5. Se diseñó el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad y se fundamentó en los activos físicos críticos con sus correspondientes modos de fallas indeseables, con un total de 56 fallas indeseables. Para lo cual se hizo

uso de los conocimientos de la ingeniería de mantenimiento, del supervisor y técnicos de mantenimiento de la empresa JRamírez E.I.R.L, planteando 43 tareas de mantenimiento de acuerdo a las hojas de información y decisiones, donde el tiempo para reparar de los camiones se reduciría a 446 horas de un total de 2230 horas, obteniendo una eliminación de 1784 horas perdidas. Asimismo con la aplicación del MCC la disponibilidad aumenta en un rango de 7.6% - 12.7%, la confiabilidad 7.9% - 15% y la mantenibilidad se mantuvo constante.

5.6.El diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, permitió al consorcio JRamírez E.I.R.L obtener un beneficio de 190927.90 S/. /año, con una inversión en equipos de S/. 235993.15 con un retorno operacional de la inversión de 15 meses.

VI.RECOMENDACIONES

- 6.1. Los técnicos y conductores de los camiones cisterna a GLP y líquidos del consorcio JRamirez, deben tener en cuenta la definición e interpretación de los indicadores de mantenimiento, para cuando sea implementado, se puedan identificar los puntos críticos en los activos físicos y así establecer posibles planes de mejoramiento del mismo.
- 6.2. Realizar todas las actividades o tareas propuestas que contiene el diseño del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad a todos los activos físicos críticos de los camiones cisterna, cumpliendo estrictamente lo estipulado en las hojas de decisiones del análisis de modos y efectos de fallas.
- 6.3. El Consorcio JRamirez debe realizar capacitaciones para su personal del área de mantenimiento de sus camiones cisterna para que a través de un mejor conocimiento o entendimiento puedan colaborar en la reducción de los modos de fallas en los activos físicos.
- 6.4. Se debe realizar seguimientos continuos, respecto a inspecciones, para corroborar el buen desempeño de las labores de mantenimiento y resultados obtenidos durante la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- 6.5. Una vez implementado el el diseño del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad durante un intervalo de tiempo de 1 año, se recomienda analizar la reducción de los costos de mantenimiento respecto a las horas no programadas, costos en repuestos y costos en mano de obra, para lograr el beneficio proyectado.
- 6.6. Asignar el presupuesto necesario por parte de la Jefatura de mantenimiento del Consorcio JRamirez, para la adquisición de los diferentes repuestos y accesorios que serán empleados en las nuevas tareas de mantenimiento.

VII. REFERENCIAS

- AMÉNDOLA, Luis. 2010. Modelos mixtos de confiabilidad. segunda. España, valencia. Datastream, 2010. ISBN 978-84-940628-2-7.
- ÁVILA, Rubén. 2008. Fundamentos del mantenimiento - Guías Económicas, Técnicas y Administrativas. Primera reimpression. Cd. de México: Limusa Grupo Noriega Editores primera reimpression, 2008. ISBN 968-18-2528-4.
- BENJAMÍN, Gino. 2016. Indicadores de Mantenimiento. Disponibilidad, Confiabilidad y Mantenibilidad. [En línea] 1 de Enero de 2016. [Citado el: 15 de abril de 2018.] <http://www.academia.edu>
- BRAND, Paul. 2009. Manual de Reparación y Mantenimiento Automotriz. España: Publicaciones Madrid, 2009. ISBN 9786075000336.
- DOUNCE, Enrique. 2008. La Productividad en el Mantenimiento Industrial. Segunda. Cd. de México: Compañía Editorial Continental, SA de CV, 2008. pág. 350. ISBN 968-26-1089-3.
- DOWN, Michael. 2010. Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales FMEA. Detroit : AIAG, 2010. pág. 135. ISBN: 9781605341361
- GÁLVEZ, Illich .2009. *Herramientas para la Mejora de los Procesos*. [En línea] 2 de enero del 2009. [Citado el: 13 de abril del 2018] Ford Motor Company. <http://es.slideshare.net>.
- KECECIOGLU, Dimitri. 2007. Maintainability, Availability, & Operational Readiness Engineering. New Jersey City: Editorial Prentice-Hall Professional Technical, 2007. ISBN: 0135736277.
- MORA, Alberto. 2009. Mantenimiento - Planeación, Ejecución y Control. Bogotá: Alfa omega editores Internacional, 2011. pág. 678. Sexta Edición. ISBN 978-958-682-769-0

- MOUBRAY, John. 2004. RCM Reliability Centered Maintenance - Industrial Press Inc. [ed.] Guilford and Rob Lockhart Biddles Limited. [trad.] Sueiro y Asociados - Argentina Ellman. Primera en castellano. Leicestershire: Aladon Limited, 2004. pág. 433. ISBN 09539603-2-3.

- LEAN. 2016. AMEF, Análisis de modo y efecto de la falla. NPR. [En línea] 12 de Marzo de 2016. [Citado el: 10 de abril de 2018.] <http://www.leansolutions.co>

- SOWELL, Tomas. 2013. Economía Basica . España : Deusto SA, 2013. 9788423412648.

ANEXOS

A.1. ficha de registro de los camiones cisterna del Consorcio JRamirez EIRL


ÍTEM	DETALLE DE LA FALLA	ACTIVO FÍSICO	TTR (Horas/año)
CAMIÓN CISTERNA A GLP T7X 800 ISUZU			
1	Baja compresión en los cilindros	Cilindro	33
2	Turbo con carbonilla u obstruido	Turbocompresor	36
3	Dámper roto o averiado	Cigüeñal	42
4	Ejes de sincronización desalineados	Árbol de levas	18
5	Anillos de pistones gastados	Pistón	24
6	Tubo de combustible restringido	Bomba de combustible	27
7	Control deficiente de aceite en los anillos	Pistón	51
8	Tubo de combustible restringido	Bomba de combustible	24
9	Filtros de aires fisurados	Filtros de aire	24
10	Golpeo metálico agudo	Frenos	54
11	Dámper roto o averiado	Cigüeñal	33
12	Filtros de aires fisurados	Filtros de aire	45
13	Holgura en válvula de admisión	Válvula admisión	27
14	Enfriador de aceite averiado u roto	Enfriador de aceite	55
15	Anillos de pistones gastados	Pistón	39
16	Salida de gases de escape obstruida	válvula escape	41
CAMIÓN CISTERNA A GLP LM3 426 ISUZU			
1	Dámper roto o averiado	Cigüeñal	52
2	Ejes de sincronización desalineados	Árbol de levas	40
3	Filtros de aires fisurados	Filtros de aire	28
4	Holgura en válvula de admisión	Válvula admisión	36
5	Presencia de aceite en el turbo	Turbocompresor	40
6	Paletas del ventilador desequilibradas	Ventilador	68
7	Filtraciones de aire en tubo de succión	Cilindro	64
8	Defectos en el módulo eléctrico	Alternador	20
9	Rotor de distribuidor de chispa en mal estado	Distribuidor	43
CAMIÓN CISTERNA DE LÍQUIDOS ALY 732 INTERNACIONAL			
1	Anillos sincronizadores en mal estado	Anillos sincronizadores	21
2	Mal funcionamiento del sistema electro ventilador	Ventilador	28
3	Diafragma o impulsor eléctrico en mal estado	Impulsor eléctrico	25
4	Sistema de estrangulador de aire trabado	Turbocompresor	15
5	Conductos o difusores del carburador obstruidos	Carburador	37
6	Desajuste de regulador de mezcla	Carburador	17
7	Desgaste excesivo del eje motriz de la bomba	Bomba de combustible	26
8	Segmentos desgastados	Pistón	22

9	Presencia de aceite en el turbo	Turbocompresor	19
10	Paletas del ventilador desequilibradas	Ventilador	29
11	Filtraciones de aire en tubo de succión	Cilindro	27
12	Presión de aceite excesiva	Bomba de aceite	29
13	Bobinas del estator en cortocircuito, interrumpidas	Alternador	22
14	Roce del rotor contra el estator	Alternador	41
15	Correa motriz resbalando o rota	Correa de distribución	22
16	Presencia de aceite en el turbo	Turbocompresor	33
17	Paletas del ventilador desequilibradas	Ventilador	23
18	Filtraciones de aire en tubo de succión	Cilindro	17
CAMIÓN CISTERNA DE LÍQUIDOS PAX 633 INTERNACIONAL			
1	Descentramiento o suciedad en el colector	Alternador	20
2	Regulador de voltaje en mal estado	Conductores eléctricos	45
3	Defectos en el módulo eléctrico	Alternador	32
4	Turbo con carbonilla u obstruido	Turbocompresor	25
5	Dámper roto o averiado	Cigüeñal	28
6	Ejes de sincronización desalineados	Árbol de levas	23
7	Filtros de aires fisurados	Filtros de aire	33
8	Fugas por válvulas de admisión	Válvula admisión	36
9	Agujeros de toberas obstruidos	Toberas	41
10	Pistón del compresor fisurado	Turbocompresor	16
11	Bobinas del estator en cortocircuito, interrumpidas	Alternador	40
12	Roce del rotor contra el estator	Alternador	21
13	Correa motriz resbalando o rota	Correa de distribución	36
CAMIÓN CISTERNA DE LÍQUIDOS WLP 480 INTERNACIONAL			
1	Amperímetro o testigo luminoso en mal estado	Alternador	51
2	Desgaste excesivo del eje motriz de la bomba	Bomba de combustible	32
3	Segmentos desgastados	Pistón	42
4	Presencia de aceite en el turbo	Turbocompresor	25
5	Paletas del ventilador desequilibradas	Ventilador	36
6	Filtraciones de aire en tubo de succión	Cilindro	37
7	Presión de aceite excesiva	Bomba de aceite	47
8	Anillos sincronizadores en mal estado	Anillos sincronizadores	54
9	Mal funcionamiento del sistema electro ventilador	Ventilador	25
10	Diafragma o impulsor eléctrico en mal estado	Impulsor eléctrico	41
11	Sistema de estrangulador de aire trabado	Turbocompresor	27
			2230

A.2. Ejemplos de OTM de los camiones cisterna del Consorcio JRamirez EIRL

ORDEN DE MANTENIMIENTO

**CONSORCIO
JRAMIREZ E.I.R.L**



ORDEN DE MTTO N°: 033-2017
 N° OTM: 033
 FECHA INGRESO: 11-03-2017
 FECHA SALIDA: 12-03-2017

OPERACIONES DE MANTENIMIENTO

SOLO PARA TERCEROS: TALLER Y/O MECANICO

RUC

TALLER AUTOMOTRIZ JRamirez

20559722490

PLACA UNIDAD

NOMBRE OPERADOR

TFX 800 ISUZU - GLP

JAVIER SALINAS PALACIOS

CAMIÓN CISTERNA

KILOMETRAJE

HORÓMETRO

GAS LIQUADO DE PETRÓLEO

140355 KM

756 HS

ÍTEM	SISTEMA	DESCRIPCIÓN DE LA AVERÍA O FALLA	TIEMPO EMPLEADO	OBSERVACIONES
1	<u>MOTOR</u>	<u>Anillos de pistones desgastados</u>	<u>24 horas</u>	<u>Cambio de Anillos de pistón y mantenimiento.</u>
2	<u>(Cilindros - Pistón)</u>	<u>(Presencia de humo negro que sale del tubo de escape, potencia perdida y aumento del combustible)</u>		
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

TRABAJOS PENDIENTES

SISTEMA	MECÁNICO	DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS PENDIENTES
<u>MOTOR</u>	<u>—</u>	<u>Revisar estado del Asiento de las válvulas de escape.</u>

EN LA ZONA DE TRABAJO DE LA UNIDAD

Inicio

- ELIMINACIÓN DE FUGAS
- AJUSTE DE COMPONENTES
- REV. DEL SISTEMA TRABAJADO
- LIMPIEZA DE ZONA DE TRABAJO

Final

- MPP MANT. PREVENTIVO PROGRAMADO
- MCP MANT. CORRECTIVO PROGRAMADO
- MCP MANT. CORRECTIVO
- AMR EMERGENCIA
- RT RECLAMO TALLER

CHECK LIST CONTROL DE CALIDAD

INSPECCION GENERAL

BUENO	MALO
/	X

Inicio

- REV. NIVELES, MOTOR, HIDRÁULICOS, EMBRAGUE
- AGUA DE BATERÍAS
- FORROS DE ZAPATAS
- JUEGO Y AJUSTE DE EJE Y JUNTAS CARDANICAS
- FUGAS DE AIRE
- OTRAS FUGAS
- PRESIÓN DE NEUMÁTICOS DE DIRECCIÓN
- VERIFICACIÓN DE AJUSTE DE P. RUEDA (ALEATORIO)

Final

Javier Salinas Palacios

OPERADOR DE UNIDAD

**CONSORCIO
JRAMIREZ E.I.R.L**

Javier Salinas Palacios

MECÁNICO DE MANTENIMIENTO

A3. Matriz de análisis de criticidad general



Fuente: Amendola, 2010.

A.4. Ponderaciones de criticidad para activos físicos

Frecuencia de fallas	
Elevado mayor a 40 fallas/año	4
Promedio 20-40 fallas/año	3
Buena 10-20 fallas/año	2
Excelente menos de 10 fallas/año	1

Impacto Operacional	
Parada total del equipo	10
Parada parcial del equipo y repercute a otro equipo o subsistema	7-9
Impacta a niveles de producción o calidad	5-6
Repercute en costos operacionales asociado a disponibilidad	2-4
No genera ningún efecto significativo	1

Flexibilidad Operacional	
No existe opción igual o equipo similar de repuesto	4
El equipo puede seguir funcionando	2-3
Existe otro igual o disponible fuera del sistema (stand by)	1

Costo de mantenimiento	
Mayor o igual a US\$ 400 (incluye repuestos)	2
Inferior a US\$ 400 (incluye repuestos)	1

Impacto a Seguridad Ambiente e Higiene	
Accidente catastrófico	8
Accidente mayor serio	6-7
Accidente menor e incidente menor	4-5
Cuasi accidente o incidente menor	2-3
Desvío	1
No provoca ningún tipo de riesgo	0

Fuente: Amendola, 2010.

A5. Hoja de información del AMEF

Nombre del equipo:			
Sistema:			
Pieza	Función que desempeña (F)	Modo de fallo funcional (FF)	Causas Potenciales de fallo (FM)

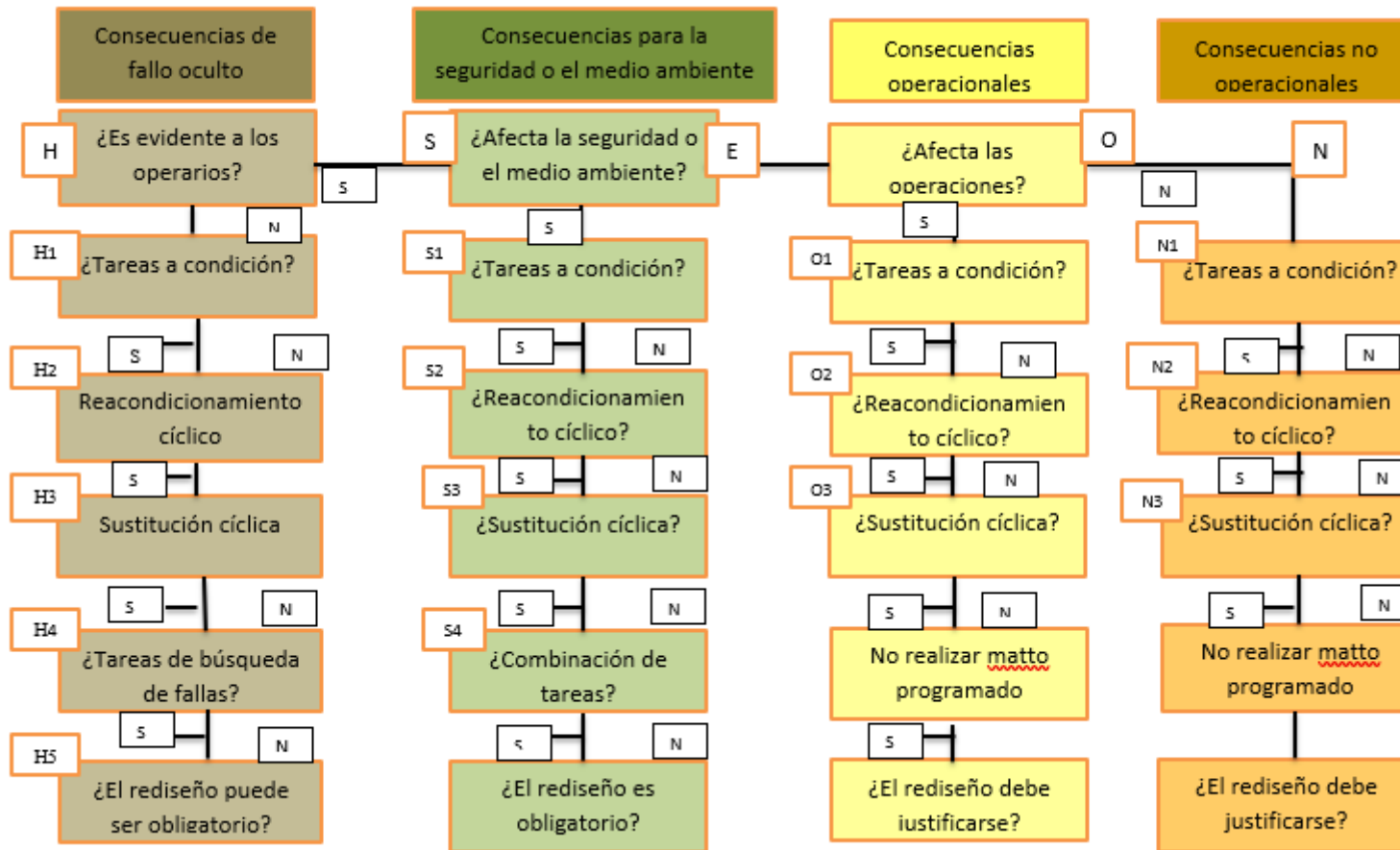
Fuente: Mora, 2009

A.6. Hoja de decisión del AMEF

HOJA DE DECISIONES			Sistema:						Facilitador:	Fecha:	Hoja N° 1				
			Subsistema:						Auditor:	Fecha:	de:				
Referencia de información			Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Acción de falla de			Tarea Propuesta	Intervalo inicial (a-año, m-mes, s=semana, d=día)	A realizarse por
							S1	S2	S3						
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H	H5	S4			
							N1	N2	N3	4					

Fuente: Mora, 2009

A7. Árbol lógico de decisiones del AMEF



Fuente: Améndola, 2002.

A8. Índices del número de prioridad de riesgos NPR

Ocurrencia	
Descripción	Puntaje
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

Gravedad	
Descripción	Puntaje
Ínfima, imperceptible	1
Escasa, falla menor	2-3
Baja, fallo inminente	4-5
Media, fallo, pero no para el sistema	6-7
Elevada, falla crítica	8-9
Muy elevada, con problemas de seguridad, no conformidad	10

Detección (dificultad de detección)	
Descripción	Puntaje
Obvia	1
Escasa	2-3
Moderada	4-5
Frecuente	6-7
Elevada	8-9
Muy elevada	10

Fuente: Mora, 2009.