

Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil Industrial



**Propuesta de diseño de un plan de mantenimiento
centrado en la confiabilidad (RCM) para la flota de
camiones de Transporte Cargo Pacífico Ltda.**

Por

Carla Javiera Fuentes Gaete

Trabajo de Título para optar al Grado de Licenciado en
Ciencias de la Ingeniería y título de Ingeniero Civil Industrial

Prof. Augusto Vargas Schüler

Marzo, 2018

Agradecimientos

No puedo partir de otra forma que no sea agradeciendo a los pilares más importantes que me sostuvieron en mis peores momentos de flaqueza, a los que creyeron en mí incluso cuando ni yo misma creía en mí, a mi fuente inagotable de energía: mami, papi... Gracias por tanto! Sin su apoyo incondicional, nada de esto sería posible, todo el fruto de este trabajo es suyo. Los amo a más no poder.

A mis hermanos, por el notable traspaso de sabiduría universitaria, y por los sobrinos más maravillosos con los que podría soñar. Negrito, sin ti esta memoria no existiría. Caro, bien vieja me vine a dar cuenta que eres la mejor hermana que el cielo me pudo regalar, me faltarían años para agradecerte todo lo que me has dado.

A mi viejita, que desde algún lugar del cielo me cuida y protege siempre. Al fin viejita! Lo logré!

A mi familia porteña, a todos los que sin tener relación sanguínea me abrieron las puertas de su casa, y con mucha paciencia me aceptaron, quisieron e incluso consintieron. Cabros de mi corazón, ustedes saben quiénes son, estaré eternamente en deuda por tanto cariño.

A todos ustedes, gracias infinitas por ser parte de mi vida. Los llevaré siempre en mi corazón.

ÍNDICE

<i>Agradecimientos</i>	3
GLOSARIO	9
LISTA DE ABREVIATURAS	12
ÍNDICE DE FIGURAS	13
ÍNDICE DE GRÁFICOS	15
ÍNDICE DE TABLAS	16
ÍNDICE DE DIAGRAMAS	18
RESUMEN	20
ABSTRACT	20
INTRODUCCIÓN	21
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES	23
1.1. La empresa	23
1.1.1. Reseña histórica.....	23
1.1.2. Servicios	24
1.1.3. Ubicación geográfica	25
1.1.4. Misión	25
1.1.5. Visión.....	25
1.1.6. Organigrama	25
1.2. Procesos de la empresa	27
1.2.1. Identificación de los procesos de la empresa.....	27
1.2.2. Indicadores de producción.....	34
1.3. Selección del objeto de estudio	38
1.3.1. Dimensiones para la selección del objeto de estudio.....	38
1.3.2. Ponderación de dimensiones y selección del objeto de estudio	40
1.4. Descripción del objeto de estudio	42
1.4.1. KPI: Tiempo medio entre fallas (MTBF)	43

1.4.2.	KPI: Tiempo medio de reparación (MTTR)	44
1.4.3.	KPI: Confiabilidad (Rs)	45
1.4.4.	KPI: Disponibilidad (D)	46
1.5.	El problema	47
1.5.1.	Fundamentos del problema	52
1.6.	Causas del problema	54
1.6.1.	Identificación de las causas: Árbol de realidad actual (ARA).....	54
1.6.3.	Diagrama de Pareto.....	60
1.7.	Diagrama CAUSA – PROBLEMA – IMPACTO (CPI).....	62
1.8.	Selección de la metodología a emplear	63
1.8.1.	Total Productive Maintenance (TPM).....	63
1.8.2.	Reability Centred Maintenance (RCM)	64
1.8.3.	Asset Management (AS).....	65
1.8.4.	Jerarquización de metodologías para su selección	66
1.9.	Objetivos.....	69
1.9.1.	Objetivo general.....	69
1.9.2.	Objetivos específicos	69
1.10.	Limitaciones del estudio	70
CAPÍTULO 2: MARCO METODOLÓGICO		72
2.1.	Teoría del método	72
2.1.1.	Fase 1: Identificación de los sistemas y subsistemas de los vehículos de carga	72
2.1.2.	Fase 2: Determinación de indicadores	72
2.1.3.	Fase 3: Análisis de criticidad	74
2.1.4.	Fase 4: Definir funciones y parámetros de funcionamiento de los activos	78
2.1.5.	Fase 5: Identificar y distinguir fallas funcionales	79
2.1.6.	Fase 6: Determinar el modo de falla	79
2.1.7.	Fase 7: Estudio de los efectos y consecuencias de fallas funcionales	80

2.1.8.	Fase 8: Determinar medidas preventivas.....	81
2.1.9.	Fase 9: Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).....	82
2.2.	Resultados esperados	82
2.3.	Limitantes del método	83
CAPÍTULO 3: APLICACIÓN MÉTODO RCM.....		85
3.1.	Fase 1: Identificación de los sistemas y subsistemas de los vehículos de carga	86
3.2.	Fase 2: Determinación de indicadores	93
3.3.	Fase 3: Análisis de criticidad	94
3.3.1.	Definir el nivel de análisis.....	94
3.3.2.	Definir la criticidad.....	95
3.3.3.	Análisis y validación de resultados.....	97
3.4.	Fase 4: Definir funciones y parámetros de funcionamiento de los activos	97
3.5.	Fase 5: Identificar y distinguir fallas funcionales	104
3.6.	Fase 6: Determinar los modos de falla	104
3.7.	Fase 7: Estudio de los efectos y consecuencias de fallas funcionales.....	105
3.8.	Fase 8: Determinar medidas preventivas	106
3.9.	Fase 9: Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).....	109
3.9.1.	Evaluación de reposición y adquisición de vehículos de carga.....	111
3.10.	Análisis de escenarios en aplicación de metodología RCM	114
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS		115
4.1.	Análisis de costos de mantenimiento.....	122
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES.....		125
5.1.	Recomendaciones	127

CAPÍTULO 6: ANEXO.....	129
6.1. Prototipo de encuesta con escala Likert para la selección del proceso a estudiar.....	129
6.2. Indicadores clave de desempeño (KPI) en el año 2016	134
6.3. Jerarquización de causas, diagrama de Pareto	138
6.4. Prototipo de planilla para registro y cálculo de KPI's	140
6.5. Análisis de criticidad	142
6.6. Identificación de sistemas y subsistemas del vehículo de carga.....	144
6.6.1. Sistema 1: Motor	144
6.6.2. Sistema 2: Transmisión.....	146
6.6.3. Sistema 3: Sistema eléctrico	147
6.6.4. Sistema 4: Dirección	149
6.6.5. Sistema 5: Sistema de frenado	149
6.6.6. Sistema 6: Sistema de suspensión	150
6.6.7. Sistema 7: Llantas.....	152
6.6.8. Sistema 8: Chasis y carrocería	152
6.7. Fallas funcionales	152
6.8. Evaluación de reemplazo de equipos.....	154
BIBLIOGRAFÍA.....	157

GLOSARIO

TCP: Transporte Cargo Pacífico, empresa de estudio de este trabajo de título.

PROCESOS ESTRATÉGICOS¹: Son aquellos que mantienen y despliegan las políticas y estrategias de la unidad o servicio. Proporcionan directrices y límites de actuación al resto de los procesos.

PROCESOS CLAVE U OPERATIVOS¹: Son aquellos que justifican la existencia de la unidad o servicio. Están directamente ligados a los servicios que se prestan y orientados a los clientes/usuarios y a los requisitos.

PROCESOS DE APOYO¹: Son aquellos que sirven de soporte a los procesos clave. Sin ellos no serían posibles los procesos clave ni los estratégicos. Estos procesos son determinantes para que puedan conseguirse los objetivos de la unidad o servicio.

PROCESO DE DISTRIBUCIÓN¹: Es el proceso clave de TCP, el cual consta en transportar cargas desde centros de distribución propios hasta el lugar indicado por los clientes.

PROCESO DE MANTENIMIENTO/MANTENCIÓN¹: Es un proceso de apoyo de TCP y consta en dar soporte mecánico a su flota de camiones.

PROCEDIMIENTO: Es la forma específica de a término un proceso o una parte del mismo.

LEASING²: Es un contrato mercantil que celebra una empresa arrendadora para la prestación de un servicio, a cambio de pagos periódicos.

FLOTA DE CAMIONES: La totalidad de la flota de camiones de TCP contempla 252 camiones.

FLOTA ANTIGUA: Corresponde a 90 camiones de la totalidad de la flota y se diferencian por recibir mantenimiento interno.

FLOTA NUEVA: Corresponde a 162 camiones de la totalidad de la flota y se diferencian por poseer un contrato leasing para recibir mantenimiento externo con las empresas Kaufmann S.A. y Maco Volkswagen.

¹[VCPERS] Vicerrectorado de Calidad, Planificación Estratégica y Responsabilidad Social, Secretariado de Calidad y Desarrollo Estratégico. “*Guía para la identificación y análisis de los Procesos de la UMA*”.

²[Mavila] Daniel Mavila H. *Leasing Financiero Vol. 6, página 86*, edición PDF.

MANTENIMIENTO INTERNO: Se refiere a las tareas y actividades de mantención que son realizadas a la flota antigua en las dependencias de TCP.

MANTENIMIENTO EXTERNO: Se refiere a las tareas y actividades de mantención que son realizadas a la flota nueva por las empresas de fábrica de los activos: Kaufmann S.A. y Maco Volkswagen.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO: Son todas aquellas tareas que se realizan de forma anticipada para prevenir el surgimiento de fallas y averías en los equipos.

MANTENIMIENTO PREDICTIVO: Técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente con el propósito de que pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle.

MANTENIMIENTO CORRECTIVO: Aquel procedimiento que enmarca actividades dirigidas a corregir o reparar las fallas o averías detectadas en los camiones de la flota antigua de TCP.

FALLA: Defecto que se pueda generar en un equipo producto del mal uso o causas aleatorias.

AVERÍA: Daño que impide el funcionamiento de un equipo.

MANTENIMIENTO PROGRAMADO: Aquel procedimiento que engrupa las tareas de los camiones de la flota siguiendo un programa establecido.

INDICADORES DE PRODUCCIÓN³: Son indicadores de gestión que permiten la ejecución de ciclos de mejora continua, además de funcionar como parámetros de viabilidad de procesos.

VOLUMEN DE DISTRIBUCIÓN³: Es un indicador de producción que mide la capacidad total de distribución de la empresa.

COSTOS DE DISTRIBUCIÓN/OPERACIÓN³: Todos aquellos desembolsos en que deberá incurrir la empresa para trasladar las cargas desde las instalaciones propias hasta el lugar indicado por el cliente.

COSTOS DE MANTENCIÓN³: Todos aquellos desembolsos efectuados por conceptos de conservar, reparar o restaurar los camiones de la flota de TCP.

KPI (Key Performance Indicator): Indicadores clave de desempeño, que para efectos de este trabajo de título estarán ligados al proceso de mantenimiento.

³ <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/produccion/indicadores-de-produccion/>

MTBF (Mid Time Between Failure)⁴: Tiempo medio entre fallas. KPI que mide el tiempo promedio de ocurrencia entre una falla y otra.

MTTR (Mid Time To Repair)⁴: Tiempo medio de reparación. KPI que mide el tiempo promedio que demoran las reparaciones de un equipo en un periodo determinado.

DISPONIBILIDAD (D)⁴: Es la probabilidad de que los camiones de la flota de TCP se encuentren operativos cuando se requiera su uso.

CONFIABILIDAD (Rs)⁴: Es la probabilidad de que los camiones operen en forma satisfactoria por un periodo determinado y bajo condiciones operacionales previamente establecidas y constantes.

CARGAS PENDIENTES: Aquellas cargas que por motivos de sobreventa o falta de disponibilidad de camiones para la distribución, no han sido efectivamente entregadas a los clientes.

CENTRO DE DISTRIBUCIÓN: TCP cuenta con 9 depósitos ubicados entre la IV y VII región, en los cuáles se planea la logística de distribución por área y en donde además se cargan los camiones con la mercancía para su distribución.

TPM (Total Productive Maintenance)⁵: Mantenimiento productivo total. Metodología dirigida al mantenimiento de activos involucrando a todas las áreas de la empresa.

RCM (Reability Centred Maintenance)⁶: Mantenimiento centrado en la confiabilidad. Metodología que permite determinar convenientemente las necesidades para mantener cualquier activo físico en su entorno de operación.

AS (Asset Management): Gestión de activos. Metodología que se define como el conjunto de actividades y prácticas coordinadas y sistemáticas por medio de las cuales una organización maneja de manera óptima y sustentable sus activos y sistemas de activos, su desempeño, riesgo y gastos a lo largo de sus ciclos de vida, con el fin de lograr su plan estratégico organizacional [PAS55:2008].

COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN (R²)⁷: Mide qué parte de la variación de una variable viene explicada (se puede predecir) por la variación de la otra. Puede tener valores entre 0 (ninguna relación lineal) y 1 (relación lineal perfecta).

⁴ [Pauro] Pauro, R. *“Indicadores de mantenimiento: ¿Qué se debe medir y por qué?”*, (Buenos Aires, Argentina), edición PDF.

⁵ <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/819/6200046S586ds.pdf?sequence=1>

⁶ <http://www.ingenieriamantenimiento.org/analisis-de-fallos/rcm-mantenimiento/>

⁷ <http://www.expansion.com/diccionario-economico/coeficiente-de-determinacion.html>

LISTA DE ABREVIATURAS

CD: Centro de distribución.

Cm: Centímetro.

CO: Monóxido de carbono.

D: Disponibilidad.

HC: Ácido cianhídrico.

HP: Horse Power. Caballo de fuerza.

Kg: Kilogramo.

Km: Kilómetro.

L: Litro.

MTBF: Mid Time Between Failure. Tiempo medio entre fallas.

MTTR: Mid Time To Repair. Tiempo medio de reparación.

NOx: Óxidos de nitrógeno.

PM: Particulate Matter. Partículas contaminantes.

Rs: Reability. Confiabilidad del sistema.

V: Volt.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.: Organigrama general TCP	26
Figura 1.2.: Clasificación de procesos	27
Figura 1.3.: Dimensiones para la selección de objeto de estudio	39
Figura 1.4.: Selección de dimensiones y objeto de estudio	40
Figura 1.5.: Matriz de decisión, selección objeto de estudio	41
Figura 1.6.: Árbol de realidad actual (ARA)	56
Figura 1.7.: Ventajas y limitantes del TPM	64
Figura 1.8.: Ventajas y limitantes RCM	65
Figura 1.9.: Ventajas y limitantes AS	66
Figura 1.10.: Matriz de decisión para seleccionar la metodología	67
Figura 3.1.: Resumen sistema 1: MOTOR	87
Figura 3.2.: Resumen sistema 2: TRANSMISIÓN	88
Figura 3.3.: Resumen sistema 3: SISTEMA ELÉCTRICO	89
Figura 3.4.: Resumen sistema 4: DIRECCIÓN	90
Figura 3.5.: Resumen sistema 5: SISTEMA DE FRENADO	91
Figura 3.6.: Resumen sistema 6: SISTEMA DE SUSPENSIÓN	92
Figura 3.7.: Resumen sistema 7 y 8: LLANTAS, CHASIS Y CARROCERÍA	93
Figura 3.8.: Nivel de análisis para evaluar criticidad	94
Figura 4.1.: Composición del costo integral de mantenimiento	122
Figura 4.2.: Comportamiento esperado de los costos de mantenimiento post aplicación del método RCM	123
Figura 6.1.: Encuesta Likert, costos de mantención	130
Figura 6.2.: Encuesta Likert, ingresos por carga transportada y entregada	130

Figura 6.3.: Encuesta Likert, tiempo medio de reparación (MTTR)	131
Figura 6.4.: Encuesta Likert, disponibilidad (D).....	131
Figura 6.5.: Encuesta Likert, confiabilidad (Rs).....	132
Figura 6.6.: Encuesta Likert, pregunta libre.....	132

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1.: Volumen de distribución	34
Gráfico 1.2.: Costos de distribución	36
Gráfico 1.3.: Costos de mantención	37
Gráfico 1.4.: MTBF por equipo en 2016	43
Gráfico 1.5.: MTTR por equipo en 2016	44
Gráfico 1.6.: Confiabilidad por equipo en 2016	45
Gráfico 1.7.: Disponibilidad por equipo en 2016.....	46
Gráfico 1.8.: Costos de operación vs costos de mantención	47
Gráfico 1.9.: Contribución de los costos de mantención	48
Gráfico 1.10.: Cargas pendientes por equipo en 2016	50
Gráfico 1.11.: Cargas pendientes por equipo en 2016, según depósito de origen.....	51
Gráfico 1.12.: Costos de mantención interna TCP	53
Gráfico 3.1.: Evaluación de reemplazo de vehículos de carga	113
Gráfico 4.1.: Pronóstico de comportamiento MTBF	117
Gráfico 4.2.: Pronóstico de comportamiento MTTR	118
Gráfico 4.3.: Pronóstico de comportamiento para la confiabilidad (Rs)	119
Gráfico 4.4.: Pronóstico de comportamiento para la disponibilidad (D)	120
Gráfico 6.1.: Resultado pregunta libre.....	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.: Resultado KPI's para el año 2016	42
Tabla 2.1.: Criterios para estimar la frecuencia	75
Tabla 2.2.: Categoría de impactos	77
Tabla 2.3.: Severidad de fallas.....	80
Tabla 2.4.: Probabilidad de ocurrencia de fallas.....	81
Tabla 3.1.: Cargas pendientes por equipo en 2016.....	96
Tabla 3.2.: Resultados, análisis de criticidad	97
Tabla 3.3.: Funciones y parámetros de funcionamiento	98
Tabla 3.4.: Funciones por componentes y subsistemas del sistema MOTOR.....	101
Tabla 3.5.: Funciones por componentes y subsistemas del sistema TRANSMISIÓN.....	101
Tabla 3.6.: Funciones por componentes y subsistemas del sistema ELÉCTRICO	102
Tabla 3.7.: Funciones por componentes y subsistemas del sistema DIRECCIÓN	102
Tabla 3.8.: Funciones por componentes y subsistemas del sistema de FRENADO	103
Tabla 3.9.: Funciones por componentes y subsistemas del sistema de SUSPENSIÓN	103
Tabla 3.10.: Planilla para estudio de efectos y consecuencias de fallas funcionales.....	105
Tabla 3.11.: Frecuencia para aplicación de actividades de mantenimiento preventivo.....	106
Tabla 3.12.: Checklist de actividades de mantenimiento preventivo.....	107
Tabla 3.13.: Reestructuración global de mantenimiento al aplicar RCM.....	111
Tabla 3.14.: Beneficios por reemplazo de camiones.....	112
Tabla 3.15.: Análisis de escenarios.....	114
Tabla 4.1.: KPI's 2016 vs KPI's pronosticados con RCM	121
Tabla 6.1.: KPI's 2016.....	136
Tabla 6.2.: Pronóstico de KPI's con RCM aplicado	138

Tabla 6.3.: Causas jerarquizadas, diagrama de Pareto.....	139
Tabla 6.4.: Prototipo de planilla para registro de días que pasan los equipos en taller.....	142
Tabla 6.5.: Análisis de criticidad.....	144
Tabla 6.6.: Determinación del costo promedio anual.....	155

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1.1.: Proceso de distribución.....	29
Diagrama 1.2.: Mantenimiento correctivo.....	31
Diagrama 1.3.: Mantenimiento programado	33
Diagrama 1.4.: Diagrama de Ishikawa	59
Diagrama 1.5.: Diagrama de Pareto.....	61
Diagrama 1.6.: CAUSA – PROBLEMA – IMPACT	62
Diagrama 2.1.: Metodología adaptada a estudio.....	84
Diagrama 3.1.: Cadena de razonamiento RCM, adaptado al caso de la flota de vehículos de carga de TCP.....	110
Diagrama 4.1.: CAUSA – PROBLEMA – IMPACTO con aplicación RCM	116

RESUMEN

En este trabajo de título se presenta el resultado de la aplicación del método RCM a la flota de camiones y tracto camiones de la empresa Transporte Cargo Pacífico Ltda., con lo que se consiguió modificar su programa de mantenimiento al incluir tareas y actividades de carácter preventivo, con el propósito de aumentar la confiabilidad y disponibilidad del sistema de activos, disminuir costos asociados a mantenimiento correctivo, reducir el número de cargas pendientes por equipo al año, y por consecuente incrementar los ingresos de la empresa. Con la implementación de este método, modificado al caso de estudio, se espera una reducción del 40% en fallas funcionales en ruta al año, del 60% en la existencia de cargas pendientes y un incremento anual de ingresos de alrededor de \$95 millones.

PALABRAS CLAVE: Método RCM, mantenimiento, mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, confiabilidad, disponibilidad, cargas pendientes, fallas funcionales.

ABSTRACT

This paper presents the result of the application of the RCM method to the truck fleet of the company Transporte Cargo Pacífico Ltda., which managed to modify its maintenance program by including preventive tasks and activities, with the purpose of increasing the reliability and availability of the asset system, reducing costs associated to corrective maintenance, reducing the number of pending loads per truck per year, and consequently increasing the company's incomes. With the implementation of this method, modified to this case, is expected a reduction of 40% in route functional failures per year, 60% in the existence of pending loads, and an annual income increase of around CLP 95 million.

KEYWORDS: *RCM method, maintenance, preventive maintenance, corrective maintenance, reliability, availability, pending loads, functional failures.*

INTRODUCCIÓN

En las últimas 3 décadas los procesos de mantenimiento han experimentado una serie de transformaciones a nivel tecnológico, económico, social, organizacional y humano, en virtud a la nueva concepción de eficiencia, eficacia y calidad en los resultados esperados del proceso⁸; para conseguir lo anterior, se han planteado diferentes métodos que contemplan actividades y tareas dirigidas al control del mantenimiento, es decir, actividades de prevención y evaluación con el objeto de disminuir los costos asociados a las paradas de las máquinas, que traen consigo una directa disminución en la productividad y por consecuencia una disminución en los ingresos de las empresas.

En consideración de lo anteriormente expuesto, es que se han diseñado diferentes procedimientos preventivos de mantenimiento, que, si bien corresponden a desembolsos monetarios que en ocasiones pueden resultar bastante elevados, contribuirán en la disminución de la tasa total de fallos de las máquinas. En definitiva, el hecho de invertir en actividades preventivas de mantenimiento incidirá en una disminución en la cantidad y costo de las actividades de mantenimiento correctivo.

Siguiendo este orden ideas, y entendiendo que todo sistema es productivo siempre y cuando opere bajo un mínimo de fallas⁹, es que se ha dirigido el estudio de este trabajo de título al proceso de mantenimiento de la empresa Transporte Cargo Pacífico Ltda., particularmente a su flota de vehículos de carga compuesta por camiones, tracto camiones y semirremolques. En los siguientes apartados se presentarán los antecedentes que justifican este estudio, además de un exhaustivo análisis de indicadores que culminará en la decisión del método a aplicar para dar solución a los problemas detectados dentro del proceso de estudio.

⁸ <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/gestion-integral-de-mantenimiento-basada-en-confiabilidad>

⁹ [Vargas&Welder04] Vargas, P. y Welder, U. *Programa de mantenimiento para la maquinaria pesada de la zona vial 11, de caminos, en el Departamento de Izabal* (Tesis de Ingeniería Mecánica). Universidad de San Carlos de Guatemala (2004), edición PDF.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES

En este primer capítulo se expondrán todos los antecedentes referentes a la empresa de estudio y sus procesos; además, será determinado el objeto de estudio, el problema y sus respectivas causas, y la selección del método a emplear en este trabajo de título. Finalmente, se definirán los objetivos de este estudio y las limitaciones que podría presentar su ejecución.

1.1. La empresa

Considerando que el interés por la entrega oportuna y el cumplimiento de las especificaciones de los clientes han ganado gran relevancia en los últimos años, es que el enfoque de los procesos de mantenimiento busca, en general, optimizar procesos de producción, distribución y comercialización. Es en virtud de lo anterior, que en este trabajo de título se aborda el problema asociado a la empresa Transporte Cargo Pacífico Ltda. (TCP), respecto de los procedimientos asociados a la mantención de su flota de camiones.

1.1.1. Reseña histórica

Transporte Cargo Pacífico Ltda., es una alianza de empresarios de la industria del transporte, que han aportado su vasta experiencia a la materialización y éxito de lo que es esta gran institución. Con más de 18 años de experiencia ligados al transporte y distribución de cargas por vía terrestre, TCP tuvo sus inicios en 1997 con la casa matriz ubicada en la ciudad de Rancagua; al día de hoy cuenta con 9 centros de distribución que abarcan desde Illapel a Talca, 162 camiones de distribución, 90 camiones de acarreo y más de 650 colaboradores¹⁰.

¹⁰ www.cargopacifico.cl/#about

1.1.2. Servicios¹¹

Desde el punto de vista del mercadeo y la economía, los servicios son todas aquellas actividades que intentan satisfacer las necesidades de los clientes¹². En ese marco de ideas, TCP es una empresa prestadora de servicios, dentro de los cuales se distinguen los siguientes:

1.1.2.1. Transporte

TCP cuenta con una importante flota de camiones y vehículos de apoyo, así como una variada gama de equipos destinados a satisfacer las múltiples necesidades de sus clientes en Chile y América Latina.

1.1.2.2. Logística

TCP posee además, una plataforma técnica y administrativa de primer nivel destinada a desarrollar la logística en carga, transporte y distribución que asegure el cumplimiento de los destinos y plazos de entrega definidos por los clientes.

1.1.2.3. Distribución

TCP entrega servicios de distribución con camiones en las regiones V, VI y Metropolitana. Los móviles de carga cuentan con un seguro para la protección de la integridad de los productos transportados. Adicional a lo anterior, TCP entregará servicios de carga y descarga en las instalaciones propias de modo que sea posible asegurar y organizar las cargas de cada camión.

¹¹ www.cargopacifico.cl/#services

¹² Concepto.de/servicio/

1.1.3. Ubicación geográfica¹³

La casa matriz de Transporte Cargo Pacífico está localizada en la Panamericana 5 sur, kilómetro 85, sector Rucaray, en la comuna de Rancagua.

1.1.4. Misión¹⁴

El cometido de Transporte Cargo Pacífico, ha quedado definido como misión de la siguiente forma:

“Gratificar día a día a nuestros clientes internos y externos a través de equipos de trabajo multidisciplinarios de excelencia y complementado además de una moderna flota con distintas configuraciones de equipos que permiten alcanzar una alta orientación al logro de los objetivos de manera eficiente y sustentable.”

1.1.5. Visión¹⁴

En cuanto a las pretensiones de futuro para la empresa, TCP ha definido su visión como:

“Ser reconocidos como una empresa que fomenta la excelencia en la distribución, garantizando a los clientes la entrega de sus productos por medio de tecnología y eficiencia”

1.1.6. Organigrama

El organigrama general de la empresa está dispuesto como se muestra en la figura 1.1. El directorio está constituido por los 3 socios fundadores de la empresa, y la gerencia está a cargo de don Antonio Alonso. El área destacada en color celeste corresponde al Departamento de Adquisición y Mantenimiento dirigido por don Jesús Manzarraga, subgerente de mantenimiento. Las operaciones de distribución de la empresa serán divididas

¹³ www.cargopacifico.cl/#contact

¹⁴ www.cargopacifico.cl/#about

según su localización geográfica, es decir, norte para los centros de distribución de Santiago (2), Melipilla, San Antonio e Illapel; y sur para los centros de Rancagua, San Fernando, Talca y Curicó. Las operaciones de la zona sur estarán a cargo de don Julio Araya y las de la zona norte a cargo de don Manuel Correa. Las actividades asociadas a administración y finanzas son dirigidas por don Alfredo Fuentes, quien antes de la llegada del subgerente de mantenimiento se hacía cargo también de las actividades de mantención de los activos.

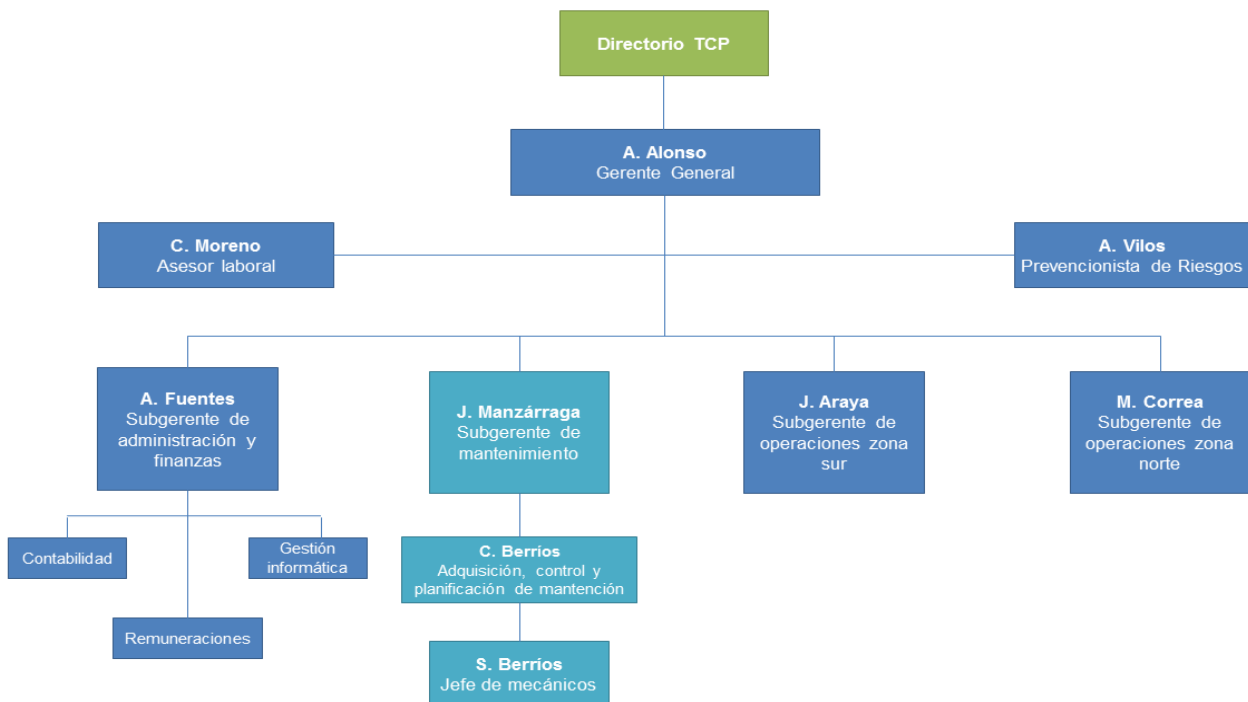


Figura 1.1.: Organigrama general TCP
Fuente: Transporte Cargo Pacífico Ltda.

1.2. Procesos de la empresa

Transporte Cargo Pacífico ha clasificado sus procesos de tres maneras: procesos estratégicos o de gestión, procesos clave u operativos y procesos de apoyo o soporte, y se han distribuido como se muestra en la figura 1.2.:

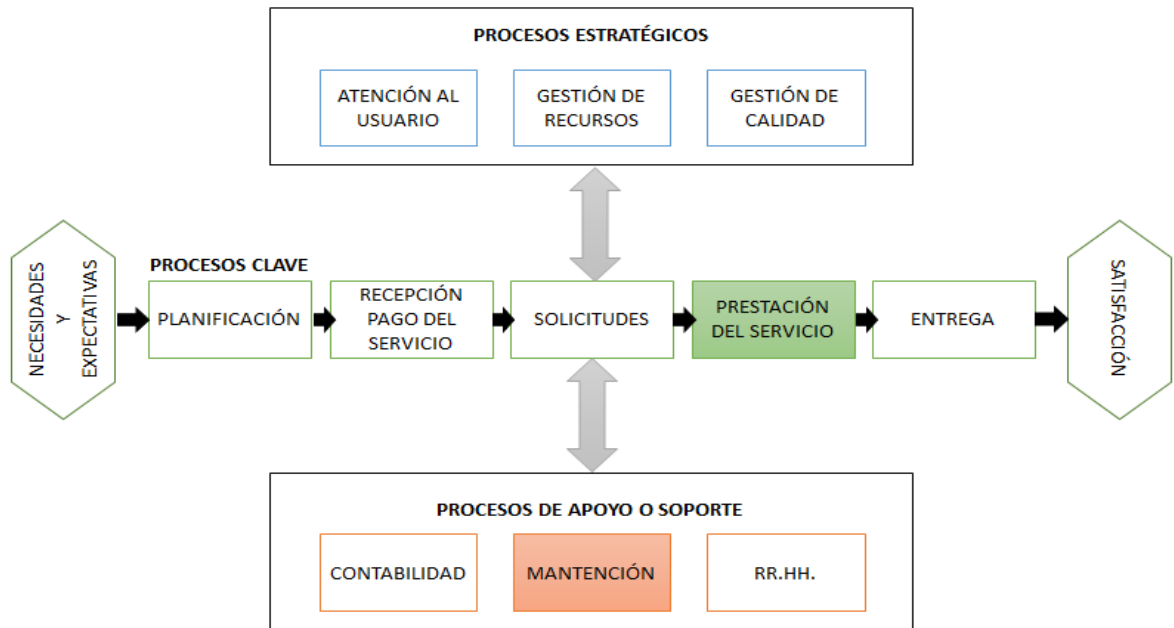


Figura 1.2.: Clasificación de procesos
Fuente: Elaboración propia.

1.2.1. Identificación de los procesos de la empresa

Tal como se puede observar en la figura 1.2., hay 2 procesos que son considerados por la empresa como principales para el desarrollo y buen funcionamiento de sus actividades, tales procesos están determinados por la prestación de servicios que es equivalente al proceso clave u operativo de distribución (destacado con color verde) y por el proceso de apoyo o soporte de mantenimiento (destacado en color naranja).

En los siguientes apartados se estudiarán los procesos ya mencionados en detalle, incluyendo los procedimientos y actividades que los componen.

1.2.1.1. Distribución

Transporte Cargo Pacífico es una empresa que se dedica a la prestación de servicios de distribución, es por ello que este proceso se ha identificado como clave en el desempeño de la empresa y consiste en hacer llegar físicamente el producto al cliente.

El caso de TCP, sin embargo, es distinto a la mayoría pues el transporte y la entrega de las cargas asignadas no es para el propio uso de la empresa, como por ejemplo lo sería el transporte de materias primas para un proceso productivo; por el contrario, TCP se ha dedicado a la distribución y entrega de cargas para clientes externos. El principal cliente de la empresa es la Compañía de Cervecerías Unidas S.A. (CCU), para quienes TCP realiza el proceso distributivo de cargas entre la IV y VII región del país.

En el diagrama 1.1. que se presenta a continuación, se muestran el resultado de un levantamiento de procesos que involucra las tareas y actividades asociadas al servicio de distribución entregado por TCP.

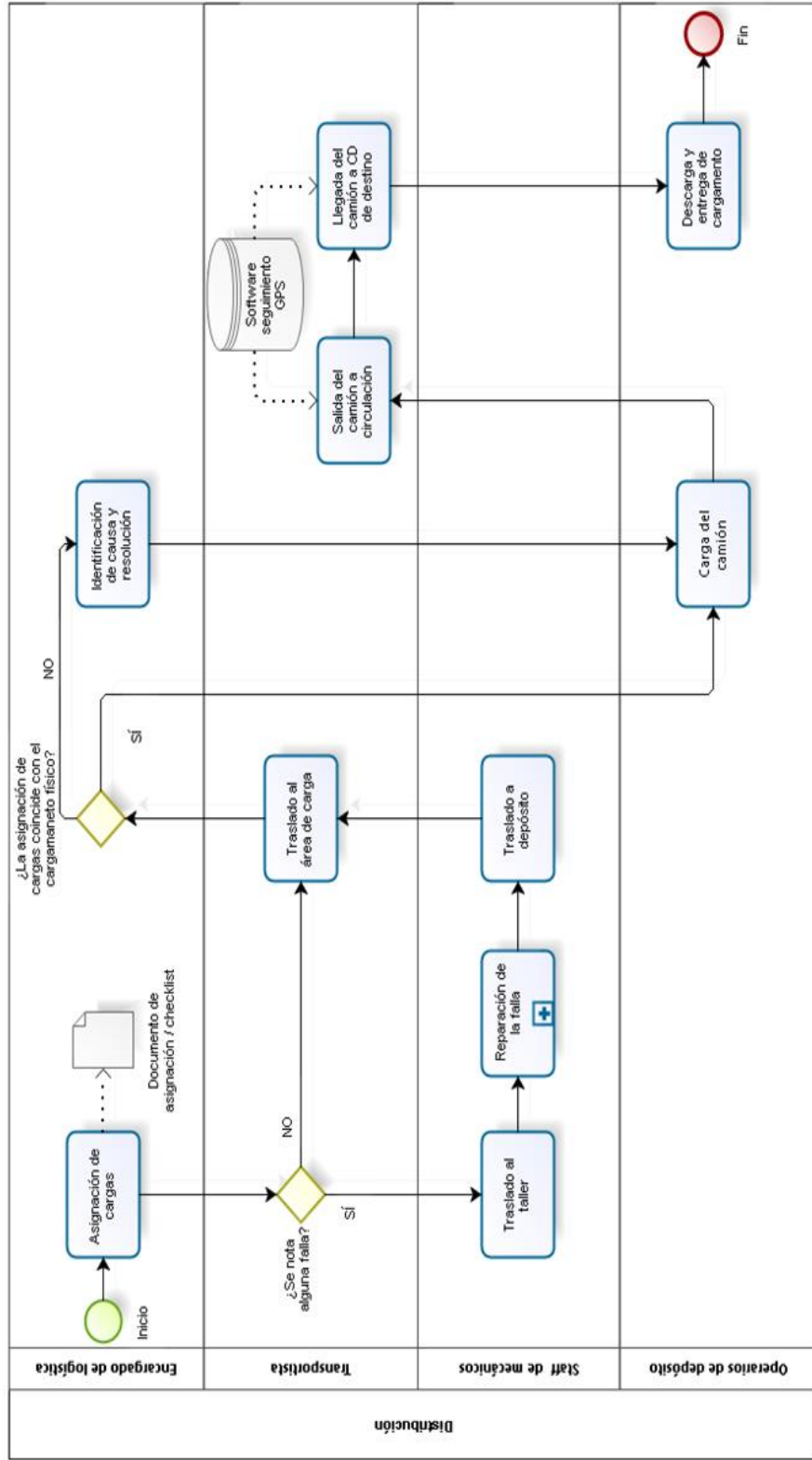


Diagrama 1.1.: Proceso de distribución

Fuente: Elaboración propia.

Uno de los aspectos importantes a destacar del diagrama 1.1., es la actividad N° 4 que hace referencia a la reparación de fallas en caso de detectarla antes de salir a circulación; esta actividad fue demarcada como un sub proceso debido a que es una actividad que igualmente está contenida en el proceso de mantención de los activos.

1.2.1.2. Mantenimiento

Los procesos de mantención en general, y de TCP en particular, son aquellos que sirven de apoyo a los procesos clave y en la mayoría de los casos son determinantes para poder entregar satisfactoriamente el servicio.

En el marco del proceso de mantenimiento actual de TCP, se ha logrado identificar dos procedimientos:

- a. **Mantenimiento correctivo**¹⁵: Para TCP se llamará mantenimiento correctivo a aquel procedimiento que enmarca actividades dirigidas a corregir o reparar las fallas y averías detectadas en los camiones de la flota antigua. En el diagrama 1.2. que se muestra a continuación, se presenta el resultado obtenido del levantamiento de procesos que involucra el conjunto de tareas y actividades asociadas al mantenimiento correctivo de la flota de camiones de TCP.

¹⁵ <http://www.renovetec.com/mantenimientoindustrial-vol4-correctivo.pdf>

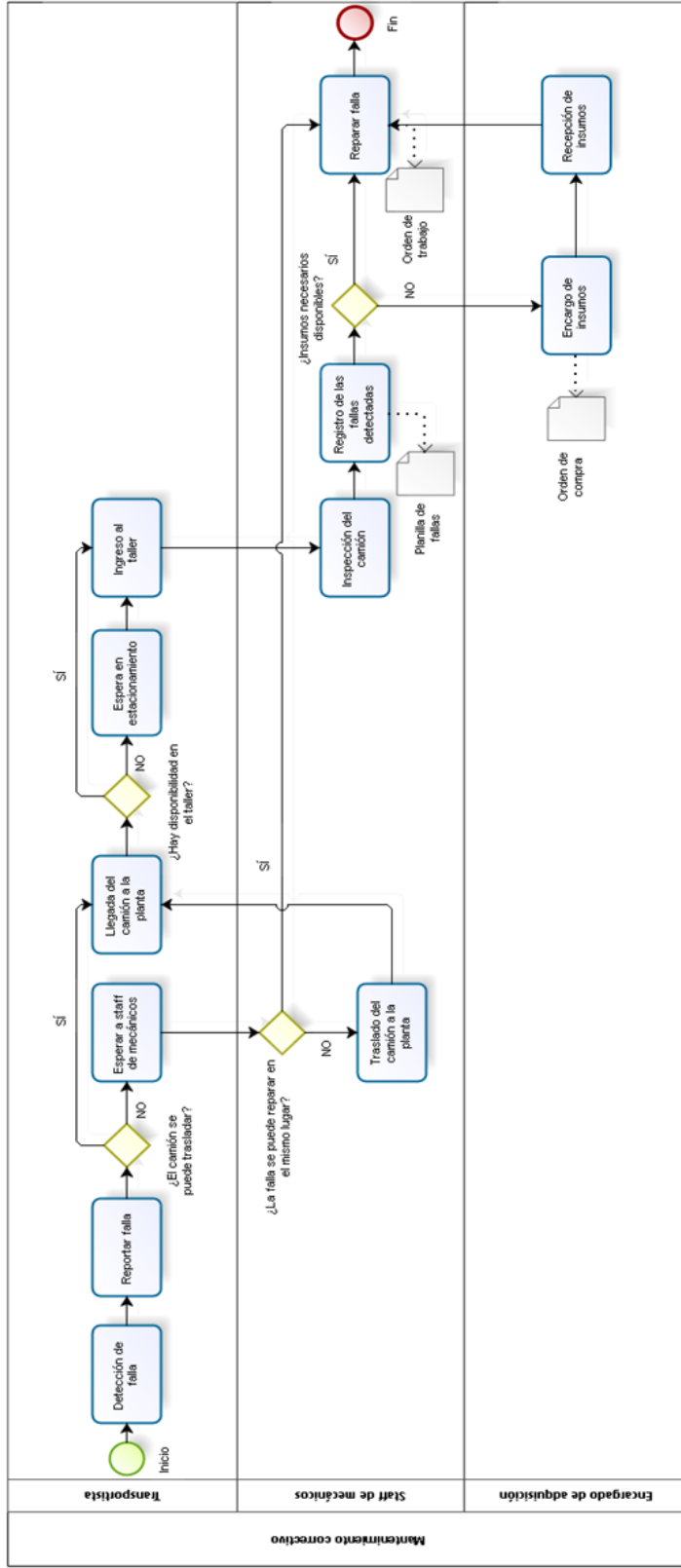


Diagrama 1.2.: Mantenimiento correctivo

Fuente: Elaboración propia.

- b. Mantenimiento programado¹⁵:** Se le llamará mantenimiento programado a aquel procedimiento que agrupa las tareas de mantención de los camiones de la flota siguiendo un programa establecido. Es necesario destacar que, dentro de este procedimiento se consideran 20.000 kilómetros recorridos para la realización de las actividades de mantención de forma periódica y que las actividades consistirán en engrase y cambio de aceite. En el diagrama 1.3. que se presenta a continuación, se muestra el resultado del levantamiento de procesos obtenido del conjunto de tareas y actividades que contempla el mantenimiento programado:

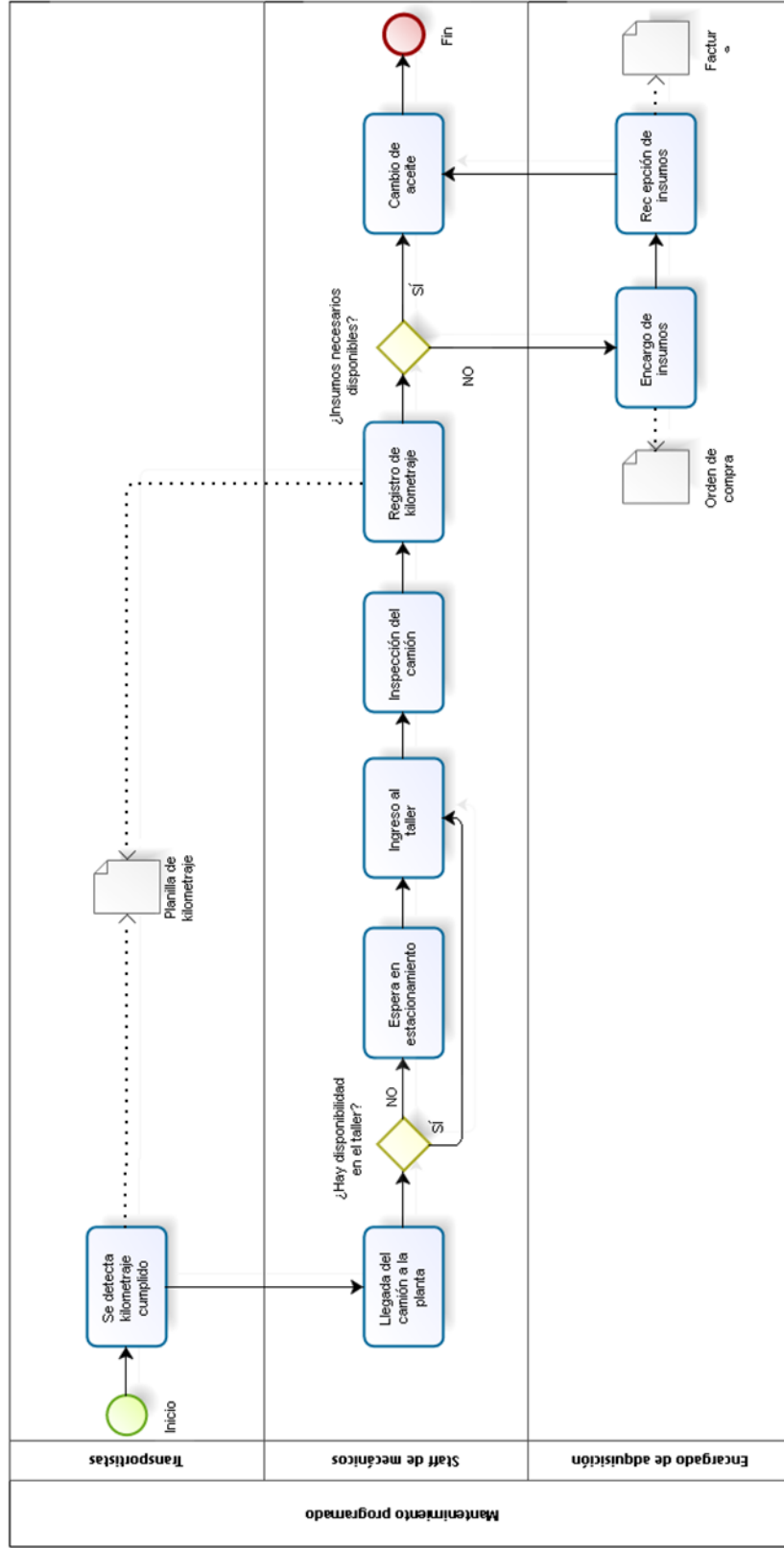


Diagrama 1.3.: Mantenimiento programado

Fuente: Elaboración propia.

1.2.2. Indicadores de producción

En el apartado que se presenta continuación, se detallan los indicadores de producción actuales con los que trabaja y se miden las actividades relacionadas a los procesos antes mencionados:

1.2.2.1. Volumen de producción/distribución

Dado que el giro de la empresa está relacionado con la prestación de servicios asociados al transporte y distribución de cargas, es que el volumen de producción estará definido, por la empresa, como la cantidad de cargas efectivamente entregadas cada año y está directamente relacionado con el nivel de actividad. En el gráfico 1.1. que se presenta a continuación, se muestra el comportamiento de este indicador en los últimos 10 años:

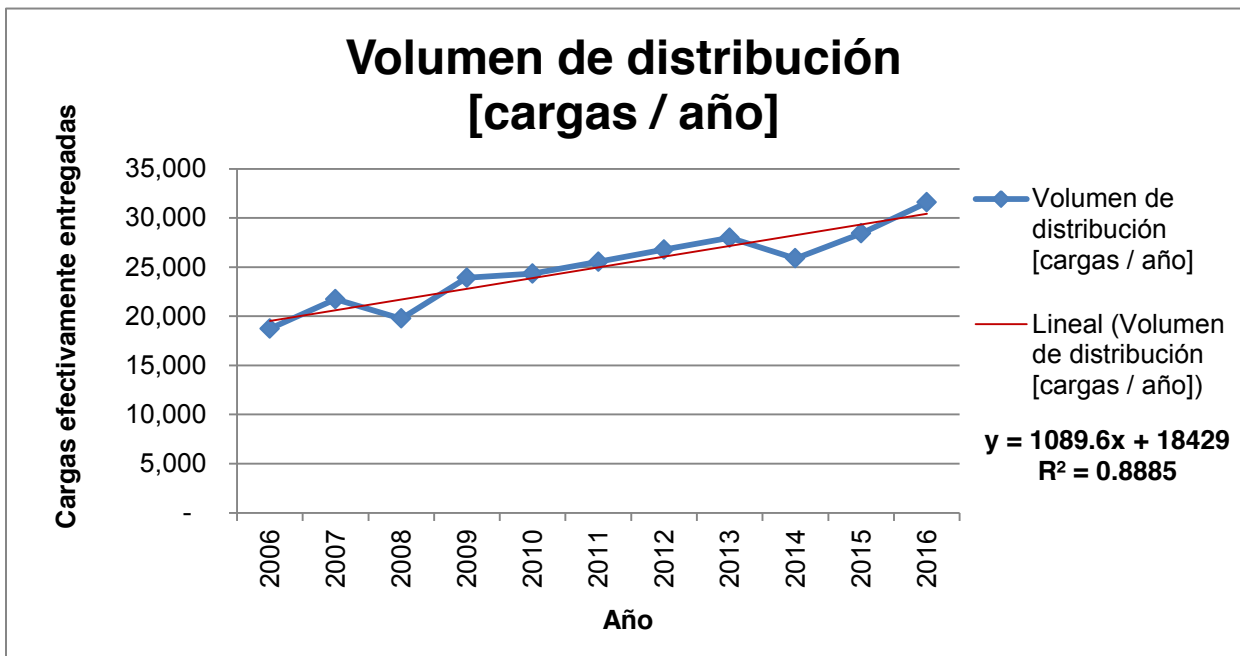


Gráfico 1.1.: Volumen de distribución

Fuente: Transporte Cargo Pacífico Ltda.

Si bien el volumen de distribución muestra una tendencia de crecimiento en la última década, correspondiente a 1.089 [cargas/año] aproximadamente, en el gráfico 1.1. se puede observar que hubo un par de años en que ese no fue el caso; particularmente en los años 2008 y 2014 se nota una disminución en el volumen de distribución, correspondiente a una rebaja de 1.959 y 2.114 cargas efectivamente entregadas respecto del periodo anterior, tal suceso se justificó principalmente debido a la incertidumbre económica del país en ese momento. Asimismo, lo demuestra el coeficiente de determinación (R^2), que indica que el 88,9% de los datos registrados son representativos del modelo presentado en el gráfico 1.1.

En el año recién pasado, TCP alcanzó cifras que superan las 30.000 cargas transportadas y efectivamente entregadas; considerando que el precio de distribución unitario por carga transportada se acerca a los \$250.000, se entiende que TCP percibió como ingresos por la prestación de este servicio alrededor de \$7.500 millones de pesos en el año 2016.

1.2.2.2. Costos de distribución/operación

Al igual que en el volumen de producción, en este caso serán considerados los costos de distribución como el equivalente a los costos de producción; de esta manera se entenderán como costos de distribución todos aquellos desembolsos en que deberá incurrir la empresa para trasladar las cargas desde las instalaciones propias hasta el lugar de recepción indicado por el cliente.

Los costos de distribución estarán asociados al consumo de petróleo, sueldo de los transportistas y vagonetas, y costos de mantención a los camiones; sin embargo, este último punto se analizará en detalle en el siguiente apartado.

El consumo de petróleo a su vez, estará directamente relacionado con el rendimiento de los camiones, que en promedio circunda los 3 (km/l) de petróleo. Mientras que el sueldo de transportistas y vagonetas dependerá del tiempo que se encuentren en ruta; para conocer esta información TCP hace uso de una aplicación que los transportistas tienen instalada en sus smartphones y que, además de medir el tiempo en ruta, le permite a la empresa estar en conocimiento de la ubicación geográfica del camión en todo momento.

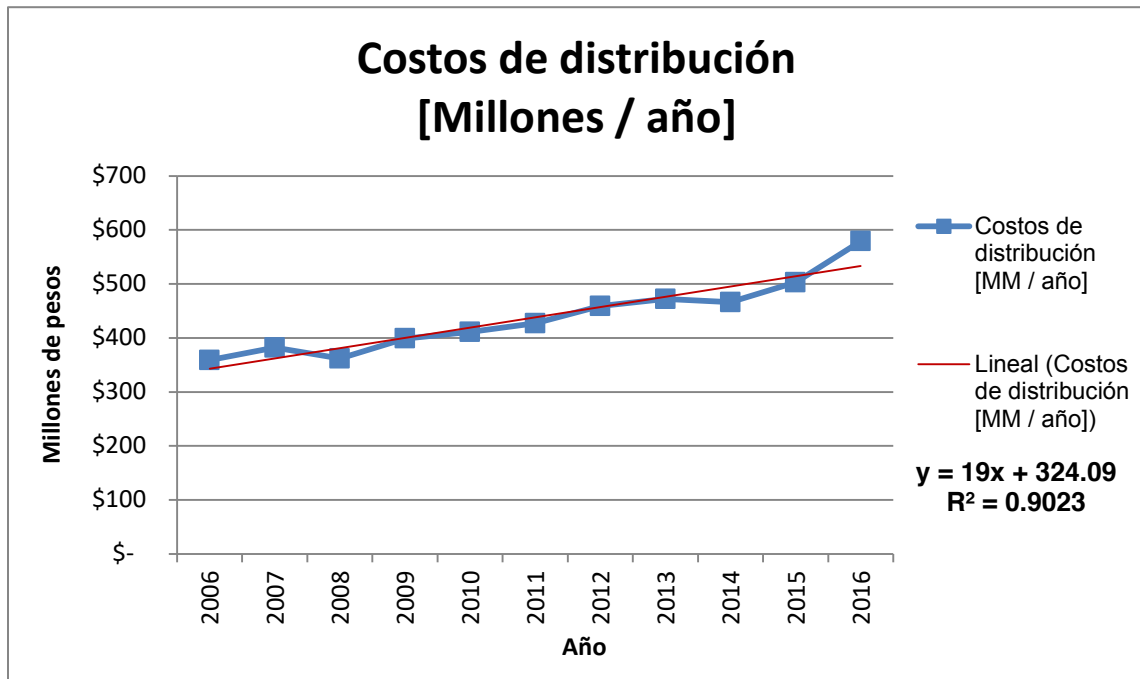


Gráfico 1.2.: Costos de distribución
Fuente: Transporte Cargo Pacífico Ltda.

Tal como se puede observar en el gráfico 1.2., los costos de distribución concuerdan con el volumen de distribución analizado en el apartado anterior, circundando los \$600 millones de pesos en el año 2016, con una tasa de crecimiento aproximada de 19 millones por año. Adicional a lo anterior, se tiene que el coeficiente de determinación (R^2) es de un 90,2% por lo que los datos registrados para los costos de distribución en la última década son representados por el modelo presentado en el gráfico 1.2.

1.2.2.3. Costos de mantenimiento³

Los costos de mantención harán referencia a los desembolsos efectuados por conceptos de las acciones realizadas para conservar, reparar o restaurar un activo. Para el caso particular de TCP, los costos de mantención estarán asociados al mantenimiento programado y correctivo aplicado a su flota de camiones.

Para este indicador en particular se deberá tener en cuenta la subdivisión aplicada a la flota debido a que, de los 252 camiones, 162 reciben mantenimiento preventivo externo en las empresas de fábrica Maco Volkswagen y Kaufmann S.A. por un valor que corresponde a \$39 por kilómetro recorrido. Los 90 equipos restantes reciben su debido mantenimiento, programado y correctivo, en las dependencias de TCP. En el gráfico 1.3. que se presenta a continuación, se muestra el comportamiento de los costos asociados a la mantención de los camiones incluyendo los costos de mantenimiento interno y externo:

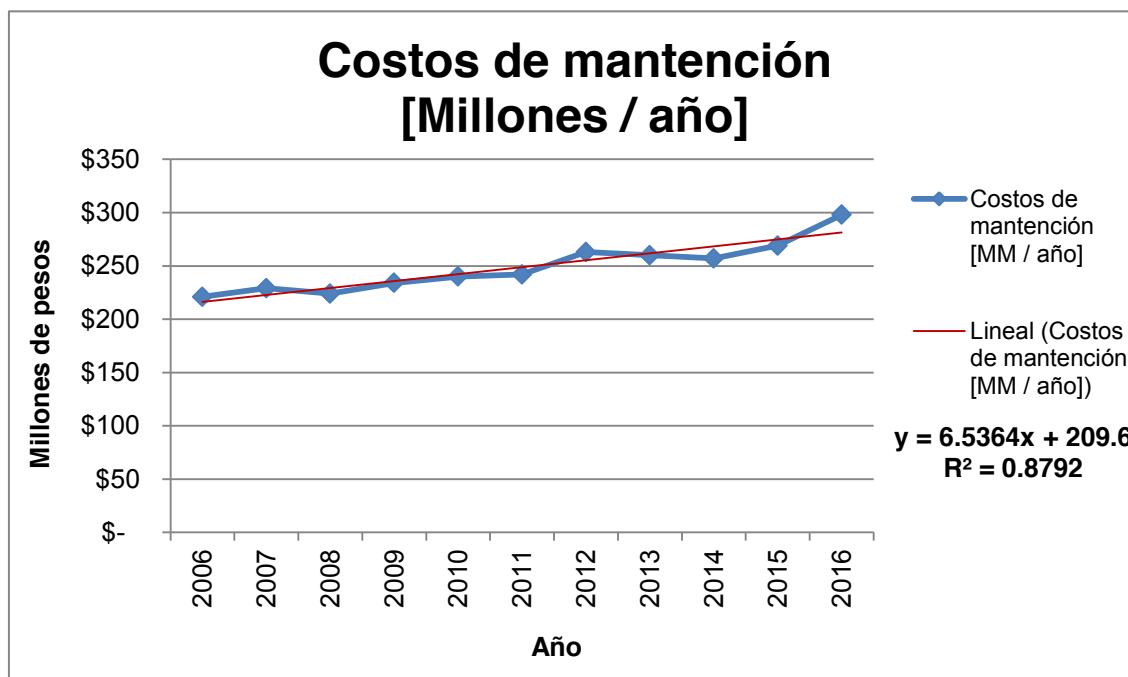


Gráfico 1.3.: Costos de mantención
Fuente: Transporte Cargo Pacífico Ltda.

Entre los años 2011 y 2012, al igual que entre 2015 y 2016, se observa un crecimiento de los costos de mantención más pronunciado que en el resto de los periodos, esto se debe a que precisamente en esos años finalizó el contrato leasing de mantención externa de 17 y 23 camiones respectivamente aumentando los costos de mantención interna considerablemente en \$21 millones para el primer periodo mencionado y \$29 millones para el segundo. Adicional a lo anterior, se observa que los costos de mantención muestran una tendencia de aumento anual de 6,54 millones, sostenido por un coeficiente de determinación (R^2) de un 0,879; esto último indica que el grado en que los datos registrados para los costos

de mantención en la última década se ajustan en un 87,9% a la ecuación del modelo presentado en el gráfico 1.3.

1.3. Selección del objeto de estudio

Para poder determinar cuál de los procesos antes mencionados será el seleccionado como área de estudio de este trabajo de título, es que se dispuso de una encuesta con escala Likert efectuada a las personas que están directamente involucradas en las actividades de distribución y mantención. El prototipo de la encuesta se encuentra en el anexo 6.1. de este documento.

1.3.1. Dimensiones para la selección del objeto de estudio

Para efectos de este trabajo de título se analizarán y estudiarán 7 dimensiones, seleccionadas por el criterio de don Jesús Manzárraga subgerente de mantenimiento de Transporte Cargo Pacífico, que permitirán identificar y delimitar la naturaleza del problema.

Tal como se puede apreciar en la figura 1.3., que se presenta a continuación, se definieron 7 dimensiones para seleccionar el objeto de estudio y están directamente relacionadas con los procesos presentados en el apartado 1.2. de este trabajo de título.



Figura 1.3.: Dimensiones para la selección de objeto de estudio

Fuente: Elaboración propia.

1.3.2. Ponderación de dimensiones y selección del objeto de estudio

Como se mencionó con anterioridad y con el objeto de seleccionar la dimensión correcta a estudiar y analizar en este trabajo de título es que se realizó una encuesta con escala Likert dirigida a las personas que diariamente están relacionadas con los procedimientos de mantenimiento.

De un total de 193 encuestados, los resultados arrojados por la encuesta con escala Likert muestran una clara tendencia hacia 4 de las dimensiones distinguidas en color rojo en la figura 1.4.:

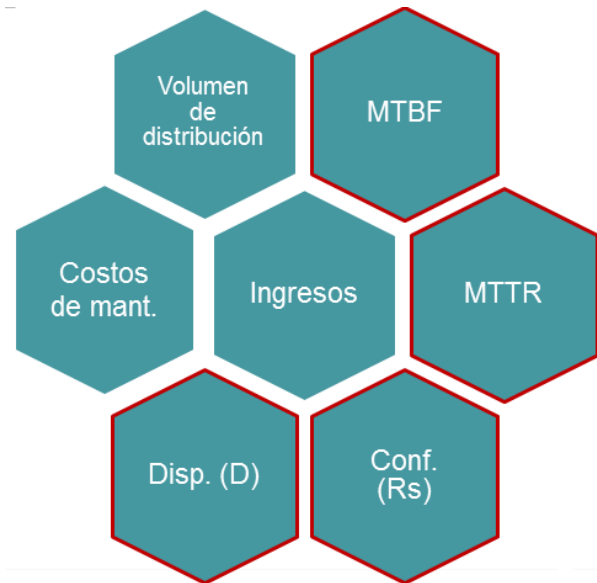


Figura 1.4.: Selección de dimensiones y objeto de estudio

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 1.4., se puede observar que las dimensiones seleccionadas para delimitar el objeto de estudio son el tiempo medio entre fallas (MTBF), el tiempo medio de reparación (MTRR), disponibilidad (D) y confiabilidad (Rs). Sin embargo, es necesario acotar aún más el área de trabajo, es precisamente para aquello que se construyó la pregunta libre

de valoración a las dimensiones de estudio; tal como se puede visualizar en el gráfico 6.1. ubicado en el anexo 6.1.; el 64% de los encuestados dio valoración 1 (más importante) a la dimensión de **confiabilidad**.

Finalmente, se reunió a un equipo de expertos compuesto por don Jesús Manzárrega, subgerente de mantenimiento de TCP, y el staff de mecánicos, quienes fueron consultados respecto de una matriz de decisión para definir el objeto de estudio de este trabajo de título, cuyos criterios de elección fueron las 4 dimensiones seleccionadas anteriormente .

DIMENSIONES DE EVALUACIÓN					
PROCESO	Tiempo medio entre fallas (MTBF)	Tiempo medio de reparación (MTTR)	Disponibilidad (D)	Confiabilidad (Rs)	N° de dimensiones
Proceso de distribución		X	X	X	3
Proceso de mantenimiento	X	X	X	X	4

Figura 1.5.: Matriz de decisión, selección objeto de estudio
Fuente: Jesús Manzárrega, subgerente de mantenimiento TCP

De la matriz de decisión presentada en la figura 1.5., se entiende entonces que el objeto de estudio queda limitado al **proceso de mantención** de la flota de camiones de Transporte Cargo Pacífico, pues se ve afectado por las 4 dimensiones utilizadas como criterio de selección.

1.4. Descripción del objeto de estudio

Una vez analizado el resultado arrojado por la encuesta con escala Likert, se determinó que el proceso de estudio será el de mantenimiento, particularmente centrado en la confiabilidad (Rs) del sistema de activos. Para dar inicio a la investigación preliminar de este trabajo de título se estudiará el comportamiento actual de la flota de camiones a través del cálculo y análisis de indicadores asociados al desempeño del proceso.

Con el objeto de conocer la confiabilidad actual de los activos de la empresa se debió, en una primera instancia, conocer otros indicadores clave de desempeño (KPI¹⁶ por su sigla en inglés) como el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR) de todos los equipos que actualmente no se encuentran con contrato de mantención externa; adicional a lo anterior se incluirá el análisis de disponibilidad de los activos de modo que sea posible tener una mejor visualización de la situación actual de la empresa. Los resultados obtenidos del análisis de estos indicadores para el año 2016 se encuentran en la siguiente tabla resumen:

KPI	Resultado	Medición
MTBF	147,00	Horas
MTTR	150,00	Horas
Confiabilidad	56,63	%
Disponibilidad	72,28	%

Tabla 1.1.: Resultado KPI's para el año 2016

Fuente: Elaboración propia.

Las cifras presentadas en la tabla 1.1., fueron calculadas en base al sistema de activos sin contrato de mantención externa y en virtud de los datos proporcionados por TCP correspondientes al comportamiento promedio de los indicadores durante el año 2016; el comportamiento unitario de los activos se puede encontrar en la tabla 6.1. ubicada en el anexo

¹⁶ Key Performance Indicator. Provee evidencia del grado en que se está cumpliendo con un objetivo durante un periodo de tiempo determinado. Tomado de <https://planeacion.uniandes.edu.co/dmdocuments/INS-45-1-01-04%20Definicion%20de%20Indicadores%20de%20Desempeno.pdf>

6.2.. Los equipos 27 y 31 que se podrán ver en los gráficos 1.5., 1.6., 1.7. y 1.8., corresponden a 2 camiones cuyos repuestos fueron retirados para ser ocupados y dispuestos en otros equipos, serán considerados en este estudio por requerimientos de la empresa con el objeto de tener una visualización completa de la realidad de la flota.

1.4.1. KPI: Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Como se puede observar en la tabla 1.1., el tiempo medio entre fallas del sistema alcanza las 147 horas, cifra muy inferior a la esperada, ya que, si bien hay que equipos que, en promedio, durante el 2016 superaron las 300 horas de tiempo medio entre fallas, hay otros que en cambio apenas consiguieron las 70 horas. Esto último quiere decir que un camión puede circular por solo 3 días sin presentar fallas. En el gráfico 1.4. que se muestra a continuación, se presenta el comportamiento unitario de los equipos respecto del MTBF:

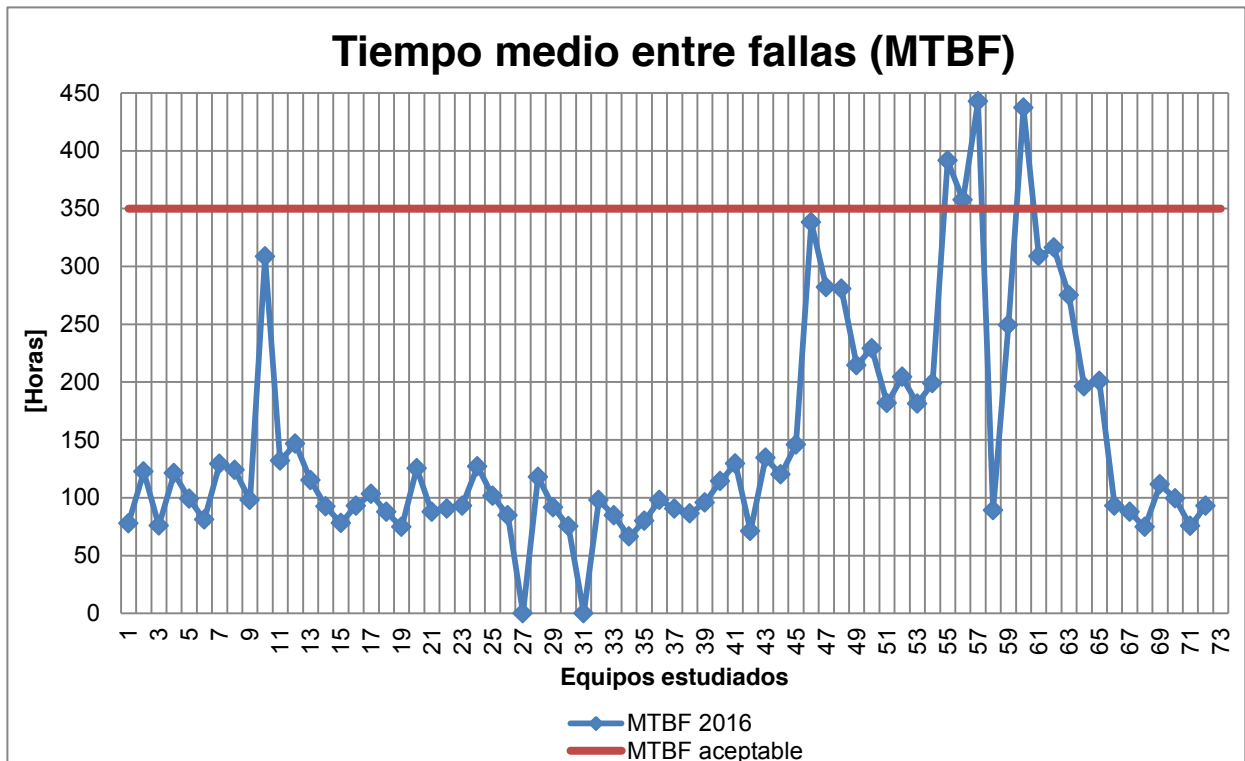


Gráfico 1.4.: MTBF por equipo en 2016

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 1.4., se puede apreciar que el MTBF de cada equipo estudiado en el año 2016 varía considerablemente entre un camión y otro, pues mientras algunos camiones exceden las 400 horas de MTBF, otros apenas alcanzaron las 66 horas, muy por debajo de las 350 horas determinadas por TCP como indicador de un MTBF aceptable.

1.4.2. KPI: Tiempo medio de reparación (MTTR)

EL MTTR queda ilustrado en el gráfico 1.5 que se presenta a continuación:

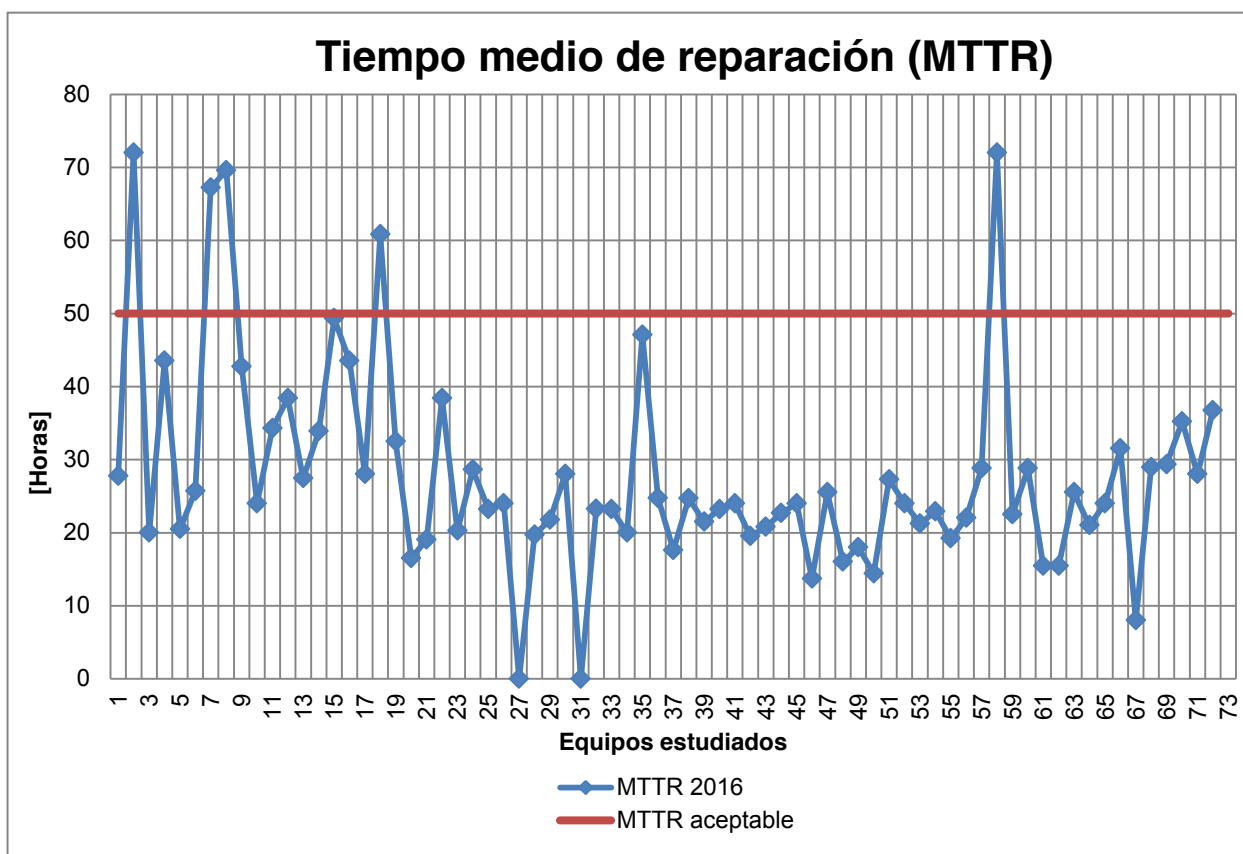


Gráfico 1.5.: MTTR por equipo en 2016

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 1.5., el tiempo medio de reparación por equipo en el año 2016, al igual que el MTBF, muestra considerables variaciones entre un equipo y otro ya que si bien algunos equipos obtuvieron un MTTR que no superaba las 8 horas hay 2 tracto camiones que llevan 2 años en el taller y se han retirado sus repuestos para ubicarlos en equipos de circulación diaria disminuyendo la disponibilidad de los activos para la distribución de cargas. Adicional a lo anterior, TCP determinó que el MTTR de cada equipo no puede superar las 50 horas.

1.4.3. KPI: Confiabilidad (Rs)

Para el periodo antes mencionado, se calculó la confiabilidad del sistema obteniendo un 56,63%; este número refleja la probabilidad de que el sistema opere en forma satisfactoria, y como se puede apreciar en el gráfico 1.6., es muy inferior al 75% determinado por TCP como indicador aceptable.

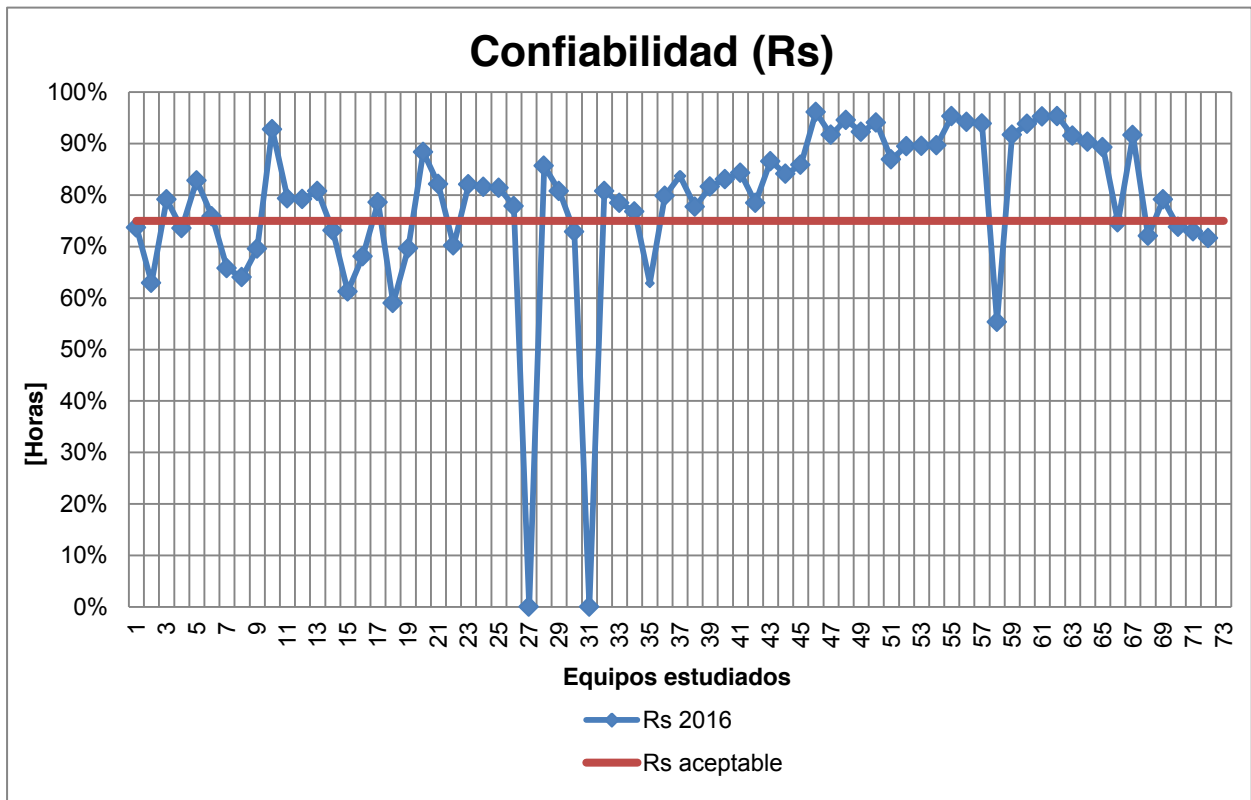


Gráfico 1.6.: Confiabilidad por equipo en 2016

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 1.6., el cálculo de la confiabilidad depende del MTBF y del MTTR, por lo que, si se lograra mejorar las condiciones de estos 2 indicadores, se podría mejorar la confiabilidad unitaria de los activos y general del sistema de activos.

1.4.4. KPI: Disponibilidad (D)

Finalmente, la disponibilidad del sistema en el año 2016 alcanzó un 72,28%, haciendo referencia a la probabilidad de que el sistema se encuentre operativo cuando su uso sea requerido.

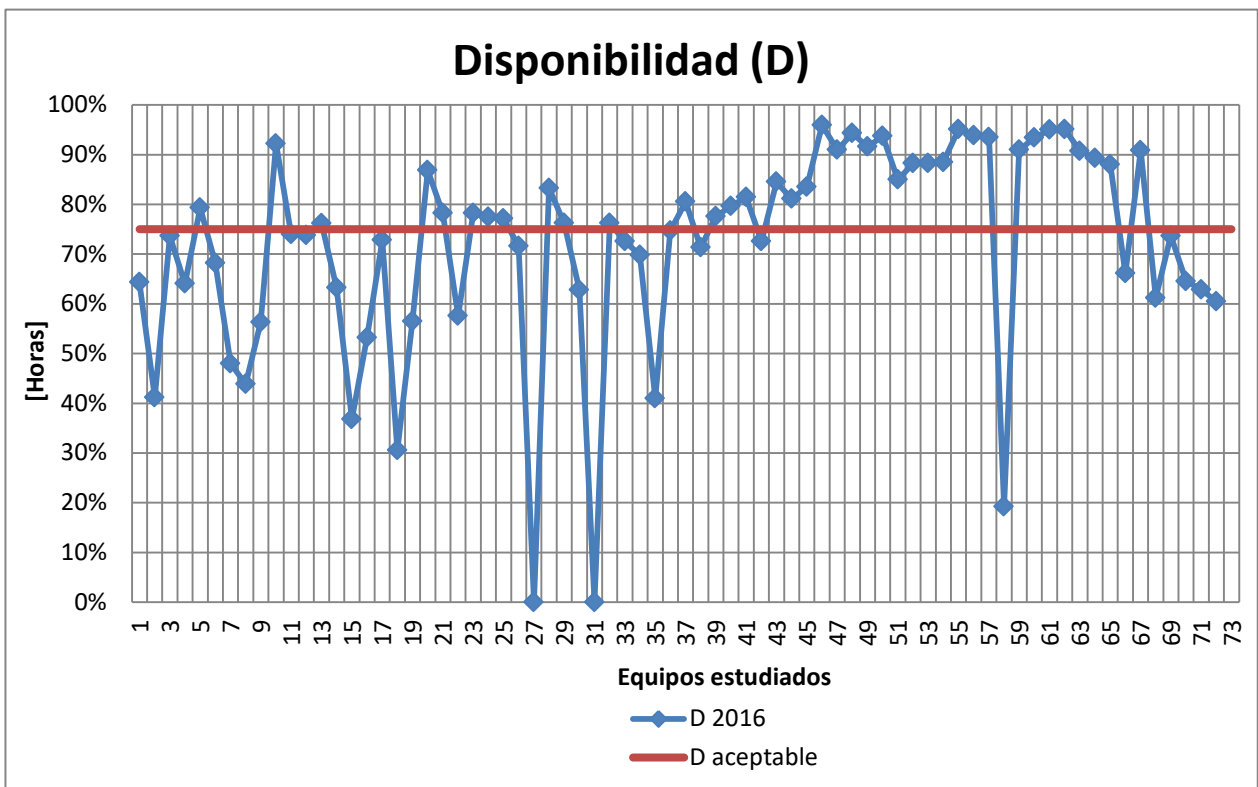


Gráfico 1.7.: Disponibilidad por equipo en 2016

Fuente: Elaboración propia.

La disponibilidad de los activos de TCP, se ha visto afectada principalmente por los altos periodos que pasa un activo esperando para su reparación, por ende, los camiones que presenten un mayor tiempo medio de reparación (MTTR), tendrán por defecto una menor disponibilidad para la distribución y entrega de cargas asignadas.

1.5. El problema

De la totalidad de la flota de camiones, el 35,7%, equivalente a 90 equipos (camiones y tracto camiones), recibe mantenimiento programado y correctivo que es entregado por la misma empresa; sin embargo, esta proporción aumenta cada año pues el contrato por leasing de mantenimiento preventivo que se tiene con las empresas Maco Volkswagen y Kaufmann S.A. tienen una duración de 5 años por camión contratado.

En el gráfico 1.8. que se muestra a continuación se puede observar la relación entre los costos en que incurre la empresa por efectuar sus operaciones de distribución versus los costos asociados a la mantención de los equipos:

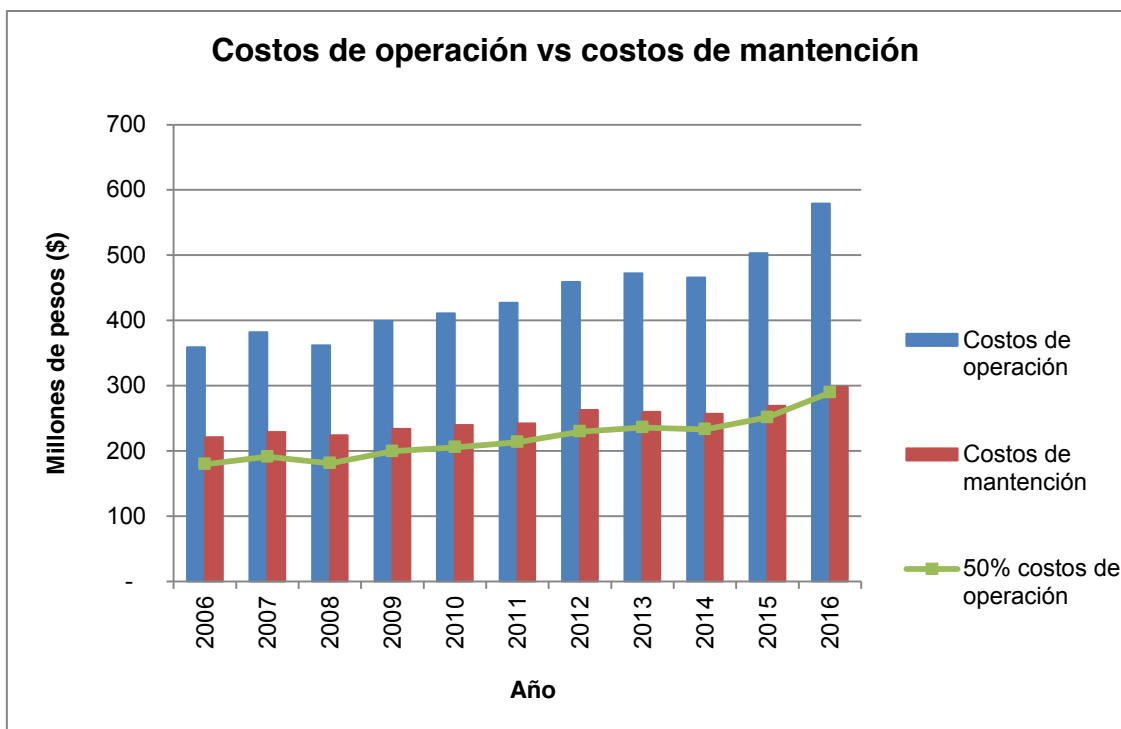


Gráfico 1.8.: Costos de operación vs costos de mantención

Fuente: Transporte Cargo Pacífico Ltda.

Tal como se puede apreciar en el gráfico 1.8., los costos de mantención de los activos de TCP en cada año de la última década han constituido más del 50% de los costos de operación o distribución de la empresa; esta situación se ha dado principalmente debido a que

no existen procedimientos de mantenimiento establecidos que permitan el debido control y ejecución de las actividades de mantención.

Es importante destacar que, dentro de los costos de mantenimiento están considerados los costos de mantención interna y externa, pero, como ya se mencionó con anterioridad, los costos de mantención externa equivalen a \$39 por kilómetro recorrido; considerando una media de 37.440 kilómetros recorridos por cada camión en un año, se tiene que el costo de mantenimiento externo para cada camión es de aproximadamente \$1.5 millones al año.

En el gráfico 1.9. que se muestra a continuación, se puede observar la composición de los costos asociados al mantenimiento de los camiones de TCP:

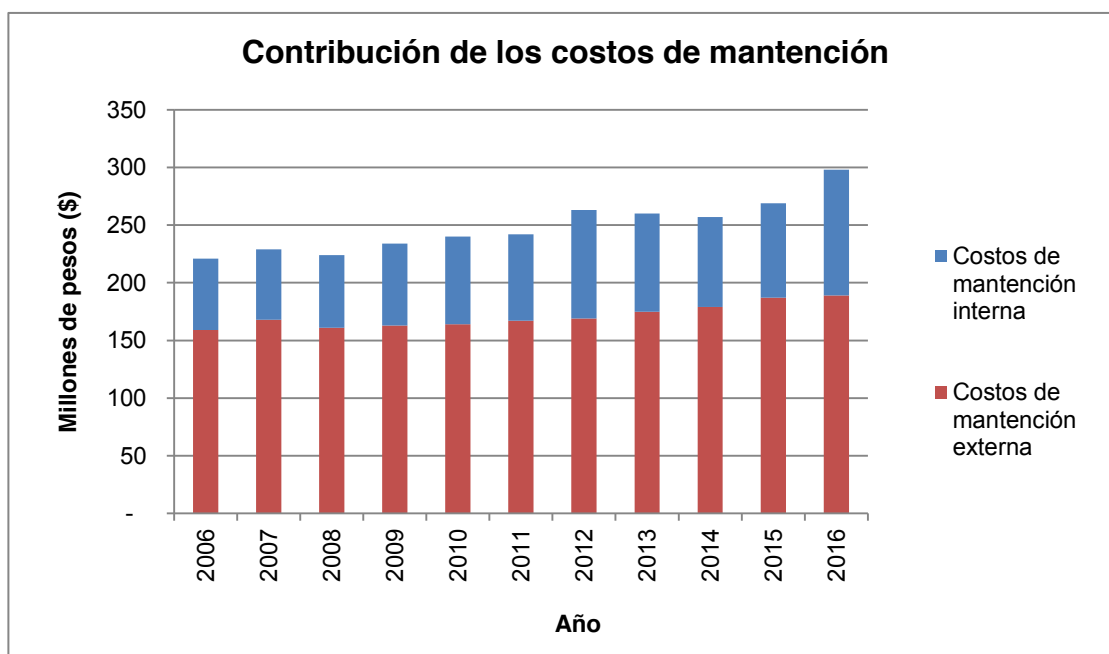


Gráfico 1.9.: Contribución de los costos de mantención

Fuente: Transporte Cargo Pacífico Ltda.

La composición de los costos de mantención presentada en el gráfico 1.9., muestra una clara superioridad de los costos de mantención externa por sobre los costos de mantención interna; solo en el año 2016 los costos de mantención externa superaron en \$80

millones a los costos de mantención interna, mientras que en años como 2007 y 2015 fueron superados por \$107 y \$105 millones respectivamente. De igual forma, se puede observar que los costos de mantención externa se han comportado prácticamente constantes en la última década, con pequeñas variaciones producto de las nuevas contrataciones y de la finalización de otros contratos de mantenimiento. En consecuencia de lo anterior, son precisamente los costos de mantención interna los que han provocado, en general, la variabilidad de los costos de mantención pues, en promedio, los costos de mantención interna para los últimos 10 años circundan el 45% de los costos de mantención globales de la empresa.

La ausencia de un plan de mantenimiento adecuado, y de un plan de gestión de activos en general, para los 90 camiones que, en la actualidad, reciben mantenimiento interno ha generado un promedio de 15 fallas en ruta por camión al año, por lo que se entiende que TCP en un año debe atender un mínimo de 1.350 fallas.

Las falencias antes mencionadas, han convergido en dos aspectos que han resultado ser negativos para la empresa: un incremento en los costos de mantenimiento, y una disminución en la capacidad distributiva de la empresa. Este último aspecto, ha sido estudiado en base a las cargas que han sido clasificadas como “pendientes” debido a que por motivos de baja disponibilidad de equipos no pudieron ser debidamente transportadas y efectivamente entregadas al cliente; en el gráfico 1.10., que se presenta a continuación, se muestran las cargas pendientes registradas en el año 2016 según el centro de distribución al que fueron asignadas:

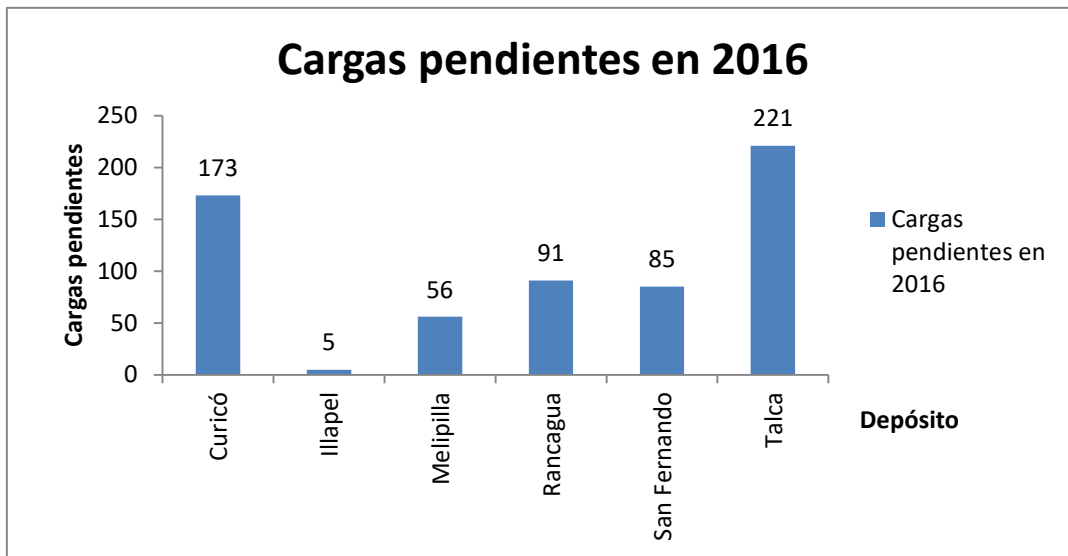


Gráfico 1.10.: Cargas pendientes por equipo en 2016

Fuente: Elaboración propia.

Tal como se puede apreciar en el gráfico 1.10., los centros con un mayor número de cargas pendientes corresponden a los depósitos de Talca y Curicó, con 221 y 173 cargas pendientes respectivamente; de igual forma estos 2 depósitos son los que presentan un mayor número de cargas pendientes por equipo, con 6 y 8 cargas pendientes por equipo en 2016, tal como se muestra en el gráfico 1.11.:

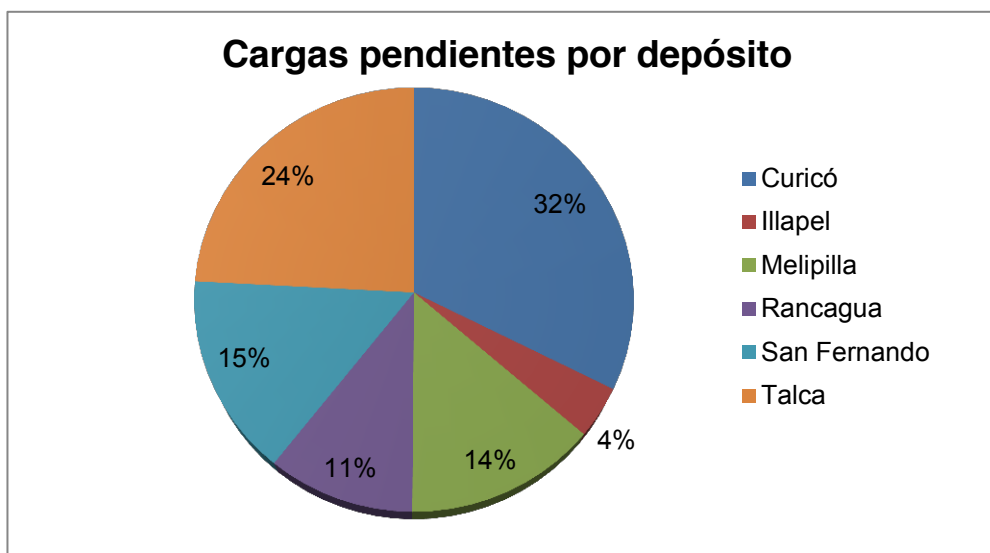


Gráfico 1.11.: Cargas pendientes por equipo en 2016, según depósito de origen

Fuente: Elaboración propia.

Es precisamente en los depósitos de Talca (24%) y Curicó (32%) en donde se concentra el mayor número de equipos sin contrato de mantenimiento externa; es importante clarificar, que de los 9 centros de distribución con los que cuenta TCP, solo se estudiarán los 6 mencionados en el gráfico 1.10. y 1.11., pues los camiones designados a los otros 3 centros correspondientes a San Antonio, Santiago Eccusa y Santiago Poniente, se encuentran en su totalidad con contrato de mantenimiento externa.

Las cargas pendientes se pueden ocasionar por 2 motivos: sobreventa por parte del cliente, que generalmente se da en temporada alta (noviembre a marzo); y por no contar con la flota solicitada disponible para la distribución, esto último radica en que los equipos presentan fallas obligando a la empresa a retirarlos de circulación. Adicional a lo anterior, y considerando los indicadores clave de desempeño calculados para estudiar el comportamiento de la flota durante el año 2016, se tiene que la disponibilidad (D) del sistema de activos alcanza un 72,28%, cifra que dentro de los parámetros de mantenimiento para la empresa es aceptable, sin embargo, hay equipos que individualmente apenas alcanzaron entre un 19% y un 37% de disponibilidad en el año 2016, pasando periodos de incluso 3 meses en taller; lo anterior se debe a problemas de gestión en el taller ya que, como se mencionó con anterioridad, se extrajeron repuestos de algunos equipos para ser ubicados en

otros camiones de circulación diaria, afectando de esta manera la disponibilidad global del sistema de activos.

Es necesario mantener presente además, los resultados obtenidos del análisis de KPI's realizados en el apartado anterior, especialmente el de la confiabilidad del sistema que apenas alcanzó un 56,63% en el año 2016.

Es precisamente esta área de estudio a la que apunta este trabajo de título, aumentar la probabilidad de que los camiones operen de forma satisfactoria por un periodo de tiempo determinado y bajo condiciones operacionales previamente establecidas. Todos los antecedentes anteriormente presentados, han incidido además en costos de oportunidad asociados a tiempos muertos de personal y de los mismos activos. En resumen, el problema ha sido identificado y definido como:

“La baja confiabilidad del sistema de activos ha ocasionado cargas pendientes para su distribución, aumentando además los costos asociados a la mantención de los equipos.”

1.5.1. Fundamentos del problema

La confiabilidad unitaria de los activos y general de un sistema de activos queda definida por la literatura como la probabilidad de que un sistema o equipo opere en forma satisfactoria por un periodo de tiempo determinado y bajo condiciones operacionales previamente establecidas¹⁷; TCP por su parte, adoptó este concepto y definió parámetros para definir el comportamiento de este indicador de la siguiente forma:

- Confiabilidad baja: $0\% \leq R_s < 60\%$
- Confiabilidad aceptable: $60\% \leq R_s < 75\%$
- Confiabilidad alta: $75\% \leq R_s \leq 100\%$

En virtud de los parámetros especificados por la empresa para definir el comportamiento de la confiabilidad, y considerando que el cálculo de este indicador para el

¹⁷ <http://www.contec.cl/images/PDFs/MSCPKEI.pdf>

sistema de activos en el año 2016 alcanzó apenas un 56,63%, se puede afirmar entonces que la confiabilidad del sistema, para las condiciones operacionales de TCP, es baja.

Para la empresa, serán consideradas como cargas pendientes, todas aquellas cargas que por motivos de sobreventas o baja disponibilidad de la flota no pueden ser debidamente distribuidas quedando en calidad de pendientes en el centro de distribución que les corresponda, esperando a ser transportadas en el siguiente ciclo de distribución.

Como ya fue mencionado con anterioridad en el planteamiento del problema, los costos asociados a la mantención de los equipos de TCP se subdividen en costos de mantención interna y externa. Tal como se revisó en el gráfico N.9., los costos de mantención externa se han comportado, en la última década prácticamente constantes, por lo tanto son los costos de mantención interna los que han generado la variabilidad de los costos de mantención globales de la empresa; esto último queda demostrado en el gráfico 1.12. que se presenta a continuación:

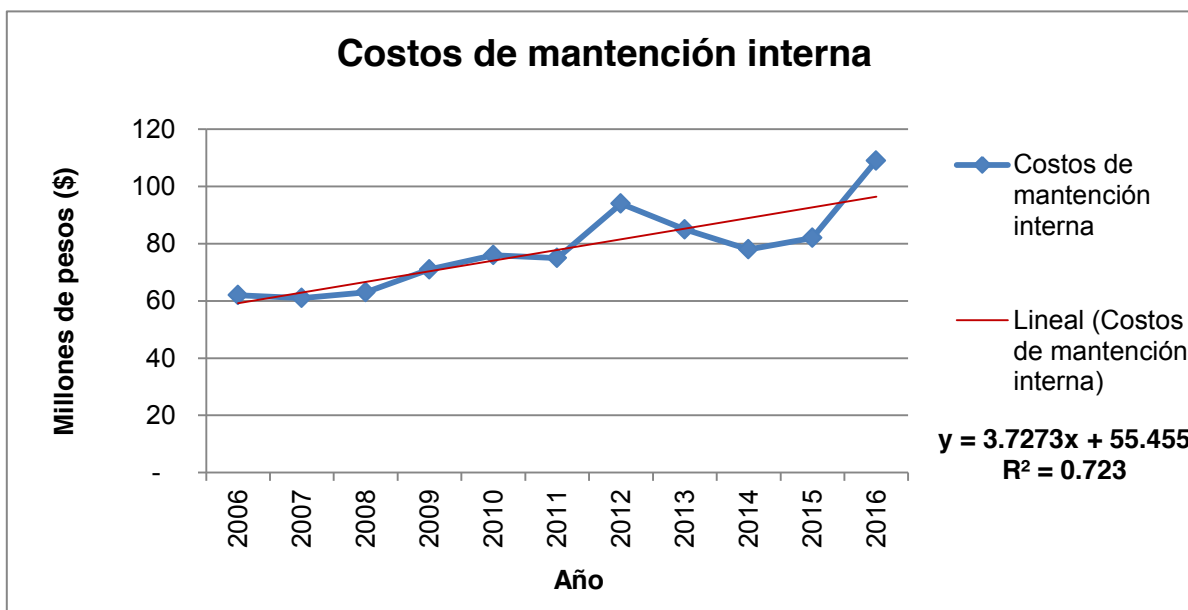


Gráfico 1.12.: Costos de mantención interna TCP

Fuente: Elaboración propia.

Al observar los costos de mantención interna de la flota de camiones de Transporte Cargo Pacífico presentados en el gráfico 1.12., se nota que durante la última década los costos de mantención interna han aumentado en una tasa aproximada de \$4 millones al año producto de la baja confiabilidad del sistema de activos. Adicional a lo anterior, el coeficiente de determinación (R^2) es de 0,723, esto quiere decir que solo el 72,3% de los datos registrados como costos de mantención interna son representados por la ecuación del modelo presentado en el gráfico 1.12.; el bajo valor de R^2 , se explica principalmente por las altas fluctuaciones entre los años 2011-2012 y 2015-2016.

1.6. Causas del problema

Para poder identificar cuál es la verdadera solución a un problema, es necesario conocer en detalle cuáles son las causas que lo provocan, ya que tomar decisiones sin identificar cuáles son los factores que inciden en la generación del problema puede resultar en esfuerzos mal dirigidos y por tal, en recursos mal ocupados. En virtud de lo anterior, es que en el siguiente apartado se identifican las causas del problema por medio de un árbol de eventos que, mediante su análisis, permitirá identificar la causa raíz del problema detectado.

1.6.1. Identificación de las causas: Árbol de realidad actual (ARA)

Un análisis de causa raíz¹⁸ es un método diseñado para investigar y categorizar las causas de eventos relacionados con la seguridad, medio ambiente, calidad y confiabilidad de los procesos. En virtud de lo anterior, y en consideración de la información planteada en el apartado anterior, es que se hará uso de un árbol de realidad actual¹⁹ (ARA) para entender explícitamente las interdependencias que existen en el sistema estudiado de modo que sea posible identificar las causas medulares originadoras del problema.

¹⁸ <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/causaraizaltmann.pdf>

¹⁹ <http://enfoque.estrategiafocalizada.com/Introduccion%20a%20los%20procesos%20de%20pensamiento.pdf>

1.6.1.1. Identificar efectos indeseados

En conjunto con el subgerente de mantenimiento, don Jesús Manzárraga, se identificaron los principales efectos indeseados generados por el problema ya identificado, a través de una lluvia de ideas, las que posteriormente fueron enumeradas:

- 1) Retraso en el transporte y entrega de cargas (existencia de cargas pendientes).
- 2) Baja disponibilidad de equipos.
- 3) Tiempo de reparación de los activos muy prolongado; un camión puede pasar, en promedio, hasta 6 días en taller esperando a ser reparado.
- 4) Las reparaciones realizadas en los camiones no son duraderas y vuelven a presentar las mismas fallas en reiteradas ocasiones.
- 5) Al 2015, no existe registro de fallas históricas.
- 6) Los camiones designados a otros centros de distribución deben ser trasladados al taller de Rancagua para recibir mantención, o bien el jefe de taller debe viajar para repararlos.
- 7) Se retiran repuestos originales de un camión para ser ubicados en camiones de circulación diaria.
- 8) Falta de motivación de los trabajadores.
- 9) Camiones en mal estado; incluye carrocería, sistema mecánico.
- 10) No hay procedimientos de mantención establecidos; las actividades de mantenimiento se desarrollan según la necesidad y urgencia de las fallas.

1.6.1.2. Relación causal entre efectos indeseados

Para poder construir el árbol de realidad actual, se deberá observar si es que existe una relación causal aparente entre los efectos indeseados identificados anteriormente; a continuación, se presenta el árbol de realidad actual (ARA) obtenido de la situación que vive TCP en el presente:

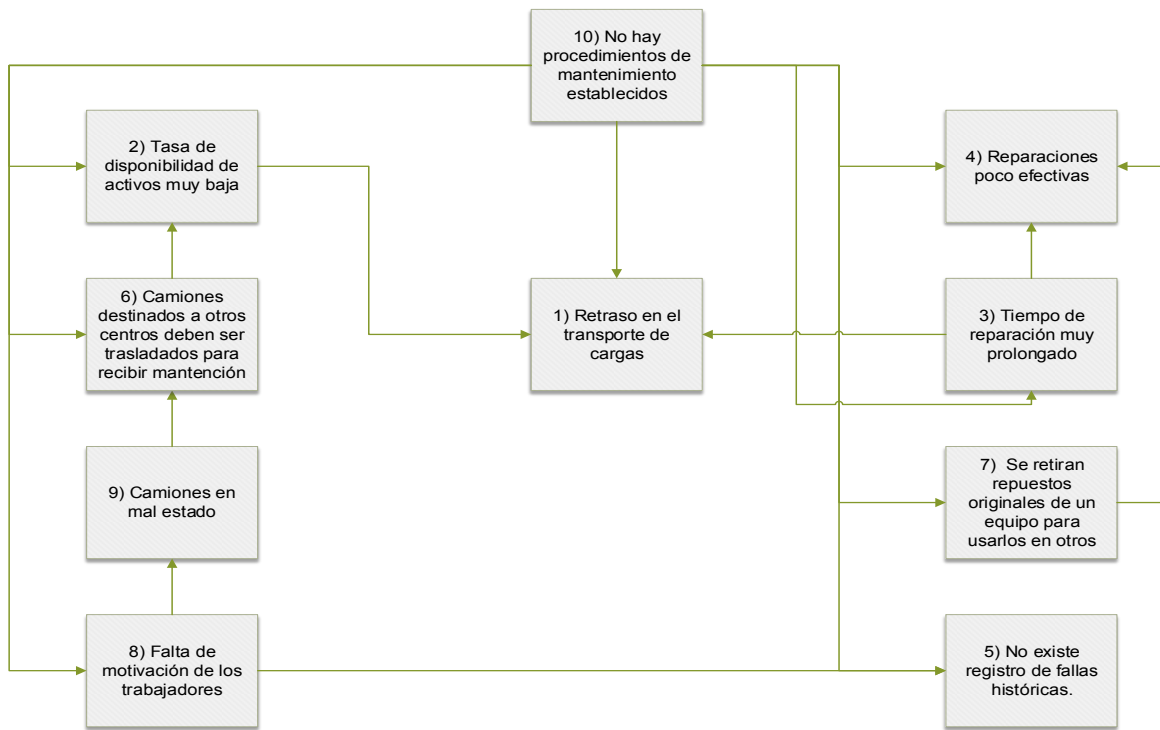


Figura 1.6.: Árbol de realidad actual (ARA)

Fuente: Elaboración propia.

Tal como se puede observar en la figura 1.6., el efecto indeseado N° 10 es la causa raíz del problema debido a que tiene el mayor número de flechas de salida desde la entidad y además no tiene flechas entrantes; esto quiere decir que, el hecho de no existan procedimientos de mantenimiento establecidos para la flota de camiones sin contrato de mantención, ha generado la gran mayoría de los efectos indeseados identificados con anterioridad. Por el contrario, la entidad que posea un mayor número de flechas de entrada será considerada como el problema a tratar. En este caso particular, se deberá dar solución a la entidad N°1 que hace referencia al retraso en el transporte de cargas asignadas, dando especial énfasis a la mantención de los activos, área de estudio de este trabajo de título.

1.6.2. Diagrama de Ishikawa

En conformidad del árbol de realidad actual (ARA) presentado en el apartado 1.6.1., se dio paso a construir el Diagrama de Ishikawa con el objeto de identificar las causas generadoras del problema; para ello se reunió un grupo de expertos compuesto por don Jesús Manzárraga, subgerente de mantenimiento de TCP, y el staff de mecánicos a cargo de las actividades de mantención efectuadas en la flota de camiones, para definir las dimensiones a evaluar en este diagrama, tales dimensiones quedaron conformadas de la siguiente manera:

- **MANO DE OBRA:** Las principales causales identificadas en esta dimensión tienen que ver con el personal dependiente del departamento de mantenimiento, pues se detectó que en muchas ocasiones los mecánicos no están suficientemente capacitados para realizar algunas tareas de mantención, por lo que se debe esperar a que el jefe de mecánicos pueda intervenir o bien exteriorizar el servicio de mantención; esto último ha generado que se produzcan retrasos en las tareas de mantenimiento, aumentando el MTTR y en consecuencia afectando la confiabilidad y disponibilidad de la flota.
- **MAQUINARIA:** Esta dimensión está directamente relacionada con el estado de la flota y sus reparaciones cuando corresponde; producto de reparaciones deficientes, los camiones se encuentran constantemente en mal estado y deben volver a taller para las mismas o nuevas reparaciones. Al igual que el caso anterior, esto ha generado que el tiempo de reparación sea, en algunos casos, muy elevado afectando la disponibilidad y confiabilidad general del sistema de activos.
- **MEDICIONES:** El principal motivo de la selección de esta dimensión, tiene que ver con la medición de los retrasos en la distribución y entrega efectiva de las cargas asignadas debido a la precaria planificación de las actividades de mantenimiento, pues como se mencionó en apartados anteriores, TCP realiza actividades de mantención únicamente correctivas a su flota de camiones sin oportunidad de prevenir fallas en ruta. Adicional a lo anterior, se tiene que TCP no cuenta con un registro histórico de fallas, lo que ha dificultado el análisis de información relevante que incidiría de forma positiva en la toma de decisiones respecto de la planificación de las tareas de mantenimiento.

- **MATERIA PRIMA:** Las causales asociadas a esta dimensión, estarán dirigidas principalmente a la mala gestión de abastecimiento de repuestos, pues los repuestos necesarios para las reparaciones son solicitados a los proveedores en función a la necesidad de estos. El hecho de no contar con un inventario establecido de repuestos genera automáticamente un aumento del MTTR unitario y global del sistema de activos; es importante destacar que esto último se debe a que no se cuenta con las instalaciones necesarias para almacenar los repuestos y a las constantes fugas que se han ocasionado dando como resultado la pérdida de repuestos nuevos, en virtud de aquello la gerencia de TCP definió que la mejor manera de proceder sería la expuesta anteriormente.

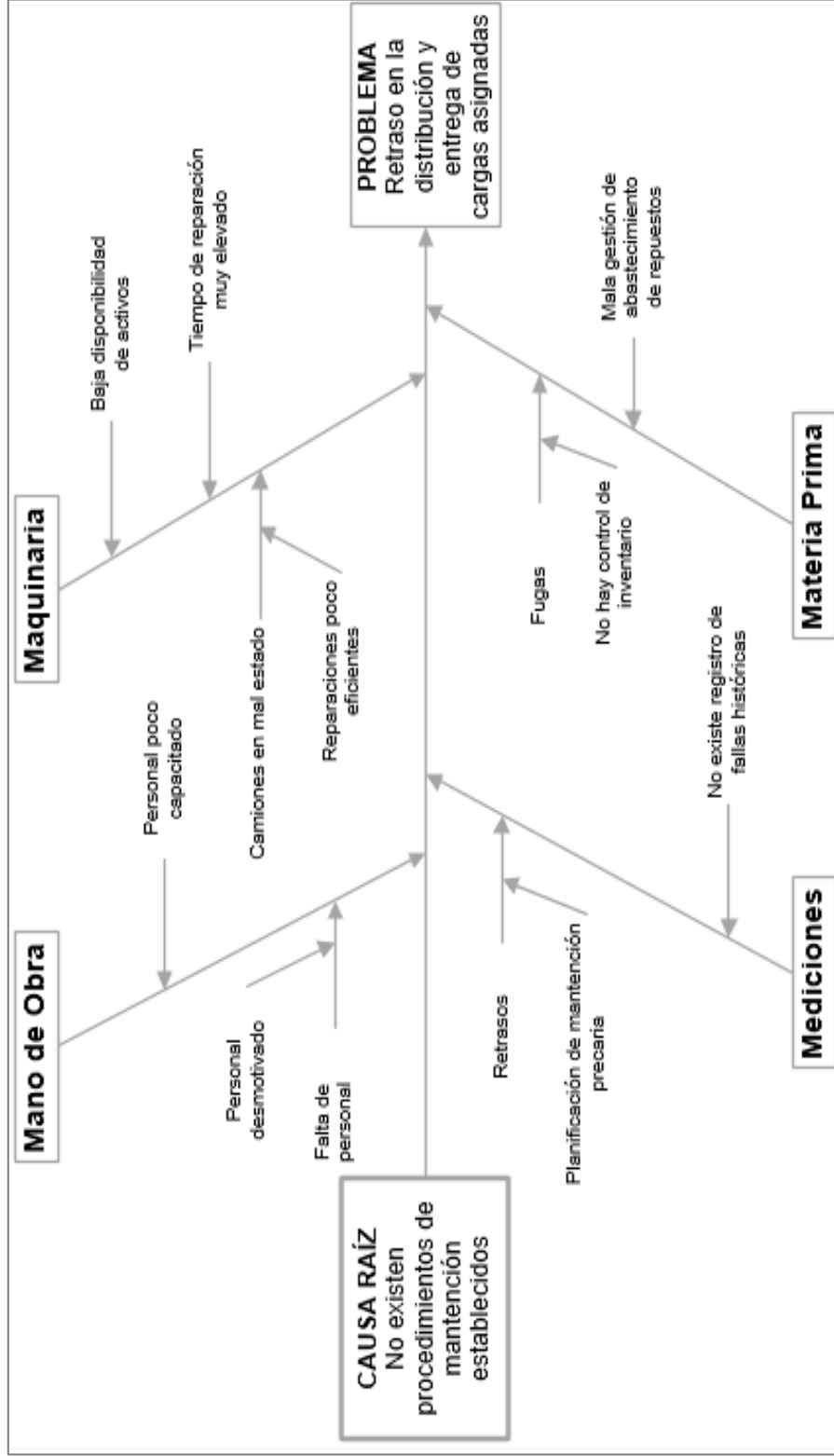


Diagrama 1.4.: Diagrama de Ishikawa

Fuente: Elaboración propia.

Tal como se estableció en el apartado anterior, el problema ocasionado es el retraso en la distribución y entrega de cargas asignadas por camión cuya causa raíz queda definida por la inexistencia de procedimientos de mantenimiento debidamente establecidos; sin embargo, gracias a este diagrama se han podido identificar otras causas que de una u otra forma han incidido en el desarrollo y crecimiento del problema como por ejemplo la mala gestión de abastecimiento de repuestos y la precaria planificación de las actividades de mantenimiento.

1.6.3. Diagrama de Pareto

Con el objeto de la apropiada construcción del Diagrama de Pareto, se realizó una simple encuesta a todas las personas que de alguna forma están involucradas en el departamento de mantenimiento, de modo que fuera posible reunir la información necesaria para jerarquizar las causas detectadas.

¿Cuál cree usted que es la principal causa que ha generado los retrasos en la distribución y entrega de cargas?

Como se puede apreciar en la tabla 6.3. ubicada en el anexo 6.3., la percepción de los 193 trabajadores muestra una clara tendencia a las que de ahora en adelante serán llamadas Causa 1: *“No existen procedimientos de mantenimiento establecidos”* y Causa 2: *“Baja disponibilidad de equipos para la distribución de cargas”*, pues entre ambas cumplen la regla de Pareto alcanzando el 80,31% de la frecuencia relativa acumulada de las causas del problema. Esto quiere decir que el 25% de las causas identificadas por los usuarios del proceso, explican aproximadamente el 80,31% del problema estudiado.

Es importante destacar, que con este trabajo de título se busca de igual forma disminuir el efecto de las otras causas detectadas, de manera que el proceso mantenimiento sea lo más efectivo posible y le permita a la empresa aumentar la disponibilidad de equipos para la distribución de cargas asignadas. En el diagrama 1.5. que se presenta a continuación, se muestra la representación gráfica de la tabla 6.3.. antes mencionada como Diagrama de Pareto:

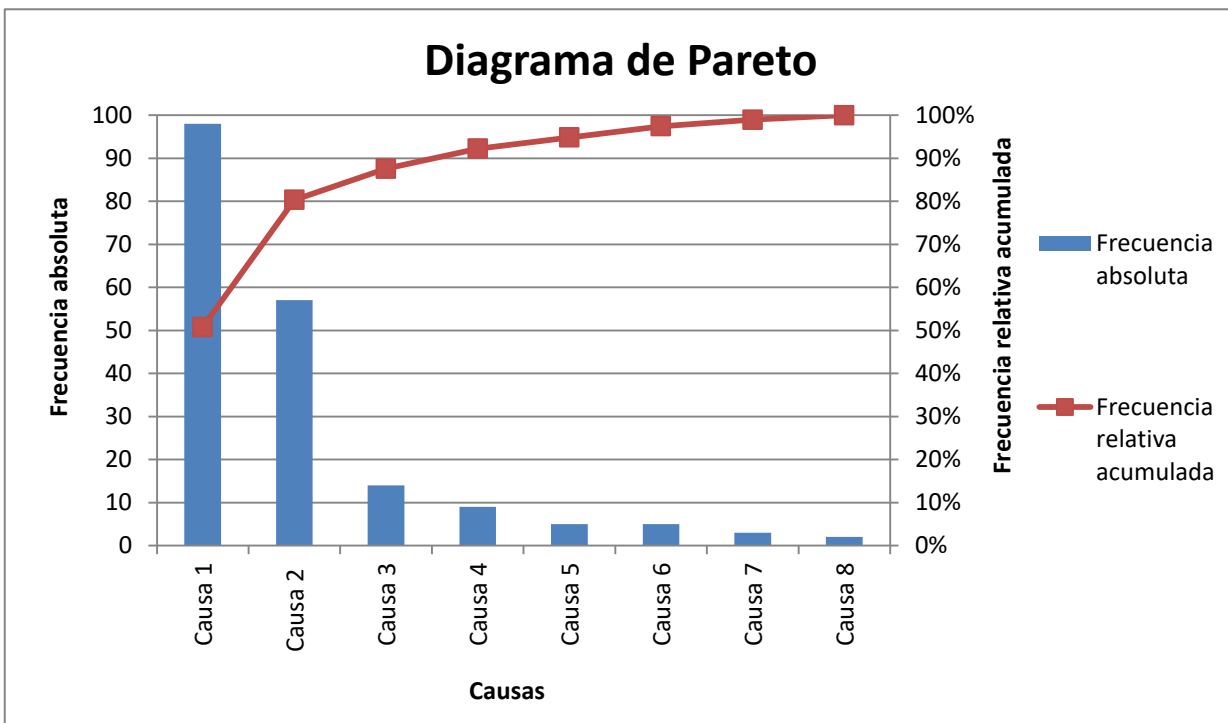


Diagrama 1.5.: Diagrama de Pareto

Fuente: Elaboración propia.

Ahora que el Diagrama de Pareto ha sido construido, la interpretación de los datos se facilita considerablemente ya que se puede observar la frecuencia absoluta asociada a cada causa y también la contribución relativa acumulada que generan determinadas causas en el total de efectos indeseados.

1.7. Diagrama CAUSA – PROBLEMA – IMPACTO (CPI)

Los métodos y herramientas de análisis utilizadas en los apartados anteriores permitieron identificar la causa raíz y las causas secundarias del problema detectado en TCP; el Diagrama CPI por su parte, brinda la oportunidad de asociar la causa raíz al problema y a su vez, al impacto que genera en la empresa.

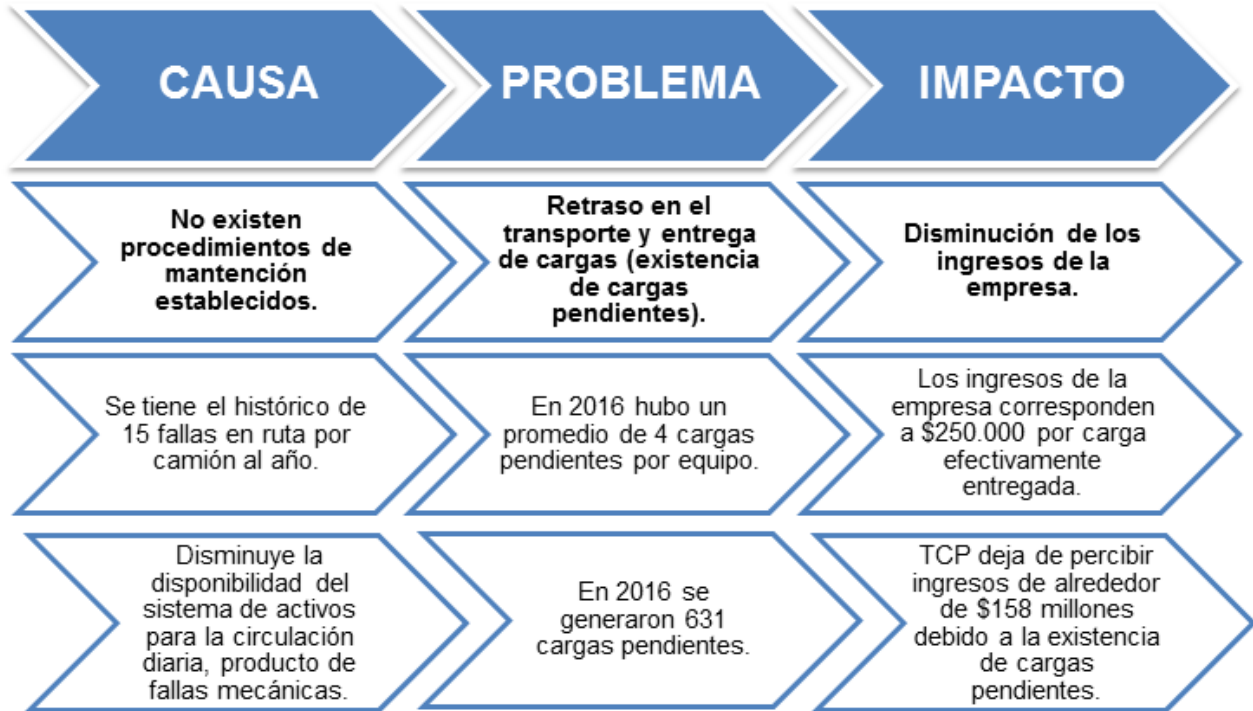


Diagrama 1.6.: CAUSA – PROBLEMA – IMPACT

Fuente: Elaboración propia.

Tal como se determinó en el apartado 1.5., el problema detectado es la existencia de cargas pendientes para su distribución y entrega, mientras que la causa raíz generadora del problema es que no existen procedimientos de mantenimiento establecidos para los activos; esto último ha provocado fallas en los equipos por lo que han tenido que ser retirados de circulación, disminuyendo de esta forma la disponibilidad y confiabilidad del sistema de activos.

Del diagrama 1.6. se entiende que el impacto generado por el problema detectado es la disminución de los ingresos de la empresa, esto se debe a que los ingresos corresponden a \$480 por caja efectivamente entregada y una carga en promedio consta de 500 cajas, por tanto, el valor aproximado por carga es de \$250.000. En virtud de lo anterior, es que TCP deja de percibir alrededor de \$250.000 por carga no entregada; considerando un total de 631 cargas pendientes en 2016, TCP dejó de percibir ingresos que rodean los \$158 millones.

1.8. Selección de la metodología a emplear

Con el objeto de seleccionar la metodología que mejor se adapte al problema detectado, es que se realizó una investigación bibliográfica acerca de estudios y estrategias para abordar problemas similares al planteado en este trabajo de título. A continuación, se presentan 3 casos cuyo marco metodológico podría implementarse para dar solución a la problemática que afecta a TCP:

1.8.1. Total Productive Maintenance (TPM)

El Mantenimiento Productivo Total o TPM por su sigla en inglés, es aquel donde el mismo operario de producción atiende el mantenimiento preventivo de su unidad operativa, y en la actividad de mantenimiento se involucra hasta la alta gerencia⁵.

En la investigación realizada por Suárez (2016)²⁰, se realiza una propuesta de mejora a la gestión de mantenimiento con enfoque en el mantenimiento productivo total (TPM) para la empresa Serfriman EIRL con el objeto de proporcionar un plan de mantenimiento con formatos de mantención diaria, semanal y mensual para sus equipos de refrigeración. El resultado de la investigación arrojó que la implementación de la propuesta, en un horizonte de 24 meses, provocaría la reducción de costos operativos en S/5.614 (cinco mil seiscientos catorce soles) al mes.

²⁰[Suárez16] Suárez, M. *“Propuesta de mejora de la gestión de mantenimiento según el enfoque de mantenimiento productivo total (TPM) para reducir los costos operativos de la empresa Serfriman EIRL”* (Trujillo, Perú), edición PDF.

VENTAJAS	LIMITANTES
<ul style="list-style-type: none"> • Mejor control de las operaciones. • Reducción de los costos de mantenimiento. • Mejora de la calidad del producto/servicio final. • Aumento de la capacidad de respuesta a los movimientos del mercado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere de un cambio cultural organizacional para que el cambio tenga éxito. • La inversión y cambios generales en la organización es costosa. • El proceso de implementación requiere de varios años.

Figura 1.7.: Ventajas y limitantes del TPM

Fuente: Elaboración propia

1.8.2. Reability Centred Maintenance (RCM)

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad o RCM por su sigla en inglés, es un método que permite determinar convenientemente las necesidades para mantener cualquier activo físico en su entorno de operación⁶.

En el trabajo de investigación realizado por Villacrés (2016)²¹, se desarrolló un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para los equipos críticos de un vehículo de la flota de hidrocleaners de la empresa municipal ETAPA de Ecuador; por medio de la análisis del método RCM se logró determinar una actividad preventiva para 22 de los 26 modos de falla detectados. Finalmente, en 2015 se procedió a la implementación del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad y a ejecutar las actividades correctivas, se determinó que la tasa de fallos se redujo de 11 a 6 fallas por año, representando una reducción del 45% de la tasa de fallas en el nuevo periodo de análisis.

²¹[Villacrés16] Villacrés, S. "Desarrollo de un plan de mantenimiento aplicando la metodología de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para el vehículo Hidrocleaner Vector M654 de la empresa ETAPA EP" (Riobamba, Ecuador), edición PDF.

VENTAJAS	LIMITANTES
<ul style="list-style-type: none"> • Mejora de la seguridad, que se produce al prevenir los riesgos asociados al manejo de los equipos. • Mejora el impacto ambiental, dado por el estudio de fallas con implicación medioambiental. • Aumento de la producción, al reducir la tasa de fallas en los equipos. • Aumento de fiabilidad de los equipos. • Disminución de los costos globales de mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas de diseño de las instalaciones; en este caso, no aplica. • Es necesario que las personas involucradas en las labores de mantenimiento estén debidamente entrenadas y capacitadas.

Figura 1.8.: Ventajas y limitantes RCM

Fuente: Elaboración propia.

1.8.3. Asset Management (AS)

La Gestión de Activos o Asset Management (AS), se define como el conjunto de actividades y prácticas coordinadas y sistemáticas por medio de las cuales una organización maneja de manera óptima y sustentable sus activos y sistemas de activos, su desempeño, riesgo y gastos a lo largo de sus ciclos de vida, con el fin de lograr su plan estratégico organizacional [PAS55:20008].

En el trabajo de investigación realizado por Plazas (2015)²², se estudió la necesidad de mejorar la gestión de sus activos con el objeto de generar valor a través de los mismos por medio de la implementación de la norma PAS 55 desarrollada por el British Estándar Institute (BSI) para la correcta gestión de los activos físicos de una empresa. La viabilidad de la propuesta fue validada por una serie de expertos que respaldaron el aumento de la confiabilidad de los equipos y un aumento en el retorno de la inversión de los activos.

²²[Plazas15] Plazas, N. *“Propuesta de un sistema de gestión de activos, basados en la PAS 55, para la generación de valor en las empresas de servicios públicos domiciliarios del municipio de Duitama (Bocayá) (Tunja, Colombia), edición PDF.*

VENTAJAS	LIMITANTES
<ul style="list-style-type: none"> • Mejora el rendimiento financiero a través de la mejora en la rentabilidad de la inversión. • En el largo plazo, disminución de costos de mantenimiento. • Proporciona mejor información para la toma de decisiones. • Minimiza los riesgos de operación. • Mejora la eficiencia y eficacia productiva de la empresa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere de un cambio cultural organizacional para que el cambio tenga éxito. • Todos los departamentos de la empresa deben verse involucrados en la adopción de la nueva estrategia. • La inversión y cambios generales en la organización es costosa. • El proceso de implementación requiere de varios años.

Figura 1.9.: Ventajas y limitantes AS

Fuente: Elaboración propia.

1.8.4. Jerarquización de metodologías para su selección

Con el objeto de seleccionar la metodología que mejor se adapte al problema detectado en la empresa Transporte Cargo Pacífico Ltda., se realizó una matriz de decisión evaluando las dimensiones que contribuirán a la disminución de las causas generadoras de la existencia de cargas pendientes. Las dimensiones fueron escogidas por don Jesús Manzárraga subgerente de mantenimiento de TCP.

METODOLOGÍA	DIMENSIONES DE EVALUACIÓN				N° de dimensiones
	Confiabilidad	Disponibilidad	Cargas pendientes	Costos de mantenimiento	
Total Productive Maintenance (TPM)		X	X	X	3
Reability Centred Maintenance (RCM)	X	X	X	X	4
Asset Management (AS)	X	X		X	3

Figura 1.10.: Matriz de decisión para seleccionar la metodología
Fuente: Jesús Manzárraga, subgerente de mantenimiento TCP.

Tal como se puede apreciar en la matriz de decisión exhibida en la figura 1.10., las dimensiones definidas para la evaluación y selección de la metodología han quedado determinadas por la confiabilidad, disponibilidad, existencia de cargas pendientes y costos asociados a la mantención de los equipos. Cabe destacar, que la selección de estas dimensiones fue realizada en base al problema detectado en la empresa Transporte Cargo Pacífico, por lo que la metodología escogida deberá responder al problema, sus causas y las consecuencias indeseadas que nacen a partir de él.

En virtud de lo anterior, y en consideración de las dimensiones que la metodología deberá abarcar, se ha definido que el método a emplear en este trabajo de título corresponde al de mantenimiento centrado en la confiabilidad de los activos (RCM), de esta forma será posible:

- Aumentar la confiabilidad unitaria y del sistema de activos a través de la detección de fallas y la identificación de las causas que las provocan.
- Aumentar la disponibilidad de la flota de camiones al disminuir la tasa de fallas de los equipos.
- Disminuir el número de cargas pendientes para la distribución al aumentar la disponibilidad general de los camiones de circulación diaria.
- Reducir los costos globales de mantenimiento al implementar actividades de mantenimiento preventivo, las que a su vez incidirán en la reducción de los costos de mantenimiento correctivo.
- Generar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad a través de la identificación de fallas funcionales, modos de falla, efectos y consecuencias, para finalmente definir tareas proactivas que contribuyan a la predicción y prevención de fallas.

1.9. Objetivos

En el presente apartado se revisarán los objetivos que se han definido como propósito para este trabajo de título.

1.9.1. Objetivo general

Diseñar una propuesta de un plan de mantenimiento utilizando el método RCM²³ para la flota de camiones de la empresa Transporte Cargo Pacífico Ltda.

1.9.2. Objetivos específicos

- Identificar las condiciones que han generado la existencia de cargas pendientes y jerarquizarlas en orden de importancia para definir la causa raíz del problema.
- Proponer una metodología que permita disminuir la existencia de cargas pendientes, y aumentar la disponibilidad y confiabilidad del sistema de activos.
- Definir las funciones y parámetros de funcionamiento de los sistemas, subsistemas y componentes de los vehículos de carga a estudiar en este trabajo de título.
- Diseñar procedimientos para la planeación, ejecución y registro de las tareas y actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de los activos, en virtud de sus parámetros de funcionamiento.

²³ *Reability Centred Maintenance*; Mantenimiento centrado en la confiabilidad.

1.10. Limitaciones del estudio

Como ya fue establecido en el apartado anterior, la metodología a emplear en este trabajo de título corresponde a la de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), sin embargo, al considerar la situación actual de TCP se ha observado que este método es la mejor opción en el mediano plazo para la empresa. Para una proyección a largo plazo se recomienda la implementación de una estrategia de gestión de activos de modo que sea posible, para la empresa, mejorar las actividades de adquisición, operación, mantenimiento y desvinculación de los activos. Es importante destacar, que las condiciones actuales de la empresa asociadas al proceso de estudio impiden la ejecución de una estrategia de gestión de activos por su alto costo y tiempo de implementación.

La idea de comenzar con un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para posteriormente, en el largo plazo, continuar con una estrategia de gestión de activos, nace de un análisis exhaustivo, realizado en conjunto con don Jesús Manzarraga (subgerente de mantenimiento TCP), de las posibilidades de adaptación de la empresa; dado lo anterior se ha definido un horizonte de 5 años para la implementación del plan de RCM y de 10 años para la implementación de la estrategia de gestión de activos con el fin de obtener la certificación de las normas PAS 55 e ISO 55000.

Adicional a lo anterior, se ha definido que de los 252 camiones que componen la flota de Transporte Cargo Pacífico, solamente serán estudiados 90 equipos; esto último se ha determinado en base a que los 162 equipos restantes reciben mantenimiento externo en Kaufmann S.A y Maco Volkswagen, siendo los 90 camiones antes mencionados los que reciben mantenimiento en el taller mecánico propio de la empresa.

En esta oportunidad, uno de los factores limitantes más importantes para lograr el óptimo desarrollo de este trabajo de título, es el personal de la empresa pues no está capacitado para el uso de tecnologías que podrían facilitar la implementación de los procedimientos diseñados; es por esto último que el plan de mantenimiento deberá estar compuesto por tareas y actividades que sean simples y de fácil entendimiento.

Otro de los obstáculos detectados, es la fidelidad y veracidad de los datos, pues como ya se mencionó en apartados anteriores, no existe un registro *forma*²⁴ de las fallas históricas que han sufrido los activos, es por ello que se deberá prestar especial atención en el tratamiento de la información proporcionada por la empresa.

El uso de criterio de expertos como medida para la identificación de efectos indeseados puede resultar subjetivo desde el punto de vista que las personas encuestadas son trabajadores de la misma empresa y no se puede asegurar su objetividad a la hora de responder; sin embargo, es importante destacar que adoptar otra medida no tendría sentido alguno pues son precisamente los trabajadores quienes están en pleno conocimiento de la situación real de la empresa.

Finalmente, es preciso mencionar que, si bien, la metodología seleccionada permite alcanzar los objetivos principales de este trabajo de título, esto no asegura la correcta implementación por parte de la empresa.

²⁴ El registro existe en papel y no en formato digital, además no hay un formato standard para registrar las acciones realizadas en el camión.

CAPÍTULO 2: MARCO METODOLÓGICO

Tal como se mencionó el capítulo anterior, la metodología seleccionada para desarrollar este trabajo de título y conforme a las necesidades detectadas en la empresa, es la de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

2.1. Teoría del método

Siguiendo el orden de ideas, es que se han identificado 9 fases que permitirán, en el mediano plazo, dar solución al problema detectado en la empresa Transporte Cargo Pacífico Ltda., y se presentan a continuación:

2.1.1. Fase 1: Identificación de los sistemas y subsistemas de los vehículos de carga

La primera actividad a realizar, será la debida identificación de los sistemas, subsistemas y componentes que serán estudiados en el margen del proceso de mantenimiento de la flota de camiones de TCP; de esta forma será más fácil identificar las posibles fallas, modos de falla y sus consecuencias.

2.1.2. Fase 2: Determinación de indicadores

Para lograr la correcta implementación de la metodología se deberá, en una primera instancia, determinar los indicadores clave y su valoración con el objeto de realizar un seguimiento y análisis de comportamiento que sirva de base comparativa para con los resultados que obtendrá la empresa al implementar el plan de mantenimiento diseñado en este trabajo de título. Los indicadores para desarrollar este trabajo de título fueron seleccionados en virtud del problema detectado en TCP y se detallan a continuación:

2.1.2.1. Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Este indicador mide el tiempo promedio entre la ocurrencia de paradas específicas por fallos o averías de un proceso y está determinado por la siguiente ecuación:

$$MTBF = \frac{Ht}{P} \cdot 100 \quad (2.1)$$

En donde: * **Ht: Horas trabajadas.** * **P: Número de paros por equipo.**

2.1.2.2. Tiempo medio de reparación (MTTR)

Es el tiempo promedio que toma reparar un equipo después de haber sufrido una falla o avería.

$$MTTR = \frac{Hp}{P} \times 100 \quad (2.2)$$

En donde: * **Hp: Horas de paro.** * **P: Número de paros por equipo.**

2.1.2.3. Disponibilidad (D)

Es la probabilidad de que un equipo se encuentre operativo cuando se requiera su uso y su cálculo está determinado por la siguiente ecuación:

$$D = \frac{Ht - Hp}{Ht} \times 100 \quad (2.3)$$

En donde: * **Ht: Horas trabajadas.** * **Hp: Horas de paro.**

2.1.2.4. Confiabilidad (Rs)

Es la probabilidad de que un sistema o equipo opere en forma satisfactoria por un periodo de tiempo determinado y bajo condiciones operacionales previamente definidas y constantes, y está definida por:

$$R = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)} \times 100 \quad (2.4)$$

Adicional a lo anterior, se debe considerar que el funcionamiento de los camiones de TCP se comporta como un sistema en paralelo pues se precisa el funcionamiento de al menos un componente, es decir un camión, para que el sistema funcione; en tal caso, la confiabilidad de un conjunto de equipos se obtendrá por la suma de los productos de la confiabilidad de cada ítem por sus capacidades de producción, dividido por la suma de las capacidades de dichos ítems.

2.1.3. Fase 3: Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es una técnica que permite establecer jerarquías entre instalaciones, sistemas, equipos y/o elementos de un equipo; además, apoya la toma de decisiones en la gestión de mantenimiento, ejecución de proyectos de mejora y rediseños con base en el impacto de la confiabilidad actual de los equipos.

Para determinar la criticidad de un sistema se hace uso de una matriz de frecuencia de falla por consecuencia de la falla, denominada matriz de criticidad y los pasos para su construcción se detallan a continuación:

2.1.3.1. Definir el nivel de análisis

Con el objeto de jerarquizar la totalidad de la flota de camiones sin contrato de mantención externa de Transporte Cargo Pacífico, se deberán definir los niveles en donde se efectuará el análisis, vale decir, instalación, sistema, equipo o elemento de estudio; además,

se deberá estar en pleno conocimiento del tipo, marca, modelo y año de adquisición de los camiones.

2.1.3.2. Definir la criticidad

Como se mencionó con anterioridad, la criticidad de los equipos dependerá de su frecuencia de falla y del impacto o consecuencia de dichas fallas o averías. La frecuencia de ocurrencia de las fallas será determinada por el número de eventos en un mes, para ello se utilizará el tiempo medio entre fallas (MTBF) tal como se muestra en la tabla 2.1.:

Categoría	MTBF (en horas)	Número de fallas al mes	Interpretación
5	MTBF < 50	$\lambda > 1$	Es probable que ocurran varias fallas en un periodo inferior a 50 horas.
4	$50 \leq \text{MTBF} < 100$	$0,1 \leq \lambda < 1$	Es probable que ocurran varias fallas en 50 horas, pero es poco probable que ocurran en 100 horas.
3	$100 \leq \text{MTBF} < 250$	$0,01 \leq \lambda < 0,1$	Es probable que ocurran varias fallas en 100 horas, pero es poco probable que ocurran en 250 horas.
2	$250 \leq \text{MTBF} < 500$	$0,001 \leq \lambda < 0,01$	Es probable que ocurran varias fallas en 250 horas, pero es poco probable que ocurran en 500 horas.
1	MTBF > 500	$0,001 \leq \lambda$	Es poco probable que ocurran fallas en 500 horas.

Tabla 2.1.: Criterios para estimar la frecuencia

Fuente: Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmotadora de algodón, formato PDF.

En cuanto a la estimación de las consecuencias o impacto de las fallas, se deberán emplear los siguientes criterios y sus rangos establecidos:

- Daños al personal.
- Daños a las instalaciones.
 - $Di = \text{costo de reparación} + \text{costo de reparación del equipo.}$
- Impacto en la productividad (IP).
 - $IP = \text{producción diferida} \times \text{MTTR} \times \text{costo unitario del servicio.}$
- Impacto al medio ambiente.
- Impacto a la población.

El valor resultante permite categorizar el daño que sufren las instalaciones (DI) de acuerdo a la tabla 2.2.:

Categoría	Daños al personal	Impacto a la población	Impacto ambiental	Pérdida por disminución de productividad	Daños a instalac.
5	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más de los miembros de la empresa.	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la comunidad.	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.	Mayor a 50 MM	Mayor a 50 MM
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas o enfermedades en uno o más de los miembros de la empresa.	Incapacidad parcial, permanente o enfermedades en al menos un miembro de la población.	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.	De 15 a 50 MM	De 15 a 50 MM
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral.	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas.	Daños ambientales regables sin violación de leyes y regulaciones.	De 5 a 15 MM	De 5 a 15 MM
2	El personal requiere de tratamiento médico o primeros auxilios.	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieran tratamiento médico o primeros auxilios.	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones.	De 500 mil a 5 MM	De 500 mil a 5 MM
1	Sin impacto en el personal.	Sin efecto en la población.	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones.	Hasta 500 mil	Hasta 500 mil

Tabla 2.2.: Categoría de impactos

Fuente: Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmotadora de algodón, formato PDF.

2.1.3.3. Calcular nivel de criticidad

Para poder determinar la criticidad de un sistema o equipo, se deberá emplear la siguiente relación:

$$\textit{Criticidad} = \textit{Frecuencia} \times \textit{Impacto} \quad (2.5)$$

Las variables mencionadas corresponden a los valores preestablecidos como “categorías” de las tablas N.5. y N.6. de este apartado.

2.1.3.4. Análisis y validación de los resultados

Los resultados obtenidos por cada equipo se clasificarán, según su criticidad, de la siguiente manera²⁵:

- CRITICIDAD ALTA (rojo): $15 \leq C \leq 25$
- CRITICIDAD MEDIA (amarillo): $10 \leq C \leq 14$
- CRITICIDAD BAJA (verde): $5 \leq C \leq 9$

2.1.4. Fase 4: Definir funciones y parámetros de funcionamiento de los activos

Para poder identificar las que más adelante se reconocerán como fallas funcionales, será necesario definir las funciones y parámetros de funcionamiento de los camiones. Las funciones de un activo pueden clasificarse en dos grupos:

- **Funciones primarias:** Son la razón principal por la cual fue adquirido el activo físico, es por esto que deben ser definidas tan precisas como sea posible.
- **Funciones secundarias:** Indican lo que se espera del activo, más allá de cubrir sus funciones primarias. Estas funciones se sub clasifican en 7 categorías:

²⁵ Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmotadora de algodón, formato PDF.

- Ecología e integridad ambiental.
- Seguridad.
- Control / confort /contención.
- Apariencia.
- Protección.
- Eficiencia / economía.
- Funciones superfluas.

2.1.5. Fase 5: Identificar y distinguir fallas funcionales

Se dice que un activo presenta una falla funcional cuando no puede cumplir su función conforme a los parámetros de funcionamiento que el usuario considera aceptable [Ellmann et al., 2003]. Es precisamente por este motivo que es tan importante definir previamente las funciones y parámetros de funcionamiento de los camiones.

2.1.6. Fase 6: Determinar el modo de falla

Es esencial saber distinguir entre una falla funcional, que hace referencia al estado de falla, y un modo de falla que se define como cualquier evento que provoca una falla funcional [Ellmann et al., 2003].

Cuando una instalación/sistema/equipo tiene muchos componentes, tendrá una mayor probabilidad de falla y, en consecuencia, múltiples modos de falla. En virtud de lo anterior es que el análisis de modo de falla deberá incluir eventos de falla que hayan ocurrido en equipos iguales o similares operando en el mismo contexto, además de los eventos que actualmente están siendo tratados por regímenes de mantención existentes y los eventos que aún no han ocurrido pero que de igual forma podrían provocar la parada del equipo.

2.1.7. Fase 7: Estudio de los efectos y consecuencias de fallas funcionales

Cada vez que un activo falla afecta de alguna manera a la empresa que lo ha adquirido, ya que incide en la productividad, en la calidad del producto o servicio, o en la percepción del cliente; hay otras fallas que incluso representan un riesgo para la seguridad de las personas que la operan los equipos o el medio ambiente, y otras que, aparentemente, no tienen efecto alguno si actúan por sí solas, pero de igual forma ponen en riesgo a la organización al exponerla a fallas de mayor gravedad.

Las consecuencias y efectos de cada falla funcional estarán definidas por 2 factores determinantes: la severidad, que determina la gravedad de cada falla, y la probabilidad de ocurrencia, que determina la facilidad con la que se puede presentar la falla. En la tabla 2.3., que se muestra a continuación, se presentan los rangos establecidos por la NASA para la revisión de sus equipos secundarios, según la severidad de cada falla. Para efectos de este trabajo de título, serán usados los mismos rangos.

Rango	Efecto	Comentario
1	Ninguno	La falla no tendrá efecto en el ambiente, la salud, la seguridad y la función del sistema.
2	Muy leve	Perturbación menor del funcionamiento. Posible acción correctiva.
3	Leve	Perturbación menor del funcionamiento. Acción correctiva necesaria.
4	Entre leve y moderado	Perturbación menor/moderada. Probabilidad de reacomodar la función del sistema o demora en el proceso.
5	Moderado	Demora del 100% del sistema o reacomodación total.
6	Entre moderado y alto	Se pierde parte importante de la función del sistema, demora en la reparación.
7	Alto	Alta pérdida en la función del sistema, demoras en la restauración.
8	Muy alto	Se pierde función, gran demora en la reparación.
9	Riesgoso	Inconvenientes graves en cuanto a seguridad, salud y ambiente. Falla avisará antes de su ocurrencia.
10	Riesgoso	Inconvenientes graves en cuanto a seguridad, salud y ambiente. Falla ocurrirá sin advertencia.

Tabla 2.3.: Severidad de fallas

Fuente: [NASA00] National and Aeronautics Space Administration. Reability Centred Maintenance guide for facilities and colateral equipment, Febrero, 2000.

Rango	Probabilidad	Comentario
1	1/10000	Probabilidad remota, no se espera la ocurrencia de la falla.
2	1/5000	Probabilidad baja.
3	1/2000	Probabilidad baja.
4	1/1000	Falla ocasional.
5	1/500	Probabilidad moderada.
6	1/200	Probabilidad moderada.
7	1/100	Probabilidad alta.
8	1/50	Probabilidad alta.
9	1/20	Probabilidad muy alta.
10	1/10	Probabilidad muy alta.

Tabla 2.4.: Probabilidad de ocurrencia de fallas

Fuente: [NASA00] National and Aeronautics Space Administration. Reability Centred Maintenance guide for facilities and colateral equipment, Febrero, 2000.

Al igual que en el análisis de criticidad presentado en la Fase 2 del método RCM planteado en este trabajo de título, en este ítem se evaluará la criticidad pero en esta oportunidad estará relacionada a las fallas detectadas en los camiones, y estará dado por el producto entre la severidad y la probabilidad de ocurrencia de las fallas.

2.1.8. Fase 8: Determinar medidas preventivas

Se deberán definir tareas o actividades que eviten o atenúen el efecto de las fallas; estas actividades deberán ponerse en marcha antes de que ocurra la falla con el objetivo de prevenir que el componente llegue a un estado de falla.

La aplicación del método RCM disminuye la carga de trabajo del mantenimiento preventivo, con lo cual se podrá aumentar la productividad de la mano de obra y por consiguiente ejecutar las actividades de mantenimiento a un mayor número de equipos con la misma cantidad de operarios.

Para la definición de las actividades de mantenimiento preventivo se construirá un cronograma con base a las frecuencias requeridas por uno de los sistemas definidos en la Fase 1 de este trabajo de título. Cabe destacar que los periodos estarán determinados por el kilometraje registrado en los equipos de estudio.

2.1.9. Fase 9: Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

Se deberán agrupar todas las medidas preventivas antes identificadas en sus diferentes categorías, diseñar los procedimientos de operación y mantenimiento, y proporcionar una lista de mejoras que incluya los repuestos que deben permanecer en stock, además de las medidas provisionales a adoptar en caso de falla.

Finalmente, se deberá analizar la finalización del ciclo de vida útil del activo, de esta forma se podrá definir si el costo de mantener el equipo es mayor al beneficio de que se encuentre operativo.

2.2. Resultados esperados

Al aplicar la teoría del método seleccionado para desarrollar este trabajo de título, se esperan los siguientes resultados:

- Realizar un seguimiento de los KPI's asociados al proceso de mantenimientos de los activos.
- Ser capaz de analizar las posibilidades de falla y diseñar procedimientos preventivos que las eviten.
- Determinar la serie de actividades que permitirán garantizar una alta confiabilidad del sistema de equipos estudiados.

2.3. Limitantes del método

A pesar de todas las ventajas que trae consigo la aplicación del método RCM, hay ciertas limitaciones que en general amedrentan el buen desarrollo de las labores de mantenimiento, entre ellas se encuentran:

- No se puede planificar el mantenimiento propiamente tal, pues no se sabe cuándo se puede producir la falla en el equipo.
- Para poder implementar el método, la empresa deberá contar con suficientes repuestos para poder trabajar rápidamente en las averías y evitar paradas prolongadas en los equipos.
- El hecho de introducir tareas de mantenimiento preventivas, pueden converger en pequeñas disminuciones en la productividad general del sistema.

Adicional a lo anterior, se tiene que el sistema de activos estudiado en este trabajo de título es de carácter homogéneo en sus partes, es decir, que solo se compone de camiones, es por ello que se definirán actividades de mantenimiento en virtud de los sistemas y subsistemas de los camiones; vale decir: motor, transmisión, corriente eléctrica, dirección, frenos, sistema de suspensión, neumáticos y carrocería.

En el diagrama 2.1. que se presenta a continuación, se muestra el orden en que se realizarán las actividades y tareas definidas por el método seleccionado, en conformidad al problema planteado en este trabajo de título:

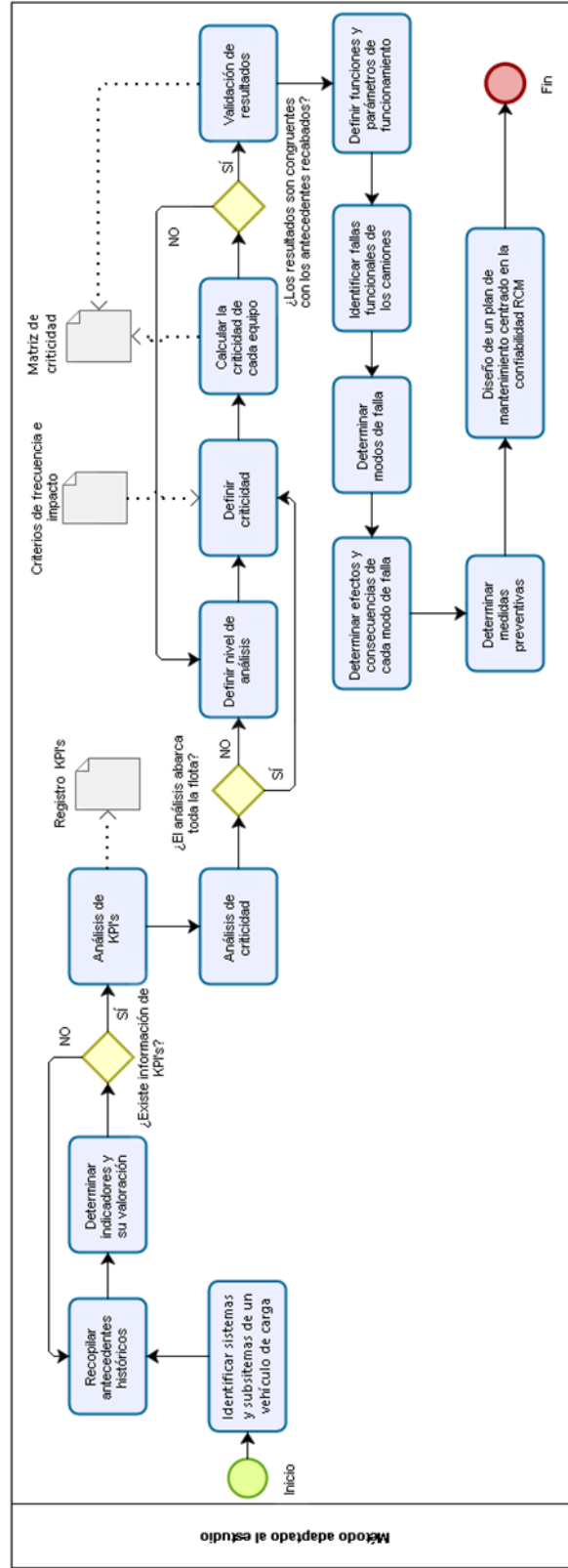


Diagrama 2.1.: Metodología adaptada a estudio

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 3: APLICACIÓN MÉTODO RCM

El mantenimiento centrado en la confiabilidad o RCM por su sigla en inglés (Reability Centred Maintenance), permite determinar cuáles son las actividades de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico²⁶.

Para verificar la correcta aplicación del método RCM, se deberá poder responder satisfactoriamente una serie de interrogantes denominadas las **7 preguntas del RCM**:

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento en cada sistema? **(Funciones)**.
- ¿Cómo falla cada sistema? **(Fallas funcionales)**
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional? **(Modos de falla)**
- ¿Qué ocurre cuando sucede cada falla? **(Efectos de la falla)**
- ¿De qué manera es importante la falla? **(Consecuencias de la falla)**
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir la falla? **(Tareas proactivas)**
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

En este apartado se dará respuesta a estas 7 preguntas a través de la implementación de la metodología RCM para el diseño de un plan de mantenimiento para la flota de camiones de Transporte Cargo Pacifico Ltda.

²⁶http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos_rcm_archivos/ariel%20ZYLBBERBERG/RCM_Scorecard_overview.pdf

3.1. Fase 1: Identificación de los sistemas y subsistemas de los vehículos de carga

Para diseñar un plan de mantenimiento, indistintamente de la metodología utilizada, es necesario tener en completo conocimiento del equipo que será estudiado.

Debido a que el sistema de activos estudiados en este trabajo de título corresponde a una flota de camiones cuyas características son más bien homogéneas, es que se presentará una caracterización generalizada de los sistemas, subsistemas y componentes de los camiones.

En conjunto con el subgerente de mantenimiento, don Jesús Manzárraga, se definieron 8 categorías o sistemas según las funciones que cumplen; a continuación, se muestra el resumen de los sistemas y sus respectivos subsistemas y componentes. El detalle se puede encontrar en el capítulo 6, apartado 6.6.

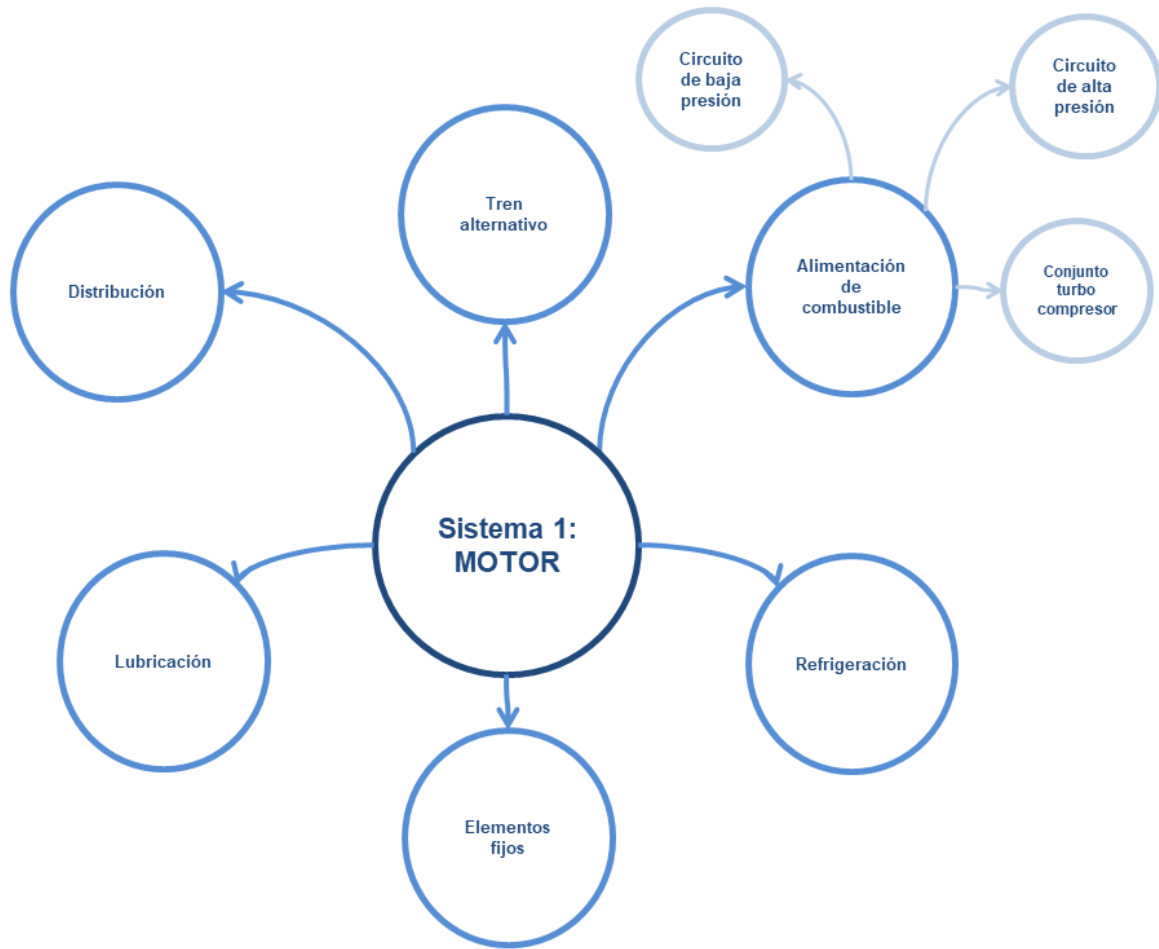


Figura 3.1.: Resumen sistema 1: MOTOR

Fuente: Elaboración propia.

El sistema 1, queda definido según ilustra la figura 3.1.; estará compuesto por 6 subsistemas: tren alternativo, distribución, lubricación, elementos fijos, refrigeración, y alimentación de combustible. De este último subsistema se sub clasificarán 3 grupos de componentes correspondientes a: circuito de baja presión, circuito de alta presión y el conjunto turbo compresor o intercooler.

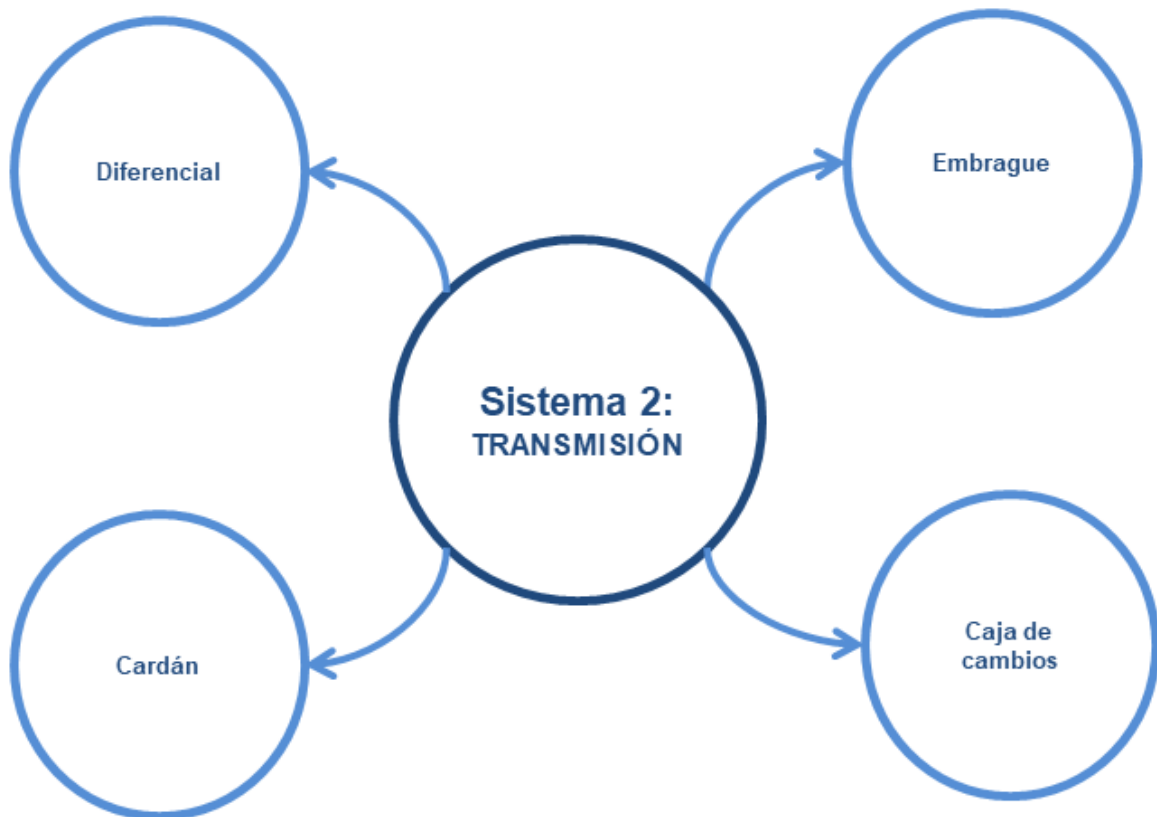


Figura 3.2.: Resumen sistema 2: TRANSMISIÓN

Fuente: Elaboración propia.

El sistema 2, tal como muestra la figura 3.2., corresponde al sistema de transmisión del camión; está compuesto por 4 subsistemas que corresponden a: embrague, caja de cambios, diferencial y cardán o eje cardánico.

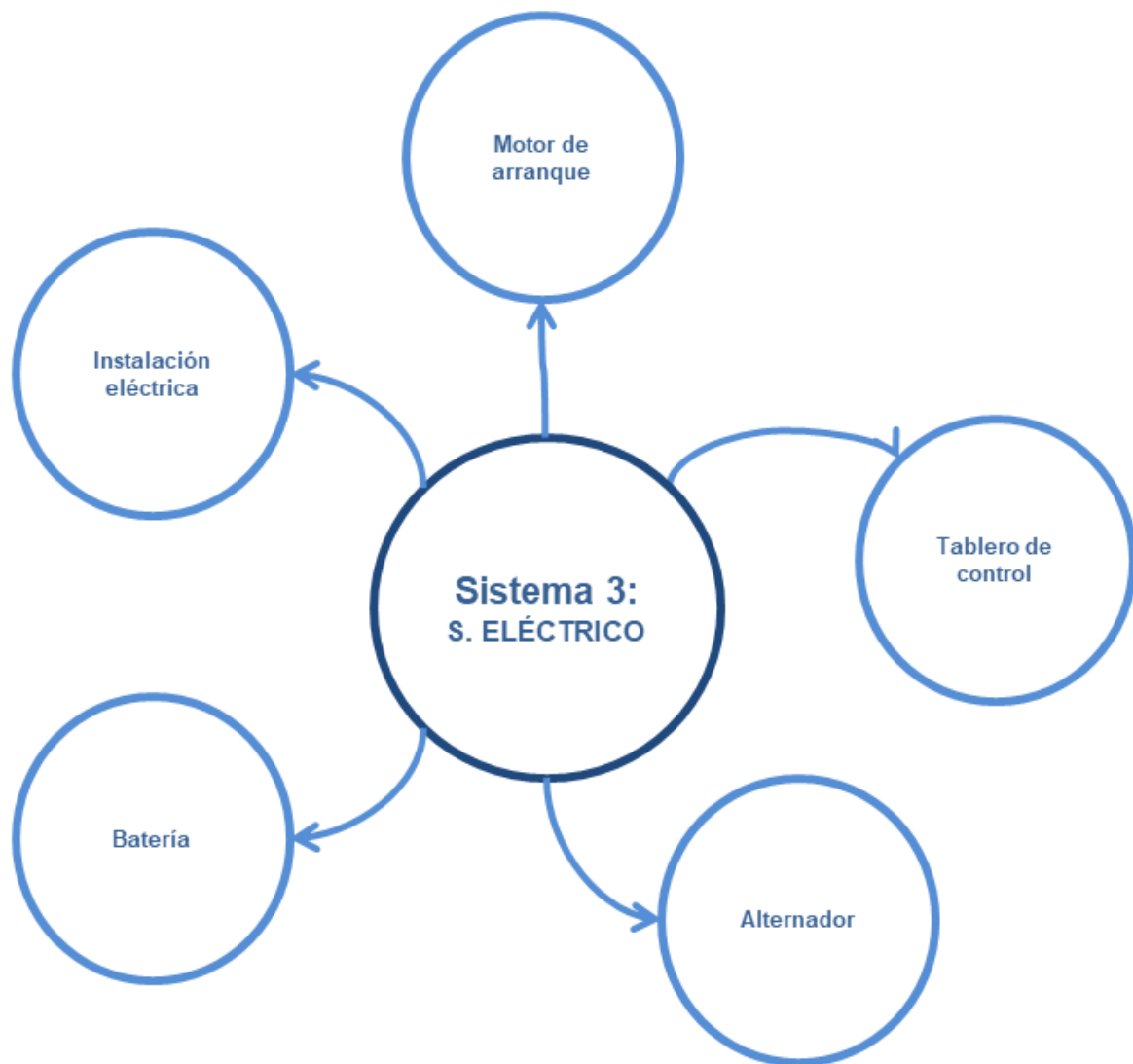


Figura 3.3.: Resumen sistema 3: SISTEMA ELÉCTRICO

Fuente: Elaboración propia.

La figura 3.3., muestra el resumen del sistema 3 que hace referencia al sistema eléctrico del vehículo de carga; está compuesto por 5 subsistemas: motor de arranque, instalación eléctrica, batería, alternador y tablero de control y alarmas.

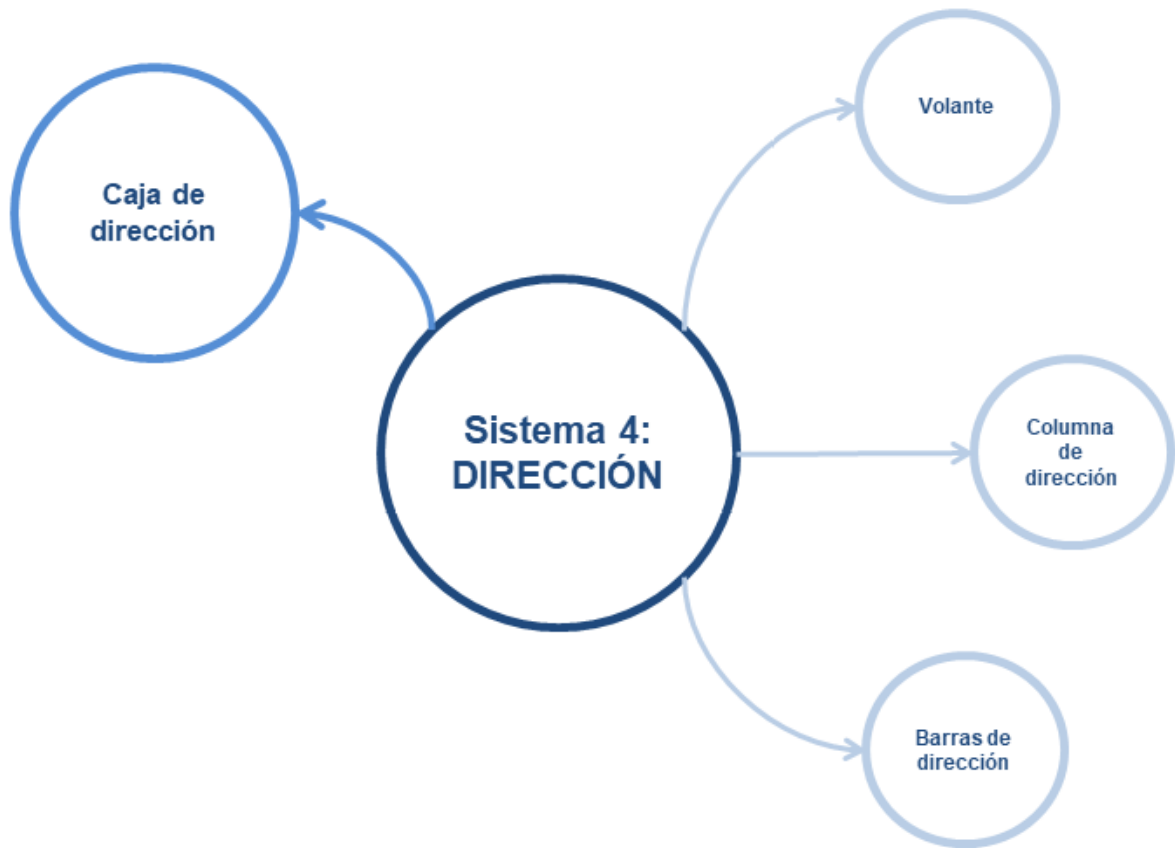


Figura 3.4.: Resumen sistema 4: DIRECCIÓN

Fuente: Elaboración propia.

El sistema 4, corresponde al sistema de dirección del camión; está compuesto por la caja de dirección como único subsistema, y por 3 grupos de componentes que quedan definidos por: volante, columna y barras de dirección.

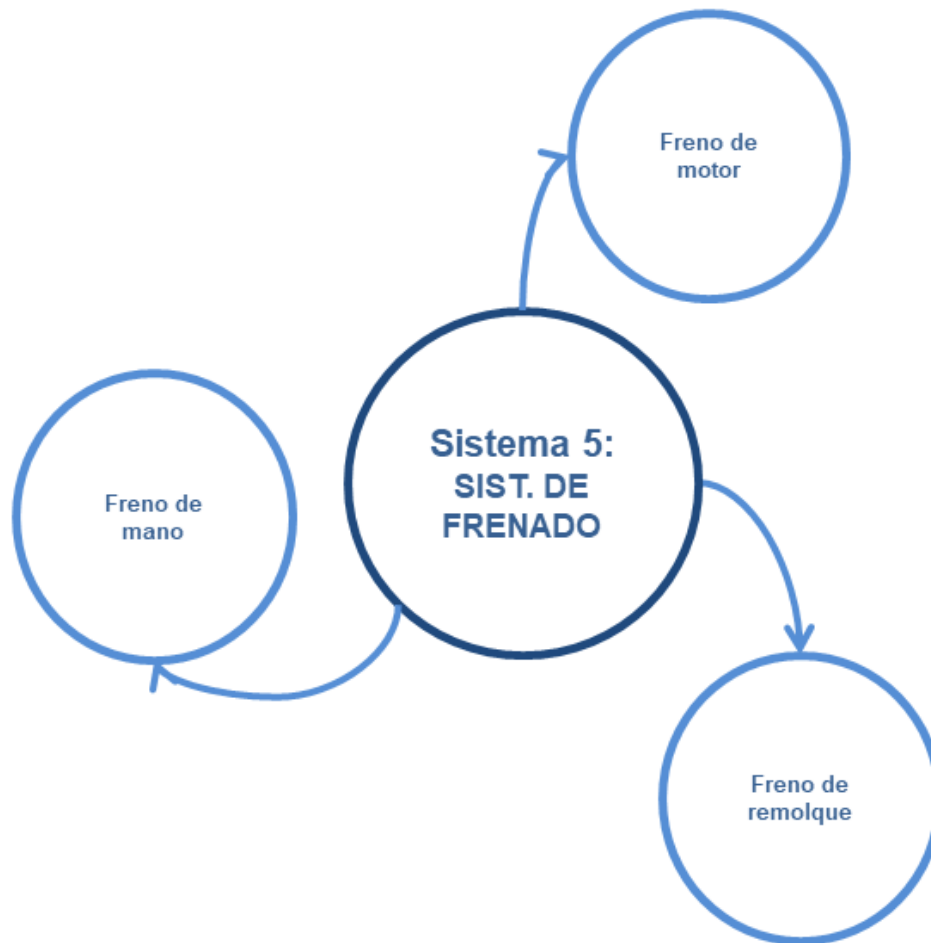


Figura 3.5.: Resumen sistema 5: SISTEMA DE FRENADO

Fuente: Elaboración propia.

Tal como se puede apreciar en la figura 3.5., el sistema 5 hace referencia al sistema de frenado del camión; está compuesto por 3 subsistemas correspondientes a: freno de mano, freno de remolque y freno de motor.

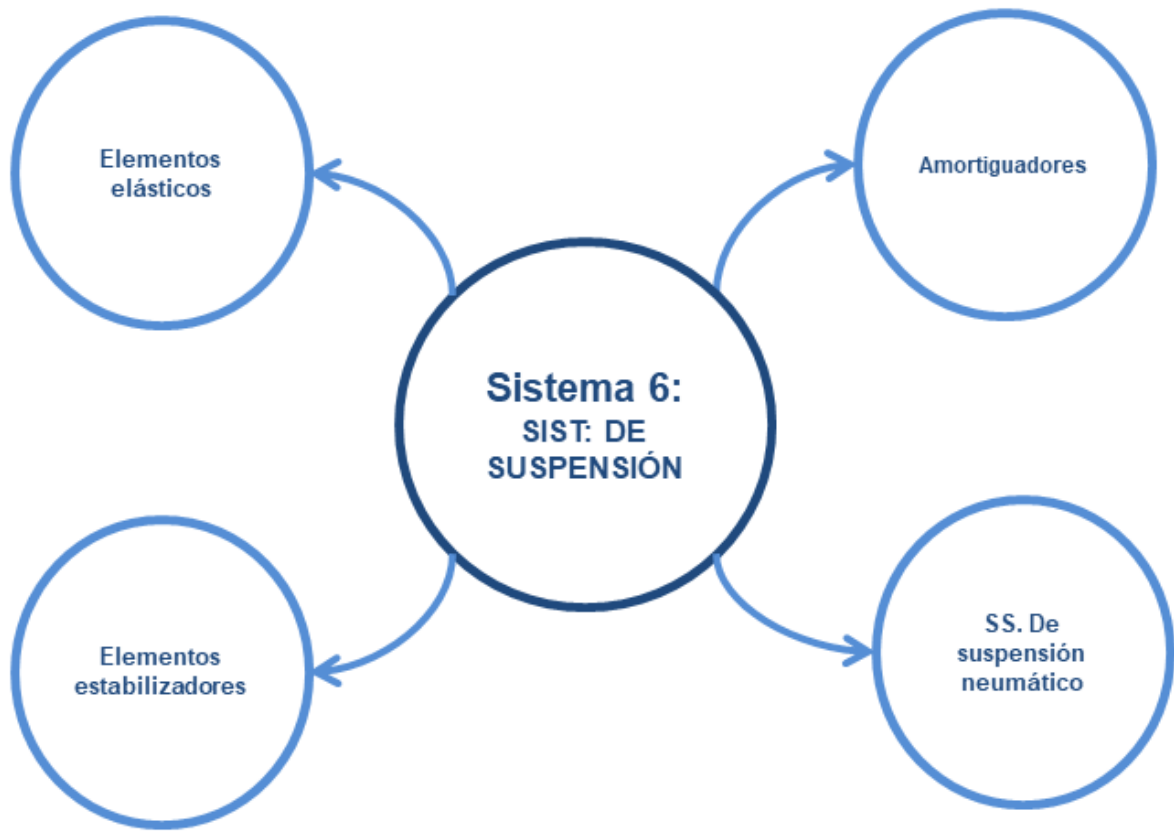


Figura 3.6.: Resumen sistema 6: SISTEMA DE SUSPENSIÓN

Fuente: Elaboración propia.

El sistema 6 queda definido por el sistema de suspensión del camión, y tal como muestra la figura 3.6. está compuesto por 4 subsistemas: elementos elásticos, elementos estabilizadores, amortiguadores y finalmente por el subsistema de suspensión neumático.



Figura 3.7.: Resumen sistema 7 y 8: LLANTAS, CHASIS Y CARROCERÍA

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, los sistemas 7 y 8 quedarán definidos por los sistemas de llantas y de chasis y carrocería. Como se puede observar en la figura 3.7., ambos sistemas no se subclasifican en subsistemas de menor envergadura debido a la simpleza de las actividades y tareas de mantenimiento dirigidos a ellos.

3.2. Fase 2: Determinación de indicadores

Los indicadores seleccionados para el análisis de la situación actual y futura de la empresa, corresponden al tiempo medio entre fallas (MTBF), tiempo medio de reparación (MTTR), confiabilidad (Rs) y disponibilidad (D); la valoración obtenida en el año 2016 para los indicadores antes mencionados se puede encontrar en la tabla 1.1. de este documento.

El valor de los KPI calculados para el año 2016 fue obtenido en virtud al número de fallas, las horas de paro y las horas trabajadas de los equipos según las ecuaciones presentadas en el capítulo 2 de este trabajo de título. Para facilitar el cálculo de estos indicadores, se diseñó una planilla Excel colaborativa en la que los usuarios podrán ingresar los datos antes mencionados y así obtener el valor de cada KPI unitario por equipo y del sistema en general. El prototipo de la planilla presentada se encuentra en el anexo 4.4.

La selección de estos indicadores se justifica debido a que, tal como se planteó en la descripción del problema detectado y en conformidad de la metodología seleccionada, el cálculo de la fiabilidad de los equipos dependerá del MTBF y del MTTR; adicionalmente se estudiará la disponibilidad de los activos pues brinda información relevante acerca de los recursos disponibles para la distribución y entrega de cargas.

3.3. Fase 3: Análisis de criticidad

En el desarrollo de esta fase, se llevará a cabo un exhaustivo análisis de criticidad en la flota de camiones con el objeto de identificar y jerarquizar los equipos en virtud de su criticidad. Los pasos ejecutados para realizar el análisis de criticidad se detallan a continuación:

3.3.1. Definir el nivel de análisis

El nivel de análisis quedó definido tal como se muestra en la figura 3.8.:

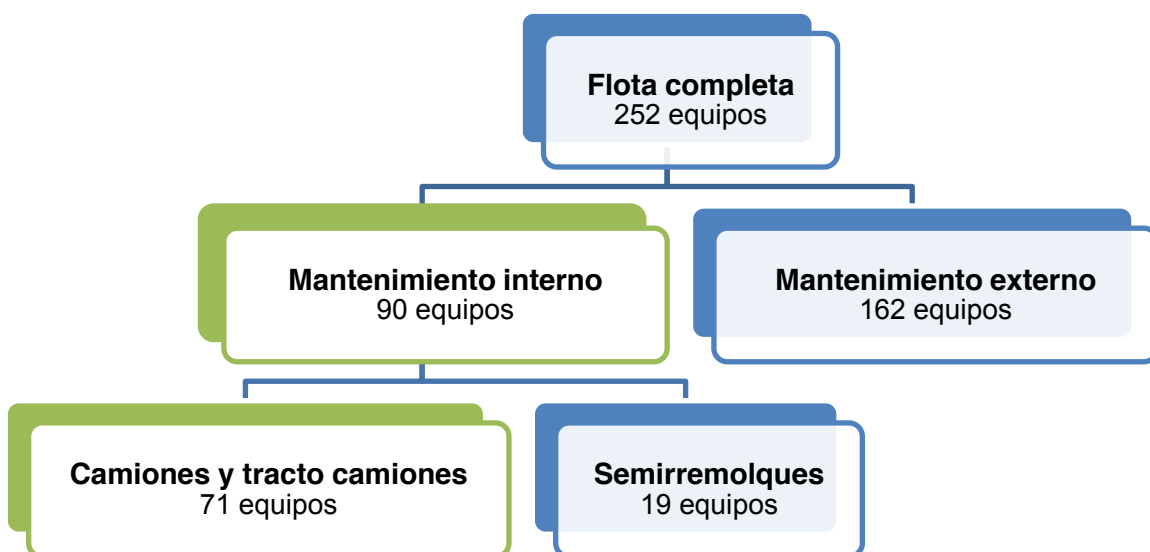


Figura 3.8.: Nivel de análisis para evaluar criticidad

Fuente: Elaboración propia.

Tal como se puede apreciar en la figura 3.8. y como se advirtió en apartados anteriores, el nivel de análisis, para este trabajo de título en general y para evaluar la criticidad de los equipos en particular, ha quedado definido por 3 tipos de equipos: camiones, tracto camiones y semirremolques; para efectos de este trabajo de título, serán estudiados los 71 equipos correspondientes a camiones y tracto camiones que reciben mantenimiento interno en las dependencias de TCP.

3.3.2. Definir la criticidad

Tal como se determinó en el capítulo 2, la criticidad de los equipos estará definida por el producto entre la frecuencia de fallas y del impacto o consecuencia que generan dichas fallas.

La frecuencia de ocurrencia de las fallas estará definida por el número de eventos en un mes, mientras que para estimar las consecuencias de las fallas se considerarán los daños al personal, instalaciones, impacto en la productividad, medio ambiente y a la población, según los criterios expuestos en las tablas 2.1. y 2.2. presentadas en el capítulo 2 de este trabajo de título.

Es necesario destacar que para cada camión se calculará una consecuencia en base a la ponderación de los 5 impactos antes mencionados; tanto daños al personal como el impacto a la población e impacto ambiental, serán iguales para todos los equipos y se han dictaminado en conjunto con el subgerente de mantenimiento de TCP de la siguiente manera:

- Daños al personal: 5
- Impacto a la población: 5
- Impacto ambiental: 3

De los impactos restantes, será considerado el “daño a las instalaciones” como el costo de reposición de un camión nuevo; en virtud de aquello, y estimando el valor de un equipo nuevo entre los \$35 y \$48 millones, es que la categoría para este impacto quedará determinada por el número 4.

Finalmente, para el “impacto en la productividad”, que se entiende como las pérdidas que sufre la empresa producto de la disminución en la productividad, y que se calcula como el producto entre la producción diferida (o en este caso la existencia de cargas pendientes), el indicador de tiempo medio de reparación (MTTR) y el costo unitario del servicio, se ha de considerar la tabla 3.1. que se presenta a continuación:

Depósito/Centro	Cargas pendientes en 2016	Total equipos en depósito	Cargas pendientes por equipo al año
Curicó	173	21	8
Illapel	5	5	1
Melipilla	56	16	4
Rancagua	91	34	3
San Fernando	85	22	4
Talca	221	36	6

Tabla 3.1.: Cargas pendientes por equipo en 2016

Fuente: Elaboración propia.

Como la composición de la flota es homogénea, será precisamente la categoría de impacto a la productividad la que defina la criticidad de cada equipo debido a que las otras 4 categorías se mantendrán constantes para todos los camiones.

Es importante destacar que de las cargas pendientes solo se tenía información sobre la totalidad de ellas por depósito, por lo que se calculó un promedio en relación al total de cargas pendientes por centro y el número de camiones asignado a cada centro. Adicional a lo anterior, se debe considerar que en esta etapa solo se analizarán los equipos que entran en la categoría de CAMIONES y TRACTO CAMIONES (69 equipos), pues es precisamente a estos equipos a los que se les asocian cargas pendientes; en virtud de lo anterior es que se han dejado fuera los 2 camiones que llevan 2 años en taller porque sus repuestos fueron retirados para ser utilizados en camiones de circulación diaria.

3.3.3. Análisis y validación de resultados

La jerarquización de los equipos quedará determinada en base a la criticidad calculada; los parámetros de criticidad fueron establecidos en el capítulo 2. Los resultados obtenidos por el análisis de criticidad se encuentran en la tabla 6.5. ubicada en el anexo 6.5. de este trabajo de título.

Los resultados arrojados por el análisis de criticidad a los 69 equipos, correspondientes a camiones y tracto camiones de lo flota que recibe mantenimiento interno, se resumen en la tabla 3.2.:

CRITICIDAD	Rango	N° de equipos
ALTA (rojo)	$15 \leq C \leq 25$	28
MEDIA (amarillo)	$10 \leq C \leq 14$	27
BAJA (verde)	$5 \leq C \leq 9$	11

Tabla 3.2.: Resultados, análisis de criticidad

Fuente: Elaboración propia.

Tal como se puede apreciar en la tabla 3.2., de un total de 69 equipos analizados, 28 presentan una criticidad alta, 27 una criticidad media y solamente 11 camiones presentan una criticidad baja o aceptable. Este nuevo antecedente reafirma lo expuesto en el planteamiento del problema al ratificar que apenas un 16% de los equipos analizados se encuentran en condiciones de operación aceptables para la empresa, mientras que alrededor de un 41% han sido clasificados como equipos altamente críticos.

3.4. Fase 4: Definir funciones y parámetros de funcionamiento de los activos

Tal como se mencionó en el capítulo 2, es de suma importancia definir las funciones y parámetros de funcionamiento con los que deberá cumplir la flota de camiones estudiados; en virtud de aquello y de lo planteado en la teoría del método a aplicar en este trabajo de título, es que se han definido las funciones de los activos en la tabla 3.3.:

FUNCIÓN (ES)	DEFINICIÓN	PARÁMETROS
Primaria	Transportar las cajas asignadas desde un punto de carga a un punto de llegada predeterminado.	Cumplir con el transporte y entrega efectiva de cargas asignadas definido por la gerencia de TCP (este indicador varía según CD).
Secundarias	Ecología e integridad ambiental: Cumplir con las normas de emisión de gases para vehículos pesados destinados al transporte de personas o carga; regida desde el 1 de septiembre de 1998.	CO: 4,0 [g/kW-h] HC: 1,1 [g/kW-h] NOx: 7,0 [g/kW-h] PM: 0,15 [g/kW-h]
	Seguridad: Garantizar la seguridad del conductor y la carga transportada.	-
	Eficiencia: Es definido por una aproximación del consumo de petróleo.	3 [km/l]
	Apariencia: El activo deberá, para todos los propósitos, mantener un aspecto limpio y ordenado.	-

Tabla 3.3.: Funciones y parámetros de funcionamiento

Fuente: Transporte Cargo Pacífico Ltda.

Como se puede apreciar en la tabla 3.3., se han aplicado 4 de las 7 sub clasificaciones correspondientes las funciones secundarias pues, las funciones superfluas no serán consideradas para efectos de este estudio; de la misma manera serán descartadas las sub clasificaciones de confort y protección, esta última se ha considerado dentro de la sub clasificación de *seguridad*.

Adicional a lo anterior, se deberán definir las funciones primarias y secundarias que deberán cumplir cada sistema, subsistema y componente del camión.

SISTEMA	MOTOR
Función	Transformar la energía calorífica entregada por el combustible, en energía rotatoria y para dar movimiento al vehículo de carga.

Subsistema	ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE
FUNCIÓN: Entregar el combustible en las cantidades requeridas por el conductor o transportista.	
Componente	Función
Tanque	Almacenar el combustible del vehículo.
Bomba de cebado	Extraer el combustible del vehículo.
Filtro	Retener las impurezas que pueda contener el combustible.
Bomba de inyección	Entregar el caudal requerido de combustible a los inyectores.
Gobernador	<ul style="list-style-type: none"> - Transformar la señal enviada por el movimiento del pedal de aceleración, para que la cantidad requerida de combustible llegue a la cámara de combustión. - Regular el caudal de combustible durante las marchas mínima y máxima.
Inyectores	Entregar el combustible a la cámara de combustión en forma sincronizada con los otros componentes.
Cámara de combustión	Brindar el espacio necesario para que se lleve a cabo el proceso de combustión.
Turbocompresor	Comprimir aire para maximizar la eficiencia del proceso de combustión.
Intercooler	Enfriar el aire que entrega el turbocompresor para contrarrestar la expansión generada por el aumento de temperatura en el compresor.
Subsistema	TREN ALTERNATIVO
FUNCIÓN: Convertir el movimiento axial que proviene de los pistones en un movimiento rotacional.	
Componente	Función
Pistón – biela – cigüeñal	<ul style="list-style-type: none"> - Convertir el movimiento lineal provocado en la cara superior del pistón por la combustión, en un movimiento rotario dado por el cigüeñal. - Entregar energía a otros componentes del vehículo como bombas de agua y aceite, ventilador de refrigeración, entre otros.
Bulón del pistón	Unión entre el pistón y la biela.
Volante	Estabilizar la curva de energía entregada por el proceso de combustión.
Cojinetes del	Funcionan como apoyos lisos del cigüeñal, para que este pueda

cigüeñal	girar libremente y con la menor oposición de la fuerza de rozamiento.
Anillos del pistón	Asegurar el cierre hermético de la cámara de combustión.
Subsistema	DISTRIBUCIÓN
FUNCIÓN: Regular de forma sincronizada el paso de la mezcla aire/combustible y la salida de gases residuales de la cámara de combustión.	
Componente	Función
Válvulas	Abren y cierran de forma sincronizada permitiendo la entrada de aire y la salida de gases de escape.
Asiento de válvulas	<ul style="list-style-type: none"> - Asegurar el cierre hermético de las válvulas. - Asegurar aislamiento térmico.
Balancines – varillas de los balancines – resortes de las válvulas	Se encargan de la apertura y cierre de los orificios de las válvulas.
Árbol de levas	Acciona el mecanismo de apertura y cierre de las válvulas, es comandado por el cigüeñal.
Subsistema	LUBRICACIÓN
FUNCIÓN: Disminuir los efectos de rozamiento en los apoyos, uniones y entre superficies de contacto directa entre 2 piezas o componentes del motor; reforzar el proceso de refrigeración.	
Componente	Función
Cárter	Almacenar el aceite de lubricación del motor.
Bomba de aceite	Impulsar el aceite proveniente del cárter a través de los canales de lubricación.
Filtros	Retener las impurezas que puede recoger el aceite por su paso a través del motor.
Subsistema	REFRIGERACIÓN
FUNCIÓN: Mantener los componentes del sistema en un rango de temperatura óptimo para el cumplimiento de sus respectivas funciones y así evitar desgaste y deformación	
Componente	Función
Cámaras	Actúan como conductos para el paso del líquido de refrigeración.
Radiador	Enfriar el líquido de refrigeración.
Bomba de agua	Impulsa el líquido de refrigeración a través de las cámaras.
Ventilador	Contribuye en el proceso de enfriamiento del líquido de refrigeración.
Termostato	Activa el ventilador.
Líquido de refrigeración	Disminuye la temperatura de los componentes del motor.

Subsistema	ELEMENTOS FIJOS
FUNCIÓN: Dar apoyo a los elementos y mecanismos del sistema; asegurar un cierre hermético entre dichos componentes para evitar derrames de agua y aceite.	

Tabla 3.4.: Funciones por componentes y subsistemas del sistema MOTOR

Fuente: Elaboración propia.

SISTEMA	TRANSMISIÓN
Función	Transmitir el torque entregado por el motor hasta las ruedas del vehículo de carga, lo que permitirá su desplazamiento.

Subsistema	EMBRAGUE
FUNCIÓN: Controla la transmisión del par motor, desde el motor hacia las ruedas.	
Subsistema	CAJA DE CAMBIOS
FUNCIÓN: Convertir las revoluciones entregadas por el motor en valores que son requeridos por el transportista.	
Subsistema	CARDÁN
FUNCIÓN: Transmitir el par entregado por la caja de cambios al diferencial.	
Subsistema	DIFERENCIAL
FUNCIÓN: Entregar el par fuerza que proviene del cardán, a los ejes de las llantas. Proporcionar un sistema flexible de velocidad a cada rueda en el caso de que el vehículo entre en una curva.	

Tabla 3.5.: Funciones por componentes y subsistemas del sistema TRANSMISIÓN

Fuente: Elaboración propia.

SISTEMA	SISTEMA ELÉCTRICO
Función	Generar y almacenar y transmitir corriente eléctrica.

Subsistema	MOTOR DE ARRANQUE
FUNCIÓN: Entrega un torque inicial al motor para iniciar la combustión.	
Subsistema	ALTERNADOR
FUNCIÓN: Convertir el torque en corriente eléctrica.	
Subsistema	BATERÍA
FUNCIÓN: Almacenar y proporcionar de corriente eléctrica a los componentes del vehículo de carga que así lo requieran.	

Subsistema	INSTALACIÓN ELÉCTRICA
FUNCIÓN: Recoger datos sobre la operación de los componentes del vehículo; transmitir corriente eléctrica; actuar como seguro contra sobrecargas.	
Subsistema	TABLERO DE CONTROL
FUNCIÓN: Presentar información del estado de los componentes del equipo que requieran monitoreo durante la operación.	

Tabla 3.6.: Funciones por componentes y subsistemas del sistema ELÉCTRICO

Fuente: Elaboración propia.

SISTEMA	DIRECCIÓN
Función	Manipular a voluntad del transportista, el rumbo del vehículo de carga.

Subsistema	CAJA DE DIRECCIÓN
FUNCIÓN: Transformar el movimiento giratorio del volante en un movimiento basculante; impedir efectos perturbadores provenientes de las llantas al volante; reducir la aplicación de fuera necesaria para dar movimiento a las llantas.	
Componente	Función
Volante	Medio a través del cual el transportista transmite la dirección que le quiere dar al camión.
Columna de dirección	Lleva el movimiento del volante a la caja de dirección.
Cilindro hidráulico	Generar una fuerza auxiliar que actúa sobre la biela de mando de la dirección.
Bomba	Generar la presión y caudal necesario para el aceite del sistema hidráulico.
Depósito de aceite	Almacenar y filtrar el aceite del circuito.
Válvula de regulación	Regular el paso del aceite al cilindro hidráulico.
Biela de mando	Transmitir el movimiento generado dentro de la caja a los terminales de la dirección.
Terminales de dirección	Transmitir el movimiento de la biela, a las llantas.

Tabla 3.7.: Funciones por componentes y subsistemas del sistema DIRECCIÓN

Fuente: Elaboración propia.

SISTEMA	SISTEMA DE FRENADO
Función	Generar una desaceleración en el vehículo a voluntad del transportista.

Subsistema	FRENO DE MANO
FUNCIÓN: Bloquear las ruedas traseras para asegurar su inmovilidad cuando se encuentra fuera de servicio (estacionado).	
Subsistema	FRENO DE REMOLQUE
FUNCIÓN: Accionar, desde la cabina del camión, los cilindros de aire de las llantas del remolque.	
Subsistema	FRENO DE MOTOR
FUNCIÓN: Abrir válvulas en forma NO sincronizada para disminuir la potencia y así frenar la marcha del vehículo de carga.	

Tabla 3.8.: Funciones por componentes y subsistemas del sistema de FRENADO

Fuente: Elaboración propia.

SISTEMA	SISTEMA DE SUSPENSIÓN
Función	Generar una desaceleración en el vehículo a voluntad del transportista.

Subsistema	ELEMENTOS ELÁSTICOS
FUNCIÓN: Brindar elasticidad a los ejes de las llantas para evitar que se rompan al contacto con las irregularidades del terreno.	
Subsistema	AMORTIGUADORES
FUNCIÓN: Absorben las vibraciones mecánicas generadas por el terreno.	
Subsistema	ELEMENTOS ESTABILIZADORES
FUNCIÓN: Evitan que el vehículo se vuelque o pierda el control en las curvas, producto de la torsión generada en la carrocería.	

Tabla 3.9.: Funciones por componentes y subsistemas del sistema de SUSPENSIÓN

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Fase 5: Identificar y distinguir fallas funcionales

Una falla funcional²⁷, es la incapacidad de un equipo para cumplir con las funciones en un nivel de desempeño que sea considerado aceptable para el usuario.

En el caso de un camión de carga, una falla funcional será aquella que se interponga en el correcto desempeño de las funciones de este; sin embargo, es necesario tener en consideración que este estudio está directamente relacionado con las tareas y actividades dirigidas al mantenimiento de los equipos, es por ello que serán consideradas como fallas funcionales todas aquellas que afecten directa o indirectamente el desempeño de las funciones definidas en el apartado anterior (3.3). En el anexo 6.7. se encuentra el listado con las fallas funcionales más comunes.

3.6. Fase 6: Determinar los modos de falla

Para efectos de este estudio, los modos de falla se clasificarán en 2 categorías:

- **Fallas mecánicas:** Serán todas aquellas fallas que afecten a los sistemas de motor, transmisión, dirección, frenos y suspensión del vehículo de carga.
- **Fallas eléctricas:** Serán todas aquellas fallas que afecten al sistema eléctrico y a los elementos alimentados por la corriente proveniente de dicho sistema.

²⁷ <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/37057/D-CD88452.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>

3.7. Fase 7: Estudio de los efectos y consecuencias de fallas funcionales

Se entenderá como consecuencias de las fallas, todas las posibles repercusiones que tendrá sobre el sistema o subsistema la aparición u ocurrencia de una falla funcional; las consecuencias dependerán de la severidad o efectos que provocará la falla y de su probabilidad de ocurrencia.

Para efectuar el estudio de los efectos y consecuencias de las fallas funcionales que presentan los camiones de la flota de TCP, se adaptó el formato de una planilla para análisis de falla utilizado por la NASA para sus equipos colaterales o secundarios:

Placa patente:		Fecha:	
Tipo de equipo:		Registro por:	

Falla	Modo de falla	Sistema / Subsistema	Severidad	Probabilidad de ocurrencia	Criticidad	Observaciones

Tabla 3.10.: Planilla para estudio de efectos y consecuencias de fallas funcionales

Fuente: Elaboración propia. Adaptación de planilla para análisis de consecuencias de fallas. National and Aeronautics Space Administration (NASA). Reability Centred Maintenance guide for facilities and colateral equipment. [Febrero, 2000].

Con el uso de esta planilla, se podrá realizar un seguimiento histórico de las fallas funcionales que presentan los camiones, proporcionando información estimativa sobre las fallas más frecuentes y su criticidad; de esta manera será posible comprender las causas

originarias de las fallas y en virtud de esto, desarrollar mejoras en el proceso de mantenimiento.

3.8. Fase 8: Determinar medidas preventivas

El objetivo principal de definir actividades preventivas es mitigar las consecuencias provocadas por la ocurrencia de fallas en los equipos, de esta manera será posible disminuir considerablemente las actividades dedicadas al mantenimiento correctivo, las que, cabe destacar, tienen un costo más elevado que las de mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo en su versión más clásica, implica la creación de una planilla para la organización cronológica de las actividades enmarcadas en este proceso; dichas actividades serán ejecutadas en virtud de la frecuencia requerida según cada sistema del equipo²⁸. En el caso de los vehículos de carga terrestre, la frecuencia de las actividades estará definida por el kilometraje registrado en los odómetros de cada uno de los equipos estudiados; para ello se ha determinado el estado del equipo según la tabla 3.11.:

Kilometraje recorrido	Estado
km < 15.000	Mantenimiento OK
15.000 ≤ km < 17.000	Programar mantenimiento
km ≥ 17.000	Enviar a mantenimiento

Tabla 3.11.: Frecuencia para aplicación de actividades de mantenimiento preventivo

Fuente: Elaboración propia, con parámetros sugeridos por Jesús Manzarraga subgerente de mantenimiento TCP

A continuación, se presenta una planilla con el listado de las rutinas preventivas que se deberán aplicar a los camiones y tracto camiones de Transporte Cargo Pacífico; tales actividades fueron definidas en virtud de las actividades recomendadas por los fabricantes de los equipos, cabe recordar: Kaufmann y Maco VW, y de las sugeridas por la experiencia del subgerente de mantenimiento y los operarios del departamento mecánico:

²⁸ Carlos Silva Martínez, “Diseño de un sistema de mantenimiento para equipos móviles de transporte de carga terrestre” (Pereira, Colombia), edición PDF:

Actividad	Estado	Observaciones
Cambio de filtro de combustible		
Cambio de filtro de combustible racor (filtro de agua)		
Cambio de filtro de aceite		
Cambio de filtro de aire primario		
Cambio de filtro hidráulico		
Cambio de aceite motor		
Cambio de aceite hidráulico		
Cambio de aceite de transmisión		
Cambio de aceite caja		
Lubricar cardanes		
Lubricar quinta rueda		
Lubricar rodamientos de ruedas		
Lubricar soporte de muelles		
Lubricar terminales de dirección		

Tabla 3.12.: Checklist de actividades de mantenimiento preventivo

Fuente: Elaboración propia. Adaptación de actividades de mantenimiento preventivo de empresas de fábrica y sugerencias de subgerente de mantenimiento TCP.

Es importante destacar que tanto las rutinas de mantenimiento preventivo como la frecuencia en que serán aplicadas son representativas de cada flota, pues dependerán del estilo de conducción, régimen de trabajo, tipo de carga, topografía del terreno, entre otros factores que pueden incidir en la falla de sistemas, subsistemas y elementos de los equipos.

Adicional a las rutinas de mantenimiento preventivo definidas por el kilometraje recorrido de los vehículos de carga, se debe tener en consideración la rutina preventiva de inspección diaria que se deberá efectuar antes de que el camión comience su recorrido diario; esta inspección deberá ser ejecutada por el transportista a cargo de cada camión y tiene como propósito asegurar el correcto funcionamiento de los sistemas y componentes auxiliares del equipo que se definen a continuación:

- Luces y focos.
- Espejos, parabrisas y limpiaparabrisas.
- Elementos de suspensión.

En virtud de lo anterior, es que la revisión diaria deberá contemplar la inspección de los siguientes elementos:

- Acidez de batería.
- Correa alternador, bomba de agua y ventilador (fanclutch).
- Desgaste y ajuste de embrague.
- Desgaste turbo cargador.
- Desgaste de neumáticos.
- Funcionamiento alternador.
- Alarmas tablero.
- Motor de arranque.
- Funcionamiento de luces y focos.
- Mangueras de aceite del sistema de dirección, de agua del limpiaparabrisas, de aceite del motor y del radiador.
- Bandas de freno, válvulas y pachas.

Una vez que el transportista haya verificado el correcto funcionamiento de todos los elementos antes mencionados, podrá proceder a iniciar su recorrido de transporte de carga.

3.9. Fase 9: Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

La idea de generar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), tiene como objetivo principal incluir las actividades dirigidas a mermar el número de fallas que presentan los equipos, vale decir, las actividades de mantenimiento preventivo e inspección diaria que fueron presentadas en el apartado anterior. En virtud de lo anterior es que se ha adaptado la cadena de razonamiento RCM al caso de estudio de este trabajo de título, con tres posibles resultados²⁹:

- **Aceptar el riesgo de falla:** Cuando aplicar tareas de mantenimiento preventivo no resulta viable por razones de prioridad, costo y variabilidad de las frecuencias de falla, se asumirá el riesgo de la falla y estudiará la posibilidad de realizar un monitoreo constante del sistema, subsistema o componente.
- **Instalación de unidad redundante:** Consiste en proveer al sistema de un equipo alternativo, el cual se ponga en marcha en caso de falla de alguno de los componentes y se realice un reemplazo temporal; sin embargo, no aplica en las flotas de transporte de carga debido a que los componentes principales de los camiones son unitarios y no es común ni procedente el contar con componentes o subsistemas de emergencia, es por esto que se ha destacado con color rojo en el diagrama 3.1.
- **Tareas de mantenimiento preventivo:** Corresponden al conjunto de actividades dirigidas a la revisión e inspección definidas en el apartado 3.8. de este trabajo de título.

²⁹ Montilla, Arroyave y Silva, “Caso de aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, previa existencia de mantenimiento preventivo” (Pereira, Colombia), edición PDF.

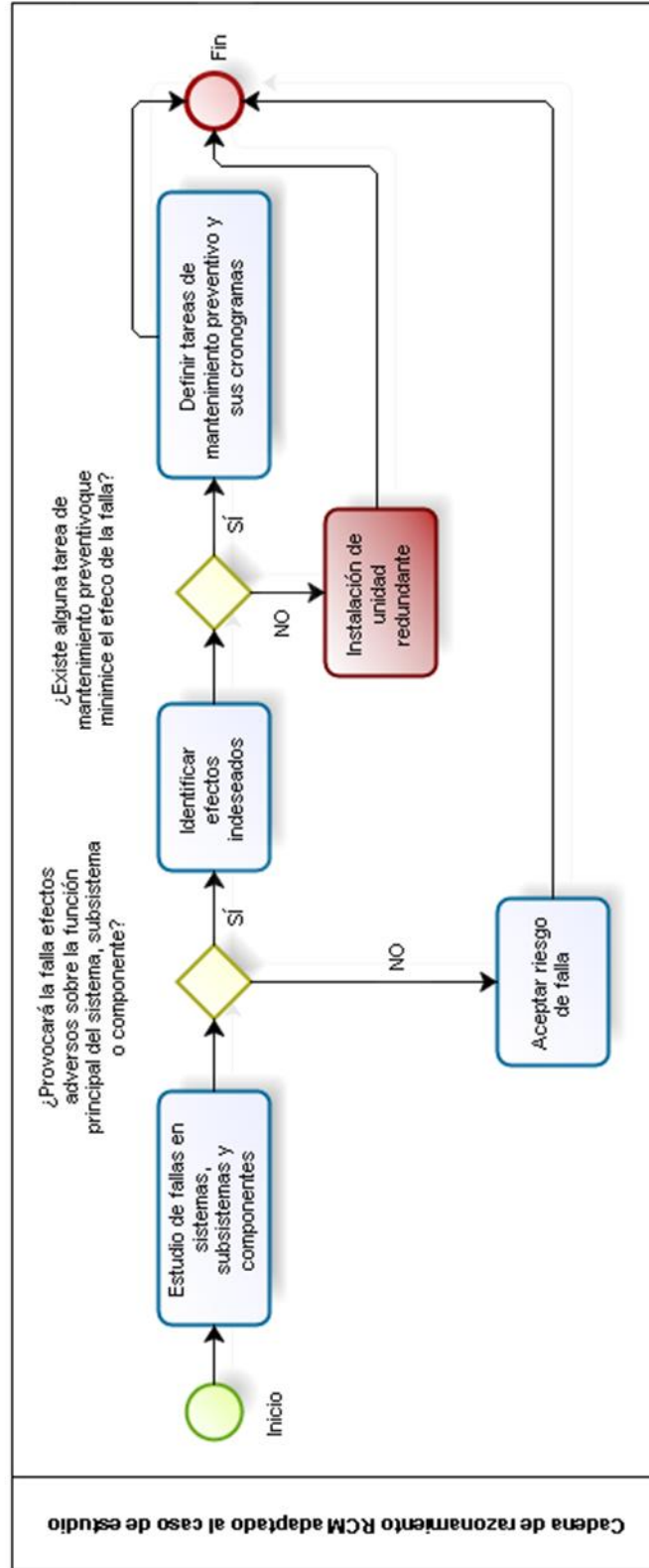


Diagrama 3.1.: Cadena de razonamiento RCM, adaptado al caso de la flota de vehículos de carga de TCP

Fuente: Elaboración propia.

En consideración del diagrama 3.1., recién presentado es que el programa original de mantenimiento efectuado en la flota de camiones de TCP quedó reestructurado según la tabla 3.13. que se presenta a continuación:

Mantenimiento	Actividades principales
Preventivo	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección diaria. • Mantenimiento cada 17.000 km.
Correctivo	<ul style="list-style-type: none"> • Tareas estandarizadas en tiempo y procedimientos preestablecidos por la empresa.

Tabla 3.13.: Reestructuración global de mantenimiento al aplicar RCM

Fuente: Elaboración propia.

3.9.1. Evaluación de reposición y adquisición de vehículos de carga

Adicional a lo anterior, se deberá estudiar el proceso de evaluación para la reposición y adquisición de nuevos equipos como estrategia viable para disminuir costos por insumos (repuestos) y mantenimiento preventivo y correctivo de los camiones.

El programa de reemplazo de un vehículo se define generalmente por su edad o kilometraje recorrido³⁰; en el caso particular de TCP se utiliza como punto de referencia base el costo de una unidad nueva versus la antigua, es decir, cuando el costo de posesión y operación del vehículo nuevo es menor que el del antiguo, es tiempo de un reemplazo; en el caso contrario, es recomendable mantener el vehículo antiguo en circulación.

En la tabla 3.14. que se presenta a continuación se pueden observar los beneficios asociados al reemplazo de un camión antiguo de 5, 10 y 15 años por uno nuevo:

³⁰ Mercedes Rafael M., *“Métodos para la renovación de vehículos de autotransporte de servicio pesado”*, (México), Publicación técnica No. 260, edición PDF.

Factores	Camión nuevo	Camión de 5 años	Camión de 10 años	Camión de 15 años	Medición
Kilometraje anual	50.000	48.000	41.000	37.000	km
Consumo	3.0	2.6	2.0	1.6	km/l
Días de inmovilización	24	35	51	87	días
Combustible	16.667	18.462	20.500	23.125	l

Tabla 3.14.: Beneficios por reemplazo de camiones

Fuente: Transporte Cargo Pacífico Ltda., adaptación de planilla de “Métodos para la renovación de vehículos de autotransporte de servicio pesado”

Tal como se puede apreciar en la tabla 3.14 los beneficios de reemplazar un camión antiguo por uno nuevo tienen que ver con el rendimiento del vehículo y con los días de inmovilización producto de fallas detectadas en los equipos; sin embargo, es necesario tener en cuenta que solamente el costo de adquisición de un camión nuevo será mayor al costo de operación de un camión antiguo, es por esto que se deberán considerar los siguientes aspectos de los activos para la evaluación de su reemplazo:

- Costo promedio anual de operación.
- Costo promedio anual de mantenimiento.
- Costo total = costo de operación + costo de mantenimiento.
- Depreciación.

Considerando una depreciación lineal de 7 años, además de la información proporcionada por TCP y presentada en el capítulo 1 de este trabajo de título, es que se dio paso a construir la tabla 6.6. mostrada en el anexo 6.8.; a continuación, se expone su versión gráfica:

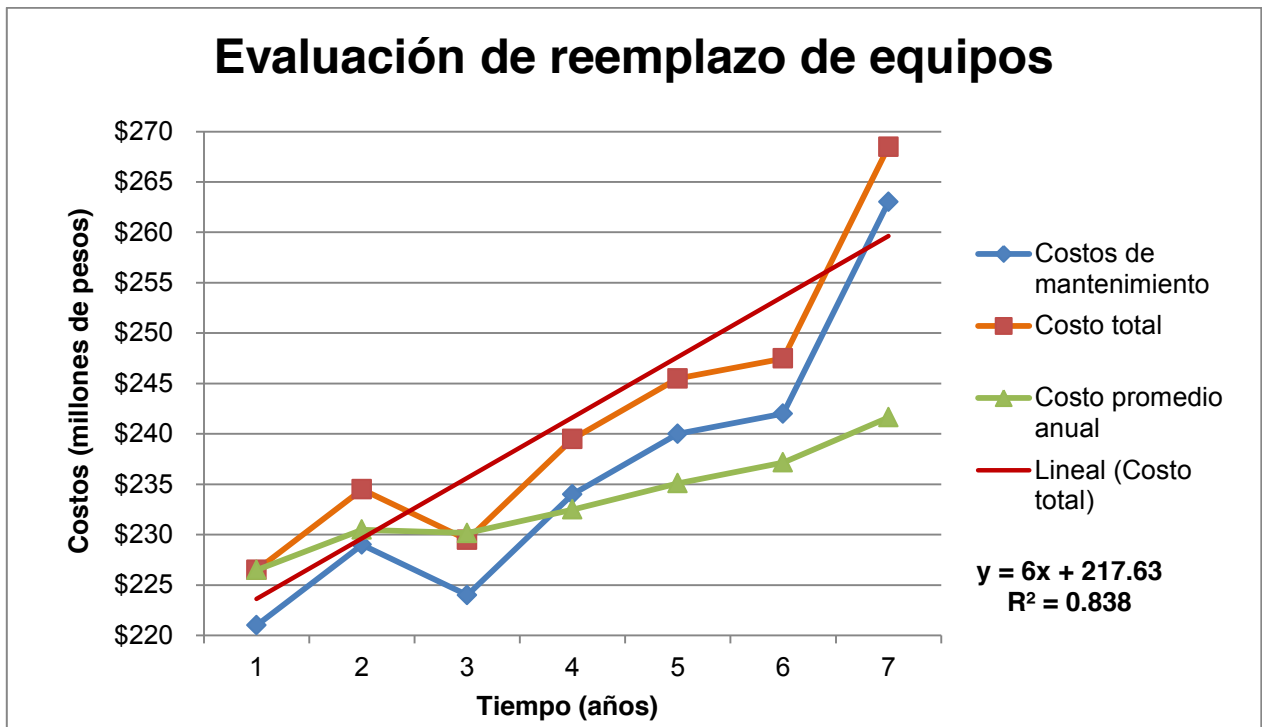


Gráfico 3.1.: Evaluación de reemplazo de vehículos de carga

Fuente: Elaboración propia.

Tal como se puede observar en el gráfico 3.1., el costo total de operación supera desde el año 3 al costo promedio anual calculado para un camión cuyo valor de adquisición es de \$48 millones de pesos, con una vida útil contable de 7 años y un valor residual del 20%, con una tasa de crecimiento (del costo total) de \$6 millones al año y un coeficiente de determinación (R^2) de 0,838 que indica que el 83,8% de los datos presupuestados son representativos del modelo presentado en el gráfico 3.1.

Esto último indica que el momento ideal para realizar el reemplazo de un camión sería al tercer año de adquisición; sin embargo, estas cifras no son representativas de la realidad de TCP, pues existe una gran variabilidad en cuanto a los años de vida útil efectiva y a los costos de mantenimiento unitario de los vehículos. Además, es importante señalar que la información obtenida de esta evaluación es redondeada a promedios anuales de operación; por tanto, se presenta este prototipo de evaluación, con el cual la subgerencia de mantenimiento deberá evaluar la situación de cada equipo que reciba mantenimiento interno.

3.10. Análisis de escenarios en aplicación de metodología RCM

En el marco de la metodología RCM para el caso de estudio, se han supuesto 2 escenarios en los que pueden converger los resultados de la aplicación del método: normal y optimista. El análisis de escenarios se detalla a continuación en la tabla 3.15.:

ESCENARIO	Escenario 1: NORMAL	Escenario 2: OPTIMISTA
Detalle	<p>Este escenario incluye la aplicación de la metodología RCM para el caso de estudio, tal como fue detallada en este trabajo de título, vale decir:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aplicación de fases 1 a 9. 	<p>Como alternativa, el escenario optimista incluye la realización de un análisis de falla funcional; este análisis debiera estar inserto en la aplicación del método, sin embargo, TCP no cuenta con el registro histórico de tipo y modo de fallas para poder efectuarlo.</p> <p>Siguiendo los planteamientos realizados en este trabajo de título, la empresa tendrá la capacidad de registrar y posteriormente realizar, en el mediano/largo plazo, un análisis por cada falla detectada.</p>
Resultados esperados	<p>Desarrollar un plan de mantenimiento que incluya tareas de mantención preventiva con el propósito de disminuir el número de fallas en ruta.</p>	<p>Añadir al plan de mantenimiento preventivo, ya efectuado, la realización de un análisis de falla que permita conocer las causas originarias que las provocan, de modo que se puedan incluir, tareas de mantenimiento predictivo; esto último convergerá en la disminución del número de fallas totales de los equipos.</p>

Tabla 3.15.: Análisis de escenarios

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS

Una vez aplicada la metodología RCM al caso de estudio, se realizó un pronóstico, en conjunto al subgerente de mantenimiento de TCP, de los factores evaluados en el diagrama CAUSA – PROBLEMA – IMPACTO presentado en el apartado 1.7. de este trabajo de título; con esto último fue posible realizar un análisis comparativo de la situación actual de la empresa versus los resultados esperados producto de la aplicación del método.

Como causa principal generadora del problema, se tenía la no existencia de procedimientos de mantención debidamente establecidos, es por ello que el propósito de este trabajo de título estuvo dirigido a proporcionar una estructura de tareas y actividades de mantenimiento con el objeto de mermar el retraso en la distribución y entrega de cargas asignadas contabilizadas como cargas pendientes, y así conseguir un incremento en los ingresos anuales de la empresa. Por lo tanto, los efectos esperados con la aplicación del método RCM se resumen en 3:

- Reducir en un 40% las fallas en ruta al año; esto a su vez incidirá en el aumento de disponibilidad y confiabilidad del sistema de activos.
- Reducir en un 60% la existencia de cargas pendientes.
- Incrementar en aproximadamente \$93 millones los ingresos anuales de la empresa.

Es importante destacar que este trabajo de título entrega únicamente las herramientas y directrices necesarias para la implementación del método RCM en el caso de estudio; la correcta implementación dependerá de la subgerencia de mantenimiento y de la rigurosidad con que se cumplan los estándares de mantenimiento aquí establecidos.

Es en virtud de lo anterior, que en este apartado se pueden ofrecer datos netamente estimativos que fueron calculados en razón de la información proporcionada por TCP y presentada en el capítulo 1 de este documento. Tal como se puede apreciar en el diagrama 4.1. que se presenta a continuación, la situación actual de la empresa corresponde a la parte destacada en azul, mientras que los resultados esperados se han destacado en verde.

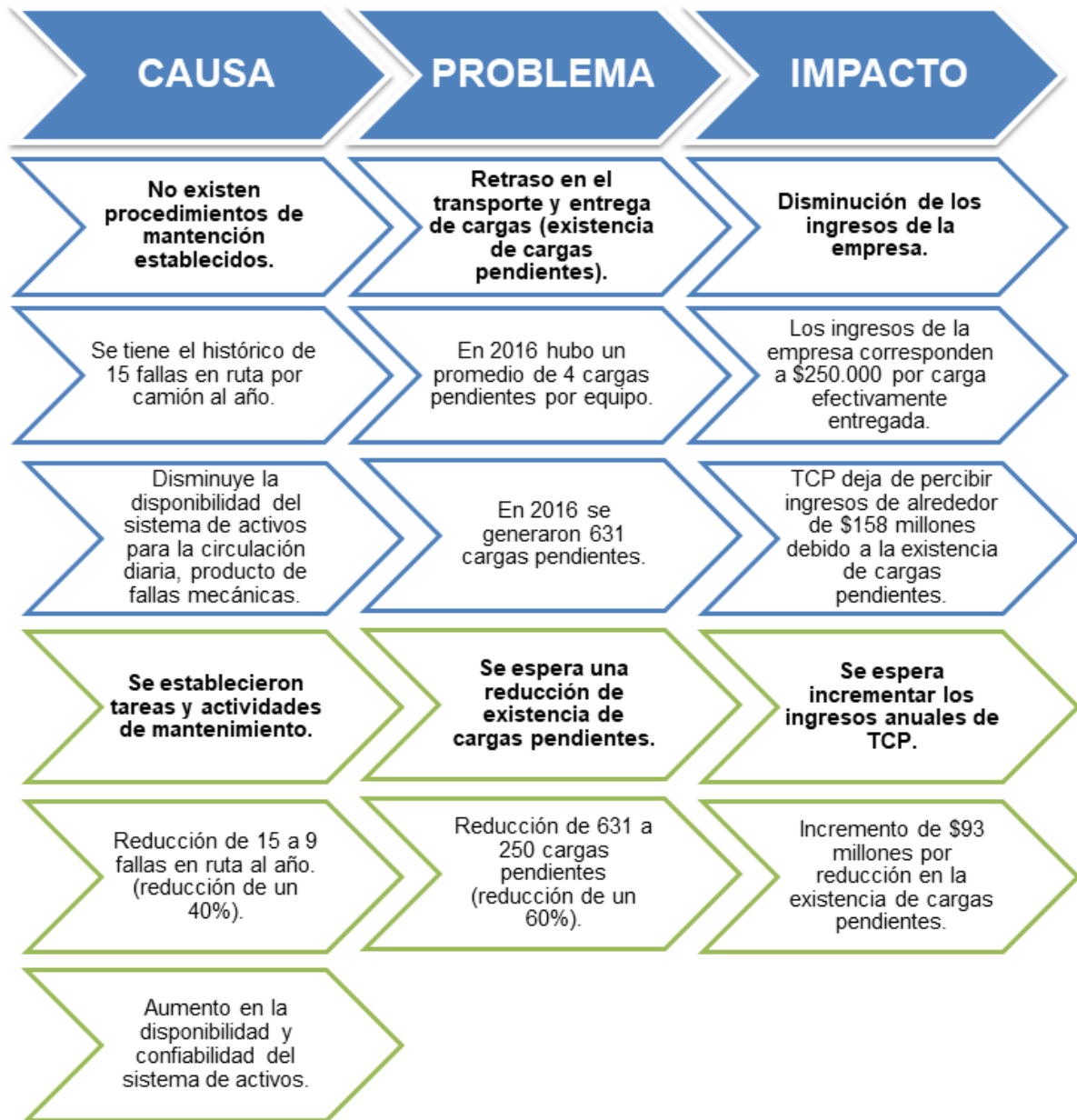


Diagrama 4.1.: CAUSA – PROBLEMA – IMPACTO con aplicación RCM

Fuente: Elaboración propia, con intervenciones de don Jesús Manzárrega subgerente de mantenimiento TCP.

Al evaluar los datos proporcionados por TCP correspondientes al año 2016, se pronosticó que, posterior a la implementación de las nuevas tareas y actividades de mantenimiento, se conseguirá, en promedio, una reducción de 15 a 9 fallas en ruta por camión al año.

Siguiendo este orden de ideas, es que se definió un máximo de 9 paros y 18 días inoperativos por camión al año, incidiendo directamente en el total de horas trabajadas por equipos anualmente, las variaciones unitarias por equipo pueden encontrarse en la tabla 6.2. ubicada en el anexo 6.2.; de esta forma, el pronóstico de comportamiento unitario para el tiempo medio entre fallas queda descrito como se muestra en el gráfico 4.1. que se presenta a continuación:

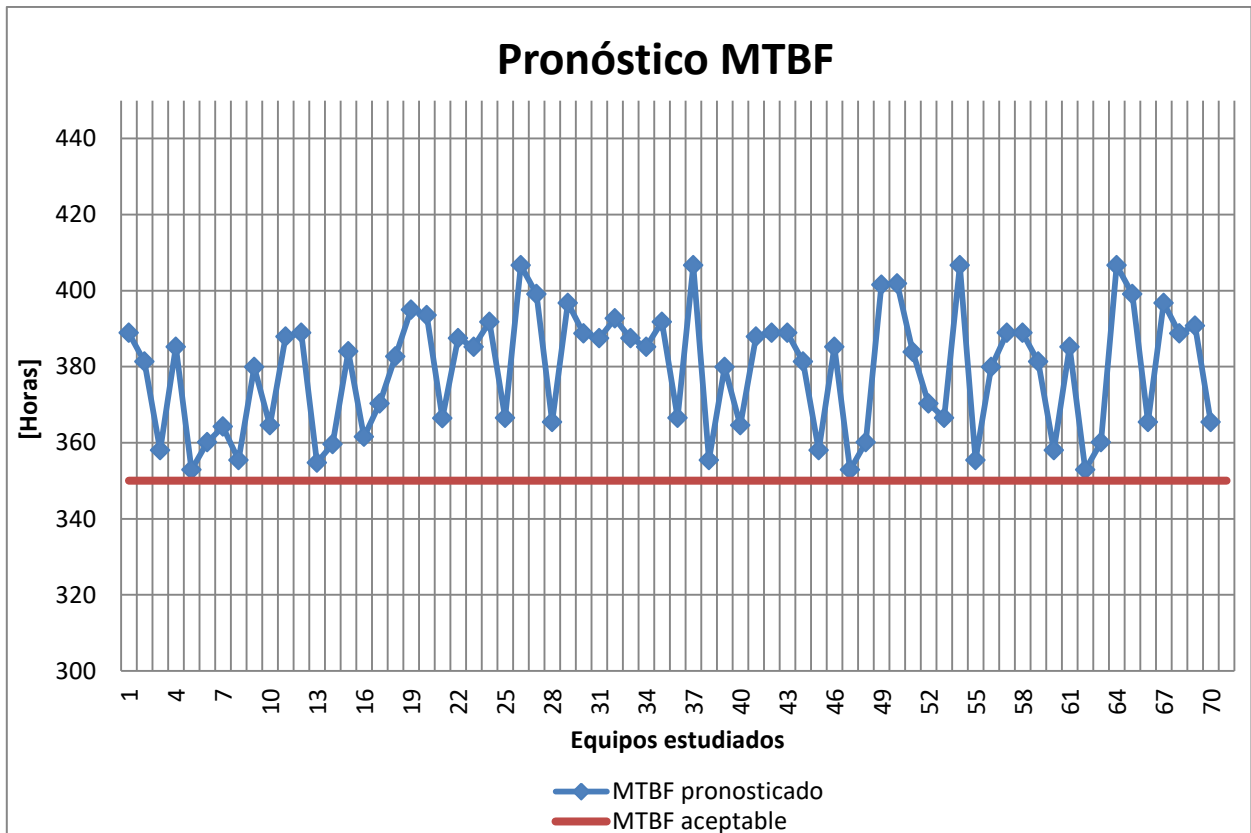


Gráfico 4.1.: Pronóstico de comportamiento MTBF

Fuente: Elaboración propia.

Tal como se puede apreciar en el gráfico 4.1., una vez aplicado el método RCM, sería factible aumentar el tiempo medio entre fallas (MTBF) unitario por sobre las 350 horas estipuladas como aceptables según los parámetros establecidos por la empresa; esto significa que un camión debiera transitar sin detección de fallas por al menos 29 días, entendiendo que se ha considerado una jornada laboral de 12 horas.

Al definir un máximo de paros y de días inoperativos por camión al año, el pronóstico del tiempo medio de reparación (MTTR) mostrará una tendencia constante debido a que depende directamente de estos dos factores, tal como se planteó en la ecuación (2.2) del apartado 2.1.1.2. de este trabajo de título; en consideración de lo anterior es que el pronóstico del MTTR queda ilustrado como se muestra en el gráfico 4.2.:

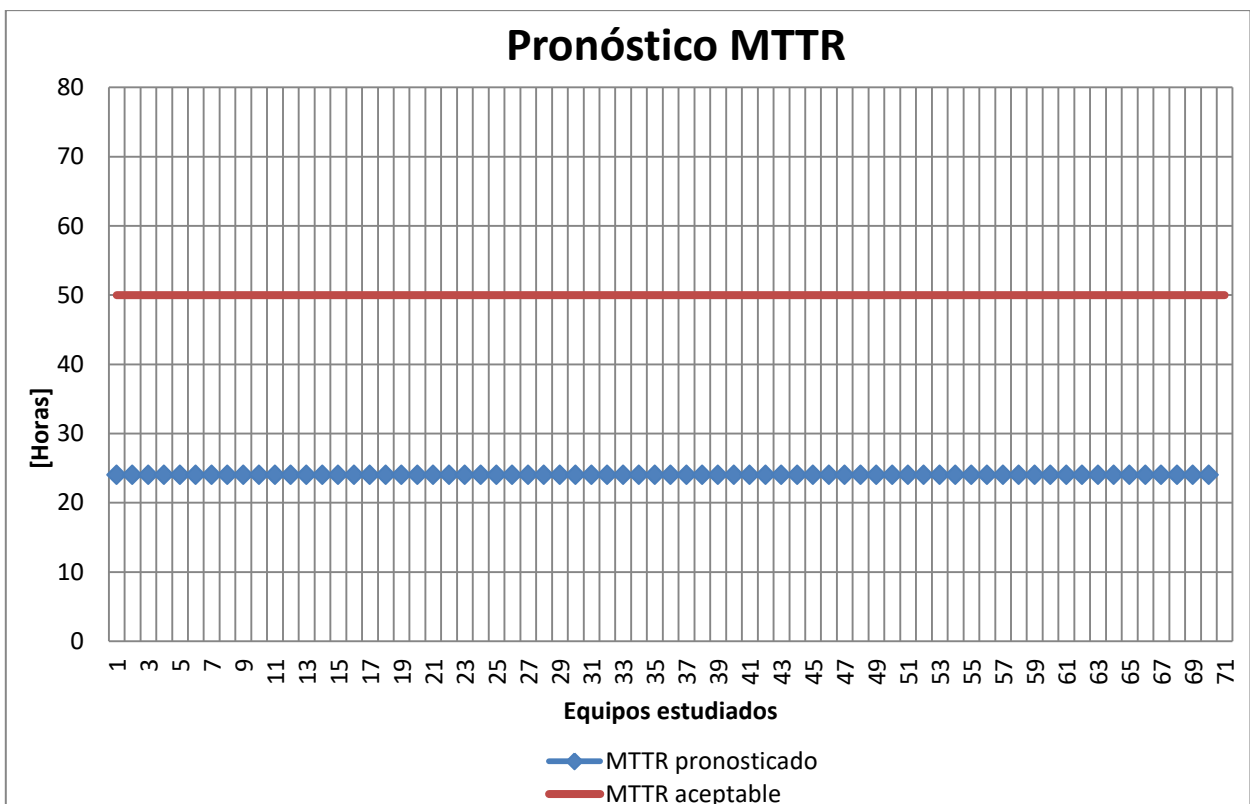


Gráfico 4.2.: Pronóstico de comportamiento MTTR

Fuente: Elaboración propia.

TCP había definido un tiempo medio de reparación máximo de 50 horas, al implementar las tareas y actividades de mantenimiento señaladas en este trabajo de título, se espera que los camiones estén fuera de circulación, producto de mantenimientos, por un periodo máximo de 24 horas, equivalentes a 2 días de inactividad por falla detectada.

El hecho de reducir el número de fallas en ruta por camión al año, producto de la realización de tareas de mantenimiento preventivo debidamente establecidas, incidirá además en un aumento de la disponibilidad y confiabilidad unitaria y del sistema de activos, tal como se podrá apreciar en los gráficos 4.3. y 4.4. que se presentan a continuación:

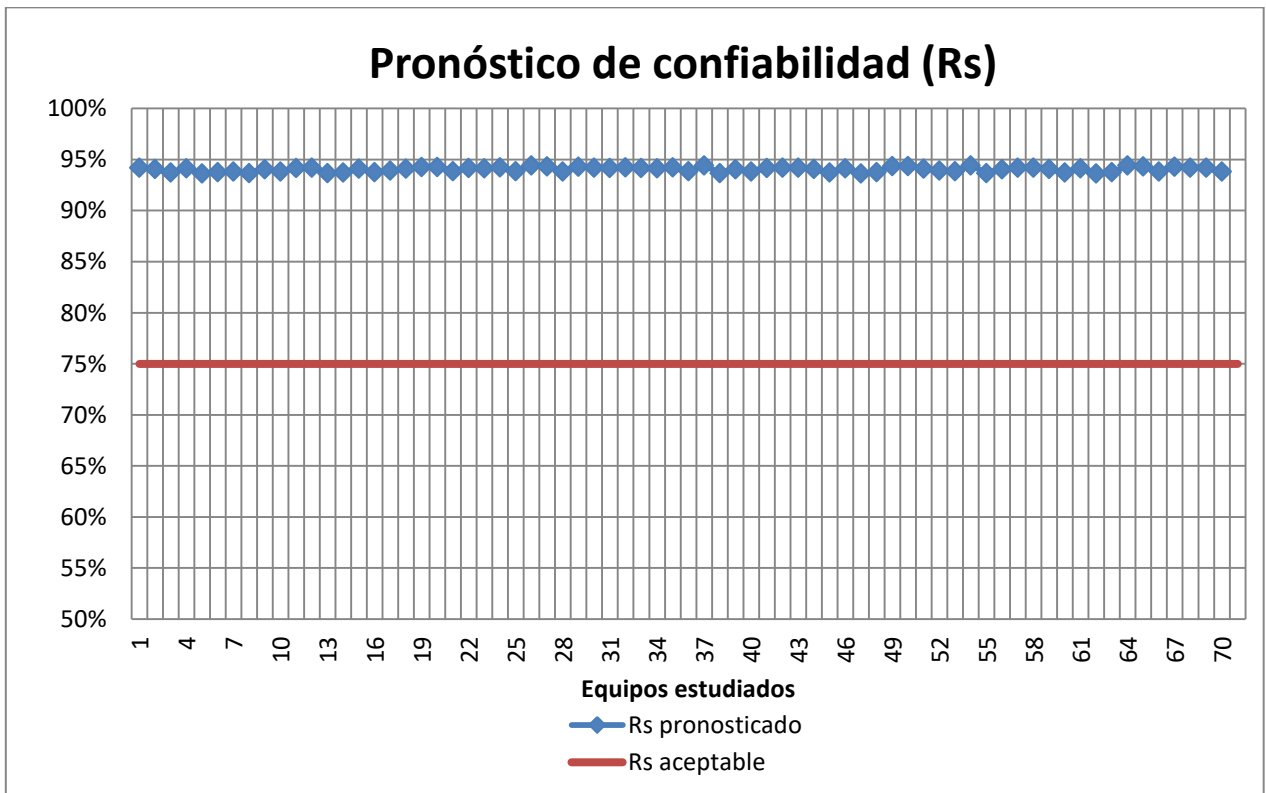


Gráfico 4.3.: Pronóstico de comportamiento para la confiabilidad (Rs)

Fuente: Elaboración propia.

Una vez aplicadas las nuevas actividades de mantenimiento propuestas en este trabajo de título, se espera conseguir un significativo aumento de la confiabilidad unitaria de

los activos; si bien el valor aceptable de confiabilidad indicado por TCP corresponde al 75%, se pronostica, en promedio, un aumento del 20% para este indicador por equipo.

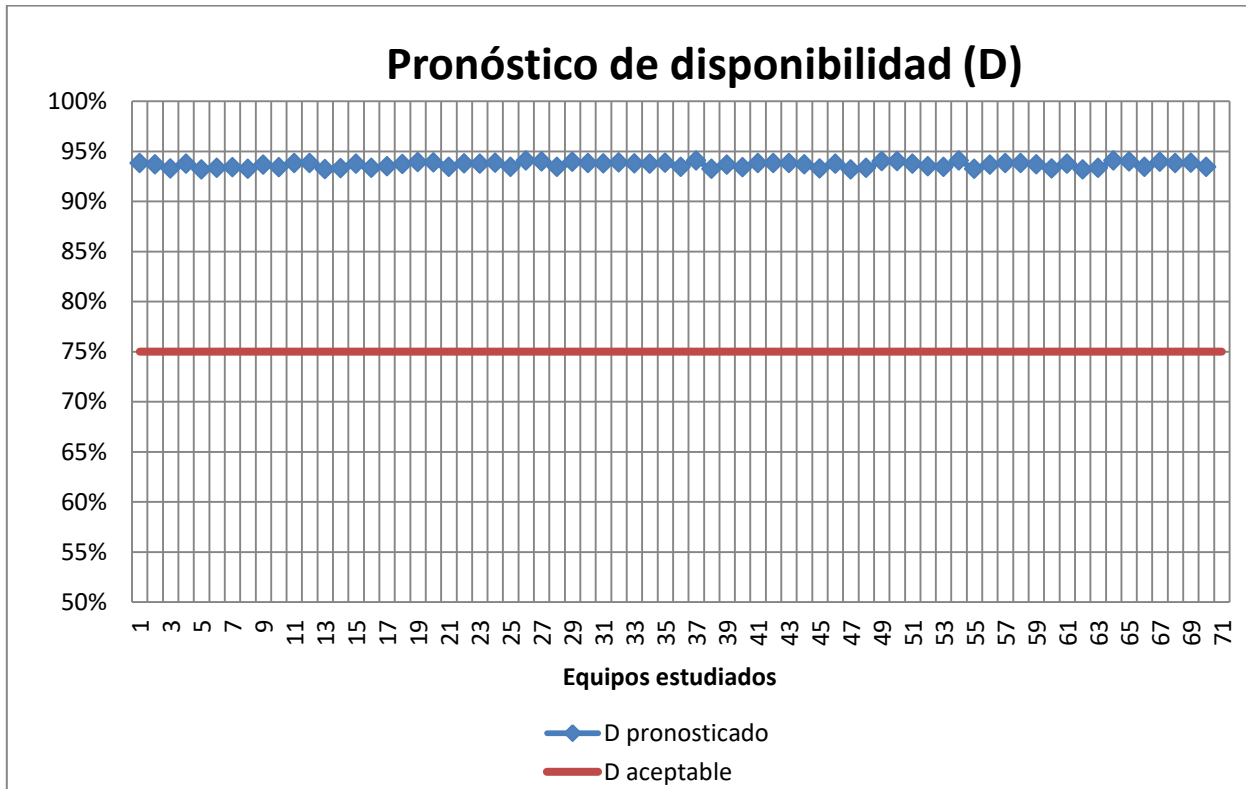


Gráfico 4.4.: Pronóstico de comportamiento para la disponibilidad (D)

Fuente: Elaboración propia,

Tal como se puede apreciar en el gráfico 4.4., el pronóstico para el indicador de disponibilidad es muy similar al de confiabilidad, es decir, presenta un aumento promedio de 20% para alcanzar un 94% de disponibilidad en promedio por equipo al año.

Es importante destacar, que los pronósticos han sido realizados en virtud de escenarios ideales y que no consideran fallas de carácter aleatorio como lo podría ser el pinchar un neumático por artefactos que se pueden encontrar en la ruta de los camiones; sin embargo, las políticas para realizar las actividades de mantenimiento en el caso de ocurrencia de este tipo de fallas, serán las mismas que se han presentado en este trabajo de título.

En términos generales, el pronóstico de comportamiento para los indicadores de desempeño del sistema de activos refleja los beneficios de la implementación del método RCM como estrategia para mejorar los procesos asociados al mantenimiento de los equipos. En la tabla 4.1., que se presenta a continuación, se compara el comportamiento de los KPI's correspondientes al año 2016 versus los KPI's pronosticados al haber implementado el método RCM:

KPI	2016	Pronosticado con RCM	Medición
MTBF	147,00	379,12	Horas
MTTR	150,00	24,00	Horas
Confiabilidad	56,63	94,04	%
Disponibilidad	72,28	93,66	%

Tabla 4.1.: KPI's 2016 vs KPI's pronosticados con RCM

Fuente: Elaboración propia.

Tal como se puede apreciar en la tabla 4.1., el pronóstico efectuado a los indicadores de desempeño, en virtud de la aplicación del método RCM para el diseño de un plan de mantenimiento para la flota de camiones de TCP, proyecta una clara mejora en términos de confiabilidad del sistema de activos, aumentando en un 37,41% el desempeño de este indicador; la disponibilidad del sistema por su parte, aumentaría en un 21,38%, mientras que el tiempo medio entre fallas (MTBF) proyecta un aumento de 158% correspondiente a 232,12 horas, es decir, un aumento de alrededor de 19 días en los que no se deberían detectar fallas funcionales en el sistema de activos; finalmente, el pronóstico del tiempo medio de reparación (MTTR) del sistema, contempla una reducción del 84%, es decir, una disminución de alrededor de 11 días en el periodo que el sistema se verá detenido producto de reparaciones

4.1. Análisis de costos de mantenimiento

Para poder analizar los costos asociados al mantenimiento de la flota de camiones de Transporte Cargo Pacífico Ltda., es necesario conocer su composición en virtud del costo integral de mantenimiento. En la figura 4.1., que se presenta a continuación, se muestra el detalle de la composición de los costos de mantenimiento en una ilustración adaptada al caso de estudio:



Figura 4.1.: Composición del costo integral de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia. Adaptación al caso de estudio de la figura de costos de mantenimiento de “Gestión integral de mantenimiento”, Luis Navarro y otros, pág. 39. (1997).

Es importante destacar que, para el caso de estudio particular de TCP, no serán considerados los costos financieros de mantenimiento pues:

- No se cuenta con inventario de repuestos.
- El sistema de activos es homogéneo, por lo tanto, el equipo duplicado para satisfacer la disponibilidad requerida de camiones, afectará de igual forma la disponibilidad del sistema global de activos.

Si bien es necesario mantener una alta confiabilidad y disponibilidad, es necesario tener presente el costo que esto significa para la empresa; es en esta concesión de ideas que a continuación se presenta en la figura 4.2., el comportamiento actual y esperado, en el mediano y largo plazo, para los costos de mantenimiento

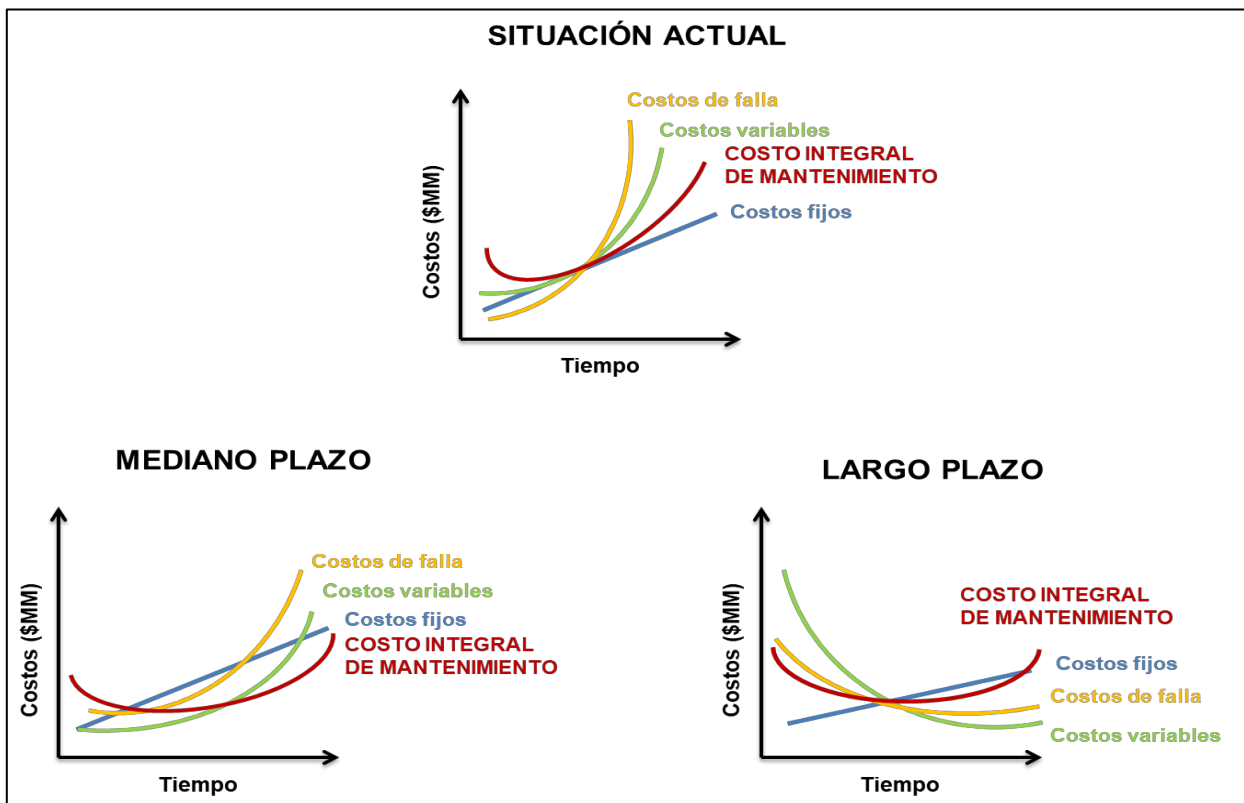


Figura 4.2.: Comportamiento esperado de los costos de mantenimiento post aplicación del método RCM

Fuente: Elaboración propia. Adaptación al caso de estudio de los gráficos de costos de mantenimiento de "Gestión integral de mantenimiento", Luis Navarro y otros, pág. 47. (1997).

Tal como se puede apreciar en la figura 4.2., se graficó el comportamiento para los costos asociados al mantenimiento en relación al tiempo, pues el análisis de costos realizado en el capítulo 1 de este trabajo de título, se efectuó en virtud de los costos registrados en la última década; asimismo para la “situación actual” se desglosó el costo integral de mantenimiento en base a los datos registrados en la última década, en donde:

- Los costos fijos muestran una tendencia lineal e incluyen los costos de mano de obra directa e indirecta, el costo de los materiales y repuestos empleados en la mantención de los vehículos de carga y la utilización de equipos y herramientas.
- Tanto los costos de falla como los costos variables, que incluyen los costos de mantención correctiva, muestran una tendencia de aumento exponencial en el tiempo, pues al no haber efectuado mantenciones apropiadas en los últimos años, se han generado costos de degradación en los equipos; esto último, ha conllevado a su vez en un aumento de los costos variables producto del incremento en la detección de fallas.

En cuanto a los escenarios de mediano y largo plazo, una vez implementada la adaptación del método RCM al caso de estudio, se ha proyectado una reducción del costo integral de mantenimiento, esto se debe principalmente a que a medida que aumenten los costos fijos asociados a los procedimientos de mantenimiento preventivo, se apreciará una disminución de los costos variables asociados a las actividades de mantenimiento correctivo y en los costos de falla. En el largo plazo, se espera un comportamiento de disminución exponencial tanto para costos variables como para costos de falla, además de una reducción de los costos fijos de mantenimiento dada la estandarización de tareas y actividades de mantención preventiva.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

La aplicación del método RCM al caso de estudio arrojó las siguientes conclusiones:

- A través de un diagrama causa – efecto, fue posible identificar las causas generadoras de la existencia de cargas pendientes; dentro de estas causas se definió que la causa principal es la no existencia de procedimientos debidamente establecidos para la ejecución de tareas y actividades de mantenimiento.
- Una vez definida la causa raíz del problema detectado, se procedió a definir el método que cubriera de mejor manera las necesidades de la empresa; a través de una matriz de decisión, construida en conjunto con don Jesús Manzárraga subgerente de mantenimiento de TCP y un grupo de expertos, se concluyó que la metodología RCM es la más apropiada para conseguir una reducción en la existencia de cargas pendientes y en los costos globales de mantenimiento, y un aumento en la disponibilidad y confiabilidad del sistema de activos.
- Con la metodología RCM es posible realizar un análisis exhaustivo de cada falla para seleccionar la tarea de mantenimiento más adecuada para subsanarla.
- La aplicación del método RCM permite, con el mismo personal operativo (staff de mecánicos), atender un mayor número de equipos sin menoscabo de la disponibilidad y confiabilidad del sistema de activos.
- El registro histórico de fallas es fundamental para la implementación del nuevo plan de mantenimiento pues, a través de esta información se puede definir si los intervalos de revisión están fijados correctamente, además de entender el comportamiento unitario y del sistema de activos a través del análisis de indicadores clave de desempeño.
- Al no existir un registro histórico de tipo y modos de falla, y por tratarse de un sistema de activos homogéneo, se propuso un plan de mantenimiento general para la flota de camiones que reciben mantenimiento interno.

- De los 71 equipos estudiados, apenas un 16% presenta una criticidad baja o aceptable, mientras que un 41% tienen una criticidad alta; esto último quiere decir que existe una alta probabilidad de falla en al menos 28 equipos de los 71 estudiados.
- El mantenimiento de los semirremolques, en su mayoría está relacionado con los sistemas de suspensión y frenos, por esta razón no se analizaron en forma explícita en este trabajo de título pues, las tareas destinadas a mantener esta parte de los activos están incluidas en las tareas y actividades de mantenimiento de los camiones y tracto camiones.
- Se diseñó un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, que contempla la planeación y ejecución de tareas y actividades de mantenimiento para la flota de camiones de TCP, incluyendo procedimientos de carácter preventivo con el objeto de disminuir las labores destinadas al mantenimiento correctivo y de esta manera poder mermar los costos asociados a este tipo de mantención.
- Con la aplicación del método RCM se espera reducir en un 40% la ocurrencia de fallas en ruta y en un 60% la existencia de cargas pendientes, esto incidirá en un incremento de CLP 93 millones al año.
- El pronóstico de mejora para los indicadores clave de desempeño, respecto del año 2016 y una vez implementado el método RCM, corresponde a un aumento de un 158% para el tiempo medio entre fallas (MTBF), de un 37,41% para la confiabilidad y de un 21,38% para la disponibilidad del sistema de activos; para el tiempo medio de reparación (MTTR), proyecta una reducción del 84%.
- Como resultado a la implementación de la adaptación del método RCM al caso de estudio, se espera, en el mediano plazo, un aumento en los costos fijos asociados a las actividades de mantenimiento preventivo y a todos los recursos necesarios para su desarrollo; esto último incidirá en la reducción de los costos de falla y de los costos variables asociados al mantenimiento correctivo de los equipos. En el largo plazo, se espera una reducción de costos fijos al estandarizar los procedimientos de mantenimiento preventivo y asimismo se proyecta una nueva reducción en los costos de falla y en los costos variables producto de una disminución en la detección de fallas.

- Si bien el análisis de reemplazo de los activos indicó que el periodo óptimo para dar de baja un equipo antiguo y reemplazarlo por uno nuevo es al tercer año, se concluyó que el análisis no es representativo de la realidad de TCP pues, fue efectuado sobre la totalidad del sistema de camiones que recibe mantenimiento interno y no unitariamente. Cabe destacar que en este trabajo de título no se realiza el análisis unitario debido a que el propósito principal es generar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad y no un análisis de ciclo de vida de los activos como tal.

5.1. Recomendaciones

En virtud de las conclusiones obtenidos producto del desarrollo de este trabajo de título, se recomiendan las siguientes acciones:

- Registrar detalladamente cada falla funcional, tipo y modo de los equipos, de esta forma se contará con un registro histórico que permitirá en el mediano/largo plazo incluir tareas de mantenimiento predictivo con el fin de reducir aún más la cantidad anual de fallas en ruta.
- No exigir a los equipos una sobrecarga por encima de su capacidad funcional pues, tal exigencia se traducirá en un aumento en la probabilidad de falla.
- Establecer un plan continuo de capacitación a los transportistas, para disminuir el número de fallas provocadas por mala operación de los equipos.
- Realizar un análisis de reemplazo unitario para cada uno de los camiones que recibe mantenimiento interno con el modelo entregado en este trabajo de título, de esta manera se podrá evaluar la situación real de cada camión y estimar el periodo óptimo de reemplazo.

CAPÍTULO 6: ANEXO

6.1. Prototipo de encuesta con escala Likert para la selección del proceso a estudiar

Con el objeto de definir el proceso de estudio de este trabajo de título, se realizó una encuesta con escala Likert a 193 trabajadores de Transporte Cargo Pacífico.

A diferencia de las preguntas con respuesta dual, una encuesta con escala Likert permite medir actitudes y conocer el grado de conformidad del encuestado en base a cualquier afirmación que le sea propuesta. La escala de valoración quedará dispuesta de la siguiente manera:

- (1) Muy de acuerdo
- (2) De acuerdo
- (3) Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- (4) En desacuerdo
- (5) Muy en desacuerdo

Para cada dimensión de estudio se establecieron 5 preguntas que permitirán jerarquizarlas en razón a la importancia de cada una de ellas para afrontar la situación actual de la empresa y mermar los eventos que impiden su desarrollo y crecimiento.

Adicional a lo anterior, las preguntas efectuadas por dimensión fueron propuestas de manera que las respuestas siguieran el perfil de una encuesta con escala Likert, y quedaron conformadas de la siguiente manera:

Costos de mantención					
	Muy de acuerdo	De acuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	En desacuerdo	Muy en desacuerdo
1. ¿Está usted conforme con los costos de mantención en los que incurre actualmente la empresa?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. ¿Cree usted que la empresa tiene la capacidad para disminuir los costos actuales de mantención?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. ¿Cree usted que los costos de mantención son un factor determinante en el crecimiento de la empresa?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. ¿Los costos de mantención actuales coinciden con los presupuestados?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. ¿Está usted de acuerdo con que el estar en conocimiento de este indicador podría contribuir a mejorar los procesos de la empresa?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 6.1.: Encuesta Likert, costos de mantención

Fuente: Elaboración propia.

Ingresos por carga transportada y entregada					
	Muy de acuerdo	De acuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	En desacuerdo	Muy en desacuerdo
1. ¿Está usted conforme con los ingresos actuales de la empresa?	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. ¿Cree usted que la empresa tiene la capacidad para aumentar los ingresos actuales por conceptos de transporte y distribución de cargas?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. ¿Cree usted que los ingresos son un factor determinante en el crecimiento de la empresa?	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. ¿Los ingresos percibidos actualmente coinciden con los ingresos presupuestados?	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. ¿Está usted de acuerdo con que el estar en conocimiento de este indicador podría contribuir a mejorar los procesos de la empresa?	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 6.2.: Ingresos por carga transportada y entregada

Fuente: Elaboración propia.

Tiempo medio de reparación (MTTR)					
	Muy de acuerdo	De acuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	En desacuerdo	Muy en desacuerdo
1. ¿Está usted conforme con el tiempo medio de reparación (MTTR) actual de la empresa?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
2. ¿Cree usted que la empresa tiene la capacidad para mejorar (disminuir) el tiempo medio de reparación (MTTR)?	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. ¿Es el tiempo medio de reparación (MTTR) un factor determinante para el crecimiento de la empresa?	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. ¿El tiempo medio de reparación (MTTR) actual coincide con el presupuestado?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. ¿Está usted de acuerdo con que el estar en conocimiento de este indicador podría contribuir a mejorar los procesos de la empresa?	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 6.3.: Encuesta Likert, tiempo medio de reparación (MTTR)

Fuente: Elaboración propia.

Disponibilidad (D)					
	Muy de acuerdo	De acuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	En desacuerdo	Muy en desacuerdo
1. ¿Está usted conforme con la tasa de disponibilidad actual de la flota?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. ¿Cree usted que la empresa tiene la capacidad para aumentar la tasa de disponibilidad actual de los camiones?	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. ¿Cree usted que la tasa de disponibilidad de los equipos es un factor determinante en el crecimiento de la empresa?	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. ¿La tasa de disponibilidad actual de los equipos coincide con el presupuestada?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. ¿Está usted de acuerdo con que el estar en conocimiento de este indicador podría contribuir a mejorar el proceso de mantenimiento?	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 6.4.: Encuesta Likert, disponibilidad (D)

Fuente: Elaboración propia.

Confiabilidad (Rs)

	Muy de acuerdo	De acuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	En desacuerdo	Muy en desacuerdo
1. ¿Está usted conforme con la confiabilidad actual de los equipos de la flota?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. ¿Cree usted que la empresa tiene la capacidad para mejorar la confiabilidad actual de los camiones?	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. ¿Cree usted que la confiabilidad de los equipos es un factor determinante en el crecimiento de la empresa?	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. ¿La confiabilidad actual de los equipos coincide con el presupuestada?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. ¿Está usted de acuerdo con que el estar en conocimiento de este indicador podría contribuir a mejorar el proceso de mantenimiento?	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 6.5.: Encuesta Likert, confiabilidad (Rs)**Fuente: Elaboración propia.**

Siendo el 1 "más importante" y el 7 "menos importante", clasifique las dimensiones antes estudiadas en orden de importancia para afrontar la situación actual de la empresa:

Volumen de distribución	7	▼
Tiempo medio entre fallas (MTBF)	4	▼
Costos de mantención	5	▼
Ingresos por carga transportada y entregada	6	▼
Tiempo medio entre reparaciones (MTTR)	2	▼
Disponibilidad (D)	3	▼
Confiabilidad (Rs)	1	▼

Figura 6.6.: Encuesta Likert, pregunta libre**Fuente: Elaboración propia.**

De un total de 193 encuestados, los resultados arrojados por la encuesta con escala Likert muestran una clara tendencia hacia 4 de las dimensiones de estudio que están directamente relacionadas con el proceso de mantenimiento de Transporte Cargo Pacífico, estas son:

- Tiempo medio entre fallas (MTBF), con un 5% equivalente a 10 del total de las personas encuestadas.
- Tiempo medio de reparación (MTTR), con un 23% equivalente a 44 del total de las personas encuestadas.
- Disponibilidad (D), con un 8% equivalente a 15 del total de las personas encuestadas.
- Confiabilidad (Rs), con un 64% equivalente a 124 de total de las personas encuestadas.

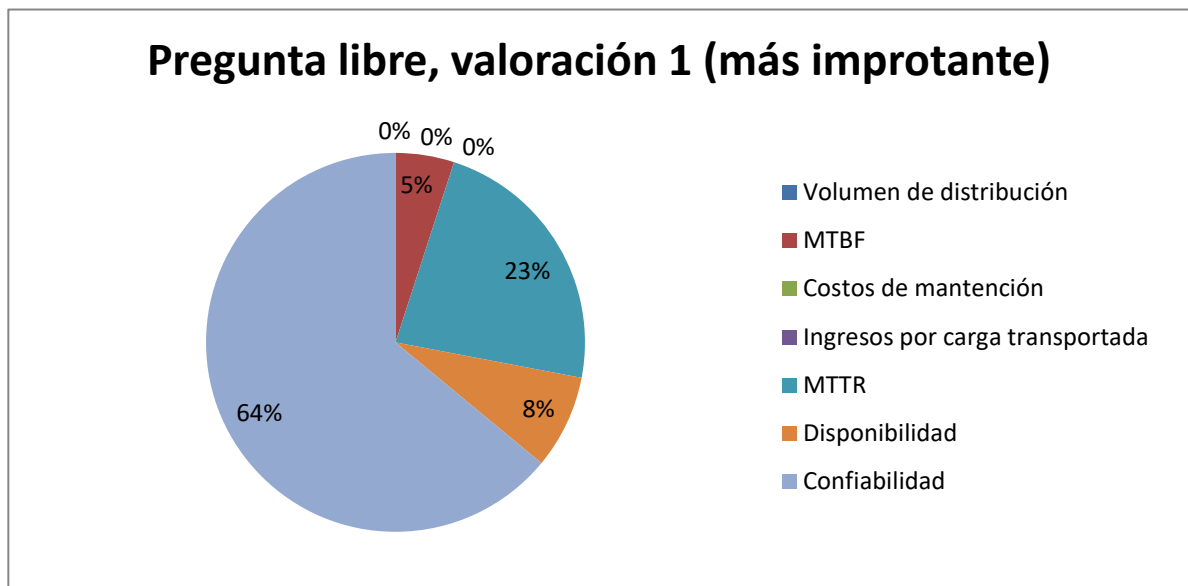


Gráfico 6.1.: Resultado pregunta libre

Fuente: Elaboración propia.

Tal como se puede visualizar en el gráfico 6.1., el 64% de los encuestados dio valoración 1 (más importante) a la dimensión de confiabilidad.

6.2. Indicadores clave de desempeño (KPI) en el año 2016

Los resultados obtenidos del análisis de indicadores unitario y del sistema, se detallan en la tabla 6.1. que se presenta a continuación:

Placa patente	Días inoperat.	Paros por equipo	H. tbjo.	H. paro	MTBF	MTTR	Conf. unit.	Conf. del sistema	Disp.
		(P)	(Ht)	(Hp)	(Ht/P)	(Hp/P)	(R)	Rs	(D)
BCZZ84	37	16	1244	444	78	28	74%	74%	64%
BCZZ88	78	13	1591	936	122	72	63%	63%	41%
BCZZ92	25	15	1138	300	76	20	79%	79%	74%
BCZZ93	58	16	1936	696	121	44	74%	74%	64%
BCZZ99	29	17	1682	348	99	20	83%	83%	79%
BDBB11	30	14	1132	360	81	26	76%	76%	68%
BFJY18	84	15	1938	1008	129	67	66%	66%	48%
BFJY19	87	15	1859	1044	124	70	64%	64%	44%
BFJY20	57	16	1565	684	98	43	70%	70%	56%
BFJY21	14	7	2159	168	308	24	93%	93%	92%
BFJY22	40	14	1846	480	132	34	79%	79%	74%
BFJY23	48	15	2200	576	147	38	79%	79%	74%
BFJY24	32	14	1612	384	115	27	81%	81%	76%
BFJY25	48	17	1568	576	92	34	73%	73%	63%
BFJY26	74	18	1405	888	78	49	61%	61%	37%
BFJY27	58	16	1487	696	93	44	68%	68%	53%
BFJY28	28	12	1236	336	103	28	79%	79%	73%
CGPY81	76	15	1313	912	88	61	59%	59%	31%
CGPY82	46	17	1268	552	75	32	70%	70%	56%
CGPY83	22	16	2005	264	125	17	88%	88%	87%
CGPY84	27	17	1489	324	88	19	82%	82%	78%
CGPY85	48	15	1357	576	90	38	70%	70%	58%
CGPY86	27	16	1487	324	93	20	82%	82%	78%
CGPY87	31	13	1651	372	127	29	82%	82%	77%
CGPY88	29	15	1523	348	102	23	81%	81%	77%
CGPY89	34	17	1436	408	84	24	78%	78%	72%
CGPY90	365	1	0		0	0	0%	0%	0%
CGPY91	23	14	1650	276	118	20	86%	86%	83%
CGPY92	29	16	1465	348	92	22	81%	81%	76%
CGPY93	35	15	1129	420	75	28	73%	73%	63%
CGPY94	365	1	0	4380	0	0	0%	0%	0%
CGPY95	31	16	1564	372	98	23	81%	81%	76%
CGPY96	29	15	1269	348	85	23	78%	78%	73%

CGPY97	25	15	993	300	66	20	77%	77%	70%
CGPY98	51	13	1037	612	80	47	63%	63%	41%
CGPY99	33	16	1566	396	98	25	80%	80%	75%
CGPZ10	22	15	1357	264	90	18	84%	84%	81%
CHKX51	35	17	1465	420	86	25	78%	78%	71%
CHKX54	34	19	1818	408	96	21	82%	82%	78%
CHKX61	29	15	1712	348	114	23	83%	83%	80%
CHKX62	34	17	2198	408	129	24	84%	84%	81%
CHKX63	26	16	1138	312	71	20	78%	78%	73%
CHKX64	26	15	2014	312	134	21	87%	87%	85%
CHKX65	34	18	2159	408	120	23	84%	84%	81%
CHKX66	34	17	2478	408	146	24	86%	86%	84%
CHKX67	8	7	2367	96	338	14	96%	96%	96%
CHKX73	17	8	2255	204	282	26	92%	92%	91%
CHKX74	12	9	2525	144	281	16	95%	95%	94%
CHKX76	15	10	2145	180	215	18	92%	92%	92%
CHKX77	12	10	2291	144	229	14	94%	94%	94%
CHKX78	25	11	1998	300	182	27	87%	87%	85%
CHKX79	24	12	2452	288	204	24	89%	89%	88%
CHKX80	23	13	2356	276	181	21	90%	90%	88%
CHKX81	21	11	2189	252	199	23	90%	90%	88%
CHKX82	8	5	1957	96	391	19	95%	95%	95%
CHKX85	11	6	2144	132	357	22	94%	94%	94%
CHKX87	12	5	2213	144	443	29	94%	94%	93%
DPCX39	78	13	1159	936	89	72	55%	55%	19%
DSBR23	15	8	1993	180	249	23	92%	92%	91%
DSVV63	12	5	2185	144	437	29	94%	94%	93%
DSVV72	9	7	2162	108	309	15	95%	95%	95%
DTBK97	9	7	2213	108	316	15	95%	95%	95%
DVFL40	17	8	2200	204	275	26	92%	92%	91%
DWFK74	14	8	1568	168	196	21	90%	90%	89%
DWFK96	14	7	1405	168	201	24	89%	89%	88%
WA7986	42	16	1487	504	93	32	75%	75%	66%
WA7987	10	15	1313	120	88	8	92%	92%	91%
WK6804	41	17	1268	492	75	29	72%	72%	61%
WR8033	44	18	2005	528	111	29	79%	79%	74%
WR8038	44	15	1489	528	99	35	74%	74%	65%
ZN4888	42	18	1357	504	75	28	73%	73%	63%
ZN4920	49	16	1487	588	93	37	72%	72%	60%

	Días inoperat.	Paros por equipo	H. tbjo.	H. paro	MTBF	MTTR	Conf. unit.	Conf. del sistema	Disp.
		(P)	(Ht)	(Hp)	(Ht/P)	(Hp/P)	(R)	(Rs)	(D)
Promedio	42	13	1671	455	147	150	57%	79%	72%

Tabla 6.1.: KPI's 2016

Fuente: Elaboración propia.

Placa patente	Días inoperat.	Paros por equipo	H. tbjo.	H. paro	MTBF	MTTR	Conf. unit.	Conf. del sistema	Disp.
		(P)	(Ht)	(Hp)	(Ht/P)	(Hp/P)	(R)	(Rs)	(D)
BCZZ84	18	9	3500	216	389	24	94%	94%	94%
BCZZ88	18	9	3432	216	381	24	94%	94%	94%
BCZZ92	18	9	3222	216	358	24	94%	94%	93%
BCZZ93	18	9	3467	216	385	24	94%	94%	94%
BCZZ99	18	9	3176	216	353	24	94%	94%	93%
BDBB11	18	9	3241	216	360	24	94%	94%	93%
BFJY18	18	9	3278	216	364	24	94%	94%	93%
BFJY19	18	9	3199	216	355	24	94%	94%	93%
BFJY20	18	9	3419	216	380	24	94%	94%	94%
BFJY21	18	9	3281	216	365	24	94%	94%	93%
BFJY22	18	9	3491	216	388	24	94%	94%	94%
BFJY23	18	9	3500	216	389	24	94%	94%	94%
BFJY24	18	9	3193	216	355	24	94%	94%	93%
BFJY25	18	9	3237	216	360	24	94%	94%	93%
BFJY26	18	9	3456	216	384	24	94%	94%	94%
BFJY27	18	9	3254	216	362	24	94%	94%	93%
BFJY28	18	9	3333	216	370	24	94%	94%	94%
CGPY81	18	9	3444	216	383	24	94%	94%	94%
CGPY82	18	9	3555	216	395	24	94%	94%	94%
CGPY83	18	9	3542	216	394	24	94%	94%	94%
CGPY84	18	9	3298	216	366	24	94%	94%	93%
CGPY85	18	9	3487	216	387	24	94%	94%	94%
CGPY86	18	9	3467	216	385	24	94%	94%	94%
CGPY87	18	9	3526	216	392	24	94%	94%	94%
CGPY88	18	9	3299	216	367	24	94%	94%	93%
CGPY89	18	9	3660	216	407	24	94%	94%	94%
CGPY91	18	9	3592	216	399	24	94%	94%	94%

CGPY92	18	9	3289	216	365	24	94%	94%	93%
CGPY93	18	9	3571	216	397	24	94%	94%	94%
CGPY95	18	9	3499	216	389	24	94%	94%	94%
CGPY96	18	9	3487	216	387	24	94%	94%	94%
CGPY97	18	9	3534	216	393	24	94%	94%	94%
CGPY98	18	9	3487	216	387	24	94%	94%	94%
CGPY99	18	9	3467	216	385	24	94%	94%	94%
CGPZ10	18	9	3526	216	392	24	94%	94%	94%
CHKX51	18	9	3299	216	367	24	94%	94%	93%
CHKX54	18	9	3660	216	407	24	94%	94%	94%
CHKX61	18	9	3199	216	355	24	94%	94%	93%
CHKX62	18	9	3419	216	380	24	94%	94%	94%
CHKX63	18	9	3281	216	365	24	94%	94%	93%
CHKX64	18	9	3491	216	388	24	94%	94%	94%
CHKX65	18	9	3500	216	389	24	94%	94%	94%
CHKX66	18	9	3500	216	389	24	94%	94%	94%
CHKX67	18	9	3432	216	381	24	94%	94%	94%
CHKX73	18	9	3222	216	358	24	94%	94%	93%
CHKX74	18	9	3467	216	385	24	94%	94%	94%
CHKX76	18	9	3176	216	353	24	94%	94%	93%
CHKX77	18	9	3241	216	360	24	94%	94%	93%
CHKX78	18	9	3614	216	402	24	94%	94%	94%
CHKX79	18	9	3617	216	402	24	94%	94%	94%
CHKX80	18	9	3455	216	384	24	94%	94%	94%
CHKX81	18	9	3333	216	370	24	94%	94%	94%
CHKX82	18	9	3299	216	367	24	94%	94%	93%
CHKX85	18	9	3660	216	407	24	94%	94%	94%
CHKX87	18	9	3199	216	355	24	94%	94%	93%
DPCX39	18	9	3419	216	380	24	94%	94%	94%
DSBR23	18	9	3500	216	389	24	94%	94%	94%
DSVV63	18	9	3500	216	389	24	94%	94%	94%
DSVV72	18	9	3432	216	381	24	94%	94%	94%
DTBK97	18	9	3222	216	358	24	94%	94%	93%
DVFL40	18	9	3467	216	385	24	94%	94%	94%
DWFK74	18	9	3176	216	353	24	94%	94%	93%
DWFK96	18	9	3241	216	360	24	94%	94%	93%
WA7986	18	9	3660	216	407	24	94%	94%	94%
WA7987	18	9	3592	216	399	24	94%	94%	94%
WK6804	18	9	3289	216	365	24	94%	94%	93%

WR8033	18	9	3571	216	397	24	94%	94%	94%
WR8038	18	9	3499	216	389	24	94%	94%	94%
ZN4888	18	9	3517	216	391	24	94%	94%	94%
ZN4920	18	9	3289	216	365	24	94%	94%	93%

	Días inoperat.	Paros por equipo (P)	H. tbjo. (Ht)	H. paro (Hp)	MTBF (Ht/P)	MTTR (Hp/P)	Conf. unit. (R)	Conf. del sistema (Rs)	Disp. (D)
Promedio	18	9	3412	216	379	24	94%	94%	94%

Tabla 6.2.: Pronóstico de KPI's con RCM aplicado

Fuente: Elaboración propia.

6.3. Jerarquización de causas, diagrama de Pareto

Con el objeto de la apropiada construcción del Diagrama de Pareto, se realizó una simple encuesta a todas las personas que de alguna forma están involucradas en el departamento de mantenimiento, de modo que fuera posible reunir la información necesaria para jerarquizar las causas detectadas. A continuación, se presenta una tabla de frecuencia según la opinión brindada por los trabajadores respondiendo a la pregunta:

¿Cuál cree usted que es la principal causa que ha generado los retrasos en la distribución y entrega de cargas?

N°	CAUSAS	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
Causa 1	No existen procedimientos de mantenimiento establecidos.	98	98	50.78%	50.78%
Causa 2	Baja disponibilidad de equipos para la distribución de cargas.	57	155	29.53%	80.31%
Causa 3	Tiempo de reparación de los activos muy elevado.	14	169	7.25%	87.56%
Causa 4	Reparaciones poco eficientes.	9	178	4.66%	92.23%
Causa 5	Precaria planificación de actividades de mantención.	5	183	2.59%	94.82%
Causa 6	Personal poco capacitado.	5	188	2.59%	97.41%
Causa 7	No hay control de inventario.	3	191	1.55%	98.96%
Causa 8	Mala gestión de abastecimiento de repuestos.	2	193	1.04%	100.00%

Tabla 6.3.: Causas jerarquizadas, diagrama de Pareto

Fuente: Elaboración propia.

Tal como se puede apreciar en la tabla 6.3., las causas 1 y 2 cumplen con la regla de Pareto alcanzando el 80.31% de la frecuencia relativa acumulada por lo que serán precisamente estas causales a las que se deberá prestar especial atención e intentar disminuir su efecto de modo que sea posible reducir la existencia de cargas pendientes en todos los centros de distribución.

6.4. Prototipo de planilla para registro y cálculo de KPI's

Para el cálculo de los indicadores clave de desempeño seleccionados, vale recordar, MTBF, MTTR, disponibilidad y confiabilidad de los equipos, se diseñó una planilla Excel colaborativa que le permite a los usuarios ingresar datos como el número de fallas que presenta un camión en un mes, las horas de paro y de trabajo, entre otros; arrojando como resultado el valor en tiempo real de cada indicador.

Placa patente	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
BCZZ84	4		1	5	2	2	5		14	1		3
BCZZ88	3		2		4	6		2			30	31
BCZZ92		6		4	1		4	2		4		4
BCZZ93	1	3		5		5	4	5	3		1	31
BCZZ99		3	1	4	4	5		5	1	3	3	
BDBB11	3	1			4	3	6	1	4	2		6
BFJY18		2	4		5		3	1	30	31	3	5
BFJY19		28	31	1	6	6		6		4	4	1
BFJY20	4		1	6	5		5	1	5		30	
BFJY21	2			5			2		2			3
BFJY22	1	4		2	3		1		3	21	5	
BFJY23	1	4	4		6	4	2		25		2	
BFJY24	5	1	6			6	2	2		4	6	
BFJY25	2	3	1		5		5	4	23	2	3	
BFJY26	5	21	2	3	31		3		3	1		5
BFJY27		1	2	15		3		1	2	3	27	4
BFJY28	2	8	2		3		3		1	5	4	
CGPY81		2	1		3	30			2	5	2	31
CGPY82	1	4		26		3	1	4	4	1		2
CGPY83	6		2	1	1		5		1	2	1	3
CGPY84	3	1	6		2		4	5	1		5	
CGPY85		5	1	1		2	2		30	1	4	2
CGPY86	1		2	4	6		3	1		3	2	5
CGPY87	5	3		4		2		4	4	2	6	1
CGPY88	3		2	2	3		4	3	6	1	2	3
CGPY89	3		4	1		2	4	7	5		6	2
CGPY90	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
CGPY91		3	4	2	1		5		2		1	5
CGPY92	5	4		3	1	4		3	3		1	5

CGPY93	1		4		4	6		5	2	3	4	6
CGPY94	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
CGPY95		7		3	6	1		2		4	6	2
CGPY96	5	2		1	5		6	2		1	3	4
CGPY97	2	1	3	4		5	1		6		3	
CGPY98	6		1		31			5	2	2		4
CGPY99		4			1	4	4	3		9	6	2
CGPZ10	1	3		2		7	1		3	2		3
CHKX51	2	7	3	1	4		3	6	1		4	4
CHKX54	3		1	6	4		4	4	1	3	4	4
CHKX61		2	3		6	2	2	7		3	1	3
CHKX62	2	2	7		4		4	1	4	5		5
CHKX63	4	1	2	2	3		5		2		4	3
CHKX64	6	2		4	3	2	3		4		2	
CHKX65		3	6	1		4		3	7	2	2	6
CHKX66	1	5			7	2	4	2	6		3	4
CHKX67			1				2		1		2	2
CHKX73	2				5		1		3	6		
CHKX74	1			1		5		3			1	1
CHKX76	3	1					7			1	1	2
CHKX77		4		1	1			2			3	1
CHKX78	6		2		2	5			8			2
CHKX79		3	2		2		4			2	8	3
CHKX80	2	4				1	3		4		1	8
CHKX81		1		4	6			3		6		1
CHKX82	1					2		1				4
CHKX85			1		5				1	2		2
CHKX87		6			1						2	3
DPCX39		3	3	30	31	2			5	2		2
DSBR23			3	1		3			3	4	1	
DSVV63		1			5			1	5			
DSVV72	3	1				4		1				
DTBK97		2	1		1					2		3
DVFL40	2			5		2	4				4	
DWFK74	1	7			2		1		3			
DWFK96				1			7				1	5
WA7986	3		1	7		5		9	1	4	4	8
WA7987		2		1	3		2			2		
WK6804	2	10	5	3			6	2	7		2	4
WR8033	4	6	2	1	8	2	7			2	5	7
WR8038	4	3	1	4		4	3		1	6	1	17
ZN4888	1	8	2	5	11	2		1	6	2		4
ZN4920	6			2	2	12		8	4	5	1	9

En donde:

	Mantenimiento programada
	1 falla en el mes
	2 fallas en el mes
	3 o más fallas en el mes

Tabla 6.4.: Prototipo de planilla para registro de días que pasan los equipos en taller

Fuente: Elaboración propia.

6.5. Análisis de criticidad

Los resultados obtenidos por el análisis de criticidad realizado a 69 equipos correspondientes a camiones y tracto camiones de Transporte Cargo Pacífico se presentan en la tabla 6.5. que se muestra a continuación:

N° de equipo	Placa patente	Centro	Categoría frecuencia	Categoría impacto	CRITICIDAD
1	BCZZ84	RANCAGUA	4	4.20	17
2	BCZZ88	SAN FERNANDO	3	4.40	13
3	BCZZ92	RANCAGUA	4	4.00	16
4	BCZZ93	SAN FERNANDO	3	4.20	13
5	BCZZ99	SAN FERNANDO	4	4.20	17
6	BDBB11	TALCA	4	4.20	17
7	BFJY18	MELIPILLA	3	4.40	13
8	BFJY19	SAN FERNANDO	3	4.40	13
9	BFJY20	TALCA	4	4.40	18
10	BFJY21	RANCAGUA	2	4.20	8
11	BFJY22	RANCAGUA	3	4.20	13
12	BFJY23	TALCA	3	4.40	13
13	BFJY24	MELIPILLA	3	4.20	13
14	BFJY25	RANCAGUA	4	4.20	17
15	BFJY26	SAN FERNANDO	4	4.20	17
16	BFJY27	SAN FERNANDO	4	4.20	17
17	BFJY28	RANCAGUA	3	4.20	13
18	CGPY81	SAN FERNANDO	4	4.40	18
19	CGPY82	MELIPILLA	4	4.20	17

20	CGPY83	TALCA	3	4.20	13
21	CGPY84	TALCA	4	4.20	17
22	CGPY85	SAN FERNANDO	4	4.20	17
23	CGPY86	MELIPILLA	4	4.20	17
24	CGPY87	TALCA	3	4.20	13
25	CGPY88	RANCAGUA	3	4.20	13
26	CGPY89	SAN FERNANDO	4	4.20	17
27	CGPY90	RANCAGUA	5	4.40	22
28	CGPY91	SAN FERNANDO	3	4.20	13
29	CGPY92	RANCAGUA	4	4.20	17
30	CGPY93	SAN FERNANDO	4	4.20	17
31	CGPY94	RANCAGUA	5	4.40	22
32	CGPY95	RANCAGUA	4	4.20	17
33	CGPY97	RANCAGUA	4	4.00	16
34	CGPY99	SAN FERNANDO	4	4.20	17
35	CGPZ10	SAN FERNANDO	4	4.20	17
36	CHKX51	RANCAGUA	4	4.20	17
37	CHKX54	TALCA	4	4.20	17
38	CHKX61	TALCA	4	4.20	17
39	CHKX62	TALCA	4	4.20	17
40	CHKX63	RANCAGUA	3	4.00	12
41	CHKX64	TALCA	3	4.20	13
42	CHKX65	RANCAGUA	4	4.20	17
43	CHKX66	SAN FERNANDO	3	4.20	13
44	CHKX67	TALCA	3	4.20	13
45	CHKX73	SAN FERNANDO	3	4.20	13
46	CHKX74	CURICÓ	2	4.20	8
47	CHKX76	RANCAGUA	2	4.00	8
48	CHKX77	RANCAGUA	2	4.00	8
49	CHKX78	MELIPILLA	3	4.20	13
50	CHKX79	CURICÓ	3	4.20	13
51	CHKX80	TALCA	3	4.20	13
52	CHKX81	RANCAGUA	3	4.20	13
53	CHKX82	TALCA	3	4.20	13
54	CHKX85	TALCA	3	4.20	13
55	CHKX87	MELIPILLA	2	4.20	8
56	DPCX39	TALCA	2	4.40	9
57	DSBR23	ILLAPEL	2	4.00	8
58	DSVV63	ILLAPEL	4	4.00	16
59	DSVV72	ILLAPEL	3	4.00	12
60	DTBK97	ILLAPEL	2	4.00	8

61	DVFL40	ILLAPEL	2	4.00	8
62	DWFK74	TALCA	2	4.20	8
63	DWFK96	TALCA	2	4.20	8
64	WA7986	RANCAGUA	3	4.20	13
65	WA7987	RANCAGUA	3	4.00	12
66	WR8033	RANCAGUA	4	4.20	17
67	WR8038	RANCAGUA	4	4.20	17
68	ZN4888	RANCAGUA	4	4.20	17
69	ZN4920	RANCAGUA	3	4.20	13

Tabla 6.5.: Análisis de criticidad

Fuente: Elaboración propia.

6.6. Identificación de sistemas y subsistemas del vehículo de carga

A continuación, se detallan los 8 sistemas definidos para un vehículo de carga y sus respectivos subsistemas:

6.6.1. Sistema 1: Motor

A pesar de ser un componente, el motor del camión será definido como un sistema pues es el encargado de transformar la energía calorífica entregada por el combustible, en energía rotatoria; además, el correcto funcionamiento del motor dependerá de otros subsistemas que se detallan a continuación:

6.6.1.1. Alimentación de combustible

Todo motor debe poseer un subsistema capaz de trasladar el combustible desde su depósito a la cámara de combustión; es comandado por el transportista al operar el pedal de aceleración del equipo. Este subsistema está compuesto a su vez por 3 grupos de componentes:

- **Circuito de baja presión:** Lleva el combustible desde el tanque hasta el circuito de alta presión, separando las impurezas del combustible que pueden incidir en la eficiencia del proceso de combustión. Sus componentes unitarios son: tanque o depósito, bomba de cebado extracción, elementos filtrantes y válvulas de retención, descarga y rebose.
- **Circuito de alta presión:** Una vez que el combustible es retirado del tanque, se le deberá elevar la presión y ser conducido a la cámara de combustión. Sus componentes unitarios son: bomba de inyección, inyectores, tubería de alta presión y la cámara de combustión.
- **Conjunto turbo-compresor intercooler:** Se hace uso de un *turbo compresor* para incrementar la eficiencia del ciclo del motor al aumentar el volumen de aire admitido a la entrada de la cámara de combustión. Sus componentes unitarios son: rueda de turbina y eje, rueda de compresor, alojamiento central, cojinetes, alojamiento de turbina, alojamiento de compresor. Adicionalmente, se deberá contar con un *intercooler*, encargado de enfriar el aire proveniente del compresor.

6.6.1.2. Tren alternativo

Este subsistema es el encargado de la transformación de presión a movimiento rectilíneo y posterior rotativo, que se produce dentro del motor. Los componentes unitarios de este subsistema son: biela, pistón o émbolo, bulón del pistón, cigüeñal, anillos, volante y cojinetes.

6.6.1.3. Distribución

El subsistema de distribución por su parte, es aquel que facilita la realización de los procesos de admisión de aire y de escape de gases de combustión de forma sincronizada. Sus componentes unitarios son: válvulas, asiento de las válvulas, balancines, varillas de los balancines y árbol de levas.

6.6.1.4. Lubricación

El subsistema de lubricación será el encargado de aceitar todos aquellos componentes del motor que están sometidos a fricción y que en consecuencia pueden desgastarse y recalentarse por el continuo movimiento y roce con otras superficies. En general, el subsistema de lubricación está compuesto por: cárter, bomba de aceite (piñones) y elementos filtrantes.

6.6.1.5. Refrigeración

Este subsistema es el encargado de enfriar los componentes del motor. Para conseguirlo se hace uso de agua, aire y en cierta medida el mismo aceite lubricante. Sus componentes unitarios son: cámaras, radiador, bomba de agua, ventilador, termostato y líquido de refrigeración.

6.6.1.6. Elementos fijos

Este subsistema agrupa a todos los elementos fijos que sirven como apoyo a los subsistemas principales del motor; asimismo sirven como canales de recorrido a los fluidos y gases. Sus principales componentes son: bloque, culata y junta de la culata.

6.6.2. Sistema 2: Transmisión

La función principal del sistema de transmisión, es asegurar que al variar la velocidad del vehículo el movimiento llegue a las llantas, que serán las encargadas de trasladar el camión de un lugar a otro. A diferencia de otros sistemas, el sistema de transmisión no tendrá subcategorías, en cambio se le asociarán componentes unitarios principales dentro de los que se destacan:

6.6.2.1. Embrague

Este componente es el encargado de separar el eje del cigüeñal de la caja de velocidades debido a que los cambios no se pueden realizar con una potencia de entrada.

6.6.2.2. Caja de cambios o velocidades

La caja de velocidades se encarga de conmutar las revoluciones entregadas por el cigüeñal a los valores requeridos por el transportista. Para motores de vehículos con mayor capacidad de carga, como es el caso de los camiones de TCP, se usarán multiplicadores, es decir, un juego de piñones auxiliares que permite un mayor número de cambios.

6.6.2.3. Cardán o eje cardánico

Este componente es un eje en cuyos extremos se ubican juntas cardánicas para llevar el par transmitido por la caja al diferencial. Es importante destacar que debido a la alta gama de terrenos y superficies por lo que se pueda desplazar el vehículo este componente deberá ser flexible y resistente a las vibraciones.

6.6.2.4. Diferencial

Es una agrupación de piñones que entrega el par transmitido por el eje cardánico a las llantas. Sus elementos funcionales son: corona, satélites y speed.

6.6.3. Sistema 3: Sistema eléctrico

La función principal del sistema eléctrico es proveer al vehículo seguridad en la marcha a través de la conducción de energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del motor y algunos accesorios. Los subsistemas que contribuyen en el correcto funcionamiento del sistema eléctrico se detallan a continuación:

6.6.3.1. Motor de arranque

El motor de combustión interna, a diferencia del eléctrico, requiere de una fuerza externa para iniciar su movimiento; esta fuerza externa es entregada por el motor de arranque. Para su correcto funcionamiento, este motor debe desarrollar el máximo par inicial para vencer la resistencia pasiva del motor de combustión y reducir gradualmente el par de giro a medida que aumenta la velocidad y se va poniendo en marcha el motor.

6.6.3.2. Alternador

La función principal de este subsistema es transformar la energía mecánica, entregada por el cigüeñal, en energía eléctrica que será acumulada por la batería del vehículo. Sus componentes son: conjunto inductor formado en el rotor, inducido formado en el estator, puente rectificador, carcasa y elementos complementarios y regulador electrónico.

6.6.3.3. Batería

La batería es el elemento encargado de acumular energía eléctrica para posteriormente convertirla en energía química, y de esta formar alimentar los componentes que funcionan aun cuando el motor no está encendido. Sus principales componentes para lograr la transformación de energía son: placas de plomo, electrolitos de ácido sulfúrico y agua.

6.6.3.4. Instalación eléctrica

Este subsistema hace referencia al conjunto de medios que permite conducir la corriente eléctrica hasta los consumos del vehículo. En la mayoría de los vehículos de carga, la instalación eléctrica funciona a un voltaje de 12 [Volt]. Sus principales componentes son: caja de fusibles, fusibles, conexiones y conectores, conmutadores y relé.

6.6.3.5. Tablero de notificaciones e instrumentos

El tablero de notificaciones es el subsistema encargado de informar al transportista sobre el comportamiento de las variables que rigen los sistemas y subsistemas del camión. Un tablero de control genérico contará con lecturas de: combustible, temperatura del líquido de enfriamiento, presión de aire, presión de llantas, medidor de velocidad, medidor de revoluciones, indicadores de seguridad (puertas, cinturón de seguridad) e indicador de luces.

6.6.4. Sistema 4: Dirección

El sistema de dirección del camión se encarga de proporcionar la orientación deseada por el transportista. Su base está fundada por el trapecio de Jeantaud³¹ y está compuesto por 3 componentes: volante, columna de dirección y barras o terminales de dirección, y por un subsistema: la caja de dirección.

6.6.4.1. Caja de dirección

Su función es transmitir el movimiento entrante por la columna de dirección proveniente del volante y llevarlo a las terminales de dirección en forma de movimiento oscilatorio.

6.6.5. Sistema 5: Sistema de frenado

La misión del sistema de frenos es disminuir el efecto de la energía cinética que posee el vehículo de carga en cualquier instante y cada vez que el transportista así lo requiera. Para efectos de este trabajo de título serán considerados los sistemas neumáticos de frenos, los que están compuestos principalmente por: compresor de aire, elemento anticongelante, tanque de almacenamiento de aire y cilindros neumáticos para el accionamiento de las cámaras de frenos. Para poder asegurar la correcta distribución del aire

³¹ Afirma que la perpendicular a los ángulos formados por las llantas del eje delantero y la prolongación del eje trasero del vehículo, deben unirse en un centro común.

en todo el sistema de frenado, se hace uso una variedad de válvulas que se pueden montar según las características del camión; en general, las más usadas son: válvula de freno, relé o válvula Relay, válvula distribuidora y de descarga rápida, entre otras.

6.6.5.1. Freno de mano

Es el subsistema que genera el bloqueo de las ruedas, generalmente traseras, para la inmovilización del vehículo cuando se requiere estacionarlo.

6.6.5.2. Freno de remolque

Este subsistema de frenado es accionado desde la cabina del tracto camión acciona los diafragmas de freno de las ruedas de los remolques dando como resultado el frenado de este último.

6.6.5.3. Freno de motor

Este mecanismo es utilizado en los motores de alta potencia mayor de 350HP, que generalmente corresponden a los motores de tracto camiones. Este subsistema de frenado es utilizado cuando el vehículo de carga se desplaza en descensos y hace que el motor suspenda la inyección de combustible y funcione como un compresor.

6.6.6. Sistema 6: Sistema de suspensión

El sistema de suspensión hace referencia al conjunto de elementos encargados de absorber las reacciones producidas por el suelo de las llantas y así minimizar su efecto sobre los elementos rígidos del camión.

6.6.6.1. Elementos elásticos

Grupo de componentes con la capacidad de conservar la forma original a pesar de las deformaciones las que son constantemente sometidos. Los elementos elásticos más comunes son las ballestas, que consisten básicamente en un arreglo de hojas metálicas que se flexionan cuando son sometidas a algún tipo de deformación.

6.6.6.2. Amortiguadores

La función principal del subsistema de amortiguadores consiste en amedrentar las oscilaciones mecánicas de modo que no repercutan en la carrocería y chasis del vehículo de carga. Los amortiguadores más usados son los telescópicos de funcionamiento hidráulico.

6.6.6.3. Elementos estabilizadores

Son barras de acero montadas sobre los ejes delanteros y traseros del camión. Cuando el vehículo transita en un sector de curvas se genera una tendencia al volcamiento, las barras reaccionan con un par de torsión opuesto proporcionando estabilidad en la conducción.

6.6.6.4. Subsistema de suspensión neumático

Este tipo de sistema de suspensión es usado comúnmente por los vehículos de carga más pesados y que tienen sistema de frenos neumáticos para aprovechar el aire comprimido del proceso de frenado. Está compuesto principalmente por un fuelle o bombona, el que funciona como elemento elástico y amortiguador.

6.6.7. Sistema 7: Llantas

Las ruedas o llantas son un contenedor de aire que funciona como enlace entre la superficie del camino y el camión. Existen 2 categorías de llantas: las que pueden funcionar con neumático y las que lo hacen sin la ayuda de estos. Adicionalmente, las llantas pueden clasificarse según su diseño en: convencionales, radiales y radial de perfil bajo.

6.6.8. Sistema 8: Chasis y carrocería

El chasis es la estructura principal del camión, de ella van sujetas todos los componentes principales tales como suspensión, caja de cambios, motor, cabina, etc., está fabricado en acero estructural templado y su dimensión dependerá de la capacidad de carga del vehículo. Dentro de la carrocería se considerarán luces y focos.

6.7. Fallas funcionales

En este apartado se presentan las fallas funcionales más comunes que presentaron los camiones de la flota de TCP en el año 2016:

- Motor no funciona.
- Recalentamiento de motor.
- Rotura del filtro de agua.
- Fuga de combustible por la culata.
- Fuga válvula relé.
- Fuga de agua en el circuito de refrigeración.
- Fuga de aire en el sistema de frenos.
- Falla en el alternador.
- Focos y luces quemadas.
- Fuga de aceite en el sistema de dirección.
- Fuga de agua radiador.
- Falla en batería.

- Motor de arranque no funciona.
- Falla en la caja de embrague.

Adicionalmente, se cuenta con la información proporcionada por la CONAE³², a través de su área de transporte, que indica que las fallas funcionales más frecuentes en las flotas vehiculares son:

- Daño al radiador.
- Daño en la bomba de agua.
- Daño en el ventilador.
- Daño en el termostato.
- Daño en la junta de culatas.
- Rotura de mangueras.
- Descarga de batería.
- Bandas flojas o quemadas.
- Daño en el regulador.

³² Maldonado Susano A. *“Conceptos básicos de mantenimiento aplicados a flotas vehiculares”*. Trabajo de investigación, México DF. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), área de transporte.

6.8. Evaluación de reemplazo de equipos

Para realizar la evaluación del reemplazo de un camión nuevo por uno antiguo, se consideraron la siguiente información:

- Valor del camión nuevo: \$48 millones de pesos³³.
- Vida útil contable; 7 años³⁴.
- Valor residual: 20% del valor de adquisición (\$9.6 millones de pesos).

Con estos datos, se dio paso al cálculo del valor promedio anual de los vehículos de carga estudiados en este trabajo de título:

³³ Valor unitario por camión adquirido en 2016. Fuente Transporte Cargo Pacífico Ltda.

³⁴ Según "Tabla de vida útil de los bienes físicos del activo inmovilizado" (SII, para los bienes existentes al 31.12.2002)

Tiempo (años)	Valor de reventa (Millones de pesos)		Depreciación		Costos de mantenimiento		Costo total		Costo promedio anual
	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.	
0	\$	48	-	-	-	-	-	-	-
1	\$	43	\$ 5	\$ 5	\$ 221	\$ 221	\$ 226	\$ 226	\$ 226
2	\$	37	\$ 5	\$ 11	\$ 229	\$ 450	\$ 234	\$ 461	\$ 230
3	\$	32	\$ 5	\$ 16	\$ 224	\$ 674	\$ 229	\$ 690	\$ 230
4	\$	26	\$ 5	\$ 22	\$ 234	\$ 908	\$ 239	\$ 930	\$ 232
5	\$	21	\$ 5	\$ 27	\$ 240	\$ 1,148	\$ 245	\$ 1,175	\$ 235
6	\$	15	\$ 5	\$ 33	\$ 242	\$ 1,390	\$ 247	\$ 1,423	\$ 237
7	\$	10	\$ 5	\$ 38	\$ 263	\$ 1,653	\$ 268	\$ 1,691	\$ 242

Tabla 6.6.: Determinación del costo promedio anual

Fuente: Elaboración propia.

BIBLIOGRAFÍA

[NASA00] National and Aeronautics Space Administration (NASA) Reability Centred Maintenance guide for facilities and colateral equipment. Estados Unidos (2000, Febrero). Disponible en: www.gg.nasa.gov/office/codej/codejx/Assets/Docs/RCMGuideMar2000.pd

[Silva07] Silva, C. Universidad Tecnológica de Pereira, “*Diseño de un sistema de mantenimiento para equipos móviles de transporte de carga terrestre*”, trabajo de grado, Colombia (2007), edición PDF.

[CulturalS.A.03] Cultural S.A. “*Camiones y vehículos pesados: Reparación y mantenimiento, Motor Diesel y Embrague*” (Tomo I), Madrid, España (2003), edición PDF.

[UTP07] Universidad Tecnológica de Pereira, “*Caso de aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, previa existencia de mantenimiento preventivo*”, edición PDF.

[Chulví15] Chulví, V. Universitat Jaume “*Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (R.C.M) en la EDAR de Nules-Vilavella*”, España (2015, Julio), edición PDF.

[Villacrés16] Villacrés, S. “*Desarrollo de un plan de mantenimiento aplicando la metodología de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para el vehículo hidrocleaner M654 de la empresa ETAPA EP*”, Ecuador, Riobamba (2016), edición PDF.

[Salguero10] Salguero, M. “*Diseño e implementación de un sistema de mantenimiento estratégico aplicando las filosofías RCM y FMEA a las máquinas y herramientas de la empresa Weatherford South America INC, Base 1: Francisco Orellana*”, Ecuador, Sangolqui (2010, Abril), edición PDF.

[Torres15] Torres, E. “*Implementación de metodología de confiabilidad para un programa de mantenimiento de una flota de camiones*”, Ecuador, Guayaquil (2015), edición PDF.

[Rafael04] Rafael, M. “*Métodos para la renovación de vehículos de autotransporte de servicio pesado*”, México, Sanfandila (2004), edición PDF.

[Gil&Vallejos08] Gil, Y. y Vallejos, E. "Vicerrectorado de Calidad, Planificación Estratégica y Responsabilidad Social, Secretariado de Calidad y Desarrollo Estratégico. *"Guía para la identificación y análisis de los Procesos de la UMA"*, España, Málaga (2008, Marzo), edición PDF.

[Pauro] Pauro, R. *"Indicadores de mantenimiento: ¿Qué se debe medir y por qué?"*, Argentina, Buenos Aires, edición PDF.

[Vargas&Welder04] Vargas, P. y Welder, U. *"Programa de mantenimiento para la maquinaria pesada de la zona vial 11, de caminos, en el Departamento de Izabal"*. Tesis de Ingeniería Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala (2004), edición PDF.

[García04] García, S. *"MANTENIMIENTO CORRECTIVO: Organización y gestión de la reparación de averías"*, Colección Mantenimiento Industrial, Volumen 4, (2009) edición PDF.

[Suárez16] Suárez, M. *"Propuesta de mejora de la gestión de mantenimiento según el enfoque de mantenimiento productivo total (TPM) para reducir los costos operativos de la empresa Serfriman EIRL"*, Perú, Trujillo (2016), edición PDF.

[Plazas15] Plazas, N. *"Propuesta de un sistema de gestión de activos, basados en la PAS 55, para la generación de valor en las empresas de servicios públicos domiciliarios del municipio de Duitama"*, Colombia, Tunja (2015), edición PDF.

[Romero13] Romero, J. *"Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmotadora de algodón"*, España, Sevilla (2013), edición PDF.

[Amendola11] Amendola, L. *"Gestión integral del mantenimiento de activos como estrategia de negocios (Assessment, PAS55 – ISO 55000)"*, Universidad Politécnica de Valencia, España, Valencia (2011), edición PDF.

[Vásquez08] Vásquez, D. *“Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM en motores Detroit 16V-149TI en CODELCO división Andina”*, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile (2008), edición PDF.

