



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS – TRANSPORTE

METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE MANTENIMIENTO EN FLOTAS DE
VEHÍCULOS DE CARGA

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
GABRIELA GARCÍA LARRE Y MERAZ

TUTOR PRINCIPAL
DRA. ESTHER SEGURA PÉREZ, INSTITUTO DE INGENIERÍA

JURADO ASIGNADO:

Presidente: DRA. IDALIA FLORES DE LA MOTA
Secretario: M.I. JOSÉ ANTONIO RIVERA COLMENERO
Vocal: DRA. ESTHER SEGURA PÉREZ
1^{er.} Suplente: M.I. SERGIO ZUÑIGA BARRERA
2^{d o.} Suplente: M.I. GLORIA ELENA LONDOÑO MEJÍA

Ciudad Universitaria, Ciudad de México

TUTOR DE TESIS:

DRA. ESTHER SEGURA PÉREZ

FIRMA

Metodología para la selección del tipo de mantenimiento en flotas de vehículos de carga.

Contenido

- Contenido..... i
- Índice de gráficas iv
- Índice de ilustraciones iv
- Índice de tablas iv
- Dedicatorias y agradecimientos vii
- Capítulo 1: Marco Conceptual 1
 - Hipótesis..... 1
 - Objetivos 1
 - Mantenimiento: definición y propósitos 2
 - Tipos de mantenimiento..... 3
 - Tipos de servicio..... 4
 - Subcontratación del mantenimiento 5
- Capítulo 2: Marco de referencia 8
 - Eta 1: Análisis del programa actual de mantenimiento..... 8
 - Eta 2: Análisis de periodos de reposición por tipo de modelo 18
 - Eta 3: Calcular el costo de disposición de mantenimiento interno vs. mantenimiento externo 19
 - Eta 4: Evaluar la calidad de la reparación 21

Etapa 5: Evaluar la infraestructura del taller interno.....23

Etapa 6: Evaluar el costo de inversión en infraestructura27

Capítulo 3: Propuesta metodológica.....31

Alcances y parámetros de operación de la metodología.....31

Criterios de decisión entre actividades del taller internas y externas33

Etapa 1: Análisis del programa actual de mantenimiento.....40

Etapa 2: Análisis de periodos de reposición por tipo de modelo44

Etapa 3: Calcular el costo de disposición de mantenimiento interno vs. mantenimiento externo46

Etapa 4: Evaluar la calidad de la reparación en el taller interno49

Etapa 5: Evaluar la infraestructura del taller interno.....53

Etapa 6: Evaluar el costo de inversión en infraestructura53

Capítulo 4: Caso de aplicación de la metodología.....55

Escenario 1: Costos de mantenimiento en taller externo más bajos en el mercado58

Escenario 2: Costos de mantenimiento en taller externo más altos en el mercado64

Escenario 3: Costos de mantenimiento en taller externo más altos en el mercado y penalización por incumplimiento en el servicio67

Etapa 5: Evaluar la infraestructura del taller interno.....70

Etapa 6: Evaluar el costo de inversión en infraestructura70

Conclusiones y trabajo a futuro77

Trabajos citados.....80

Anexo 1: Tamaño de muestra A

Nivel de confianza del 90% ($\alpha=0.10$, $z=1.645$) y error tolerado $e=0.05$ A

Nivel de confianza del 90% ($\alpha=0.10$, $z=1.645$) y error tolerado $e=0.03$ B

Nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$, $z=1.96$) y error tolerado $e=0.05$ C

Nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$, $z=1.96$) y error tolerado $e=0.03$ D

Nivel de confianza del 99% ($\alpha=0.01$, $z=2.57$) y error tolerado $e=0.05$ E

Nivel de confianza del 99% ($\alpha=0.01$, $z=2.57$) y error tolerado $e=0.03$ F

Anexo 2: Ejemplos de formatos para la documentación de la información de mantenimiento .. G

 Orden de trabajo-reparación G

 Orden de almacén H

 Historial del vehículo..... I

Anexo 3: Costos del taller interno, del taller interno mixto y del taller interno con capacidad para atender una flota de 100 vehículos K

 Costos de las herramientas consideradas para cada empleado del taller K

 Costos de las instalaciones y equipos considerados para el taller interno L

 Costos de las instalaciones y equipos considerados para el taller interno mixto M

 Costos de las instalaciones y equipos considerados para el taller interno mixto para una flota de 100 vehículos N

Anexo 4: Actividades y costos considerados para los distintos tipos de servicio: servicio preventivo, servicio preventivo especial, mantenimiento correctivo y reconstrucción O

 Servicio preventivo O

 Servicio preventivo especial P

 Mantenimiento correctivo..... P

 Reconstrucción Q

Índice de gráficas

Gráfica 1. Costo de disposición anual (USD) para un camión tipo C3. Fuente: Elaboración propia.....	45
Gráfica 2. Comparativa de los costos de disposición anual para los talleres interno, externo y mixto, escenario 1. Fuente: Elaboración propia.....	63
Gráfica 3. Comparativa de los costos de disposición anual para los talleres interno, externo y mixto, escenario 2. Fuente: Elaboración propia.....	66
Gráfica 4. Comparativa de los costos de disposición anual para los talleres interno y externo, escenario 3. Fuente: Elaboración propia.	70

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Proceso de toma de decisiones de subcontratación. Fuente: NCHRP. Report 692 (2011).	6
Ilustración 2. Diagrama estructural del modelo de costos. Fuente: Elaboración propia.	20
Ilustración 3. Algoritmo de decisión para la toma de decisiones entre mantenimiento interno y externo. Fuente: Elaboración propia.....	34

Índice de tablas

Tabla 1. Programa de servicio. Fuente: Freightliner (2010).....	12
Tabla 2. Síntomas vs. Diagnósticos resultantes del análisis de los aceites. Fuente: Elaboración propia con información de Fygueroa et. al. (2009)	17
Tabla 4. Ejemplos de Indicadores de Desempeño para Mantenimiento de Flotas. Fuente: NCHRP (2011).....	22
Tabla 5. Días de inmovilización en taller interno. Fuente: Elaboración propia.	57
Tabla 6. Días de inmovilización en taller externo. Fuente: Elaboración propia.	57

Tabla 7. Costo total de mantenimiento para el taller interno, escenarios 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia.58

Tabla 8. Costo total de mantenimiento para el taller externo, escenario 1. Fuente: Elaboración propia.59

Tabla 9. Costo de disposición por costos fijos para los talleres interno y externo, escenarios 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia.60

Tabla 10. Costos de disposición por pérdidas de operación para los talleres interno y externo, escenarios 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.61

Tabla 11. Costos de disposición anual para los talleres interno y externo, escenario 1. Fuente: Elaboración propia.62

Tabla 12. Costo de disposición anual para el taller mixto, escenario 1. Fuente: Elaboración propia.63

Tabla 13. Costo total de mantenimiento para el taller externo, escenarios 2 y 3. Fuente: Elaboración propia.64

Tabla 14. Costos de disposición anual para los talleres interno y externo, escenario 2. Fuente: Elaboración propia.65

Tabla 15. Costo de disposición anual para el taller mixto, escenario 2. Fuente: Elaboración propia.66

Tabla 16. Costos de disposición por pérdidas de operación para los talleres interno y externo, escenario 3. Fuente: Elaboración propia.68

Tabla 17. Costos de disposición anual para los talleres interno y externo, escenario 3. Fuente: Elaboración propia.69

Tabla 18. Beneficios netos proyectados por año para los escenarios 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.71

Tabla 19. Beneficios promedio necesarios para la viabilidad del taller mixto, escenarios 1 y 2; y escenarios 1, 2 y 3 con dos turnos en el taller interno. Fuente: Elaboración propia.71

Tabla 20. Costos de disposición anual para los talleres mixtos con dos turnos en el taller interno, escenarios 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia.72

Tabla 21. Beneficios promedio necesarios para la viabilidad del taller mixto con dos turnos en el taller interno, escenarios 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia.73

Tabla 22. Combinación de $r \geq 0.05$ y $n \leq 30$ años encontrada por Solver para la viabilidad de los talleres mixtos en los escenarios 1, 2 y 3 con dos turnos en el taller interno, con los beneficios netos proyectados. Fuente: Elaboración propia.73

Tabla 23. Costos de disposición anual para los talleres mixtos con dos turnos en el taller interno y una flota de 100 vehículos, escenarios 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia.74

Tabla 24. Beneficios promedio necesarios para la viabilidad del taller mixto con dos turnos en el taller interno y una flota de 100 vehículos, escenarios 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia.75

Tabla 25. Beneficios promedio necesarios para la viabilidad del taller mixto, escenarios 1, 2 y 3, con una flota de 100 vehículos. Fuente: Elaboración propia.75

Tabla 26. Combinación de $r \geq 0.05$ y $n \leq 30$ años encontrada por Solver para la viabilidad de los talleres mixtos en los escenarios 1, 2 y 3 con dos turnos en el taller interno y una flota de 100 vehículos, con los beneficios netos proyectados. Fuente: Elaboración propia.76

Dedicatorias y agradecimientos

Para Patricia Meraz y Ernesto Pacheco

A la memoria de Carlos Ezeta, Pepe Carrión y Georges

Con agradecimientos especiales para la Dra. Esther Segura Pérez

Leticia Jiménez, Rosa Pineda, Yvon Pagliughi, Guadalupe Nieto, Oleg Castorena, Alejandra “Telesa” Arredondo, Ingrid Echard, Alicia Miller, Cinthya Domínguez, Casandra Loveday Ramírez, Paulina Escobedo de Larre, Isabel “Colega” Vázquez, Alo Hernández, Gabriel Pastor, Olga Toledo, Sofía “Conciencia” Morett, Idelia Meraz, Vanessa Morett, Mali Lam, Elizabeth Bolton, Romy Palencia, Amanda Figueroa, Carla Corona, Susana Ezeta, Claudia Pineda, Abner Espinosa, Adrián Sánchez y Emilio Acosta; gracias por ser y estar.

If you want to write anything that works, you have to go with the grain of your talent, not against it. If your imagination is inert and sullen in the face of business or politics or adultery among the artists or the perils threatening the environment, but takes fire at the thought of ghosts and vampires and witches and demons, then feed the flames, feed the flames. Phillip Pullman (2003).

Capítulo 1: Marco Conceptual

Hipótesis

La metodología propuesta permite decidir si el mantenimiento de una flota debe ser realizado en un taller interno propiedad de la empresa o subcontratado en función del costo de disposición de los vehículos.

Objetivos

OBJETIVO PRINCIPAL: Proponer una metodología que permita diferenciar los costos del mantenimiento en el taller interno y en el taller externo y servir como herramienta en la toma de decisiones de la empresa.

Objetivos específicos:

- Definir el concepto de mantenimiento y su propósito
- Proponer un marco conceptual
- Definir los datos necesarios y los costos a contemplar para realizar el análisis
- Arbitrar entre mantenimiento en taller interno y mantenimiento en taller externo
- Aplicar la metodología a distintos escenarios

Mantenimiento: definición y propósitos

La Norma Venezolana COVENIN¹ 3049-93 define el mantenimiento como “el conjunto de acciones que permite conservar o restablecer un sistema productivo a un estado específico para que pueda cumplir un servicio determinado”. Así, el objetivo es mantener un sistema productivo de tal forma que se pueda lograr la producción esperada en las empresas de producción y la calidad en el servicio en las empresas de servicios. Todo esto, a un costo global óptimo. Prando (1996) va más allá afirmando que:

El mantenimiento consiste en prevenir las fallas en un proceso continuo de operación, principiando en la etapa inicial del todo proyecto y asegurando la disponibilidad planificada a un nivel de calidad específico, al menor costo dentro de las recomendaciones de garantía y uso y, de las normas de seguridad y medio ambiente aplicables.

En ese sentido, Palmer (2010) afirma que el mantenimiento debe comenzar durante la etapa de planeación de los proyectos, de manera que se seleccionen y diseñen los equipos y las instalaciones de forma tal que el mantenimiento requerido para su funcionamiento adecuado sea el mínimo posible.

Así, el propósito del mantenimiento es el de conservar las instalaciones y equipos de manera que sean capaces de cumplir con las proyecciones de capacidad y calidad especificadas de manera segura y al menor costo posible. El mantenimiento efectivo reduce los costos totales de la empresa dado que hace que la capacidad de producción esté disponible cuando es necesaria. Es con el uso de esta capacidad que una empresa fabrica un producto o brinda un servicio para obtener una ganancia y es aquí donde reside la importancia de la confiabilidad de los equipos.

Tal como lo definen Mesa et. al. (2006), la confiabilidad de los equipos es “la probabilidad de que no ocurra una falla de determinado tipo, para una misión definida y con un nivel de confianza

¹ Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) creada en 1958 y encargada de programar y coordinar las actividades de Normalización y Calidad en Venezuela. La norma COVENIN 3049-93: Mantenimiento Definiciones, fue aprobada el 01 de diciembre de 1993.

dato”. Así mismo, definen la disponibilidad como el “porcentaje del tiempo que un equipo está listo para operar”.

Tipos de mantenimiento

En términos generales existen dos métodos de mantenimiento, el reactivo (o correctivo) y el proactivo. Los autores citados coinciden con lo que sencillamente resume Bartole (2006), el mantenimiento reactivo es el mantenimiento no programado derivado de una avería. En contraste, el mantenimiento proactivo es mantenimiento programado preventivo, es decir que busca prevenir o evitar las fallas. En su artículo sobre la implementación de programas preventivos de mantenimiento para flotas especifica que los servicios programados para los vehículos comprenden no sólo el mantenimiento preventivo, sino la reparación programada de componentes y la inspección de los conductores. El objetivo es que la mayoría de las intervenciones y reparaciones se realicen en fechas programadas de mantenimiento.

De manera general el mantenimiento preventivo se basa en información histórica acerca de las fallas o en las recomendaciones de los fabricantes para hacer intervenciones periódicas. Sin embargo, una variante, el mantenimiento predictivo, busca predecir las fallas para realizar el mantenimiento antes de que éstas sucedan. Esto sucede con la aplicación de tecnología (análisis químico de los fluidos, análisis vibracional de los equipos rotativos, por mencionar algunos) para identificar las causas de las fallas y planificar de forma conveniente la reparación. De esta forma se busca no sólo reducir las fallas y por ende aumentar la disponibilidad de los equipos, sino reducir el mantenimiento innecesario, enfocando el mantenimiento a solucionar los problemas específicos que presentan los equipos de acuerdo con las condiciones de operación en las que se encuentran.

Tipos de servicio

Los tipos de servicio que se consideran para las flotas en este documento son: preventivo, preventivo especial, correctivo y reconstrucción. Los niveles de servicio de mantenimiento se describen a continuación:

Nivel de servicio	Descripción
Estación	<p>Recepción de vehículo: Corrección de fugas, revisión de niveles, revisión de problemas reportados por el operador. Si todas las condiciones son satisfactorias y no hay un servicio preventivo programado, la unidad pasa a limpieza. Si se detecta algún problema, el vehículo pasa a alguna de las siguientes etapas de mantenimiento. Todos los vehículos pasan por la estación primero.</p>
Servicio preventivo	<p>Mantenimiento programado, adaptado a la operación, la frecuencia depende del tipo e intensidad del trabajo realizado por el vehículo. Cuando los vehículos son nuevos, se realiza generalmente en agencia, dadas las condiciones de garantía y seguros.</p> <p>Tipo A: promedio cada 10,000 km –cambio de aceite de motor, etc. Tipo B: promedio cada 20,000 km –servicio A + B Tipo C: promedio cada 40,000 km –A+ B + C Tipo D: promedio cada 80,000 km –A + B+ C + D</p>
Servicio preventivo especial	<p>Mantenimiento programado, adaptado a la operación, la frecuencia depende del tipo e intensidad del trabajo realizado por el vehículo.</p> <p>Constituye principalmente el reemplazo de piezas de desgaste: batería, llantas, tambores, inyectores, bomba de inyección, freno de emergencia, etc. El reemplazo se puede hacer en un primer tiempo por piezas reconstruidas y después por piezas nuevas. Se recomienda enviar la pieza retirada a reconstrucción y almacenarla para cambios posteriores o intercambiarla por una ya reconstruida.</p>
Correctivo	<p>Necesidades determinadas en la estación.</p> <p>Corrección de fallas repetidas y de problemas no detectados durante el mantenimiento preventivo.</p> <p>Diagnóstico en el que se determinará el motivo de la recurrencia de las fallas: calidad de las refacciones, calidad de la intervención u operación inadecuada del chofer.</p> <p>Dada esta naturaleza, se busca minimizarlo e incluso desaparecerlo, atacando los problemas oportunamente durante el mantenimiento preventivo.</p>
Reconstrucción	<p>Reconstrucción por accidente y cambios de suspensión, chasis, caja de velocidades, diferencial, medio ajuste de motor y ajuste completo, entre otros. Por su complejidad, requieren de altos niveles de especialización y consumen mucho tiempo.</p> <p>Dependerá de las políticas de reposición de la empresa. Así, por ejemplo, si las políticas establecen un tiempo de reposición de entre 5 y 8 años, difícilmente se harán reconstrucciones de este tipo, con la salvedad de las necesarias por accidente o desgaste prematuro.</p>

Subcontratación del mantenimiento

Todos los autores citados hasta el momento mencionan la posibilidad de que el mantenimiento sea realizado o no por la empresa dueña del equipo, pero ninguno indica qué se debe hacer para tomar esta decisión. Sin embargo, Palmer (2010), sí menciona algunas de las razones para buscar la subcontratación del mantenimiento, aunque la subcontratación no garantiza el logro de estos objetivos:

- Lograr mejor desempeño de los activos.
- Externalizar procesos que no correspondan a la actividad primaria de la empresa.
- Reducir costos.
- Obtener mayor *expertise* en general.
- Reducir riesgos y variabilidad en los costos de mantenimiento.
- Obtener habilidades inusuales para trabajos inusuales.
- Obtener *expertise* o servicios distintivos.
- Obtener herramientas o equipamiento inusuales.
- Permitir aumentos o reducciones de personal más fáciles.
- Disminuir la burocracia para la contratación de personal.
- Reducir problemas con el personal.
- Externalizar tareas poco especializadas.
- Complementar la incorporación de personal en eventos especiales.
- Obtener ayuda en los momentos de emergencias.
- Etc.

Asegura también que después de la efectividad del mantenimiento (la confiabilidad de la disponibilidad de los equipos), la eficiencia del mantenimiento debe ser considerada. Es en ese momento que la reducción de costos debe considerarse y así, manteniendo siempre los objetivos del mantenimiento en mente, la empresa puede concentrarse en la reducción de los costos de las operaciones de mantenimiento.

El National Cooperative Highway Research Program (2011) en su reporte 692 presenta un modelo para la toma de decisiones de subcontratación y privatización del mantenimiento de

flotas vehiculares y de equipo. El modelo está diseñado específicamente para las características de la flota heterogénea del Departamento de Transporte Estatal en Estados Unidos. El proceso de decisión consiste en determinar las condiciones críticas internas y externas (candidatos para la subcontratación y las políticas internas para llevarlo a cabo); analizar las necesidades y las capacidades de mantenimiento y evaluar a los proveedores externos del servicio; analizar costos y desempeño del intercambio con el proveedor externo y, finalmente, tomar las decisiones de subcontratación del mantenimiento. El modelo se presenta en la ilustración 1.

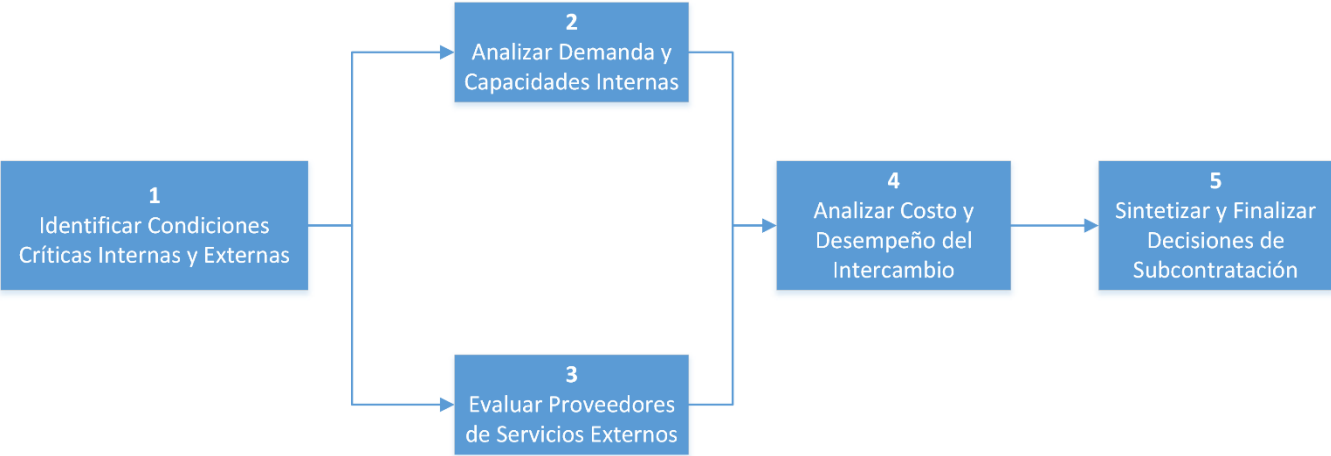


Ilustración 1. Proceso de toma de decisiones de subcontratación. Fuente: NCHRP. Report 692 (2011).

Con estos antecedentes es que este trabajo de investigación pretende desarrollar una metodología que permita a los dueños de flotas, particularmente de transporte de carga, realizar este análisis y poder tomar las decisiones de subcontratación de manera efectiva. El análisis se enfoca en pequeñas y medianas empresas transportistas con flotas compuestas por vehículos de los tipos C2 y C3, es decir, camiones unitarios². No se contemplan otro tipo de flotas; sin embargo, las consideraciones a tomar en cuenta para la aplicación de la metodología en otro tipo de flotas se mencionan en el capítulo tercero de este documento. Se consideran únicamente empresas cuya actividad primaria sea el transporte de mercancías. Por un lado, porque el

² Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2014 (Última versión DOF 14-11-2014): Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal.

transporte de pasajeros exige la observación de distintos estándares de seguridad. Por otro lado, cuando la actividad primaria de la empresa no es el transporte se deben considerar antes que el mantenimiento opciones como el arrendamiento financiero y el arrendamiento total de la flota; temas que no son cubiertos en este análisis.

Capítulo 2: Marco de referencia

Los temas cubiertos en esta sección se presentan agrupados de acuerdo con su relevancia para las distintas etapas de la propuesta metodológica descrita en el tercer capítulo de esta tesis. Se presentan trabajos académicos, documentos técnicos y normas que sirven como base para el desarrollo y la aplicación de la metodología que selección de privatización o subcontratación del mantenimiento.

Etapa 1: Análisis del programa actual de mantenimiento

Diseño del plan de mantenimiento

Silva (2007), presenta en su tesis de grado el diseño de un sistema de mantenimiento para una flota de vehículos de transporte de carga el procedimiento paso a paso para lograr un plan de mantenimiento adaptado al uso de la flota; su trabajo puede ser utilizado como guía en la elaboración de planes de mantenimiento para flotas de vehículos, siempre tomando en consideración las características mecánicas y de operación de éstos. En síntesis, los pasos a seguir son los siguientes:

- Identificación de los sistemas y subsistemas de los vehículos: Es necesario conocer todos los componentes de los vehículos que componen la flota, dividirlos en sistemas y subsistemas y definir cómo funcionan. Los manuales de partes y operación son de ayuda en esta etapa.
- Definición de las funciones primarias y secundarias de los sistemas de los vehículos: Se determina qué trabajo realiza cada vehículo, sus sistemas y sus subsistemas. Una falla se determina cuando alguna de las partes no realiza su función adecuadamente.
- Definición de las variables de operación y control de los vehículos: Determinar las variables para cuantificar la eficiencia y duración de los componentes del vehículo, así como los costos de mantenimiento. La variable primaria, usada como parámetro de medición de las otras, será el tiempo para vehículos que realizan muchas maniobras y

recorren poca distancia; y kilómetros, para vehículos que recorren grandes distancias. Se propone controlar las siguientes variables, en función de la variable primaria, para medir la eficiencia del vehículo:

- Consumo de combustible.
 - Desgaste de las llantas.
 - Costo de las llantas.
 - Costo de la mano de obra.
 - Costo de las refacciones y suministros.
- Definición de los estándares de comportamiento de los vehículos: Con el propósito de utilizar la información en la mejora de los procesos, se documenta estadísticamente los valores de los indicadores de desempeño en otras empresas del ramo, datos estadísticos nacionales o internacionales; o bien, con información de referencia en manuales y documentos técnicos para poder comparar con los datos recopilados de la flota y medir el desempeño de ésta.
 - Documentación del plan de mantenimiento preventivo y formatos necesarios para la administración del mantenimiento: Diseño de la documentación para el registro de información de los equipos, procedimientos de mantenimiento,
 - Análisis de aceite: El análisis de aceite es una herramienta de mantenimiento predictivo utilizada para diagnosticar problemas en los motores de combustión interna. Es auxiliar también en la determinación de las frecuencias de mantenimiento preventivo. Se explica posteriormente en esta sección de la tesis.
 - Análisis de fallas:
 - Definir fallas funcionales, potenciales y modos de falla.
 - Identificar causas y consecuencias de las fallas funcionales.
 - Valorar las causas:
 - Severidad
 - Probabilidad de ocurrencia.
 - Criticidad.
 - Tomar decisiones:
 - Aceptar el riesgo de la falla.
 - Instalación de unidad redundante.

- Definir actividades de mantenimiento preventivo.
 - Programar actividades de mantenimiento predictivo.
 - Proponer rediseño del sistema.
- Determinación de la frecuencia del mantenimiento preventivo: Las actividades anteriores permiten filtrar las actividades de mantenimiento inicialmente propuestas en los manuales de mantenimiento de los vehículos; así, se obtiene una lista de actividades a realizar y una frecuencia derivada de las características de operación propias de la flota.

Silva (2007) contempla además la renovación del parque vehicular como estrategia para la reducción de costos, ya que los vehículos nuevos son más eficientes energéticamente y requieren menos mantenimiento. Así mismo, hace énfasis en la importancia del mantenimiento vehicular para cumplir con los estándares de calidad del aire de las normativas locales (en su caso en Colombia), dado que su incumplimiento generalmente acarrea multas o inmovilizaciones de los vehículos.

Programas de Mantenimiento recomendados por los fabricantes de los vehículos

Durante el tiempo que dure la garantía del equipo y cuando así lo determinen las cláusulas de los seguros, el mantenimiento se realizará en las agencias del fabricante y bajo los lineamientos de tiempo/kilometraje establecidos por éste. Todos los fabricantes tienen manuales de mantenimiento propios que establecen estos tiempos/kilometrajes de acuerdo con ciertas condiciones de operación generalizadas.

A continuación, se presentan las generalidades de uno de estos manuales de forma ilustrativa. El Manual de mantenimiento Columbia para camiones Freightliner, modelos CL112 y CL120 establece cuatro tipos de programa de mantenimiento preventivo en los que los cuatro tipos de servicio se aplican en distintos intervalos de tiempo.

Programa de servicio I: (servicio severo) se aplica a vehículos que recorren hasta 10,000 kilómetros por año o que operan en condiciones severas

Programa de servicio II: (transporte de corta distancia) se aplica a vehículos que anualmente recorren menos de 100,000 kilómetros y funcionan en condiciones normales.

Programa de servicio III: (transporte a larga distancia) es para vehículos que anualmente recorren más de 100,000 kilómetros con un funcionamiento mínimo en zonas urbanas y operación de parada y arranque frecuente.

Programa de servicio IV: (transporte de largas distancias con una configuración optimizada del vehículo) es para vehículos que anualmente recorren **más de** 100,000 kilómetros **y** cumplen con las siguientes condiciones:

- Embrague Meritor Lite Pedal LTD amortiguado/de cerámica, de 15 a 1/2 pulgadas y con collarín.
- Líquido para transmisión sintético usado en la transmisión.
- Eje delantero Meritor FF-961 o FF-981 (capacidad de 12,000 lb) con lubricante sintético.
- Suspensión delantera con bujes de goma libres de mantenimiento para la transmisión con capacidad de 12,000 lb.
- Juntas universales de eje cardán de la serie Meritor RPL o Dana Spicer SPL.
- Lubricante sintético para el eje trasero.
- Equipado con cualquiera de las suspensiones Freightliner AirLiner.
- Equipado con frenos con levas y ajustadores de tensión automatizados Meritor Q-Plus, en la parte delantera y trasera.
- Paquete de sistema de frenos estándares incluyendo un secador de aire Bendix AD-9 (montado en el larguero del chasis derecho, ubicado directamente en el parachoques delantero) con calefacción y un compresor de aire Bendix.
- Dirección hidráulica TRW TAS65.

Tomando en cuenta esas consideraciones, se establecen los intervalos de servicio de la siguiente forma:

Intervalos de servicio para camiones Freightliner, modelos CL112 y CL120 .					
Programa de servicio	Operaciones del intervalo de servicio	Intervalo de mantenimiento			
		Frecuencia	Millas	Km	Horas
Programa I* (servicio severo) vehículos que anualmente recorren menos de 6,000 millas (10,000 km)	Mantenimiento inicial (IM)	Primer trecho de	1,000	1,600	50
	Mantenimiento 1 (M1)	Cada	1,000	1,600	50
	Mantenimiento 2 (M2)	Cada	5,000	8,000	500
	Mantenimiento 3 (M3)	Cada	15,000	24,000	1,500
Programa II† (transporte de recorrido corto) vehículos que anualmente recorren menos de 60,000 millas (100,000 km)	Mantenimiento inicial (IM)	Primer trecho de	10,000	16,000	-
	Mantenimiento 1 (M1)	Cada	10,000	16,000	
	Mantenimiento 2 (M2)	Cada	50,000	80,000	
	Mantenimiento 3 (M3)	Cada	150,000	240,000	
Programa III† (transporte a larga distancia) vehículos que anualmente recorren más de 60,000 millas (100,000 km)	Mantenimiento inicial (IM)	Primer trecho de	25,000	40,000	-
	Mantenimiento 1 (M1)	Cada	25,000	40,000	
	Mantenimiento 2 (M2)	Cada	100,000	161,000	
	Mantenimiento 3 (M3)	Cada	300,000	483,000	
Programa IV† (transporte a larga distancia para configuración optimizada del vehículo) vehículos que anualmente recorren menos de 60,000 millas (100,000 km)	Mantenimiento inicial (IM)	Primer trecho de	25,000	40,000	-
	Mantenimiento 1 (M1)	Cada	25,000	40,000	
	Mantenimiento 2 (M2)	Cada	100,000	161,000	
	Mantenimiento 3 (M3)	Cada	300,000	483,000	
* Para vehículos del Programa I (servicio severo) equipados con un odómetro de horas, utilice los intervalos de mantenimiento con base en las horas de funcionamiento en vez de la distancia					
† Utilice los intervalos de mantenimiento del Programa I (servicio severo) para vehículos que se utilicen en condiciones severas; por ejemplo, en carreteras en muy mal estado o muy polvorientas, con climas extremos, para recorridos de corta distancia frecuentes, en zonas de construcción, en zonas urbanas (camión de basura) o en situaciones agrícolas.					

Tabla 1. Programa de servicio. Fuente: Freightliner (2010)

Los planes de mantenimiento y programas de servicio de los fabricantes establecen un esquema que debería ser tomado como base para la creación de los planes de mantenimiento adaptados. Por lo general, las condiciones de uso a las que corresponden son muy generalizadas y condiciones específicas especiales no son tomadas en cuenta. Así mismo, y dado que son generalizaciones, las proyecciones de tiempo/kilometraje entre servicios tienden a ser conservadoras y más frecuentes de lo necesario.

Normatividad sobre calidad del aire y emisiones vehiculares

Con el propósito de mitigar los efectos nocivos de la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, se establecen normas que determinan los niveles de emisiones máximos permitidos por tipo de vehículo, la frecuencia y la forma en la que se certifica que los vehículos cumplen con la normatividad, las consecuencias del incumplimiento de las normas y; en algunos casos, restricciones en la utilización de los vehículos de acuerdo con los niveles de emisiones de éstos.

En la Ciudad de México (y en dieciocho municipios conurbados del Estado de México³), se aplica el programa “Hoy no circula”, de acuerdo con los lineamientos publicados en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México (2014). Se establecen las reglas de circulación de vehículos automotores con base en hologramas, limitando los días y horarios en los que algunos de éstos pueden circular. Los hologramas “exento”, “00” y “0” están exentos de las restricciones del programa a menos que se declare una contingencia ambiental y se indique lo contrario. Mientras tanto, los vehículos con holograma “1” no pueden circular un día de lunes a viernes (asignado en función de la terminación de las placas del vehículo) y dos sábados al mes en un horario de 5:00 a 22:00 horas. Los vehículos con holograma “2”, dejan de circular un día de lunes a viernes y todos los sábados del mes, en el mismo horario. La obtención del certificado de verificación vehicular incide directamente en la disponibilidad de los equipos ya que sin ella no se puede circular.

³ De acuerdo con lo publicado en la Sección Quinta de la Gaceta Oficial del Gobierno del Estado de México el 1 de julio de 2014

Los niveles de emisiones máximos permitidos, las características de los vehículos a verificar, los métodos de prueba y las sanciones por el incumplimiento están contenidos en las siguientes normas oficiales:

- Norma Oficial Mexicana NOM-EM-167-SEMARNAT-2016 (Última versión DOF⁴ 07-06-2016): Esta es una norma de emergencia con vigencia de 6 meses a partir de la fecha de publicación, pero no se descarta la posibilidad de su permanencia. Introduce nuevos métodos de prueba de emisiones para vehículos y establece límites menores para la obtención de los certificados de verificación vehicular.
- Norma Oficial Mexicana NOM-41-SEMARNAT-2015 (Última versión DOF 10-06-2015): Límites máximos permisibles de emisión de gases provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.
- Norma Oficial Mexicana NOM-42-SEMARNAT-2003 (Última versión DOF 07-09-2005): Límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales o no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos cuyo peso bruto vehicular no exceda los 3,857 kilogramos⁵, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diésel, así como de las emisiones de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible de dichos vehículos.
- Norma Oficial Mexicana NOM-44-SEMARNAT-2006 (Última versión DOF 12-10-2006): Límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales, hidrocarburos no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno partículas y opacidad de humo provenientes del escape de motores nuevos que usan diésel como combustible y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular

⁴ DOF: Diario Oficial de la Federación (México)

⁵ Los vehículos tipo C2 y C3 en los que se enfoca esta tesis no entran en esta clasificación ya que de acuerdo con lo definido en la NOM-012-SCT-2-2014, su peso bruto vehicular, excede las 4 toneladas. Se incluyen las normas relativas a las emisiones de vehículos de menor peso bruto vehicular como referencia en caso de que se el lector desee adaptar esta metodología para su aplicación con un tipo de flota no considerado en los alcances de esta tesis.

mayor de 3,857 kilogramos, así como para unidades nuevas con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kilogramos equipadas con este tipo de motores.

- Norma Oficial Mexicana NOM-45-SEMARNAT-2006 (Última versión DOF 13-09-2007): Límites máximos permisibles de opacidad, procedimiento de pruebas y características técnicas del equipo de medición para vehículos en circulación que usan diésel como combustible.
- Norma Oficial Mexicana NOM-50-SEMARNAT-1993 (Última versión DOF 23-04-2003): Niveles máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos como combustible.
- Norma Oficial Mexicana NOM-76-SEMARNAT-2012 (Última versión DOF 20-09-2012): Niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno provenientes del escape, así como de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y otros combustibles alternos y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kilogramos nuevos en planta.
- Norma Oficial Mexicana NOM-47-SEMARNAT-2014 (Última versión DOF 26-11-2014): Establece las aracterísticas del equipo y el procedimiento de medición para la verificación de los límites de emisión de contaminantes, provenientes de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos.
- Norma Oficial Mexicana NOM-86-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005 (Última versión DOF 30-01-2006): Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental.

A nivel internacional, destacan dos normas que regulan los niveles máximos de emisiones de los motores en vehículos pesados; estando vigentes actualmente⁶, la EPA 2010 para Estados Unidos y la Euro VI para la Unión Europea. Los estándares actuales para vehículos nuevos y

⁶ Con información de Transport Policy: www.transportpolicy.net

en circulación en México son equivalentes a las normas EPA 2004 y Euro IV, pero, de acuerdo con lo establecido en el proyecto de modificación de la norma NOM-044-SEMARNAT-2006, publicado en diciembre de 2014, se busca cumplir con lo establecido en las normas internacionales. El cumplimiento de estos estándares es particularmente importante no sólo en términos de mejoramiento de la calidad del aire, sino porque permite la entrada de vehículos a Estados Unidos para el intercambio de mercancías.

La relación entre el cumplimiento de la normatividad de emisiones y el mantenimiento radica en que, como lo enuncia Silva (2007), el exceso de emisiones contaminantes se resuelve con el mantenimiento excepto en los casos en los que sean provocados por condiciones climáticas y atmosféricas.

Análisis químico de los aceites

De acuerdo con Saldivia (2013), el análisis y monitoreo del aceite en los motores de combustión interna, al presentar una imagen del estado real del motor, ayuda a prevenir fallas y, por lo tanto, paros no programados. El análisis y monitoreo se logra a través de diferentes técnicas, por ejemplo: análisis físico-químico, espectrofotometría por emisión atómica, conteo de partículas y ferrografía. Además, afirman Fygueroa et. al. (2009) que con el análisis se busca establecer la capacidad del aceite para lubricar y el estado del motor al establecer el grado de contaminación del aceite. La degradación del aceite se evalúa midiendo sus propiedades: viscosidad, detergencia, basicidad y constante dieléctrica. Por otro lado, para determinar la contaminación del aceite, se mide el contenido de partículas metálicas de desgaste, combustible, agua, materias carbonosas e insolubles. El análisis del aceite cuantifica estas propiedades y la presencia de contaminantes y a partir de los resultados se hace posible el diagnóstico de las fallas del motor.

La relación entre los síntomas y las posibles fallas se presenta a continuación:

Síntoma	Diagnóstico (o efectos)
Contaminantes metálicos	Desgaste del motor
Dilución con combustible	Inyectores defectuosos, fugas de uniones, bomba de inyección fuera de tiempo o conducción inadecuada.
Dilución con agua	Puede provenir de la condensación de los gases de escape, ingresar al efectuar añadidos de aceite o provenir del sistema de refrigeración: grietas en la culata, junta de la culata defectuosa, o desperfecto del enfriador de aceite.
Contenido de materias carbonosas	Mala combustión debida a riqueza inadecuada de la mezcla, funcionamiento continuado del motor frío, barrido defectuoso o pérdida de compresión.
Contenido de insolubles	Degradación por oxidación que puede deberse a causas como recalentamiento, soplado excesivo, etc.
Viscosidad	Aumenta por degradación con insolubles, agua u oxidación. Disminuye por la dilución con combustible.
Basicidad	La basicidad del aceite permite neutralizar los productos ácidos de la combustión que atacan las piezas lubricadas. Por eso la pérdida de reserva alcalina es uno de los síntomas más utilizados para determinar el periodo de cambio óptimo.
Constante dieléctrica	Indica la contaminación del lubricante. El aumento moderado de ésta es indicador de la presencia de contaminación normal por oxidación, materia carbonosa, etc. Un aumento excesivo indica la presencia de contaminación por agua y partículas metálicas. Finalmente, la presencia de combustible la disminuye.

Tabla 2. Síntomas vs. Diagnósticos resultantes del análisis de los aceites. Fuente: Elaboración propia con información de Fygueroa et. al. (2009)

Etapa 2: Análisis de periodos de reposición por tipo de modelo

Métodos de reposición

En la *Guía práctica para la renovación vehicular* del programa ENERMEX de colaboración entre la CONAE y la Unión Europea, Dartois (1991) establece la importancia de la renovación vehicular, así como los distintos métodos para su realización y los lineamientos que se deben seguir al aplicar cada uno de ellos. Rafael (2004) retoma y explica detalladamente la aplicación de estos métodos para los vehículos de autotransporte pesado en la publicación técnica número 260 del Instituto Mexicano del Transporte y se recomienda su consulta para la selección del que sea más adecuado para aplicar en la flota con la que se esté trabajando.

El costo total de operación de un vehículo nuevo siempre es más elevado que el de una unidad antigua, ya que soporta importantes costos fijos por amortización y depreciación. Sin embargo, su consumo de energía es más bajo y la disponibilidad vehicular mucho mayor. Es decir, comprar unidades nuevas permite programar un mantenimiento adecuado desde el inicio de su incorporación al parque vehicular; esto asegura una conservación mucho más apropiada de la unidad, a la vez que un control más eficaz de los costos de mantenimiento.

La renovación oportuna de los vehículos en las empresas transportistas se refleja en un conjunto de beneficios significativos, ya que además del ahorro en el consumo de combustible, se tienen importantes ventajas tales como los ahorros en el mantenimiento en los primeros años de operación de la unidad y una mayor disponibilidad del vehículo al reducirse los tiempos de inmovilización en el taller.

Los métodos para decidir el periodo óptimo de reposición se pueden clasificar en tres grandes categorías:

- Métodos contables.
 - Método 1: Reposición de activos
 - Método 2: Costo Promedio anual.
- Métodos extracontables.
 - Método 3: Costo unitario anual.
- Métodos de optimización.

- Método 4: Margen de utilidad anual.
- Método 5: Costo anual de posesión.

La selección de un método de reposición dependerá del nivel de organización de la empresa, específicamente de los métodos contables e informáticos que tiene disponibles; pero es aún más importante la disponibilidad de la información y la capacidad de la empresa para recopilarla, organizarla, clasificarla y analizarla. Se advierte que, independientemente de la selección del método de reposición, los resultados sobre las edades a las que se reponen los equipos son similares y los autores recomiendan la sustitución de los vehículos, en la medida que los recursos de la empresa lo permitan, obedeciendo el siguiente orden de prioridad:

- Prioridad 1: vehículos de entre 11 y 13 años (o de edad superior) para evitar los costos ocasionados por una segunda reconstrucción.
- Prioridad 2: vehículos de entre 7 y 10 años.
- Prioridad 3: renovación acelerada a 5 años.

Etapa 3: Calcular el costo de disposición de mantenimiento interno vs. mantenimiento externo

Torres (2005), clasifica los costos del mantenimiento industrial de la forma siguiente:

- Costos fijos: Los que se pagan independientemente del volumen de producción o de las ventas.
- Costos variables: Los que dependen del volumen de producción o ventas
- Costos financieros: En el caso del mantenimiento son los costos de llevar el inventario de refacciones y los costos derivados de tener maquinaria de reserva para asegurar la producción.
- Costo por falla: costo o pérdida de beneficio que la empresa tiene por causas directamente relacionadas con el mantenimiento.

Derivado de estas definiciones y del estado de la práctica, se define el costo de disposición, como la suma de los costos fijos, los costos de mantenimiento y las utilidades que se dejan de ganar mientras la unidad está inutilizada. El cálculo y la información necesaria para realizarlo en el caso de una flota vehicular se presenta en el diagrama de la ilustración 2.

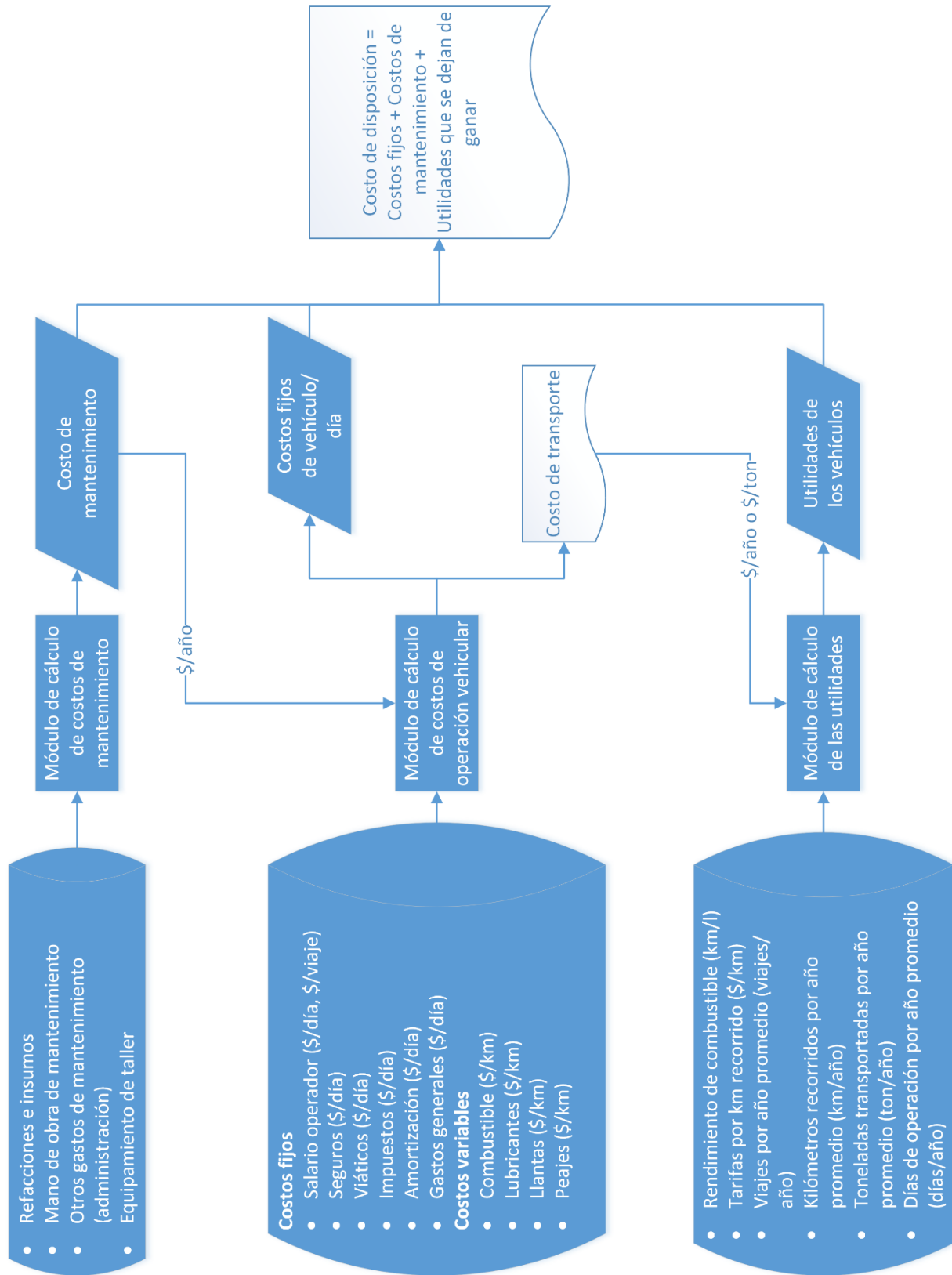


Ilustración 2. Diagrama estructural del modelo de costos. Fuente: Elaboración propia.

Etapa 4: Evaluar la calidad de la reparación

De acuerdo con el National Cooperative Highway Research Program (2011) en su reporte 692 sobre la toma de decisiones de subcontratación y privatización del mantenimiento de flotas vehiculares y de equipo, “la medición del desempeño establece una base objetiva para la evaluación y comparación de las alternativas de subcontratación y ayuda en la toma de decisiones”.

La medición de la calidad de las reparaciones se debe hacer a través de parámetros cuantitativos y objetivos, no apreciativos. Así, es necesaria la recolección, revisión y análisis de la información sobre el mantenimiento de la flota para desarrollar un entendimiento significativo sobre la calidad del mantenimiento. La información a recolectar incluye, entre otras, la siguiente:

- Inventario vehicular.
- Condición de los vehículos.
- Registro de utilización.
- Registro de reparación.
- Administración del mantenimiento.
- Registro de los costos utilización de combustible.
- Registros de inspección vehicular.
- Registros sobre las garantías.
- Inventario de partes.
- Gestión de la mano de obra de mantenimiento.
- Órdenes de trabajo.
- Facturación.
- Desempeño.

Establecen también que la razón básica para medir el desempeño de las operaciones de mantenimiento es la de compararlo con el de otras organizaciones y proveedores para determinar si es posible obtener mejor servicio por el mismo costo o servicios comparables por un menor costo. Así mismo, ofrecen una tabla con ejemplos de indicadores de desempeño para mantenimiento de flotas:

Categoría de desempeño	Indicador de desempeño sugerido	Comentarios
Costo	Costo de mantenimiento por vehículo por tipo de mantenimiento	Total gastado en mano de obra, partes, materiales y otros costos dividido entre el número de vehículos. Permite la evaluación comparativa con los proveedores del servicio en el mercado.
	Costo de reparación promedio (para ciertos tipos de mantenimiento)	Costos unitarios promedio para ciertos tipos de actividades de mantenimiento. Permite la evaluación comparativa con aliados y proveedores externos. El análisis del costo unitario para acciones específicas de mantenimiento puede entregar muestras de comparación útiles.
	Costo de mantenimiento por milla o por hora de operación	Total gastado en mano de obra, partes, materiales y otros costos dividido entre las millas recorridas o las horas trabajadas. Un valor bajo implica que la organización es más eficiente en la utilización y mantenimiento de la flota.
	Costo de partes por vehículo por tipo de vehículo	Usualmente basado en los registros de partes utilizadas, con frecuencia mejor indicador que los costos de mano de obra unitarios.
Calidad del servicio	Frecuencia de descomposturas en servicio	Medido por el promedio de millas u horas entre las descomposturas
	Reparaciones repetidas o retrabajos	Porcentaje de tiempo que un vehículo o pieza de equipamiento regresa al taller por el mismo trabajo durante un periodo de tiempo específico
	Disponibilidad vehicular	Grado al que la flota vehicular está disponible para servicio y, en particular, el grado y frecuencia de cualquier déficit en la disponibilidad vehicular.
	Tasa de adherencia al programa de mantenimiento preventivo	Número de mantenimientos preventivos completados durante el periodo de tiempo programado y la extensión y aumento y disminución en los retrasos en la inspección de los mantenimientos preventivos en los talleres.
	Retraso en las órdenes de trabajo	Medición de todas las órdenes de trabajo activas; indica la correspondencia entre las necesidades de mantenimiento y la capacidad de los talleres.
	Apego a la programación de las órdenes de trabajo	Número de órdenes completadas dentro del tiempo programado; indica la confiabilidad del servicio del taller interno.
	Número de llamadas en el camino	(Llamadas para atender descomposturas en el camino). Indica la calidad del programa de inspección de mantenimiento preventivo o pobres condiciones de operación de los vehículos.
	Utilización de partes	Mide la utilización de partes como una proporción de la producción de mantenimiento y reparación. Puede indicar el rendimiento para ciertas reparaciones.
	Facturación de partes por tipo de parte y tipo de vehículo	Calculado al dividir el promedio de partes en inventario en un periodo entre las partes expedidas en ese periodo. Provee de la base para estimar los costos de llevar el inventario.

Tabla 3. Ejemplos de Indicadores de Desempeño para Mantenimiento de Flotas. Fuente: NCHRP (2011)

Los ejemplos de indicadores de desempeño resultan de utilidad y se busca establecer si los son adecuados o es necesario desarrollar otros que evalúen la calidad de las reparaciones en función de los costos totales, el tiempo, las fallas repetitivas y la disponibilidad de los equipos. Por otro lado, la información a recolectar presenta problemas al mezclar de forma desordenada datos de los insumos con datos sobre los procesos; además de repetir la información en distintos documentos. Lo anterior implica la generación de documentos innecesarios y con ello dificulta el análisis y la interpretación de la información, sobre todo en empresas poco organizadas, ya sea que cuenten con sistemas informáticos dedicados, o no.

Etapa 5: Evaluar la infraestructura del taller interno

Al momento de evaluar la infraestructura del taller interno es necesario saber cuál debería ser ésta. La experiencia técnica y las necesidades conocidas de la flota pueden constituir una guía intuitiva para determinar las características del taller mecánico; sin embargo, un enfoque sistemático es necesario para responder a las necesidades específicas de la flota y las normas de seguridad e higiene. Algunos fabricantes de vehículos y maquinaria ofrecen a sus concesionarios guías y requerimientos sobre la disposición, características e infraestructura que deben tener los talleres; esta información, sin embargo, no es de libre acceso. Existen además guías generales enfocadas principalmente en los factores de mercado a observar durante el emprendimiento de un taller para servicio al público. Nalsen (2009) presenta en su informe de pasantía el diseño y puesta en marcha de un taller mecánico enfocado al servicio de maquinaria pesada, sin embargo, las características generales presentadas en su trabajo y el enfoque sistemático de éste, pueden ser tomados como guía al momento de planear la construcción, ampliación o simplemente evaluar la infraestructura del taller mecánico adecuado para la flota vehicular que se analiza.

Diseño y Puesta en Marcha de Taller Mecánico de Maquinaria Pesada Marca Komatsu en Guarenas, Venezuela

Inicialmente se debe definir el espacio con el que se cuenta para la construcción del taller, ya sea que la empresa cuente con un terreno o una nave industrial o que se tenga que buscar un espacio adecuado para la instalación. Posteriormente se deben definir las operaciones que serán realizadas en el taller, ya que de ellas dependerá el equipamiento, herramental y los puestos de trabajo necesarios. Las actividades a realizar pueden ser, pero no están restringidas a, las siguientes:

- Mantenimiento mayor: reparación de componentes como motores, transmisiones, diferenciales, sistemas hidráulicos, etc.
- Reconstrucción de equipos.
- Hojalatería y pintura.
- Lubricación y engrasado.
- Servicios de mantenimiento preventivo.

De acuerdo con estas actividades se define la necesidad de áreas de trabajo, por ejemplo:

- Almacén de refacciones.
- Almacén de lubricantes y fluidos.
- Oficinas, áreas de descanso, baños y vestidores.
- Cuartos de máquinas: hidroneumático, compresores, etc.
- Áreas de servicio.
- Área de lavado.
- Sala de componentes mayores (área dedicada al desarmado, reparación y restauración de los elementos mayores).

Además, deben ser definidos los sistemas hidráulicos, contra incendio, de iluminación, de aire comprimido y de lubricación cuidando que las capacidades sean suficientes para cumplir con la carga de trabajo del taller. Cuando se trabaje en las dimensiones de las áreas de trabajo, se debe tomar en consideración, como mínimo, lo siguiente:

- La profundidad debe ser suficiente para contener a la unidad de mayor longitud a la que se le prestará servicio.
- La disposición y el tamaño de las áreas de trabajo deben permitir el uso eficiente del espacio, con flexibilidad para acomodar distintos tipos de unidades y trabajar cómodamente en ellas.
- Las áreas deben ser de fácil acceso y facilitar el tránsito de las unidades.
- Se debe facilitar el trabajo de los mecánicos, permitiendo el acceso a los distintos componentes de las unidades, la instalación y remoción de componentes y el transporte de éstos a las áreas de trabajo especializadas.

Finalmente, se debe definir la dotación del taller, es decir los equipos y herramientas necesarias para la realización de los trabajos. Por un lado, encontramos las herramientas que cada mecánico tendrá en sus cajas y áreas de trabajo y por el otro, las herramientas especiales que, debido a un uso en actividades especializadas, no son utilizadas todo el tiempo por los mecánicos. Entre estas últimas encontramos torquímetros, cargadores de baterías, instrumentos de medición, soportes para motores, bancos de pruebas, etc.

Normatividad

Además, las instalaciones deben cumplir con las normas y reglamentaciones vigentes a nivel local, estatal y nacional. Se enlistan a continuación las más importantes a considerar en la República Mexicana:

- Ley Federal del Trabajo (Última Versión DOF 12-06-2015): en particular lo que corresponde al artículo 134 sobre las obligaciones de los patrones en materia de seguridad e higiene, las condiciones de las instalaciones y de los materiales de trabajo, así como de los accesos a las instalaciones, entre otras.

- Reglamento Federal de Seguridad y Salud en el Trabajo (Última Versión DOF 13-11-2014): establece las disposiciones en materia de seguridad y salud que deberán observarse en los centros de trabajo, con la finalidad de prevenir riesgos y garantizar a los trabajadores el derecho a desempeñar sus actividades en entornos que aseguren su vida y salud.
- Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 (Última versión DOF 23-06-2006): Establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.
- Norma Oficial Mexicana NOM-005-STPS-1998 (Última versión DOF 28-06-2011): Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas.
- Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2015 (Última versión DOF 09-10-2015): Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.
- Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012 (Última versión DOF 10-09-2013): Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación.
- Norma Oficial Mexicana NOM-006-SESH-2010 (Última versión DOF 26-11-2010): Talleres de equipos de carburación de Gas L.P. Diseño, construcción, operación y condiciones de seguridad. Aunque es específica para los equipos de carburación de Gas L.P., al ser la única existente actualmente acerca de las instalaciones de talleres, se usa como referencia para el diseño de talleres mecánicos ya que incluye, incluso, el mínimo de herramienta necesario para la operación.
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005 (Última versión DOF 29-11-2012): Especificaciones y lineamientos de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones destinadas a la utilización de la energía eléctrica, a fin de que ofrezcan condiciones adecuadas de seguridad para las personas y sus propiedades.

El diseño de las instalaciones deberá ser realizado siempre por un experto en la materia y debe vigilarse la conformidad con éstas y cualquier otra norma aplicable.

Etapa 6: Evaluar el costo de inversión en infraestructura

Método de umbrales de operación

El método de umbrales de operación surge como una herramienta previa al análisis financiero de viabilidad de un proyecto, adaptada del cálculo del valor presente neto de la inversión; desarrollado por Dartois (2015) y presentado en el seminario de Evaluación de Proyectos de Transporte en la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Para evaluar la rentabilidad de una inversión se hacen análisis financieros que resultan demasiado caros (del 2 al 3% del costo de un proyecto), toman mucho tiempo y requieren una gran cantidad de información detallada para llevarse a cabo. Los análisis financieros son evidentemente necesarios para la puesta en marcha de un proyecto. Sin embargo, si un proyecto resulta no ser rentable para la empresa, los altos costos para realizar los análisis no pueden ser recuperados. De tal forma, el método de umbrales de operación actúa como un filtro simplificado, permitiendo el rechazo temprano de proyectos poco rentables antes de invertir en el análisis financiero. Así, consiste en comparar los beneficios netos promedio proyectados con los necesarios para recuperar el valor inicial de la inversión en el tiempo y con la tasa de rentabilidad anual estipuladas por los inversionistas del proyecto. El método está basado en la ecuación del valor presente neto:

$$VPN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{Ing_i - Cost_i}{(1+r)^i} + VR_n$$

Donde,

VPN = Valor presente neto.

I_0 = Inversión inicial.

Ing_i y $Cost_i$ = Ingresos y costos en el periodo i , respectivamente.

r = tasa de actualización o de rentabilidad anual.

VR_n = Valor remanente.

n = periodo en el que se pretende la recuperación de la inversión inicial.

La recuperación de la inversión inicial corresponde a $VPN = 0$, por lo tanto:

$$I_0 - VR_n = \sum_{i=1}^n \frac{Ing_i - Cost_i}{(1+r)^i}$$

Si consideramos $VR_n = 0$, dado que éste será un valor acordado por las partes que realicen la transacción al momento de la venta, o el valor de los activos en el momento que ésta se realice, podemos no considerarla para el cálculo. Así, en realidad se está subestimando el valor del VPN y se debe considerar que, al finalizar el proyecto, será mayor. Entonces:

$$I_0 = \sum_{i=1}^n \frac{Ing_i - Cost_i}{(1+r)^i} = \sum_{i=1}^n \frac{BN_i}{(1+r)^i}$$

$$I_0 = \overline{BN}_i^* \sum_{i=1}^n \frac{1}{(1+r)^i} = \overline{BN}_i^* \sum_{i=1}^n q^i = \overline{BN}_i^* q^* \left(\frac{1-q^n}{1-q} \right)$$

Donde,

$BN_i = Ing_i - Cost_i =$ Beneficio neto del periodo.

$\overline{BN}_i =$ Beneficio neto promedio.

$$q = \frac{1}{1+r}$$

Por lo tanto,

$$I_0 = \overline{BN}_i^* \frac{(1+r)^n - 1}{r^*(1+r)^n}$$

Y así,

$$\overline{BN}_i = I_0^* \frac{r^*(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

Donde, $\frac{r^*(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$ es lo que se conoce como factor de anualidades constantes.

Así, el beneficio neto promedio resultado de éste cálculo va a ser comparado con el ahorro promedio que se obtiene al utilizar el taller interno en lugar del externo para el mantenimiento de las unidades. Si el ahorro es igual o mayor al beneficio neto promedio calculado para la tasa de rentabilidad y el periodo de recuperación asignados por los inversionistas, entonces, la inversión en el taller interno, puede considerarse rentable.

Capítulo 3: Propuesta metodológica

El objetivo central de la metodología es el de ayudar en la selección entre la privatización o la subcontratación de las operaciones de mantenimiento. Así, en el marco de la evaluación de proyectos, se proponen los pasos a seguir para comparar la rentabilidad de la puesta en marcha de un taller interno frente a la utilización de los servicios de terceros. Sin embargo, teniendo en cuenta los principios del mantenimiento definidos en esta tesis, se pretende que los costos que se comparan en el análisis sean lo más eficientes posible. De tal forma, el diseño de un plan de mantenimiento adaptado y la reposición vehicular forman parte de esta metodología; buscando que sólo se haga el mantenimiento necesario a los equipos necesarios.

Alcances y parámetros de operación de la metodología

Esta metodología se ha desarrollado para funcionar con flotas de vehículos de carga. Sin embargo, puede ser trasladada para su uso en otro tipo de flotas siempre y cuando sean conocidos los costos fijos y variables del mantenimiento, los costos fijos de la empresa, las unidades y los operadores; los tiempos de operación de las unidades y los tiempos de paro por mantenimiento; así como el costo de no tener disponible una unidad, o costo por pérdidas de operación; es decir, poder traducir en términos monetarios la pérdida por el trabajo que no se hizo por realizar el mantenimiento.

Las variables mínimas necesarias para el cálculo del costo de disposición son las siguientes:

- Tiempo de operación: días al año promedio que opera cada unidad.
- Tiempo de paro por mantenimiento: duración del mantenimiento por tipo de servicio.
- Costos fijos de mantenimiento: herramienta, equipamiento, instalaciones y administración del taller interno.
- Costos variables de mantenimiento: refacciones, fluidos (o consumibles) y mano de obra por tipo de servicio. Para el taller externo no es necesario conocer el desglose de estos costos, sólo el total por servicio.

- Otros costos fijos: siempre y cuando existan dependiendo del tipo de flota:
 - Costos fijos de la empresa: costos administrativos no relacionados con el mantenimiento.
 - Costos fijos de las unidades: verificaciones vehiculares, seguros, revistas vehiculares, derechos de tenencia y refrendo, amortización de la unidad.
 - Costos fijos relacionados con los operadores: capacitación para la operación, seguridad e higiene; seguros médicos y de vida, prestaciones (fondo de ahorro para el retiro, caja de ahorro, seguridad social, fondo de ahorro para la vivienda, etc.), equipamiento de seguridad y uniformes, y cualquier parte fija de su salario (si trabaja por comisión como es el caso generalmente el caso con los vehículos de carga, considerar el sueldo base si lo hubiera).
- Costo por pérdidas de operación: en términos generales la ganancia generada por operar la unidad que se pierde al no haber disponibilidad. Puede ser definida de las siguientes formas:
 - La utilidad neta que la unidad podría generar de estar disponible:
 - Tarifa de servicio – costos de operación.
 - Utilidad neta de la empresa anual / días de operación promedio anual / número de unidades en la flota = utilidad neta por día por unidad promedio.
 - La pérdida de producción por la falta de disponibilidad:
 - El valor promedio de la producción diaria de la unidad. Si se trata de un vehículo o maquinaria asociado a una cadena de producción, no sólo se pierde el valor agregado que éste genera, sino todos los costos ocasionados por esta falta de disponibilidad en el resto del ciclo de producción. Incluye, por ejemplo, costos de almacenamiento y el valor de la producción esperada que no haya sido completada a causa de la falta de disponibilidad.
 - Costo social, ambiental o de salud: para flotas de vehículos de transporte público de pasajeros, vehículos de transporte escolar o de personal, ambulancias, etc. Siempre traducido en términos monetarios.

- Valor del tiempo de los pasajeros asociado a los retrasos e incluso a la pérdida de la jornada laboral o de estudios, adicional a la pérdida de utilidades si es el caso.
- Costos asociados al aumento de emisiones por el uso de vehículos particulares vs transporte público.
- Costos asociados a la posibilidad de muerte o daño temporal o permanente provocado por el retraso en el servicio de auxilio por la falta de ambulancias y equipos de rescate.

En cualquiera de los casos se deberán considerar adicionalmente las multas o recargos a los que se haga acreedora la empresa por incumplimiento en el servicio, en caso de que existan contratos con sus clientes que así lo determinen; o el costo de sustitución de la unidad (por renta, subcontratación o traslado de otra unidad) si es que la empresa ofrece este servicio a los clientes.

Criterios de decisión entre actividades del taller internas y externas

Los criterios de decisión entre actividades del taller internas y externas son:

1. Minimización del costo de disposición.
2. Calidad de la reparación.
3. Nivel técnico del taller.
4. Capacidad de inversión en el taller.

El análisis se realizará aplicando el algoritmo de decisión representado en la ilustración 3.

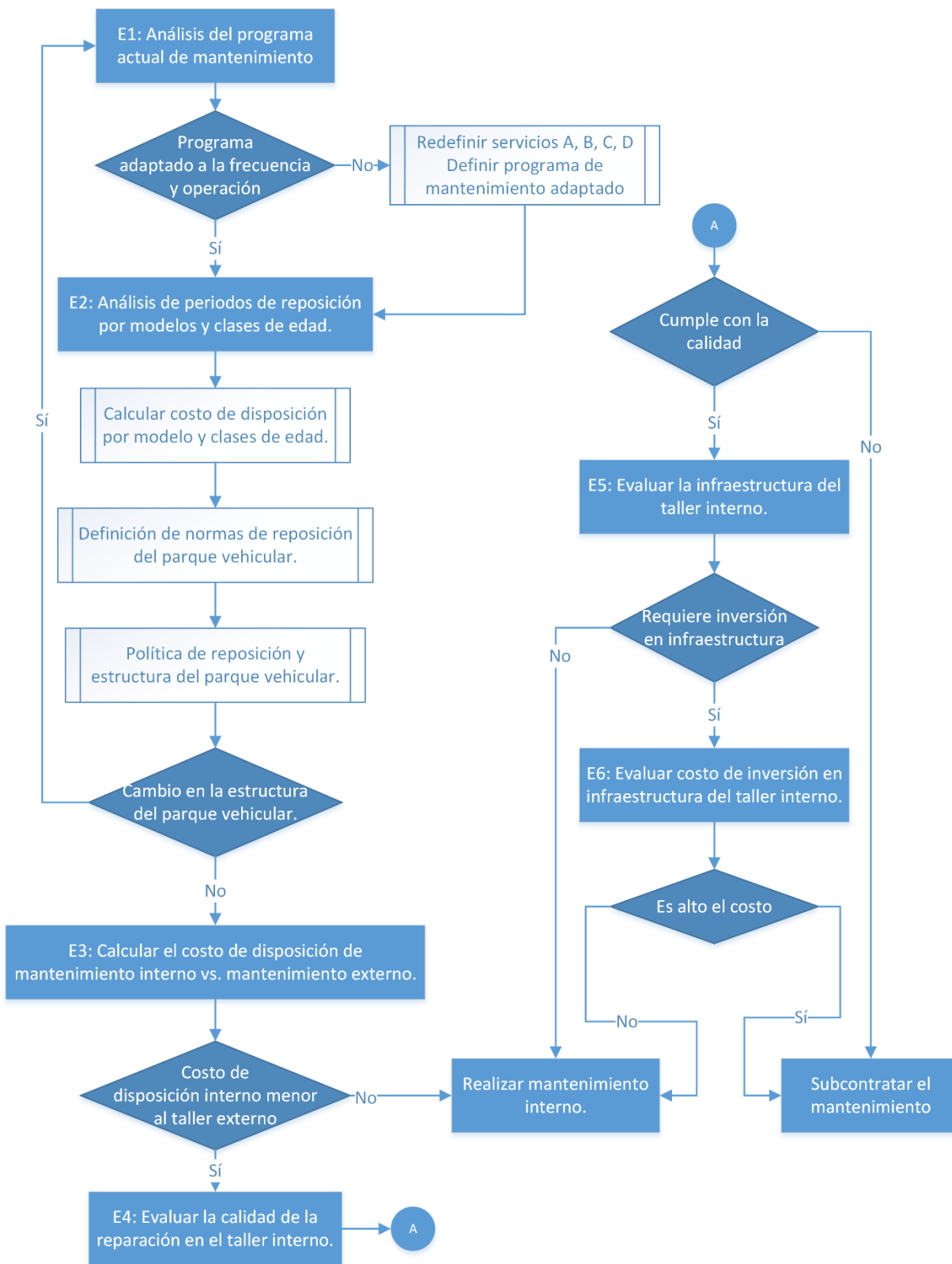


Ilustración 3. Algoritmo de decisión para la toma de decisiones entre mantenimiento interno y externo. Fuente: Elaboración propia.

Las etapas se describen a continuación:

Etapa 1 Análisis del programa actual de mantenimiento	
Entradas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Clasificación por clases de edad y modelos. 2. Muestreo estratificado por clases de edad y modelos. 3. Selección de bitácoras de servicios de mantenimiento (muestreo). ¿Qué tan actualizada: tiempo de inmovilización y odómetro? 4. Planes de mantenimiento recomendado por el fabricante: servicios A, B, C, D. 5. Análisis químico de fluidos (metales y agua en aceite) aleatorio.
Proceso	<ol style="list-style-type: none"> 1. Actualización de bitácoras: <ul style="list-style-type: none"> ○ Fecha de entrada y salida del taller. ○ Odometro de entrada del taller (kms). 2. Analizar por separado: <ul style="list-style-type: none"> ○ Fallas recurrentes (servicio correctivo): detectar anomalías en servicio preventivo (A, B, C, D) y/o refacción. ○ Frecuencias de servicios A, B, C, D; vida útil recomendada por el fabricante ($\leq 70\%$) vs. kilometraje acumulado por los vehículos. ○ Análisis de vida útil de las refacciones (en kms recorridos); vida útil adaptada al uso (hasta 85%). 3. Modificación de las frecuencias de los servicios A, B, C, D de acuerdo con el uso propio de la flota.
Salidas	Programa de mantenimiento adaptado a la frecuencia y operación del vehículo

Etapa 2 Análisis de periodos de reposición por tipo de modelo	
Entradas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Historial de mantenimiento por reconstrucción (muestreo etapa 1): <ul style="list-style-type: none"> ○ Fecha de entrada y salida al taller. ○ Odómetro de entrada al taller (km). 2. Planes de mantenimiento adaptados: servicios A, B, C, D. <ul style="list-style-type: none"> ○ ¿Variación en la frecuencia por grupo de edad? 3. Reportes de evaluación de desempeño del personal de mantenimiento: <ul style="list-style-type: none"> ○ Evaluaciones. 4. Costo de disposición 5. Normas de reposición: <ul style="list-style-type: none"> ○ Edad. ○ Desgaste de la unidad. ○ Homogeneización del parque vehicular. ○ Costo de disposición vs. costo de reposición
Proceso	<ol style="list-style-type: none"> 1. Normas de reposición: <ul style="list-style-type: none"> ○ Edad. ○ Desgaste de la unidad. ○ Homogeneización del parque vehicular. ○ Costo de disposición vs. costo de reposición. 2. De acuerdo con las normas de reposición evaluar y determinar las necesidades de reposición de vehículos.
Salidas	<p>Política de reposición y estructura del parque vehicular</p> <p>Criterio:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Si hay cambios en la estructura vehicular es necesario modificar el programa adaptado de mantenimiento.

Etapa 3 Calcular el costo de disposición de mantenimiento interno vs. mantenimiento externo	
Entradas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Programa de mantenimiento adaptado: <ul style="list-style-type: none"> ○ Costo de refacciones/partes/fluidos. ○ Costo de mano de obra. 2. Costos fijos: <ul style="list-style-type: none"> ○ Costos fijos del vehículo. ○ Costos fijos del taller* (* cuando se hace el cálculo del costo de disposición de mantenimiento externo, no se toman en cuenta). ○ Parte fija del salario integrado del operador. 3. Utilidad promedio por día del vehículo. 4. Tiempo de inmovilización técnica del mantenimiento interno por tipo de servicio en días completos. 5. Precio del mantenimiento externo por tipo de intervención. 6. Tiempo de inmovilización técnica del mantenimiento externo por tipo de servicio en días completos.
Proceso	<p>A. Costo de disposición interno en función de (4):</p> $f(t) = (1) + (2) + (3) * (4)$ <p>B. Costo de disposición externo en función de (6):</p> $f(t) = (2^*) + (3) + (5) * (6)$
Salidas	<p>Costos de disposición internos y externos por tipo de mantenimiento.</p> <p>Criterio:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Mantenimiento interno cuando $(A) < (B)$ ○ Mantenimiento externo cuando $(A) > (B)$

Etapas	
Etapas 1-3	Evaluar la calidad de la reparación en el taller interno
Entradas	<ol style="list-style-type: none">1. Selección de bitácoras de servicios de mantenimiento (mismo muestreo que en la etapa 1).2. Historial de mantenimiento.
Proceso	<ol style="list-style-type: none">3. A partir del historial de mantenimiento, evaluar los siguientes indicadores de desempeño:<ul style="list-style-type: none">o Fallas no detectadas durante el mantenimiento preventivo.o Fallas recurrentes.o Adherencia a la programación.
Salidas	<p>Evaluación de la calidad del mantenimiento interno.</p> <p>Criterio:</p> <ul style="list-style-type: none">o Mantenimiento interno cuando los indicadores de desempeño son satisfactorios: las fallas y retrasos no son atribuibles al personal o a las refacciones. Cuando se detectan los motivos y es posible tomar acciones para corregirlos.o Mantenimiento externo cuando las fallas y los retrasos son atribuibles al personal o a las refacciones y no es posible corregirlos, o las acciones para corregirlos no han dado resultados.

Etapa 5 Evaluar la infraestructura del taller interno	
Entradas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Capacidad instalada actual: <ul style="list-style-type: none"> ○ Planos. ○ Inventario. 2. Infraestructura necesaria: <ul style="list-style-type: none"> ○ Instalaciones y equipos de acuerdo al mantenimiento adaptado.
Proceso	<ol style="list-style-type: none"> 1. Por sección del taller analizar: <ul style="list-style-type: none"> ○ Horas de uso del equipamiento. ○ Horas de espera de los vehículos antes de entrar al taller. ○ % uso de la capacidad instalada. 2. Dimensionar la capacidad necesaria actual. 3. Proyecciones: <ul style="list-style-type: none"> ○ Proyectar la capacidad necesaria en función de las modificaciones al plan de mantenimiento propuesto al final de la Etapa 1. ○ Proyectar el nuevo costo de disposición de la Etapa 2, con los costos fijos de la nueva capacidad instalada.
Salidas	<ul style="list-style-type: none"> ○ Necesidades de inversión en infraestructura del taller. ○ Necesidades de desechar equipos (en función de mantenimiento correctivo y reconstrucción enviados a taller externo).

Etapa 6 Evaluar el costo de inversión en infraestructura	
Entradas	1. Necesidades de inversión en infraestructura del taller obtenidas en la Etapa 4. 2. Cotización de instalación de la infraestructura. 3. Políticas de inversión de capital.
Proceso	Calendario de inversiones.
Salidas	Método de umbrales de operación $U_t=0$.

Etapa 1: Análisis del programa actual de mantenimiento

Clasificación, muestreo y selección

Para evaluar la frecuencia de los servicios y los periodos de renovación de la flota se realizará un muestreo estratificado por clases de edad y modelo. Una vez establecidos los estratos se procede al cálculo del tamaño de la muestra, para lo que se considerará la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N}{1 + \frac{e^2(N-1)}{z^2\sigma^2}}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra que deseamos conocer.

N = tamaño conocido de la población.

e = error muestral o desviación aceptada al extrapolar los resultados.

z = valor de z correspondiente al nivel de confianza. Un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$) corresponde a $z= 1.96$. El nivel de confianza es el riesgo que se acepta al presentar los resultados.

σ^2 = la varianza estimada en la población. Como generalmente será desconocida, se asume que $\sigma^2 =0.25$, que supone la máxima heterogeneidad posible en la población.

Posteriormente se determina el tamaño de la muestra a tomar por cada clase de edad y modelo. Se realiza utilizando el criterio proporcional en lugar del óptimo ya que hemos establecido que las varianzas son desconocidas. Así, se utiliza la siguiente fórmula:

$$n_i = \left(\frac{N_i}{N} \right) n$$

Donde:

n_i = tamaño de la muestra de la clase i .

N_i = tamaño conocido de la población de la clase i .

n = tamaño de la muestra total anteriormente determinada.

N = tamaño conocido de la población total.

Finalmente, se seleccionan al azar los vehículos de cada clase de edad y modelo de acuerdo con los tamaños de muestra calculados. La selección puede ser hecha a través de un sorteo o con la utilización de un programa seleccionador de números al azar. Se incluyen tablas del tamaño de muestra para niveles de confianza del 90, 95 y 99% con errores muestrales del 3 y el 5% en el anexo 1 de este documento.

Ahora bien, en teoría, los estratos definidos son homogéneos, por lo que la varianza tiende a cero. Así, si todos los vehículos son del mismo modelo, edad, operan en las mismas condiciones y las políticas de mantenimiento y reposición son las mismas; un vehículo por clase de edad y modelo es suficiente para realizar el estudio. En este caso, se recomienda que la selección de

la muestra no se haga al azar, sino considerando aquellos vehículos que hayan pasado más tiempo en el taller, con mayor número de incidencias de fallas repetitivas o con la mayor incidencia en realización de servicios preventivos fuera de tiempo, y así considerar los peores escenarios históricos en el cálculo del costo de disposición. En el caso particular de las flotas nuevas o de las proyecciones a futuro, la homogeneidad es particularmente cierta, y dado que no se cuenta con casos especiales porque éstos no han sucedido, una proyección por tipo de vehículo es suficiente.

Evaluación y establecimiento de la frecuencia de los servicios

Cuando se trate con una flota nueva o una proyección futura se trabaja con las frecuencias sugeridas por el fabricante del vehículo, particularmente en los casos en los que las cláusulas de garantía y de los seguros establezcan la realización del mantenimiento en agencia. Al mismo tiempo, se empieza la documentación del mantenimiento con el fin de adecuar la frecuencia del mantenimiento a las necesidades específicas de la flota.

Cuando se trabaje con una flota establecida se debe basar la frecuencia del servicio en la información histórica disponible. Así, se procede a analizar las bitácoras de mantenimiento de las unidades seleccionadas en el muestreo, revisando que se cuente con los odómetros y los tiempos de inmovilización, así como los recursos (refacciones y fluidos) utilizados en cada servicio realizado. Si la información no es suficiente o está incompleta, es necesario establecer un sistema de documentación para obtenerla y trabajar temporalmente con la frecuencia establecida por el fabricante para realizar el resto del análisis. La documentación necesaria se establece en la etapa 4 de esta metodología.

Para determinar si la frecuencia de mantenimiento establecida es la indicada para el uso específico de la flota es necesario evaluar tanto las frecuencias de ocurrencia de fallas como los resultados de los análisis químicos de los fluidos de los vehículos. Por un lado, la ocurrencia de fallas establece un patrón de comportamiento con el que se establece la frecuencia de los servicios especiales: cambios de batería, bomba de aceite, bomba de inyección, cabezas de inyectores, clutch, componentes del sistema de frenos, llantas, tambores, etc. Es posible incluso establecer un patrón en la frecuencia de servicios correctivos relacionados con el mantenimiento de caja de velocidades, alternador, compresor, sistema de dirección, radiador,

turbo, suspensión, ventilador, e incluso ajustes de motor y rectificación, entre otros; aunque no se predigan las fallas. Por otro lado, el análisis químico de fluidos ofrece una imagen del comportamiento de los distintos sistemas del vehículo y ayuda a establecer un programa de mantenimiento básico preventivo (servicio A, B, C y D) completamente adecuado a las condiciones de operación y carga en las que trabaja el vehículo, además de hacer posible la predicción de algunas fallas. Si el análisis químico establece de forma consistente que antes del periodo establecido para el servicio el estado de los fluidos es deficiente se acorta el tiempo entre las operaciones de mantenimiento. Por el contrario, si la calidad es óptima al final del periodo establecido para el servicio, éste se debe alargar; mas no de forma arbitraria sino posponiendo el servicio y realizando análisis periódicos hasta determinar el momento en el que la calidad de los fluidos empieza a deteriorarse.

Cuando no es posible realizar el análisis químico de fluidos, ya sea porque el tipo de flota no lo permite (en el caso de que se desee utilizar esta metodología con una flota que no esté compuesta por unidades con motores de combustión interna), o porque la empresa no puede costear los análisis (flotas muy pequeñas con pocos recursos, por ejemplo el hombre-camión), la frecuencia de los servicios se establece de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y el análisis de la información histórica del mantenimiento. Así, si se detectan fallas recurrentes o diferencias consistentes y significativas con los tiempos establecidos por el fabricante, los tiempos deben ser adecuados en consecuencia. Por ejemplo, si el manual establece la afinación del motor en el servicio D cada 80,000 kilómetros y se reporta que consistentemente los vehículos empiezan a emitir humo negro requiriendo la afinación a los 70,000 kilómetros, se deberá reducir el tiempo entre servicios en consecuencia. En el peor de los casos, cuando las fallas documentadas no establezcan un patrón que determine una insuficiencia en el mantenimiento preventivo, se tomará la frecuencia establecida por el fabricante como buena y si ésta fuera mayor a la necesaria se asumirá el aumento en los costos de mantenimiento mientras no se pueda realizar el análisis químico de los aceites.

La importancia del establecimiento de un plan de mantenimiento adaptado al uso de la flota reside en la subsecuente reducción de los costos totales de mantenimiento y los costos de inmovilización asociados. Por un lado, si la frecuencia del mantenimiento preventivo es insuficiente se producen fallas que implican no sólo la necesidad de hacer mantenimiento

correctivo, sino que acortan la vida útil del vehículo o sus partes. Por otro lado, cuando la frecuencia sobrepasa las necesidades del equipo, se está realizando mantenimiento innecesario y por lo tanto se invierte en más refacciones, fluidos y mano de obra. En ambos casos se ve afectada la disponibilidad de los equipos ya que ésta disminuye tanto si aumenta el mantenimiento correctivo, como si se realiza mantenimiento preventivo innecesario. Esto afecta además la rentabilidad de la inversión en un taller interno ya que, para el cálculo del costo de inmovilización, los costos fijos de mantenimiento se dividen entre los días de inmovilización y entre menos tiempo trabaje el taller, más alto es el costo fijo asignado a cada operación de mantenimiento. Así, por ejemplo, un taller podría ser rentable cuando se realizan diez servicios por vehículo al año y no cuando se realizan sólo dos.

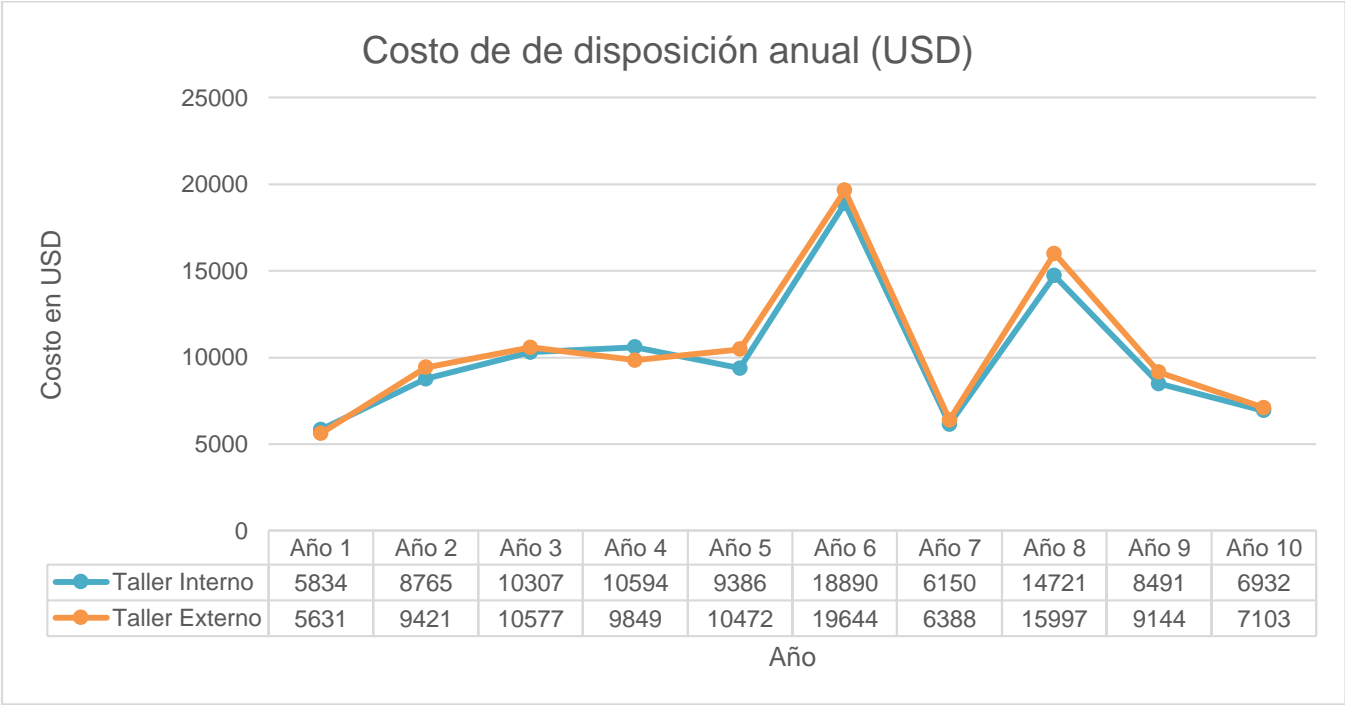
Finalmente, con el fin de cumplir con la normatividad⁷ referente a las emisiones contaminantes de los vehículos, se recomienda la programación de servicios preventivos (y correctivos de ser necesario) que garanticen el correcto funcionamiento del sistema motor y por lo tanto, la obtención del certificado de verificación vehicular necesario para circular.

Etapa 2: Análisis de periodos de reposición por tipo de modelo

El interés de analizar los periodos de reposición de los vehículos para la toma de decisiones de mantenimiento se encuentra en dos factores. En primer lugar, la proyección del costo de disposición es un auxiliar eficiente para determinar el momento ideal para reponer un vehículo. Si se observa la Gráfica 1 donde se muestran los costos de disposición a 10 años de un vehículo, éstos varían año con año. Los costos de disposición representados corresponden al primer escenario en el caso de aplicación que se detalla en el capítulo cuarto de esta tesis. El análisis de los costos nos indica que después del año 5 los costos aumentan e idealmente se debería reponer la unidad antes de incurrir en ellos. Sin embargo, si la política de reposición establece un periodo mayor, o la empresa no cuenta con los recursos necesarios para la reposición será necesario esperar. Ya que la espera hace necesario cubrir el alto costo de disposición en el año 6, la reposición se hará hasta el año 8, habiendo aprovechado el bajo costo de disposición del año 7 y justo antes de realizar cualquier mantenimiento mayor. Es decir,

⁷ Cuando sea aplicable a la flota.

los mantenimientos mayores se presentan en momentos específicos de la vida útil de los vehículos y generalmente después de éstos se goza de un periodo en el que el costo de mantenimiento es bajo. Como regla general, no se hará mantenimiento mayor a un vehículo que se repondrá, ni se repone un vehículo en el que se acaba de hacer un gasto considerable.



Gráfica 1. Costo de disposición anual (USD) para un camión tipo C3. Fuente: Elaboración propia.

En segundo lugar, si se determina que un vehículo va a ser repuesto, éste ya no será considerado en el parque vehicular y por lo tanto tampoco en el plan de mantenimiento ni en la selección del tipo de taller a utilizar.

En esta etapa se procede al cálculo del costo de disposición de acuerdo con el método indicado en la etapa 3 de ésta metodología, en función del tipo de taller que utiliza la empresa que se analiza para realizar el mantenimiento de sus vehículos. Posteriormente, se analiza para cada vehículo cuándo se repondrá. Cuando se determine la venta de un equipo se modificará en consecuencia el plan de mantenimiento, eliminándolo y considerando el equipo con el que será sustituido.

Etapa 3: Calcular el costo de disposición de mantenimiento interno vs. mantenimiento externo

Esta etapa consiste en la comparación entre el costo de disposición del mantenimiento de la flota en un taller interno contra su equivalente en un taller externo para determinar la preferencia de uno sobre el otro en función de los costos y los días disponibles para la operación. Ya sea que se tenga o no un taller interno se deben de calcular los costos por tipo de mantenimiento para el taller interno y para el taller externo. Cuando se esté trabajando con una flota establecida y se cuente con la cantidad suficiente de información, el cálculo de los costos de disposición de uno de los talleres estará basado en los costos reales y el segundo costo de disposición será el resultado de una estimación.

El costo de disposición se define como la suma de los costos fijos, los costos de mantenimiento y la utilidad que se deja de ganar al no tener disponible el vehículo (costo de oportunidad). Dichos costos se han definido previamente. Para cada vehículo en la muestra, se calcula el costo de disposición anual proyectado a 10 años para ambos tipos de talleres, agrupándolos de acuerdo con el tipo de mantenimiento realizado y se comparan los resultados. Si los resultados así lo sugieren, se debe evaluar una tercera opción en la que cierto tipo de operaciones se realicen en un tipo taller y el resto de las operaciones en el otro tipo de taller.

Paso 1: Cálculo del costo total de mantenimiento

Se enlistan las operaciones de mantenimiento agrupadas por tipo de mantenimiento: servicio preventivo básico, servicios especiales, mantenimiento correctivo y reconstrucción. Para cada operación se enlistan los costos de mano de obra, refacciones, insumos y fluidos para el mantenimiento en taller interno y los costos totales para el mantenimiento en taller externo. Se suman los totales por tipo de mantenimiento y así se obtienen los costos variables de mantenimiento.

Es importante diferenciar entre el costo fijo por mantenimiento y el costo fijo de la empresa que se considera como uno de los costos por pérdida de disponibilidad en el cálculo del costo de disposición. El costo fijo de mantenimiento corresponde al costo generado por realizar el mantenimiento, que incluye desde coordinar y documentar las actividades de mantenimiento en

un taller externo, hasta el costo de mantener un taller interno. Este costo fijo de mantenimiento forma parte del costo total de mantenimiento considerado en el cálculo del costo de disposición.

La asignación del costo fijo por tipo de mantenimiento será proporcional a la utilización del taller. Es decir, del total de días que trabajó el taller se calculan las proporciones correspondientes a cada tipo de mantenimiento y en esas mismas proporciones se asigna el costo fijo.

La suma de costos variables y costos fijos de mantenimiento representa el costo total de mantenimiento (C1 en adelante).

Paso 2: Cálculo de los costos fijos

Se calculan los costos fijos no relacionados directamente con el mantenimiento (costos fijos de la empresa, costos fijos de los operadores, seguros, amortización del vehículo, etc.) por día, por vehículo. Es decir, el total de los costos fijos no relacionados con el vehículo se dividen entre el total de unidades y después entre el número de días promedio de operación. Además, para cada unidad, los costos fijos directamente relacionados con el vehículo se dividen entre el número de días promedio de operación. La suma de estos costos se multiplica por el número de días de inmovilización por tipo de mantenimiento y el resultado representa el costo de disposición por costos fijos (C2).

Paso 3: Cálculo de los costos de oportunidad

Se calcula la utilidad promedio por día para cada vehículo. Ésta puede ser calculada de dos formas:

- Tarifa – costo vehicular.
- Utilidad neta / total de unidades / número de días promedio de operación.

La utilidad promedio por día representa la ganancia potencialmente generada por el vehículo de estar disponible para operar. Se multiplica ésta utilidad por el número de días de inmovilización por tipo de mantenimiento para obtener el costo de oportunidad (C3).

Paso 4: Cálculo de los costos de disposición

Para cada tipo de mantenimiento se calculan los costos de disposición por tipo de mantenimiento. Es decir, se suman los costos C1, C2 y C3 por año para cada tipo de mantenimiento en el taller interno y en el taller externo.

Paso 5: Comparación y selección

Los resultados del paso 4 se comparan en pares de mantenimiento interno vs. mantenimiento externo. Existen tres posibles escenarios:

- Para todos los tipos de mantenimiento el costo de disposición del taller interno es menor a aquel del taller externo. Se pasa entonces a la etapa 4 del análisis.
- Para todos los tipos de mantenimiento el costo de disposición del taller interno es mayor a aquel del taller externo. En este caso, se subcontratan todas las operaciones de mantenimiento siempre y cuando la calidad del trabajo del taller externo sea igual o mejor que la del taller interno y que las condiciones para prescindir del taller interno sean favorables (no se cuente con uno, o sea posible disponer de los equipos e instalaciones, así como de los trabajadores).
- El costo de disposición del taller interno es menor a aquel del taller externo sólo para algunos tipos de mantenimiento. En este caso, se considera mantener las operaciones cuyo costo de disposición interno sea menor al externo, en el taller interno y viceversa. Se calculan los costos de disposición para el mantenimiento mixto y se pasa a la etapa 4 del análisis.

El costo de disposición para el mantenimiento mixto debe ser calculado por varias razones. Primero, si resulta que hay equipos e instalaciones que dejan de ser necesarios, el costo fijo de mantenimiento disminuye. Si no existe un taller interno, el proyecto de construcción deberá ser modificado de acuerdo con las nuevas necesidades. De existir un taller interno, se deberá evaluar la medida y la forma en la que se realizará la disminución de capacidad. Por otro lado, la asignación de este costo fijo de mantenimiento varía, ya que se debe asignar proporcionalmente sólo a los tipos de mantenimiento que se realicen dentro del taller interno.

Etapa 4: Evaluar la calidad de la reparación en el taller interno

Esta etapa se realiza únicamente cuando se tengan valores de referencia. Esto implica no sólo la necesidad del registro adecuado de las actividades de mantenimiento, sino también que éstas se hayan realizado. Es decir, si no hay un taller instalado, no se puede evaluar su desempeño. Así, la evaluación se realiza en flotas ya establecidas, no en flotas nuevas o futuras. El criterio de decisión en esta etapa implica que, si la calidad de las reparaciones es satisfactoria, se pasa a la siguiente etapa de la evaluación. Si la calidad no es satisfactoria, se busca corregir los problemas y de no ser posible, se selecciona el taller externo para realizar el mantenimiento. Además, esta evaluación debe aplicarse para las actividades de mantenimiento externo. Por un lado, para comparar los distintos proveedores de servicios entre ellos y, siempre que haya referencias para la comparación, con el taller interno. Por otro lado, para detectar la posibilidad de fallas causadas por la inadecuada operación y resolverlas.

De los ejemplos de indicadores de desempeño propuestos por el National Cooperative Highway Research Program (2011) en su reporte 692, los indicadores relacionados con costos y disponibilidad son considerados en el cálculo del costo de disposición. De tal forma, resta evaluar la frecuencia de descomposturas, fallas repetidas y repeticiones y el cumplimiento de los programas de mantenimiento y las órdenes de trabajo. Se proponen los siguientes indicadores:

- Fallas no detectadas durante el mantenimiento preventivo:
 - En la estación de servicio se deben diagnosticar fallos y corregirlos durante los servicios preventivos.
 - Todo mantenimiento correctivo entra en esta categoría y se busca eliminarlo por completo.
 - En términos generales, si las fallas no se detectan y corrigen durante el mantenimiento preventivo, las inspecciones durante la estación de servicio no se están haciendo de manera adecuada.
 - Si las órdenes de trabajo de los servicios incluyen una lista de las actividades a realizar, se recomienda agregar casillas para la revisión de mangueras, fusibles,

- focos, juntas y tornillería o cualquier otro elemento de falla no detectado en el pasado.
- Se debe dar seguimiento a los problemas detectados por los operadores de los equipos.
- Fallas recurrentes:
 - Fallas detectadas y corregidas durante o fuera del mantenimiento preventivo que se repiten.
 - A partir del historial de mantenimiento, evaluar y descartar las causales de las fallas recurrentes:
 - Refacciones:
 - Es el motivo de la falla: Cambiar de proveedor, evaluar siguiente factor.
 - No es el motivo de la falla: Calidad de la refacción adecuada, descartar como causal, evaluar el siguiente factor.
 - Mano de obra de la reparación:
 - Criterios: presencia de fallas que deberían ser detectados en el servicio preventivo, fallas donde se evidencie el error humano o en las que la refacción y la operación hayan sido descartadas como motivo.
 - Es el motivo de la falla: verificar que el personal tenga los conocimientos necesarios para realizar los trabajos requeridos para el equipo. Capacitación, contratación de personal especializado, programas de incentivos, etc.; evaluar siguiente factor.
 - No es el motivo de la falla: Calidad de la mano de obra adecuada, descartar como causal, evaluar el siguiente factor.
 - Operación:
 - Criterios: presencia de fallas recurrentes indicadoras de operación inadecuada o accidentes; clutch, frenos, suspensión, llantas.
 - Es el motivo de la falla: Cambio de chofer, rotación de choferes, programas de incentivos, etc.

- No es el motivo de la falla: Calidad de la operación adecuada, descartar como causal, terminar evaluación.
- No siempre resulta evidente el motivo de las fallas y la experiencia del gerente de mantenimiento y del jefe de taller son vitales para determinarlo. El gerente y el jefe de taller deberán hacer una inspección del elemento de falla siempre que una falla se repita.
- Adherencia a la programación:
 - Los servicios y reparaciones se realizan en las fechas programadas de acuerdo al odómetro o al horómetro:
 - Sí: pasar al siguiente factor.
 - No: determinar la causa:
 - El equipo estaba trabajando: evaluar la programación de los trabajos y de los servicios y establecer una tolerancia de seguridad para el retraso del mantenimiento.
 - Había otros equipos en el taller al mismo tiempo: evaluar la carga de trabajo del taller. Si el taller tiene una carga elevada sólo algunos días, es necesario reprogramar los servicios para repartirlos eficientemente. Si la carga de trabajo es alta constantemente, es necesario evaluar la capacidad del taller y considerar el aumento del personal, los equipos o la infraestructura en la siguiente etapa de esta evaluación.
 - No hay causa aparente: el personal del taller no está realizando su trabajo a tiempo. Mismas consideraciones que para las fallas repetitivas causadas por la mano de obra.

Para evaluar estos indicadores de desempeño es necesaria la recopilación de información de los servicios y reparaciones. Para facilitar el trabajo de los encargados del mantenimiento, ya sea que la empresa cuente con sistemas informáticos dedicados o no, se debe reducir el número de documentos generados y evitar la repetición de información. Al final, serán necesarios sólo 3 documentos básicos para contener toda la información sobre los vehículos y su mantenimiento. El esquema básico de estos documentos será el que sigue:

- Orden de trabajo-reparación:
 - Número de vehículo que vincula a los 3 documentos entre sí.
 - Reparación o servicio realizado.
 - Refacciones utilizadas (opcional).
 - Horas trabajadas.
 - Fecha programada y fecha de realización.
 - Las órdenes de servicio pueden incluir los pasos a seguir para que el personal marque una casilla conforme se vayan realizando.
 - Responsables del servicio:
 - Autorización.
 - Supervisión.
 - Ejecución.
- Orden de almacén:
 - Número de vehículo y número de orden de trabajo correspondiente.
 - Información de inventario: refacciones y fluidos utilizados, reposición de inventario, inventario de seguridad, etc.
 - Números de parte y otra información relevante para la tenencia del inventario que no resulte relevante en la orden de trabajo.
- Historial del vehículo:
 - Número de vehículo.
 - Clase y edad vehicular.
 - Viajes realizados / toneladas transportadas.
 - Compra de combustible.
 - Lista de trabajos realizados con el número de orden de trabajo correspondiente.
 - Lectura de odómetro/horómetro.

En el anexo 2 se muestran ejemplos de estos documentos.

Etapa 5: Evaluar la infraestructura del taller interno

Con base en las características de la flota y sus necesidades específicas de mantenimiento se deben determinar las características de infraestructura, equipamiento y personal necesarios para el taller interno. El diseño, como se mencionó antes, debe ser hecho por un experto y el gerente de mantenimiento debe trabajar con él para asegurarse de que todas las necesidades sean cubiertas y que todas las regulaciones y normas se cumplan. Como resultado debe obtenerse un diseño a la medida y un presupuesto detallado de la inversión necesaria para su implantación. Si ya existe un taller, se compara el diseño generado con la situación actual para determinar la necesidad de inversión en equipos e infraestructura, o la necesidad de disponer de equipos cuando en la etapa 3 se determine que sólo ciertos tipos de mantenimiento serán realizados en el taller interno y el resto será enviado al taller externo. Una vez determinadas las necesidades y el costo de inversión necesario se evalúa la capacidad de la empresa para invertir.

Etapa 6: Evaluar el costo de inversión en infraestructura

Una vez conocidas las necesidades de inversión, es necesario conocer las políticas de inversión de la empresa y su capacidad para invertir. Si la empresa no tiene capacidad de inversión o no le resulta rentable el proyecto, se deben continuar las operaciones de mantenimiento en el taller externo. Para evaluar la rentabilidad, se utilizará el método de umbrales de operación que indicará los beneficios promedio necesarios para recuperar la inversión en el tiempo y con la tasa de rentabilidad establecidos por los inversionistas. Se utiliza la fórmula:

$$\overline{BN}_i = I_0 * \frac{r^*(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}, \text{ donde:}$$

Donde:

\overline{BN}_i = Beneficio neto promedio.

I_0 = Inversión inicial.

r = tasa de actualización o de rentabilidad anual.

n = periodo en el que se pretende la recuperación de la inversión inicial.

El valor del beneficio neto promedio obtenido con esta fórmula se debe comparar con el beneficio neto promedio proyectado para el taller. **El taller interno no dará servicios a terceros y por lo tanto no generará ingresos.** Sin embargo, sí hay beneficios y éstos corresponden a los ahorros en el costo de disposición sobre el taller externo. Así, el beneficio neto promedio proyectado, corresponde al promedio de estos ahorros. Si el valor proyectado es mayor o igual al calculado, la empresa debe considerar la inversión como rentable y continuar con los pasos necesarios para el proyecto de instalación o aumento de capacidad del taller interno.

Capítulo 4: Caso de aplicación de la metodología

Se aplicó la **metodología en una empresa dedicada al transporte de fletes y mudanzas**. Todos los valores numéricos fueron multiplicados por un factor para mantener la confidencialidad. Además, los valores monetarios son expresados en dólares estadounidenses. Al iniciar con la recolección de la información acerca de las operaciones, se encontró que ésta no es registrada de forma sistemática y no todos los datos necesarios para el análisis pudieron ser recuperados. Actualmente la empresa realiza los cambios de filtros y aceite de manera interna y el resto del mantenimiento en talleres externos.

La flota está compuesta por 23 vehículos de tipo C3, de tal forma que la muestra a analizar es del total de la flota (ver tablas en el anexo 1). Los servicios de todos los vehículos se realizan cada 10,000 km, y sólo incluyen cambios de filtros y aceite, el resto del mantenimiento se realiza cuando resulta necesario. No existe una política de reposición definida y se conservan equipos de hasta 20 años de antigüedad. Finalmente, aunque se cuenta con un registro contable de los costos, no hay registros de los días de inmovilización. Así, se hacen las recomendaciones pertinentes para el registro de las bitácoras de mantenimiento para un análisis futuro y el establecimiento de una política de renovación vehicular adecuada. Por lo tanto y dado que la empresa planea la compra de nuevos vehículos, se realiza el análisis a partir de la etapa 3, considerando 23 vehículos de tipo C3, nuevos e iguales, en tres escenarios teóricos distintos.

Se considera un proyecto de construcción de un taller interno con un costo fijo general de \$1,854 USD al año por vehículo⁸; se considera un taller interno teórico, basado en el diseño de un taller puesto en funcionamiento en 2011 para otra empresa transportista (con una flota de 100 camiones tipo C3), actualizando los costos al 25 de noviembre de 2015 y realizando las reducciones proporcionales para atender una flota de 23 camiones. Se establece un programa de servicios A, B, C y D cada 10,000 kms con un recorrido promedio de 80,000 kms al año por

⁸ Ver costos considerados en el anexo 3

unidad y se consideran los servicios especiales, de mantenimiento correctivo y reconstrucción más comunes⁹. Dado que no existe un taller interno, tampoco se evalúa la etapa 4.

Los tres escenarios que se evaluaron son los siguientes¹⁰:

- Costos de mantenimiento en taller externo más bajos en el mercado.
- Costos de mantenimiento en taller externo más altos en el mercado.
- Costos de mantenimiento en taller externo más altos en el mercado y penalización por incumplimiento en el servicio.

Los datos generales considerados son los siguientes:

- Utilidad neta de la empresa anual: \$122,661 USD.
- Número de vehículos en la flota: 23.
- Número de días de operación promedio por unidad al año: 250.
- Costo fijo por gastos generales de la empresa anual: \$223,020 USD.
- Costo fijo de cada vehículo por pagos de seguros y de derechos anual: \$815 USD.
- Amortización anual de cada vehículo (sólo los primeros 4 años): \$21,250 USD.
- Prestaciones de cada operador por año: \$766 USD.

Con la asistencia de gerente de mantenimiento de la empresa se estimaron las frecuencias de los servicios preventivos especiales, de los servicios correctivos y las reconstrucciones. Los tiempos destinados a cada servicio para el taller interno se basan en la experiencia durante otras puestas en marcha; mientras que los correspondientes al taller externo son el resultado de información recopilada por la empresa transportista con sus proveedores.

⁹ Las actividades consideradas para cada tipo de mantenimiento se encuentran en el anexo 4

¹⁰ El anexo 4 contiene costos de mano de obra, insumos y lubricantes para el mantenimiento en taller interno y el costo total del mantenimiento en taller externo para cada actividad de mantenimiento considerada

En los tres escenarios se consideran los mismos días de inmovilización por mantenimiento para cada tipo de taller. El total de días de mantenimiento por año es el resultado de la suma de los tiempos proyectados por cada intervención considerada para el vehículo.

Para el taller interno:

Días de inmovilización en taller interno	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Mantenimiento Preventivo Básico	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Mantenimiento Preventivo Especial	0	1	3	4	5	3	1	7	1	4
Mantenimiento Correctivo	0	0.2	4	12	0	5	0	15	4	0.2
Reconstrucción	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0
Total Máximo por Año	7	8	14	24	12	35	8	29	12	12

Tabla 4. Días de inmovilización en taller interno. Fuente: Elaboración propia.

Para el taller externo:

Días de inmovilización en taller externo	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Mantenimiento Preventivo Básico	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Mantenimiento Preventivo Especial	0	1	2	3	3	2	0	5	1	3
Mantenimiento Correctivo	0	0.1	2	8	0	3	0	9	2	0.1
Reconstrucción	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0
Total Máximo por Año	5	6	9	17	9	21	6	20	8	9

Tabla 5. Días de inmovilización en taller externo. Fuente: Elaboración propia.

Escenario 1: Costos de mantenimiento en taller externo más bajos en el mercado

Se comparan los costos de disposición entre el taller interno y el externo con los costos del taller externo más bajos en el mercado.

Paso 1: Cálculo del costo total de mantenimiento

Para el taller interno. Los costos variables corresponden a la suma del costo de los materiales y al valor proporcional de los tiempos proyectados para cada intervención por el costo horario de los empleados del taller; ambos basados en el modelo de taller interno teórico que se utiliza para este análisis. Los costos fijos corresponden a la proporción del costo fijo del taller interno por el tiempo de uso de este para cada intervención ($[\text{tiempo de intervención}/\text{suma total de los tiempos de intervención}] * \text{costo fijo total del taller}$).

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Costos Variables de Mantenimiento	\$2,563	\$5,229	\$5,606	\$4,035	\$6,185	\$13,009	\$3,427	\$9,570	\$5,255	\$3,736
Mantenimiento preventivo básico	\$2,563	\$2,563	\$2,563	\$2,563	\$2,563	\$2,563	\$2,563	\$2,563	\$2,563	\$2,563
Mantenimiento preventivo especial	\$0	\$2,592	\$2,941	\$1,238	\$3,622	\$2,748	\$864	\$3,316	\$2,591	\$1,099
Mantenimiento correctivo	\$0	\$74	\$101	\$234	\$0	\$4,209	\$0	\$3,692	\$101	\$74
Reconstrucción	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$3,489	\$0	\$0	\$0	\$0
Costos Fijos de Mantenimiento	\$1,854	\$1,854	\$1,854	\$1,854	\$1,854	\$1,854	\$1,854	\$1,854	\$1,854	\$1,854
Mantenimiento preventivo básico	\$1,854	\$1,562	\$923	\$558	\$1,118	\$374	\$1,733	\$457	\$1,089	\$1,122
Mantenimiento preventivo especial	\$0	\$247	\$413	\$338	\$736	\$158	\$122	\$449	\$153	\$700
Mantenimiento correctivo	\$0	\$46	\$519	\$958	\$0	\$276	\$0	\$949	\$612	\$33
Reconstrucción	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$1,047	\$0	\$0	\$0	\$0
Costo Total de Mantenimiento	\$4,417	\$7,083	\$7,460	\$5,889	\$8,039	\$14,864	\$5,281	\$11,425	\$7,110	\$5,591

Tabla 6. Costo total de mantenimiento para el taller interno, escenarios 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia.

Para el taller externo

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Costos Variables de Mantenimiento	\$4,209	\$7,851	\$8,358	\$6,173	\$9,151	\$16,932	\$5,395	\$13,399	\$7,895	\$5,767
Mantenimiento preventivo básico	\$4,209	\$4,209	\$4,209	\$4,209	\$4,209	\$4,209	\$4,209	\$4,209	\$4,209	\$4,209
Mantenimiento preventivo especial	\$0	\$3,557	\$4,019	\$1,677	\$4,942	\$3,762	\$1,186	\$4,510	\$3,556	\$1,474
Mantenimiento correctivo	\$0	\$84	\$130	\$286	\$0	\$4,638	\$0	\$4,680	\$130	\$84
Reconstrucción	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$4,323	\$0	\$0	\$0	\$0
Costos Fijos de Mantenimiento	\$350	\$350	\$350	\$350	\$350	\$350	\$350	\$350	\$350	\$350
Mantenimiento preventivo básico	\$350	\$310	\$201	\$149	\$221	\$91	\$334	\$121	\$239	\$220
Mantenimiento preventivo especial	\$0	\$36	\$75	\$88	\$128	\$36	\$16	\$111	\$22	\$127
Mantenimiento correctivo	\$0	\$4	\$75	\$112	\$0	\$46	\$0	\$118	\$89	\$3
Reconstrucción	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$177	\$0	\$0	\$0	\$0
Costo Total de Mantenimiento	\$4,559	\$8,200	\$8,708	\$6,523	\$9,501	\$17,282	\$5,745	\$13,749	\$8,245	\$6,117

Tabla 7. Costo total de mantenimiento para el taller externo, escenario 1. Fuente: Elaboración propia.

Para todos los casos, se considera un costo fijo de mantenimiento de \$350 USD anual para las operaciones en talleres externos. Este costo considera \$100 USD para insumos de oficina y \$250 para la administración del mantenimiento; ya que, aun cuando todas las operaciones se realicen en un taller externo, es necesario considerar la planeación, supervisión y documentación de las operaciones de mantenimiento por parte de la empresa.

Se confirma que, a pesar de utilizar los precios más bajos en el mercado para el taller externo, el costo total de mantenimiento es mayor al del taller interno ya que, incluso si los costos fijos, de mano de obra, de refacciones, insumos y lubricantes fueran los mismos que los del taller interno, se debe considerar el factor de ganancia del negocio. Sin embargo, no es posible generalizar ya que, pactados los contratos con los proveedores de las refacciones y lubricantes y las compras al mayoreo, podría darse el caso en el que el costo total de mantenimiento sea menor que el de un taller interno.

Paso 2: Cálculo de los costos fijos

Ya que se trata de los costos fijos no relacionados directamente con el mantenimiento (costos fijos de la empresa, costos fijos de los operadores, seguros, amortización del vehículo, etc.), éstos serán los mismos tanto en el caso del taller interno como en el del taller externo. La diferencia radica en los días de inmovilización que determinarán el costo de disposición por costos fijos para cada tipo de taller.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Costo fijo (diario)	\$130	\$130	\$130	\$130	\$45	\$45	\$45	\$45	\$45	\$45
Costo fijo del vehículo (diario)	\$88	\$88	\$88	\$88	\$3	\$3	\$3	\$3	\$3	\$3
Costo fijo por gastos de la empresa (diario)	\$39	\$39	\$39	\$39	\$39	\$39	\$39	\$39	\$39	\$39
Costo fijo por operación (diario)	\$3	\$3	\$3	\$3	\$3	\$3	\$3	\$3	\$3	\$3
Costo de disposición por costos fijos, taller interno	\$926	\$1,099	\$1,861	\$3,075	\$532	\$1,593	\$344	\$1,304	\$547	\$531
Mantenimiento preventivo básico	\$926	\$926	\$926	\$926	\$321	\$321	\$321	\$321	\$321	\$321
Mantenimiento preventivo especial	\$0	\$146	\$415	\$561	\$211	\$135	\$23	\$316	\$45	\$200
Mantenimiento correctivo	\$0	\$27	\$520	\$1,588	\$0	\$237	\$0	\$667	\$180	\$9
Reconstrucción	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$899	\$0	\$0	\$0	\$0
Costos de disposición por costos fijos, taller externo	\$701	\$790	\$1,221	\$1,644	\$384	\$931	\$254	\$704	\$356	\$387
Mantenimiento preventivo básico	\$701	\$701	\$701	\$701	\$243	\$243	\$243	\$243	\$243	\$243
Mantenimiento preventivo especial	\$0	\$81	\$260	\$415	\$141	\$96	\$11	\$223	\$23	\$141
Mantenimiento correctivo	\$0	\$8	\$260	\$529	\$0	\$121	\$0	\$239	\$90	\$3
Reconstrucción	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$471	\$0	\$0	\$0	\$0

Tabla 8. Costo de disposición por costos fijos para los talleres interno y externo, escenarios 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia.

Se observa en este caso que, dado que los costos fijos son los mismos, pero los días de disposición varían dependiendo del tipo de taller, los costos de disposición por costos fijos varían en la misma proporción. Así, se observa que son mayores los correspondientes al taller interno que los que corresponden al taller externo, dado que, en nuestro caso (como sucede generalmente a menos que se cuente con un taller altamente especializado), las reparaciones y servicios toman más tiempo en el taller interno.

Paso 3: Cálculo de los costos de oportunidad

Tal como en el caso del costo fijo, el costo de oportunidad diario será el mismo para los dos tipos de talleres, y la variación en el costo de disposición se da por la variación en los días de inmovilización. El costo de oportunidad es el resultado de dividir la utilidad neta anual entre el número de días trabajados en promedio al año para obtener la ganancia potencial por día de trabajo. Posteriormente se divide entre el número de vehículos en la flota para obtener el costo de oportunidad diario por vehículo. Así, el costo de disposición por pérdidas de operación, corresponde a la multiplicación del costo de oportunidad diario por el número de días de inmovilización anual.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Costo de oportunidad (diario)	\$21	\$21	\$21	\$21	\$21	\$21	\$21	\$21	\$21	\$21
Costo por pérdidas de operación promedio (diario)	\$21	\$21	\$21	\$21	\$21	\$21	\$21	\$21	\$21	\$21
Costo de disposición por pérdidas de operación, taller interno	\$152	\$180	\$305	\$504	\$252	\$753	\$162	\$617	\$258	\$251
Mantenimiento preventivo básico	\$152	\$152	\$152	\$152	\$152	\$152	\$152	\$152	\$152	\$152
Mantenimiento preventivo especial	\$0	\$24	\$68	\$92	\$100	\$64	\$11	\$149	\$21	\$95
Mantenimiento correctivo	\$0	\$4	\$85	\$260	\$0	\$112	\$0	\$316	\$85	\$4
Reconstrucción	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$425	\$0	\$0	\$0	\$0
Costos de disposición por pérdidas de operación, taller externo	\$115	\$130	\$200	\$270	\$182	\$440	\$120	\$333	\$168	\$183
Mantenimiento preventivo básico	\$115	\$115	\$115	\$115	\$115	\$115	\$115	\$115	\$115	\$115
Mantenimiento preventivo especial	\$0	\$13	\$43	\$68	\$67	\$45	\$5	\$105	\$11	\$67
Mantenimiento correctivo	\$0	\$1	\$43	\$87	\$0	\$57	\$0	\$113	\$43	\$1
Reconstrucción	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$223	\$0	\$0	\$0	\$0

Tabla 9. Costos de disposición por pérdidas de operación para los talleres interno y externo, escenarios 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.

Igual que en el caso de los costos fijos, el costo de disposición asociado con las pérdidas por operación es mayor para el taller interno que para el externo dado que los tiempos de inmovilización son mayores.

Paso 4: Cálculo de los costos de disposición

Para cada tipo de mantenimiento se suman los costos totales de mantenimiento, los costos de disposición por costos fijos y los costos de disposición por pérdidas de operación para obtener el costo de disposición anual total.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Costo de disposición anual, taller interno	\$5,495	\$8,363	\$9,626	\$9,469	\$8,824	\$17,209	\$5,787	\$13,345	\$7,915	\$6,372
Mantenimiento preventivo básico	\$5,495	\$5,202	\$4,563	\$4,199	\$4,154	\$3,410	\$4,768	\$3,492	\$4,125	\$4,158
Mantenimiento preventivo especial	\$0	\$3,009	\$3,837	\$2,229	\$4,670	\$3,105	\$1,019	\$4,230	\$2,810	\$2,094
Mantenimiento correctivo	\$0	\$151	\$1,226	\$3,040	\$0	\$4,834	\$0	\$5,623	\$979	\$121
Reconstrucción	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$5,861	\$0	\$0	\$0	\$0
Costo de disposición anual, taller externo	\$5,375	\$9,120	\$10,130	\$8,436	\$10,067	\$18,653	\$6,120	\$14,786	\$8,769	\$6,687
Mantenimiento preventivo básico	\$5,375	\$5,335	\$5,226	\$5,174	\$4,788	\$4,658	\$4,901	\$4,688	\$4,806	\$4,787
Mantenimiento preventivo especial	\$0	\$3,688	\$4,396	\$2,248	\$5,278	\$3,939	\$1,218	\$4,949	\$3,611	\$1,809
Mantenimiento correctivo	\$0	\$98	\$508	\$1,014	\$0	\$4,862	\$0	\$5,150	\$352	\$91
Reconstrucción	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$5,194	\$0	\$0	\$0	\$0

Tabla 10. Costos de disposición anual para los talleres interno y externo, escenario 1. Fuente: Elaboración propia.

Paso 5: Comparación y selección

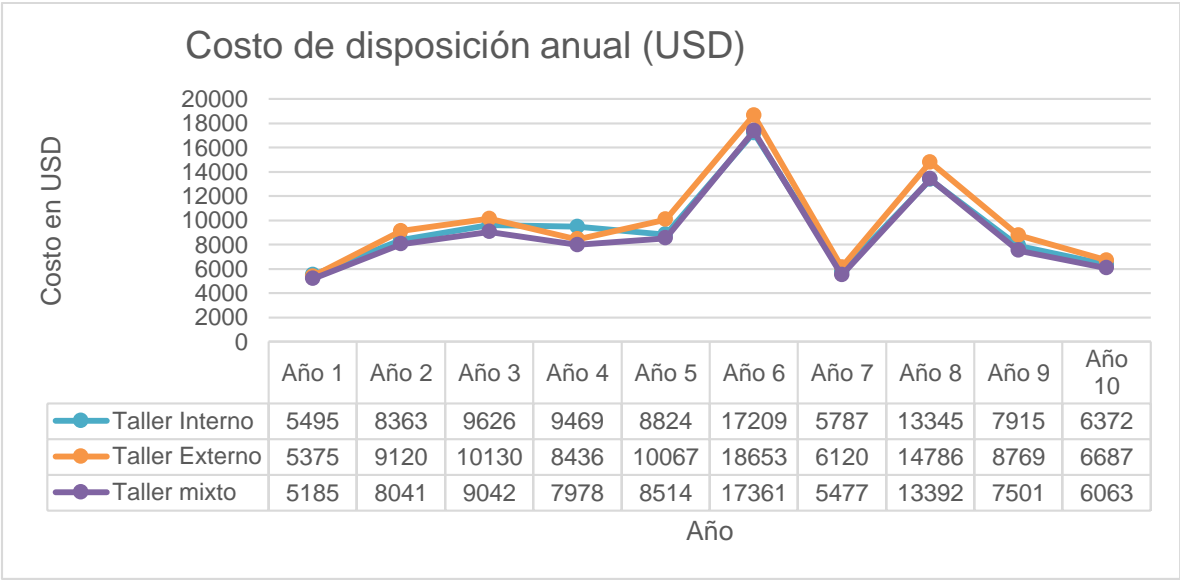
Al comparar los costos de disposición anuales totales, resulta que la mejor opción es realizar el mantenimiento en el taller interno. Sin embargo, si comparamos los costos de disposición por tipo de mantenimiento, encontramos que tanto el mantenimiento preventivo básico, como el especial tienen menores costos si se realizan en el taller interno; mientras que para el mantenimiento correctivo y la reconstrucción se observa lo opuesto. Así, se considera una mejor opción el realizar un mantenimiento mixto, en el que los mantenimientos preventivos se hacen en el taller interno y el resto en el taller externo. El que ahora llamaremos taller mixto tiene,

además, la ventaja de reducir las necesidades de infraestructura del taller interno y por lo tanto los costos fijos de mantenimiento. Se recalcula el costo de disposición anual para el mantenimiento mixto con un costo fijo de mantenimiento de \$1544 USD al año por vehículo¹¹

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Costo de disposición anual, taller mixto	\$5,185	\$8,041	\$9,042	\$7,978	\$8,514	\$17,361	\$5,477	\$13,392	\$7,501	\$6,063
Mantenimiento preventivo básico	\$5,185	\$4,972	\$4,668	\$4,545	\$3,967	\$3,983	\$4,479	\$3,766	\$4,329	\$3,986
Mantenimiento preventivo especial	\$0	\$2,973	\$3,884	\$2,439	\$4,547	\$3,347	\$998	\$4,499	\$2,839	\$1,986
Mantenimiento correctivo	\$0	\$97	\$490	\$993	\$0	\$4,857	\$0	\$5,127	\$333	\$90
Reconstrucción	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$5,174	\$0	\$0	\$0	\$0

Tabla 11. Costo de disposición anual para el taller mixto, escenario 1. Fuente: Elaboración propia.

Considerando los costos de disposición anual para los 3 tipos de talleres, podemos comparar su desempeño en la siguiente gráfica:



Gráfica 2. Comparativa de los costos de disposición anual para los talleres interno, externo y mixto, escenario 1. Fuente: Elaboración propia.

¹¹ Los costos considerados para la infraestructura, herramental y equipamiento se encuentran en el **anexo 4**.

Se observa de manera consistente que la división de los trabajos de mantenimiento en el “taller mixto” es la opción con el menor costo de disposición y por lo tanto se debe proceder a evaluar las etapas 5 y 6 para el taller interno.

Escenario 2: Costos de mantenimiento en taller externo más altos en el mercado

Se comparan los costos de disposición entre el taller interno y el externo con los costos del taller externo más altos en el mercado.

Paso 1: Cálculo del costo total de mantenimiento

Para el taller interno el costo total de mantenimiento es el mismo que en el escenario 1, ya que los únicos costos que han variado son los correspondientes a los precios del taller externo.

Para el taller externo

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Costos Variables de Mantenimiento	\$4,209	\$7,851	\$8,358	\$6,173	\$9,151	\$16,932	\$5,395	\$13,399	\$7,895	\$5,767
Mantenimiento preventivo básico	\$4,209	\$4,209	\$4,209	\$4,209	\$4,209	\$4,209	\$4,209	\$4,209	\$4,209	\$4,209
Mantenimiento preventivo especial	\$0	\$3,557	\$4,019	\$1,677	\$4,942	\$3,762	\$1,186	\$4,510	\$3,556	\$1,474
Mantenimiento correctivo	\$0	\$84	\$130	\$286	\$0	\$4,638	\$0	\$4,680	\$130	\$84
Reconstrucción	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$4,323	\$0	\$0	\$0	\$0
Costos Fijos de Mantenimiento	\$350	\$350	\$350	\$350	\$350	\$350	\$350	\$350	\$350	\$350
Mantenimiento preventivo básico	\$350	\$310	\$201	\$149	\$221	\$91	\$334	\$121	\$239	\$220
Mantenimiento preventivo especial	\$0	\$36	\$75	\$88	\$128	\$36	\$16	\$111	\$22	\$127
Mantenimiento correctivo	\$0	\$4	\$75	\$112	\$0	\$46	\$0	\$118	\$89	\$3
Reconstrucción	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$177	\$0	\$0	\$0	\$0
Costo Total de Mantenimiento	\$4,559	\$8,200	\$8,708	\$6,523	\$9,501	\$17,282	\$5,745	\$13,749	\$8,245	\$6,117

Tabla 12. Costo total de mantenimiento para el taller externo, escenarios 2 y 3. Fuente: Elaboración propia.

Nuevamente, y ya que se consideran costos mayores para el taller externo, el costo de mantenimiento total es mayor para éste que para el taller interno.

Dado que sólo los costos de mantenimiento del taller externo cambiaron, no hay cambios en el cálculo de los costos fijos ni en el de los costos de oportunidad. Los cambios, directamente relacionados por los cambios en el costo total de mantenimiento del taller externo se dan en el costo de disposición del taller externo.

Paso 4: Cálculo de los costos de disposición

Para cada tipo de mantenimiento se suman los costos totales de mantenimiento, los costos de disposición por costos fijos y los costos de disposición por pérdidas de operación para obtener el costo de disposición anual total.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Costo de disposición anual, taller interno	\$5,495	\$8,363	\$9,626	\$9,469	\$8,824	\$17,209	\$5,787	\$13,345	\$7,915	\$6,372
Mantenimiento preventivo básico	\$5,495	\$5,202	\$4,563	\$4,199	\$4,154	\$3,410	\$4,768	\$3,492	\$4,125	\$4,158
Mantenimiento preventivo especial	\$0	\$3,009	\$3,837	\$2,229	\$4,670	\$3,105	\$1,019	\$4,230	\$2,810	\$2,094
Mantenimiento correctivo	\$0	\$151	\$1,226	\$3,040	\$0	\$4,834	\$0	\$5,623	\$979	\$121
Reconstrucción	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$5,861	\$0	\$0	\$0	\$0
Costo de disposición anual, taller externo	\$5,801	\$9,972	\$11,041	\$9,094	\$11,070	\$20,622	\$6,684	\$16,315	\$9,626	\$7,296
Mantenimiento preventivo básico	\$5,801	\$5,761	\$5,652	\$5,600	\$5,214	\$5,084	\$5,327	\$5,114	\$5,232	\$5,213
Mantenimiento preventivo especial	\$0	\$4,103	\$4,866	\$2,444	\$5,855	\$4,378	\$1,357	\$5,475	\$4,026	\$1,981
Mantenimiento correctivo	\$0	\$108	\$524	\$1,049	\$0	\$5,433	\$0	\$5,726	\$368	\$102
Reconstrucción	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$5,726	\$0	\$0	\$0	\$0

Tabla 13. Costos de disposición anual para los talleres interno y externo, escenario 2. Fuente: Elaboración propia.

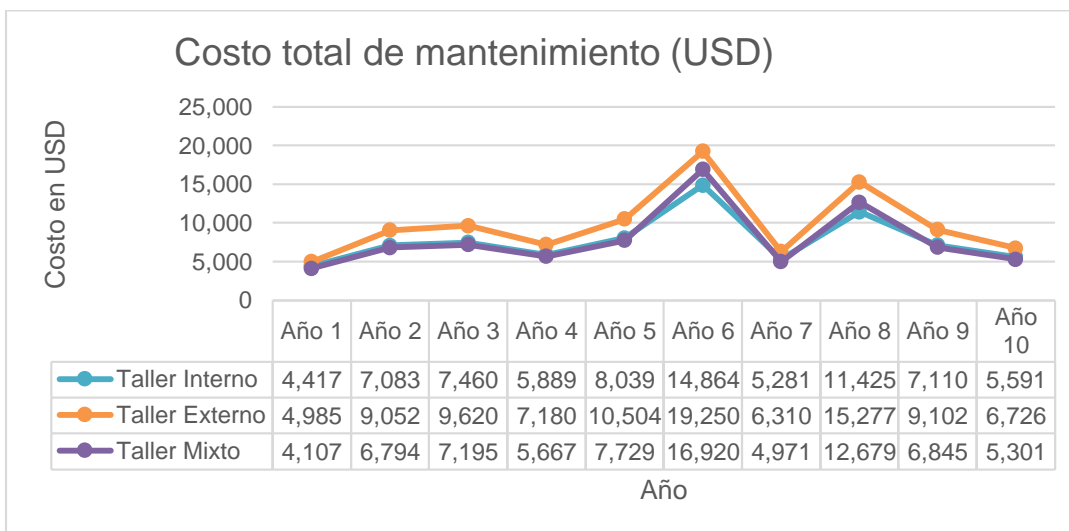
Paso 5: Comparación y selección

Al igual que en escenario 1, al comparar los costos de disposición por tipo de mantenimiento, encontramos que tanto el mantenimiento preventivo básico, como el especial tienen menores costos si se realizan en el taller interno; mientras que para el mantenimiento correctivo y la reconstrucción se observa lo opuesto. Así, se considera una mejor opción el realizar un mantenimiento mixto, en el que los mantenimientos preventivos se hacen en el taller interno y el resto en el taller externo. Este taller mixto tiene las mismas características que el anterior y por lo tanto un costo fijo de mantenimiento de \$1544 USD al año por vehículo con el que se recalculará el costo de disposición para mantenimiento mixto.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Costo de disposición anual, taller mixto	\$5,185	\$8,052	\$9,059	\$8,013	\$8,514	\$18,464	\$5,477	\$13,968	\$7,517	\$6,073
Mantenimiento preventivo básico	\$5,185	\$4,974	\$4,707	\$4,602	\$3,967	\$4,122	\$4,479	\$3,814	\$4,390	\$3,987
Mantenimiento preventivo especial	\$0	\$2,973	\$3,902	\$2,474	\$4,547	\$3,406	\$998	\$4,546	\$2,848	\$1,987
Mantenimiento correctivo	\$0	\$104	\$449	\$937	\$0	\$5,388	\$0	\$5,607	\$279	\$99
Reconstrucción	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$5,549	\$0	\$0	\$0	\$0

Tabla 14. Costo de disposición anual para el taller mixto, escenario 2. Fuente: Elaboración propia.

Considerando los costos de disposición anual para los 3 tipos de talleres, podemos comparar su desempeño en la siguiente gráfica:



Gráfica 3. Comparativa de los costos de disposición anual para los talleres interno, externo y mixto, escenario 2. Fuente: Elaboración propia.

Se observa de manera consistente que la división de los trabajos de mantenimiento en el “taller mixto” es la opción con el menor costo de disposición y por lo tanto se debe proceder a evaluar las etapas 5 y 6 para el taller interno.

Escenario 3: Costos de mantenimiento en taller externo más altos en el mercado y penalización por incumplimiento en el servicio

Este escenario utiliza los mismos costos de fijos y de mantenimiento total que el escenario 2. La diferencia es la existencia de una penalización por el trabajo no realizado. A menudo, los costos por pérdidas de operación no implican solamente la pérdida del pago por el servicio, sino pérdidas de producción o penalizaciones impuestas en los contratos con los clientes. En este escenario se contempló el caso hipotético en el que un camión repartiera materiales dentro de una obra de construcción de vivienda que genera un valor de \$60,459 USD diarios en 5 frentes. Si el camión es parado y no puede repartir los materiales para uno de los frentes, no puede ser sustituido por otro ya que el sindicato de trabajadores de la localidad no permite la subcontratación de vehículos y la empresa tiene toda su flota ocupada. Sin embargo, se puede hacer el reparto con retrasos con la ayuda de los otros vehículos y maquinaria dentro de la obra. Así, el retraso y la pérdida de producción corresponde a sólo el 10% del valor esperado para esta, \$1209 USD. Los valores calculados para los pasos 1 y dos son los mismos que en el escenario 2 y observamos cambios a partir del cálculo del costo de disposición por pérdidas de operación.

Paso 3: Cálculo de los costos de oportunidad

El costo de disposición por pérdidas de operación para cada tipo de taller varía en función de los días de inmovilización.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Costo de oportunidad (diario)	\$1,231	\$1,231	\$1,231	\$1,231	\$1,231	\$1,231	\$1,231	\$1,231	\$1,231	\$1,231
Costo por pérdidas de operación promedio (diario)	\$1,231	\$1,231	\$1,231	\$1,231	\$1,231	\$1,231	\$1,231	\$1,231	\$1,231	\$1,231
Costo de disposición por pérdidas de operación, taller interno	\$8,757	\$10,398	\$17,602	\$29,086	\$14,525	\$43,443	\$9,372	\$35,572	\$14,910	\$14,474
Mantenimiento preventivo básico	\$8,757	\$8,757	\$8,757	\$8,757	\$8,757	\$8,757	\$8,757	\$8,757	\$8,757	\$8,757
Mantenimiento preventivo especial	\$0	\$1,384	\$3,922	\$5,307	\$5,768	\$3,692	\$615	\$8,614	\$1,231	\$5,460
Mantenimiento correctivo	\$0	\$256	\$4,922	\$15,023	\$0	\$6,460	\$0	\$18,201	\$4,922	\$256
Reconstrucción	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$24,534	\$0	\$0	\$0	\$0
Costos de disposición por pérdidas de operación, taller externo	\$6,629	\$7,475	\$11,552	\$15,551	\$10,475	\$25,395	\$6,937	\$19,217	\$9,706	\$10,552
Mantenimiento preventivo básico	\$6,629	\$6,629	\$6,629	\$6,629	\$6,629	\$6,629	\$6,629	\$6,629	\$6,629	\$6,629
Mantenimiento preventivo especial	\$0	\$769	\$2,461	\$3,922	\$3,845	\$2,615	\$308	\$6,076	\$615	\$3,845
Mantenimiento correctivo	\$0	\$77	\$2,461	\$4,999	\$0	\$3,307	\$0	\$6,512	\$2,461	\$77
Reconstrucción	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$12,844	\$0	\$0	\$0	\$0

Tabla 15. Costos de disposición por pérdidas de operación para los talleres interno y externo, escenario 3. Fuente: Elaboración propia.

Igual que en los casos anteriores, el costo de disposición asociado con las pérdidas por operación es mayor para el taller interno que para el externo dado que los tiempos de inmovilización son mayores.

Paso 4: Cálculo de los costos de disposición

Para cada tipo de mantenimiento se suman los costos totales de mantenimiento, los costos de disposición por costos fijos y los costos de disposición por pérdidas de operación para obtener el costo de disposición anual total.

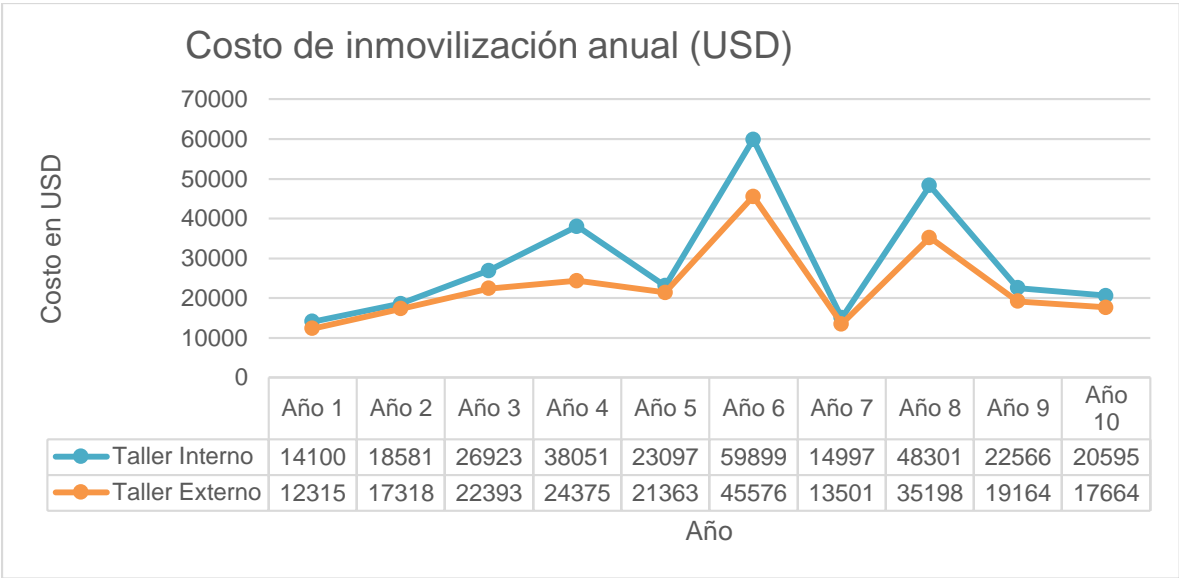
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Costo de disposición anual, taller interno	\$14,100	\$18,581	\$26,923	\$38,051	\$23,097	\$59,899	\$14,997	\$48,301	\$22,566	\$20,595
Mantenimiento preventivo básico	\$14,100	\$13,808	\$13,169	\$12,804	\$12,759	\$12,015	\$13,374	\$12,098	\$12,730	\$12,763
Mantenimiento preventivo especial	\$0	\$4,370	\$7,692	\$7,444	\$10,338	\$6,733	\$1,623	\$12,694	\$4,020	\$7,459
Mantenimiento correctivo	\$0	\$403	\$6,063	\$17,803	\$0	\$11,182	\$0	\$23,509	\$5,816	\$373
Reconstrucción	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$29,969	\$0	\$0	\$0	\$0
Costo de disposición anual, taller externo	\$12,315	\$17,318	\$22,393	\$24,375	\$21,363	\$45,576	\$13,501	\$35,198	\$19,164	\$17,664
Mantenimiento preventivo básico	\$12,315	\$12,276	\$12,166	\$12,115	\$11,729	\$11,599	\$11,842	\$11,628	\$11,746	\$11,727
Mantenimiento preventivo especial	\$0	\$4,859	\$7,284	\$6,299	\$9,634	\$6,948	\$1,659	\$11,446	\$4,631	\$5,760
Mantenimiento correctivo	\$0	\$183	\$2,942	\$5,962	\$0	\$8,683	\$0	\$12,124	\$2,786	\$177
Reconstrucción	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$18,347	\$0	\$0	\$0	\$0

Tabla 16. Costos de disposición anual para los talleres interno y externo, escenario 3. Fuente: Elaboración propia.

Paso 5: Comparación y selección

Al comparar los costos de disposición anuales totales y los costos de disposición por tipo de mantenimiento entre los dos talleres, resulta que la mejor opción es realizar todas las operaciones de mantenimiento en el taller externo. Las pérdidas de producción son tan altas que la diferencia entre los costos de mantenimiento total resulta insignificante frente a la diferencia entre los días de inmovilización que implica cada taller.

Se compara el desempeño de los dos tipos de talleres en función de los costos de disposición anual en la siguiente gráfica:



Gráfica 4. Comparativa de los costos de disposición anual para los talleres interno y externo, escenario 3. Fuente: Elaboración propia.

Se observa de manera consistente que el taller externo es la opción con el menor costo de disposición y por lo tanto se debe terminar el análisis para este escenario.

Etapa 5: Evaluar la infraestructura del taller interno

Para los escenarios 1 y 2 se considera un taller mixto con una inversión inicial para el taller interno correspondiente de \$432,529 USD. Los costos del taller interno mixto se detallan en el anexo 3 de este documento.

Etapa 6: Evaluar el costo de inversión en infraestructura

Considerando los beneficios netos para cada escenario como el ahorro resultado de utilizar el taller interno en lugar del externo (costo de disposición taller externo-costos de taller interno, para los servicios preventivos y servicios preventivos especiales en ambos escenarios), se calcularon los ahorros y el promedio de éstos. Posteriormente, se multiplicó el beneficio neto promedio por

el número de unidades en la flota (23 unidades) para obtener el beneficio neto promedio total del taller mixto en cada escenario. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Promedio	BNi Promedio Total
BNi Escenario 1	190	1078	1070	438	1553	1267	643	1371	1248	623	948	21805
BNi Escenario 2	616	1917	1908	968	2556	1935	1207	2228	2021	1220	1658	38124

Tabla 17. Beneficios netos proyectados por año para los escenarios 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.

En ambos casos se consideraron tasas de retorno del 5%, 10% y 15% con periodos de recuperación de 5, 10, 20 y 30 años para cada una. Así, se calculó el beneficio neto promedio necesario para que la inversión sea rentable en esas condiciones. Dado que la diferencia entre ambos escenarios es el costo del mantenimiento en el taller externo, el costo de la inversión es el mismo y, por lo tanto, los beneficios promedio necesarios son los mismos:

r =	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.15	0.15	0.15
n = (años)	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30
BNi promedio calculado	99903	56014	34707	28137	114100	70392	50805	45882	129030	86182	69101	65874

Tabla 18. Beneficios promedio necesarios para la viabilidad del taller mixto, escenarios 1 y 2; y escenarios 1, 2 y 3 con dos turnos en el taller interno. Fuente: Elaboración propia.

Además, utilizando la herramienta Solver de Microsoft Excel, se busca la combinación de tasa de retorno y periodo de recuperación para la cual el beneficio neto promedio calculado coincida con el proyectado para cada escenario manteniendo una tasa de retorno mayor al 5% y un periodo de recuperación menor a 30 años. La herramienta no encontró ninguna solución posible para el escenario 1. Para el escenario 2: se puede esperar un retorno del 5% con recuperación de la inversión a partir del año 17. Considerando otros factores, como el control de la disponibilidad de la flota y la capacidad de una planeación efectiva que permita una ocupación total de los tiempos de taller, entre otros, la empresa deberá considerar si continúa o no con la evaluación financiera del proyecto.

Con la finalidad de observar el comportamiento de la rentabilidad de los talleres se modifican dos factores para los 3 escenarios. Primero, se considera agregar un segundo turno al taller interno, lo que cambia los costos de disposición y resulta en la recomendación de usar el taller interno para los servicios preventivos y los servicios preventivos especiales para el escenario

3, ya que básicamente se reducen los días de inmovilización del taller interno a la mitad. Los costos de inmovilización para los talleres mixtos de los 3 escenarios se presentan a continuación:

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Costo de disposición anual, escenario 1, taller mixto, dos turnos	4646	7417	8262	7150	8122	17025	5224	12940	7231	5679
Mantenimiento preventivo básico	4646	4431	4101	3939	3730	3708	4242	3480	4052	3748
Mantenimiento preventivo especial	0	2887	3630	2168	4391	3231	982	4282	2800	1838
Mantenimiento correctivo	0	99	531	1043	0	4868	0	5178	379	92
Reconstrucción	0	0	0	0	0	5217	0	0	0	0
Costo de disposición anual, escenario 2, taller mixto, dos turnos	4646	7428	8278	7185	8122	18128	5224	13516	7247	5689
Mantenimiento preventivo básico	4646	4435	4168	4023	3730	3886	4242	3551	4153	3751
Mantenimiento preventivo especial	0	2888	3660	2225	4391	3306	982	4357	2814	1840
Mantenimiento correctivo	0	104	449	937	0	5388	0	5607	279	99
Reconstrucción	0	0	0	0	0	5549	0	0	0	0
Costo de disposición anual, escenario 3, taller mixto, dos turnos	8949	12486	16927	19310	15258	40115	9829	28752	14573	12751
Mantenimiento preventivo básico	8949	8738	8471	8326	8033	8188	8545	7854	8456	8053
Mantenimiento preventivo especial	0	3568	5588	5135	7225	5120	1284	8892	3419	4523
Mantenimiento correctivo	0	180	2868	5849	0	8637	0	12006	2698	175
Reconstrucción	0	0	0	0	0	18170	0	0	0	0

Tabla 19. Costos de disposición anual para los talleres mixtos con dos turnos en el taller interno, escenarios 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia.

Los beneficios netos proyectados para los 3 escenarios son los siguientes:

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Promedio	BNi Promedio Total
BNi Escenario 1, taller mixto, dos turnos	728	1705	1891	1316	1945	1658	896	1875	1564	1009	1459	33549
BNi Escenario 2, taller mixto, dos turnos	1155	2541	2688	1796	2948	2271	1460	2681	2290	1604	2143	49298
BNi Escenario 3, taller mixto, dos turnos	3366	4828	5391	4952	6105	5238	3672	6328	4502	4911	4930	113380

Tabla 20. Beneficios promedio necesarios para la viabilidad del taller mixto con dos turnos en el taller interno, escenarios 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia.

En estos 3 casos, los beneficios promedio necesarios son los mismos que en los dos casos anteriores. Sin embargo, los resultados arrojados por la herramienta Solver para encontrar el valor de $r \geq 0.05$ y $n \leq 30$ años para los distintos valores de los beneficios netos promedio proyectados, sí cambian y se muestran a continuación:

	$r \geq 0.05$	$n \leq 30$ años
Escenario 1, taller mixto, dos turnos	0.05	21
Escenario 2, taller mixto, dos turnos	0.096	20
Escenario 3, taller mixto, dos turnos	0.15	6

Tabla 21. Combinación de $r \geq 0.05$ y $n \leq 30$ años encontrada por Solver para la viabilidad de los talleres mixtos en los escenarios 1, 2 y 3 con dos turnos en el taller interno, con los beneficios netos proyectados. Fuente: Elaboración propia.

Se observa que, en todos los casos, aumenta la viabilidad de la construcción de los talleres.

En segundo lugar, se considera, además de agregar un segundo turno, aumentar la flota. **El grado de ocupación de los talleres podría jugar un papel importante en la rentabilidad** y por lo tanto se consideran los 3 escenarios, pero con una flota de 100 vehículos. Evidentemente, en este caso la inversión inicial es mayor ya que las necesidades de infraestructura y equipamiento para atender 100 vehículos es mayor.

Los costos de disposición para los talleres mixtos son los siguientes:

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Costo de disposición anual, escenario 1, taller mixto, dos turnos, 100 vehículos	4229	6971	7679	6433	7596	15931	4795	12104	6698	5156
Mantenimiento preventivo básico	4229	4048	3762	3623	3414	3366	3842	3192	3666	3428
Mantenimiento preventivo especial	0	2827	3478	1955	4182	3087	953	3979	2746	1639
Mantenimiento correctivo	0	96	439	855	0	4744	0	4933	286	89
Reconstrucción	0	0	0	0	0	4734	0	0	0	0
Costo de disposición anual, escenario 2, taller mixto, dos turnos, 100 vehículos	4229	6982	7695	6469	7596	17034	4795	12680	6714	5167
Mantenimiento preventivo básico	4229	4053	3829	3708	3414	3543	3842	3264	3767	3430
Mantenimiento preventivo especial	0	2828	3509	2012	4182	3162	953	4054	2760	1640
Mantenimiento correctivo	0	101	357	749	0	5263	0	5362	187	96
Reconstrucción	0	0	0	0	0	5066	0	0	0	0
Costo de disposición anual, escenario 3, taller mixto, dos turnos, 100 vehículos	8784	12293	16595	18846	14985	39274	9653	28168	14293	12480
Mantenimiento preventivo básico	8784	8573	8306	8161	7868	8024	8380	7689	8291	7889
Mantenimiento preventivo especial	0	3542	5514	5024	7117	5050	1272	8718	3396	4420
Mantenimiento correctivo	0	177	2775	5661	0	8513	0	11761	2605	172
Reconstrucción	0	0	0	0	0	17687	0	0	0	0

Tabla 22. Costos de disposición anual para los talleres mixtos con dos turnos en el taller interno y una flota de 100 vehículos, escenarios 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia.

Con una inversión inicial en el taller mixto de \$1,129,101 USD, los beneficios netos proyectados para los 3 escenarios son los siguientes:

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Promedio	BNI Promedio Total
BNI Escenario 1, taller mixto, dos turnos, 100 vehículos	896	1869	2040	1447	2077	1797	1063	1988	1732	1135	1604	160441
BNI Escenario 2, taller mixto, dos turnos, 100 vehículos	1322	2706	2837	1927	3080	2410	1628	2794	2458	1729	2289	228914
BNI Escenario 3, taller mixto, dos turnos, 100 vehículos	3531	5019	5630	5228	6378	5473	3848	6667	4690	5179	5164	516429

Tabla 23. Beneficios promedio necesarios para la viabilidad del taller mixto con dos turnos en el taller interno y una flota de 100 vehículos, escenarios 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia.

Y los beneficios netos promedio necesarios para las distintas combinaciones de la tasa de rentabilidad y el periodo de recuperación, son los siguientes:

r =	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.15	0.15	0.15
n = (años)	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30
BNI promedio necesario	260794	146224	90602	73450	297854	183756	132624	119774	336828	224976	180387	171962

Tabla 24. Beneficios promedio necesarios para la viabilidad del taller mixto, escenarios 1, 2 y 3, con una flota de 100 vehículos. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, los resultados arrojados por la herramienta Solver para encontrar el valor de $r \geq 0.05$ y $n \leq 30$ años para los distintos valores de los beneficios netos promedio proyectados, se muestran a continuación:

	$r \geq 0.05$	$n \leq 30$ años
Escenario 1, taller mixto, dos turnos, 100 vehículos	0.087	11
Escenario 2, taller mixto, dos turnos, 100 vehículos	0.197	20
Escenario 3, taller mixto, dos turnos, 100 vehículos	0.150	3

Tabla 25. Combinación de $r \geq 0.05$ y $n \leq 30$ años encontrada por Solver para la viabilidad de los talleres mixtos en los escenarios 1, 2 y 3 con dos turnos en el taller interno y una flota de 100 vehículos, con los beneficios netos proyectados. Fuente: Elaboración propia.

Lo que se puede interpretar a través de los valores de la tasa de retorno y del periodo de recuperación para todos los casos es que en la medida que el tiempo de inmovilización en taller disminuye y aumenta la cantidad de vehículos (tamaño de la flota) que se atienden en los talleres, aumenta la potencial viabilidad de los proyectos de construcción. Además, se evidencia que, para toda configuración de flotas y talleres, es necesario realizar este análisis a partir de la etapa 3 ya que una decisión de privatización o subcontratación del mantenimiento que es válida en un escenario específico, puede no serlo en un escenario distinto.

Conclusiones y trabajo a futuro

Se cumple con el objetivo principal y los objetivos específicos de esta tesis. Como resultado, se propone una metodología que permite diferenciar los costos del mantenimiento en el taller interno y en el taller externo y servir como herramienta en la toma de decisiones de internalización o subcontratación de las actividades de mantenimiento para las empresas con flotas de vehículos de carga. Así, con el mantenimiento se busca la conservación de los equipos con el fin de asegurar su disponibilidad; y con el uso de los equipos obtener ganancias finalmente.

Siendo el aseguramiento de la disponibilidad y la calidad de los servicios los objetivos primarios a perseguir durante el diseño y planeación del mantenimiento y dado que esta metodología se basa principalmente en costos para la selección entre la privatización y la subcontratación del mantenimiento, se debe considerar siempre que los talleres y servicios a comparar cuando se haga el análisis sean de igual o mejor calidad que los que en ese momento lleve a cabo la empresa.

Si bien la metodología ha sido desarrollada específicamente para flotas de vehículos de transporte carga, es fácilmente adaptable para su uso con otro tipo de flotas, siempre que se tengan claros los costos de mantenimiento, los costos fijos y que los costos de no prestar el servicio puedan ser traducidos siempre en términos monetarios.

El principal reto para la aplicación de la metodología se encuentra en la selección y recopilación de la información necesaria para hacer el análisis. Se requiere un alto nivel de organización en las empresas que la utilicen y, entre más grande y heterogénea sea la flota, los volúmenes de datos a analizar serán mayores y más difíciles de procesar. Se proponen formatos para la recopilación de esta información y será necesario en estudios posteriores confirmar su validez y utilidad y adecuarlos de ser necesario; particularmente en lo correspondiente a los indicadores de desempeño que serán utilizados para evaluar la calidad del mantenimiento. Además, se recomienda el diseño de un sistema informático que permita el uso de bases de datos para poder procesar y analizar la información con mayor facilidad, de forma sistemática.

Otro de los retos importantes reside en la selección de las muestras a analizar. Dada la imposibilidad de generalizar en el comportamiento de todas las poblaciones de las flotas, se seleccionó una varianza muy conservadora para el cálculo del tamaño de las muestras. Como resultado, los tamaños de éstas son en general muy grandes. De tal forma, en trabajos futuros, será necesario proponer y evaluar qué variables deberán medirse con el objeto de calcular una varianza que pudiera reducir el tamaño de las muestras. Será necesario un estudio detallado y cuidadoso de las variables a evaluar para que éstas representen de forma correcta los comportamientos de la población que son de interés para el análisis y no resulten en una simplificación incorrecta que pudiera afectar las conclusiones finales de la evaluación. Por otro lado, resultaría interesante evaluar en qué medida las flotas y los distintos grupos de edad y modelo son homogéneas. De confirmarse la homogeneidad, los tamaños de las muestras, y por lo tanto la cantidad de información a procesar, se reducirían enormemente.

La aplicación de la metodología en los distintos escenarios y las variaciones de éstos, evidencia la importancia de realizar el análisis considerando todas las variaciones y configuraciones posibles para la realización del mantenimiento en una flota. De la misma forma, siempre que haya un cambio importante en la composición de la flota o surja un nuevo proveedor de servicios subcontratados se deberán hacer los cambios correspondientes en los planes de mantenimiento y en los cálculos del costo de disposición. De entre las configuraciones presentadas en el caso de aplicación resulta notable la variación del costo de disponibilidad resultado de agregar un segundo turno en el taller interno. Sugiere que las empresas deberían considerar, en la medida de lo posible, la programación del mantenimiento fuera del horario regular de trabajo de las unidades, de manera que éste interrumpa lo menos posible la disponibilidad de la capacidad.

En primera instancia ésta metodología asume que existe un interés por parte de la empresa para instalar un taller interno o que ya cuenta con él y desea evaluar si debería mantenerlo. Sin embargo, aunque el interés o la capacidad de inversión no existieran, la aplicación parcial de la metodología podría resultar de interés para la empresa. Así, asegurarían que los planes de mantenimiento son los adecuados, tendrían un apoyo simplificado para la toma de decisiones sobre los tiempos de reposición y podrían evaluar el desempeño en las operaciones de mantenimiento que realizan; evaluando el costo y la calidad. Estas evaluaciones servirían como

punto de partida para determinar acciones que resulten en la mejora de la planeación y diseño de las operaciones de mantenimiento de la empresa, aunque no se considere la privatización o subcontratación de éstas.

Finalmente, el trabajo a futuro más importante a desarrollar tiene que ver con la consideración de factores no monetarios para la toma de decisiones entre la privatización y la subcontratación del mantenimiento. Será necesario determinar cómo cuantificar qué valor tienen sobre la decisión, factores como el control de la flota o la simplificación de las actividades de la empresa, y en qué medida son o no más importantes que el costo de disposición.

Trabajos citados

- Arroyo Osorno, J. A., Aguerrebere Salido, R., & Torres Vargas, G. (2014). *Publicación Técnica No. 407. Costos de Operación Base de los Vehículos Representativos del Transporte Interurbano 2014*. Sanfandila, Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte.
- Barnes, G., & Langworthy, P. (2003). *The Per-mile Costs of Operating Automobiles and Trucks*. Minneapolis, Minnesota: Minnesota Department of Transportation.
- Bartole, P. (2006). How to Implement a Fleet Preventive Maintenance Program. *Government Fleet*, 30-34.
- Comité Consultivo Nacional de Normalización de Instalaciones Eléctricas. (2012). *Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, Instalaciones Eléctricas (Utilización)*. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación.
- Comité Técnico de Normalización CT-3: Construcción. (1993). *Norma Venezolana 3049-93. Mantenimiento. Definiciones*. Caracas, Venezuela: COVENIN. Comisión Venezolana de Normas Industriales.
- Daimler Trucks North America LLC. (2010). *Manual de Mantenimiento Columbia. Service Systems and Documentation*.
- Dartois Girard, L. Y. (1991). *Guía Práctica para la Renovación Vehicular*. Ciudad de México, México: mimeo.
- Dartois Girard, L. Y. (2015). *Evaluación de proyectos de transporte. Método de umbrales de operación (clase)*. Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.
- Fygueroa Salgado, S. S., Serrano Rico, J. C., & Moreno Contreras, G. G. (2009). *Mantenimiento Predictivo de Motores Mediante Análisis de Aceite*. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 91-96.

- Mesa Grajales, D. H., Ortiz Sánchez, Y., & Pinzón, M. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia et Technica, Año XII, No. 30*, 155-160.
- Morales Vallejo, P. (2012). *Tamaño Necesario de la Muestra: ¿Cuántos Sujetos Necesitamos?* Madrid, España: Universidad Pontificia Comillas.
- Nalsen Landa, C. E. (2009). *Diseño y Puesta en Marcha de Taller Mecánico de Maquinaria Pesada Marca Komatsu*. Sartenejas, Venezuela: Universidad Simón Bolívar. Informe de Pasantía.
- Nyman, D., & Levitt, J. (2006). *Maintenance Planning, Scheduling & Coordination*. Nueva York, Nueva York: Industrial Press Inc.
- Palmer, D. (2010). *Maintenance Planning and Scheduling Handbook, Second Edition*. Nueva York, Nueva York: McGraw-Hill.
- Prando, R. R. (1996). *Manual Gestión de Mantenimiento a la Medida*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Piedra Santa.
- Rafael Morales, M. Y. (2004). *Publicación Técnica No. 260: Métodos para la Renovación de Vehículos de Autotransporte de Servicio Pesado*. Safandilla, Querétaro: Insitituto Mexicano del Transporte.
- SAE. (1999). *SAE-JA1011: Evaluation Criteria for Reliability Centered Maintenance (RCM) Processes, surface vehicle/ aerospace standard*. Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers.
- SAE. (2002). *SAE-JA1012: A Guide to the Reliability Center Maintenance (RCM) Standard, surface vehicle/aerospace reccomended practice*. Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers.
- Saldivia, F. (2013). Aplicación de Mantenimiento Predictivo. Caso Estudio: Análisis de Aceite Usado en un Motor de Combustión Interna. *Eleventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology* (págs. 1-10). Cancún, México: LACCEI.

- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2014). *Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2014, Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte*. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Energía. (2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-006-SESH-2010, Talleres de Equipos de Carburación de Gas L.P.-Diseño, Construcción, Operación y Condiciones de Seguridad*. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2003). *Norma Oficial Mexicana NOM-50-SEMARNAT-1993*. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2005). *Norma Oficial Mexicana NOM-42-SEMARNAT-2003*. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2006). *Norma Oficial Mexicana NOM-44-SEMARNAT-2006*. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2006). *Norma Oficial Mexicana NOM-86-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005*. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2006). *Norma Oficial Mexicana. NOM-052-SEMARNAT-2005, Que Establece las Características, el Proceso de Identificación, Clasificación y los Listados de los Residuos Peligrosos*. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2007). *Norma Oficial Mexicana NOM-45-SEMARNAT-2006*. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2012). *Norma Oficial Mexicana NOM-76-SEMARNAT-2012*. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, Límites Máximos Permisibles de Hidrocarburos en Suelos y Lineamientos para el Muestreo en la Caracterización y Especificaciones para la Remediación*. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación.

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2014). *Norma Oficial Mexicana NOM-47-SEMARNAT-2014*. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2015). *Norma Oficial Mexicana NOM-41-SEMARNAT-2015*. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). *Norma Oficial Mexicana NOM-EM-167-SEMARNAT-2016*. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México. (2014). *Acuerdo que establece las medidas para limitar la circulación de los vehículos automotores en los municipios conurbados del Estado de México de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) (Hoy no circula)*. Toluca de Lerdo, México: Gaceta Oficial del Estado de México.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2011). *Norma Oficial Mexicana NOM-005-STPS-1998, Relativa a las Condiciones de Seguridad e Higiene en los Centros de Trabajo para el Manejo, Transporte y Almacenamiento de Sustancias Químicas Peligrosas*. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2014). *Reglamento Federal de Seguridad y Salud en el Trabajo*. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2015). *Ley Federal del Trabajo*. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2015). *Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2015, Sistema Armonizado para la Identificación y Comunicación de Peligros y Riesgos por Sustancias Químicas Peligrosas en los Centros de Trabajo*. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación.
- Silva Martínez, C. E. (2007). *Diseño de un sistema de mantenimiento para equipos móviles de transporte de carga terrestre*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería.

Wiegmann, J., Sundararajan, A., & Tao, Z. (2011). *NCHRP Report 692. Decision Making for Outsourcing and Privatization of Vehicle and Equipment Fleet Maintenance*. Washington, D.C.: Transportation Research Board.

Anexo 1: Tamaño de muestra

Nivel de confianza del 90% ($\alpha=0.10$, $z=1.645$) y error tolerado $e=0.05$

Se calcula con la fórmula:

$$n = \frac{N}{1 + \frac{e^2(N-1)}{z^2\sigma^2}}$$

Tamaño de la flota (N)	Tamaño de la muestra (n)	Tamaño de la flota (N)	Tamaño de la muestra (n)	Tamaño de la flota (N)	Tamaño de la muestra (n)	Tamaño de la flota (N)	Tamaño de la muestra (n)
1	1	29	26	65	53	350	153
2	2	30	27	70	56	400	162
3	3	31	28	75	59	450	169
4	4	32	29	80	62	500	176
5	5	33	30	85	65	550	182
6	6	34	30	90	68	600	187
7	7	35	31	95	71	650	191
8	8	36	32	100	73	700	195
9	9	37	33	110	78	750	199
10	10	38	33	120	83	800	202
11	11	39	34	130	88	850	205
12	12	40	35	140	92	900	208
13	12	41	36	150	97	950	211
14	13	42	36	160	101	1000	213
15	14	43	37	170	105	1100	217
16	15	44	38	180	108	1200	221
17	16	45	39	190	112	1300	224
18	17	46	39	200	115	1400	227
19	18	47	40	210	118	1500	229
20	19	48	41	220	122	1600	232
21	20	49	42	230	125	1700	234
22	20	50	42	240	127	1800	235
23	21	51	43	250	130	1900	237
24	22	52	44	260	133	2000	238
25	23	53	44	270	135	2100	240
26	24	54	45	280	138	2200	241
27	25	55	46	290	140	2300	242
28	25	60	49	300	143	2400	243

Nivel de confianza del 90% ($\alpha=0.10$, $z=1.645$) y error tolerado $e=0.03$

$$n = \frac{N}{1 + \frac{e^2(N-1)}{z^2\sigma^2}}$$

Se calcula con la fórmula:

Tamaño de la flota (N)	Tamaño de la muestra (n)	Tamaño de la flota (N)	Tamaño de la muestra (n)	Tamaño de la flota (N)	Tamaño de la muestra (n)	Tamaño de la flota (N)	Tamaño de la muestra (n)
1	1	29	28	65	60	350	239
2	2	30	29	70	64	400	261
3	3	31	30	75	68	450	282
4	4	32	31	80	72	500	301
5	5	33	32	85	76	550	318
6	6	34	33	90	80	600	334
7	7	35	33	95	84	650	349
8	8	36	34	100	88	700	363
9	9	37	35	110	96	750	376
10	10	38	36	120	104	800	388
11	11	39	37	130	111	850	399
12	12	40	38	140	118	900	410
13	13	41	39	150	125	950	420
14	14	42	40	160	132	1000	429
15	15	43	41	170	139	1100	447
16	16	44	42	180	145	1200	462
17	17	45	43	190	152	1300	477
18	18	46	43	200	158	1400	489
19	19	47	44	210	164	1500	501
20	20	48	45	220	170	1600	512
21	20	49	46	230	176	1700	521
22	21	50	47	240	182	1800	530
23	22	51	48	250	188	1900	539
24	23	52	49	260	193	2000	547
25	24	53	50	270	199	2100	554
26	25	54	50	280	204	2200	560
27	26	55	51	290	209	2300	567
28	27	60	56	300	215	2400	573

Nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$, $z=1.96$) y error tolerado $e=0.05$

$$n = \frac{N}{1 + \frac{e^2(N-1)}{z^2\sigma^2}}$$

Se calcula con la fórmula:

Tamaño de la flota (N)	Tamaño de la muestra (n)	Tamaño de la flota (N)	Tamaño de la muestra (n)	Tamaño de la flota (N)	Tamaño de la muestra (n)	Tamaño de la flota (N)	Tamaño de la muestra (n)
1	1	29	27	65	56	350	183
2	2	30	28	70	59	400	196
3	3	31	29	75	63	450	207
4	4	32	30	80	66	500	217
5	5	33	30	85	70	550	226
6	6	34	31	90	73	600	234
7	7	35	32	95	76	650	242
8	8	36	33	100	80	700	248
9	9	37	34	110	86	750	254
10	10	38	35	120	92	800	260
11	11	39	35	130	97	850	265
12	12	40	36	140	103	900	269
13	13	41	37	150	108	950	274
14	14	42	38	160	113	1000	278
15	14	43	39	170	118	1100	285
16	15	44	40	180	123	1200	291
17	16	45	40	190	127	1300	297
18	17	46	41	200	132	1400	302
19	18	47	42	210	136	1500	306
20	19	48	43	220	140	1600	310
21	20	49	44	230	144	1700	314
22	21	50	44	240	148	1800	317
23	22	51	45	250	152	1900	320
24	23	52	46	260	155	2000	322
25	24	53	47	270	159	2100	325
26	24	54	47	280	162	2200	327
27	25	55	48	290	165	2300	329
28	26	60	52	300	169	2400	331

Nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$, $z=1.96$) y error tolerado $e=0.03$

$$n = \frac{N}{1 + \frac{e^2(N-1)}{z^2\sigma^2}}$$

Se calcula con la fórmula:

Tamaño de la flota (N)	Tamaño de la muestra (n)	Tamaño de la flota (N)	Tamaño de la muestra (n)	Tamaño de la flota (N)	Tamaño de la muestra (n)	Tamaño de la flota (N)	Tamaño de la muestra (n)
1	1	29	28	65	61	350	264
2	2	30	29	70	66	400	291
3	3	31	30	75	70	450	317
4	4	32	31	80	74	500	341
5	5	33	32	85	79	550	363
6	6	34	33	90	83	600	384
7	7	35	34	95	87	650	404
8	8	36	35	100	92	700	423
9	9	37	36	110	100	750	441
10	10	38	37	120	108	800	457
11	11	39	38	130	116	850	473
12	12	40	39	140	124	900	488
13	13	41	40	150	132	950	503
14	14	42	40	160	139	1000	516
15	15	43	41	170	147	1100	542
16	16	44	42	180	154	1200	565
17	17	45	43	190	161	1300	586
18	18	46	44	200	169	1400	606
19	19	47	45	210	176	1500	624
20	20	48	46	220	183	1600	640
21	21	49	47	230	189	1700	656
22	22	50	48	240	196	1800	670
23	23	51	49	250	203	1900	684
24	23	52	50	260	209	2000	696
25	24	53	51	270	216	2100	708
26	25	54	51	280	222	2200	719
27	26	55	52	290	228	2300	729
28	27	60	57	300	234	2400	739

Nivel de confianza del 99% ($\alpha=0.01$, $z=2.57$) y error tolerado $e=0.05$

$$n = \frac{N}{1 + \frac{e^2(N-1)}{z^2\sigma^2}}$$

Se calcula con la fórmula:

Tamaño de la flota (N)	Tamaño de la muestra (n)	Tamaño de la flota (N)	Tamaño de la muestra (n)	Tamaño de la flota (N)	Tamaño de la muestra (n)	Tamaño de la flota (N)	Tamaño de la muestra (n)
1	1	29	28	65	59	350	229
2	2	30	29	70	63	400	249
3	3	31	30	75	67	450	268
4	4	32	31	80	71	500	285
5	5	33	31	85	75	550	300
6	6	34	32	90	79	600	315
7	7	35	33	95	83	650	328
8	8	36	34	100	87	700	340
9	9	37	35	110	94	750	351
10	10	38	36	120	102	800	362
11	11	39	37	130	109	850	372
12	12	40	38	140	116	900	381
13	13	41	39	150	122	950	390
14	14	42	40	160	129	1000	398
15	15	43	40	170	135	1100	413
16	16	44	41	180	142	1200	426
17	17	45	42	190	148	1300	438
18	18	46	43	200	154	1400	449
19	18	47	44	210	160	1500	459
20	19	48	45	220	165	1600	468
21	20	49	46	230	171	1700	476
22	21	50	47	240	176	1800	483
23	22	51	47	250	182	1900	490
24	23	52	48	260	187	2000	497
25	24	53	49	270	192	2100	503
26	25	54	50	280	197	2200	508
27	26	55	51	290	202	2300	513
28	27	60	55	300	207	2400	518

Nivel de confianza del 99% ($\alpha=0.01$, $z=2.57$) y error tolerado $e=0.03$

$$n = \frac{N}{1 + \frac{e^2(N-1)}{z^2\sigma^2}}$$

Se calcula con la fórmula:

Tamaño de la flota (N)	Tamaño de la muestra (n)	Tamaño de la flota (N)	Tamaño de la muestra (n)	Tamaño de la flota (N)	Tamaño de la muestra (n)	Tamaño de la flota (N)	Tamaño de la muestra (n)
1	1	29	29	65	63	350	294
2	2	30	30	70	67	400	329
3	3	31	31	75	72	450	362
4	4	32	31	80	77	500	393
5	5	33	32	85	81	550	423
6	6	34	33	90	86	600	452
7	7	35	34	95	90	650	480
8	8	36	35	100	95	700	507
9	9	37	36	110	104	750	533
10	10	38	37	120	113	800	557
11	11	39	38	130	121	850	581
12	12	40	39	140	130	900	604
13	13	41	40	150	139	950	626
14	14	42	41	160	147	1000	647
15	15	43	42	170	156	1100	688
16	16	44	43	180	164	1200	726
17	17	45	44	190	172	1300	761
18	18	46	45	200	180	1400	794
19	19	47	46	210	189	1500	826
20	20	48	47	220	197	1600	855
21	21	49	48	230	204	1700	883
22	22	50	49	240	212	1800	909
23	23	51	50	250	220	1900	934
24	24	52	51	260	228	2000	957
25	25	53	52	270	235	2100	979
26	26	54	52	280	243	2200	1001
27	27	55	53	290	251	2300	1021
28	28	60	58	300	258	2400	1040

Anexo 3: Costos del taller interno, del taller interno mixto y del taller interno con capacidad para atender una flota de 100 vehículos

Todas las cotizaciones corresponden al 25 de noviembre de 2015

Costos de las herramientas consideradas para cada empleado del taller

Herramienta	Costos Unitarios (USD)		Depreciación contable
Dados y matraca ¾"	128.57	\$/juego	5 años
Dados y matraca ½"	128.57	\$/juego	5 años
Llaves españolas	97.13	\$/juego	5 años
Llaves mixtas	80.36	\$/juego	5 años
Llaves de estrías	80.36	\$/juego	5 años
Brocas	73.37	\$/juego	5 años
Limas de 12"	66.03	\$/juego	5 años
Llaves chuecas	60.79	\$/juego	5 años
Limas de 8"	47.17	\$/juego	5 años
Pinzas mecánico	47.86	\$/juego	5 años
Pinzas electricista	47.86	\$/juego	5 años
Llave perico 2"	44.02	\$/juego	5 años
Llave Stilson 2"	44.02	\$/juego	5 años
Carrito mecánico	33.19	\$/cu	5 años
Desarmadores planos	40.53	\$/juego	5 años
Desarmadores de cruz	40.53	\$/juego	5 años
Pinzas de presión	36.68	\$/juego	5 años
Caja de herramientas	29.35	\$/juego	5 años
Llave Stilson 1"	29.35	\$/juego	5 años
Llaves perico 1"	23.41	\$/juego	5 años
Martillos	24.46	\$/juego	5 años
Llaves para llantas	20.26	\$/juego	5 años
Cinceles	20.26	\$/juego	5 años
Aceitera	11.18	\$/juego	5 años
Llaves Allen	10.48	\$/juego	5 años
Charola	9.78	\$/cu	5 años
Sub-Total por Empleado	1,276		

Costos de las instalaciones y equipos considerados para el taller interno

Instalaciones y equipos del taller	Costos (USD)	Depreciación contable
270 m ² de patio	19,914.14	20 años
180 m ² Tal/Alm/Adm	132,062.19	20 años
2 Puentes elevador	76,279.31	20 años
2 Fosas reparación	44,253.65	20 años
2 Unidad de lavado	44,253.65	10 años
2 Unidad aire frenos	25,620.53	10 años
1 Fosas recepción	19,797.68	20 años
1 Equipo de engrase	10,131.76	10 años
1 Equipo soldadura eléctrica	20,962.25	10 años
1 Equipo. soldadura autógena	6,638.05	10 años
1 Compresor pistón pintura	2,655.22	5 años
1 Equipo alineación /balanceo	20,962.25	10 años
1 Torno rectificador	17,817.92	10 años
1 Taladro de banco	3,563.58	10 años
2 Taladros de mano	330.74	5 años
2 Tornillos de banco	60.56	10 años
1 Equipo control inyección	6,638.05	10 años
1 Opacímetro	9,957.07	10 años
1 Detector CO ₂	5,939.31	10 años
2 Equipo lavado motor	2,678.51	10 años
1 Equipo engrase diferencial	908.36	10 años
2 Gatos de patín	1,327.61	10 años
2 Pistones para tuercas	349.37	5 años
2 Esmeriles	267.85	5 años
2 Multímetros	132.76	5 años
2 Pistones de tiempo	146.74	5 años
1 Máquina de embobinado	134.86	10 años
1 Máquina reconstrucción batería	110.40	10 años
Programa de gestión taller	38,430.80	5 años
3 Computadoras PC	3,353.96	5 años
3 Impresoras	2,235.97	5 años
Mobiliario y accesorios	1,117.99	10 años
TOTAL TALLER	519,033	

Costos de las instalaciones y equipos considerados para el taller interno mixto

Instalaciones y equipos del taller	Costos (USD)	Depreciación contable
216 m ² de patio	15,931.31	20 años
144 m ² Tal/Alm/Adm	105,649.75	20 años
2 Puentes elevador	76,279.31	20 años
2 Fosas reparación	44,253.65	20 años
2 Unidad de lavado	44,253.65	10 años
2 Unidad aire frenos	25,620.53	10 años
1 Fosas recepción	19,797.68	20 años
1 Equipo de engrase	10,131.76	10 años
1 Equipo alineación /balanceo	20,962.25	10 años
2 Taladros de mano	330.74	5 años
2 Tornillos de banco	60.56	10 años
1 Equipo control inyección	6,638.05	10 años
1 Opacímetro	9,957.07	10 años
1 Detector CO ₂	5,939.31	10 años
2 Equipo lavado motor	2,678.51	10 años
1 Equipo engrase diferencial	908.36	10 años
2 Gatos de patín	1,327.61	10 años
2 Pistones para tuercas	349.37	5 años
2 Esmeriles	267.85	5 años
2 Multímetros	132.76	5 años
2 Pistones de tiempo	146.74	5 años
1 Máquina de embobinado	134.86	10 años
1 Máquina reconstrucción batería	110.40	10 años
Programa de gestión taller	38,430.80	5 años
1 Computadoras PC	1,117.99	5 años
1 Impresoras	745.32	5 años
Mobiliario y accesorios	372.66	10 años
TOTAL TALLER	432,529	

Costos de las instalaciones y equipos considerados para el taller interno mixto para una flota de 100 vehículos

Instalaciones y equipos del taller	Costos (USD)	Depreciación contable
900 m ² de patio	53,104.37	20 años
600 m ² Tal/Alm/Adm	352,165.85	20 años
6 Puentes elevador	228,837.93	20 años
6 Fosas reparación	132,760.94	20 años
6 Unidad de lavado	132,760.94	10 años
6 Unidad aire frenos	76,861.59	10 años
3 Fosas recepción	59,393.05	20 años
3 Equipo de engrase	30,395.27	10 años
3 Equipo alineación /balanceo	62,886.76	10 años
6 Taladros de mano	992.21	5 años
6 Tornillos de banco	181.67	10 años
2 Equipo control inyección	13,276.09	10 años
2 Opacímetro	19,914.14	10 años
2 Detector CO ₂	11,878.61	10 años
6 Equipo lavado motor	8,035.53	10 años
2 Equipo engrase diferencial	1,816.73	10 años
6 Gatos de patín	3,982.83	10 años
6 Pistones para tuercas	1,048.11	5 años
6 Esmeriles	803.55	5 años
6 Multímetros	398.28	5 años
6 Pistones de tiempo	440.21	5 años
3 Máquina de embobinado	404.57	10 años
3 Máquina reconstrucción batería	331.20	10 años
Programa de gestión taller	38,430.80	5 años
3 Computadoras PC	3,353.96	5 años
3 Impresoras	2,235.97	5 años
Mobiliario y accesorios	1,117.99	10 años
TOTAL TALLER	1,237,809	

Anexo 4: Actividades y costos considerados para los distintos tipos de servicio: servicio preventivo, servicio preventivo especial, mantenimiento correctivo y reconstrucción

Servicio preventivo

Actividad	Costo total general taller interno (USD)	Costo total general taller externo con menor precio en el mercado (USD)	Costo total general taller externo con mayor precio en el mercado (USD)
FOSA DE RECEPCIÓN (1.000 km)	0.95	-	-
ESTACION DE SERVICIO (1.000 Km)			
Repuesto Aceite/Agua Chequeo Aire Frenos Chequeo Aire Llantas Chequeo Filtros Lavado Vehículo	6.06	-	-
SERVICIO PREVENTIVO A (10.000 km)			
Cambio Aceite Motor Repuesto Aceite Caja de Velocidad Repuesto Aceite Diferencial Repuesto Aceite Dirección Cambio Filtros Aceite/Combustible/Hidro Lavado Motor	132.59	181.64	202.86
SERVICIO PREVENTIVO B (20.000 km)			
Servicio A Ajuste Frenos Engrasado/Anticorrosivo	177.77	234.17	261.52
SERVICIO PREVENTIVO C (40.000 km)			
Servicios A y B Cambio Aceite Dirección Cambio Balatas/Mangueras Frenos Alineación Balanceo Revisión Instalación Eléctrica	440.21	561.34	626.90
SERVICIO PREVENTIVO D (80.000 km)			
Servicios A, B y C Cambio Aceite Diferencial Cambio Aceite Caja de Velocidad Afinación del Motor Cambio Filtro Aire Recalibración del Motor (balancines) Cambio Cableado Eléctrico Cambio Mangueras Agua/Aire	842.73	1096.34	1224.38

Servicio preventivo especial

Actividad	Costo total general taller interno (USD)	Costo total general taller externo con menor precio en el mercado (USD)	Costo total general taller externo con mayor precio en el mercado (USD)
Cambio Batería por Nueva	98.60	135.08	150.86
Cambio Batería por Rec.1/2	1.18	1.62	1.81
Cambio Bomba Aceite/Agua por Nueva	229.69	308.42	344.44
Cambio Bomba por Renov.1/2	100.43	131.33	146.66
Cambio Bomba Inyección por Nueva	511.01	694.10	775.16
Cambio Bomba por Renov.1/2	204.05	273.57	305.52
Cambio Cabezas Inyectores	69.79	87.86	98.12
Cambio Cuerpos + Cabezas Inyección	156.27	204.57	228.46
Cambio Clutch por Nuevo	89.21	117.73	131.48
Cambio Clutch por Rec.1/2	45.89	58.38	65.20
Cambio Freno de emergencia	66.90	85.67	95.67
Cambio Llantas por Nuevas	1,731.66	2369.38	2646.09
Cambio Llantas por Ren.1/2	868.01	1186.18	1324.72
Cambio Tambores por Nuevos	244.54	325.77	363.81
Cambio Tambor por Rect.1/2	116.67	150.59	168.17

Mantenimiento correctivo

Actividad	Costo total general taller interno (USD)	Costo total general taller externo con menor precio en el mercado (USD)	Costo total general taller externo con mayor precio en el mercado (USD)
Cambio Alternador por Nuevo	235.63	304.90	342.43
Cambio Alternador por Rec. 1/2	101.48	130.50	146.56
Cambio Caja Velocidades por Nueva	2,070.11	2674.21	3003.35
Cambio Caja por Reconst.1/2	1,278.09	1644.58	1846.99
Cambio Coronas Diferencial	571.95	715.82	803.92
Cambio Compresor por Nuevo	317.84	401.95	451.42
Cambio Compres. por Rec.1/2	113.74	136.61	153.43
Cambio Dirección por Nueva	555.25	708.09	795.24
Cambio Dirección. por Reconst.1/2	205.18	253.00	284.14
Cambio Radiador por nuevo	133.69	161.95	181.88
Cambio Rad. por Reconstruido 1/2	74.08	84.46	94.86
Cambio Suspensión por Nueva	2,047.55	2612.99	2934.59
Cambio Suspensión por Reconst.1/2	1,225.83	1544.76	1734.88
Cambio Turbo por Nuevo	1,451.65	1875.90	2106.78
Cambio Turbo por Reconstruido 1/2	635.17	814.47	914.72
Cambio Ventilador por Nuevo	100.03	124.36	139.67
Medio Ajuste Motor	3,290.99	4248.87	4771.81
Ajuste Motor	5,860.88	7572.18	8911.88

Reconstrucción

Actividad	Costo total general taller interno (USD)	Costo total general taller externo con menor precio en el mercado (USD)	Costo total general taller externo con mayor precio en el mercado (USD)
Reparaciones Vehículo y Cabina			
Alineación y Balanceo Cambio Bisagras y Chapas	1,942.96	2452.90	2754.79
Hojalatería Pintura			
Reparaciones Estructura / Cabina			
Cambio Barras de Ejes Cambio Rieles/Travesaños Chasis Cambio Soportes Motor	1,545.98	1870.37	2100.57
Cambio Banda CB Cambio Marcha Vehículo			